

●原 著

潜水漁民の長幹骨骨障害について

桜井清治* 大野文夫**
妹尾正夫** 甲斐有司**
池田知純** 鈴木 卓**
大岩弘典**

はじめに

潜水員にみられる無腐性骨壊死 (aseptic or avascular bone necrosis) の真の病態生理については、最初に労務災害として報告した Bornstein および Plate (1911) 以来、数多くの報告があるにもかかわらず、いまだ明らかでない。

骨壊死の一般的な成因は、減圧時に血管内あるいは、血管外に形成された気泡による、血流障害とそれに基づく骨栄養障害と考えられている³⁾。

潜水員の骨壊死の病態生理を研究する上で、骨壊死の型 (type) や軀幹発生分布 (skeletal distribution) を詳細に検討するのは興味がある。過去の研究は、骨壊死の好発部位は3カ所、上腕骨頭部、大腿骨頭部および膝関節部、すなわち、大腿骨遠位および脛骨近位端であると明らかにしてきた²⁾⁸⁾¹¹⁾¹³⁾。

傍関節面障害 (juxta-articular lesions) を示す A 型、および骨幹部あるいは骨髄型障害 (medullary lesions of the head, neck and shaft) を示す B 型は、上腕骨頭および大腿骨頭ではその両型がみられるのに対し、大腿骨遠位および脛骨近位端では A 型の報告はほとんど無く、B 型のみである⁸⁾¹¹⁾¹⁴⁾。

減圧時の窒素気泡は、軀幹骨頭のどの部にも均一に出現する筈であるから、長管骨の遠位端、就中、膝関節に B 型骨壊死が好発する事実は、潜水員の骨壊死の病態生理を研究する上で、何らかの手掛りを与えるものとなるのではないだろうか。

潜水に関係する如何なる要因が膝部に骨壊死を引き起すのであろうか。潜水に関連する要因とは、潜水員の身体条件の他、潜水歴、潜水作業の型、あるいは既往の潜水減圧症歴等々である。

以下の報告は、潜水員にみられる長幹骨骨壊死の成り立ちを究明すべく、千葉県に住む潜水員を対象に、抽出調査を行ったものである。

方 法

調査は、千葉県勝浦市沖で潜水漁業に従事するおよそ70名の潜水員のうち、潜水を始めて間のない19歳から、すでに現役を退いた者までを含む70歳までの37名に対して行った。

彼らは例年4月から9月にわたる漁期に、空気ヘルメット式潜水器を用い、1日数回(4ないし5回)、1日の潜水時間は20ないし30分、深度30ないし40m余に、鮑採りの潜水漁業に従事している。

調査時期は59年2月、抽出した37名の潜水員に対し、両肩関節(上腕骨頭)、両股関節(大腿骨頭)、両肘関節(上腕骨遠位および橈骨近位端)および両膝関節(大腿骨遠位および脛骨近位端)のレ線撮影(A-P)を実施した。各関節撮影に際しては、フィルム内に長幹骨骨幹部ができるだけ多く含むようにした。

他に、潜水員の個人別潜水作業調査(潜水プロフィール)の他、身体歴、潜水歴、減圧症既往歴等の調査を面接アンケートにより実施し、同時に各潜水員の被撮影部位について、関節可動域検査(ROM)、四肢の知覚機能検査、握力検査等を含む整形外科的診察を実施し、減圧症後遺症の有無について、詳細に検討した。

*海上自衛隊横須賀地区病院

**海上自衛隊潜水医学実験隊

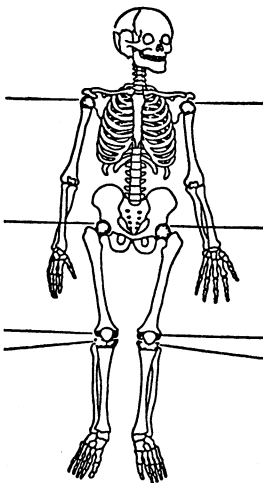
	Right				Left			Total
	A	B	C		A	B	C	
Humeral Head	4	0	0		3	1	0	8 21.0 %
Femoral Head Ischium	1	2	4		3	2	1	13 34.2 %
Distal Fe Proximal Tibia	0	4	0		0	5	0	9 23.7 %
	0	2	2		0	2	1	7 18.4 %
Total	5	8	6		6	10	3	38

図1 Skeletal Distribution of the Disbaric Bonelesions diagnosed by roentgenography, in sample survey of 37 diving fishermen, at Chiba prefecture.

骨壊死のレ線学的な判定は British Medical Research Council's Decompression Sickness Panel の分類¹³⁾を基にした大田, 松永, 変法¹⁴⁾に基づいた。

結 果

レ線学的有所見者は, 37名中20名 (54.1%) であった。うち16名はA型(juxta-articular lesion) およびB型 (shaft or medullary lesion) を示し, 残り4名はC型 (bone islands) である。

20名の有所見者は, 潜水作業に起因すると考えられる38例の骨障害像を示し, その軀幹部位分布は次の3部に大別される。すなわち, 膝部 (大腿骨遠位および脛骨近位端) 42.1%, 両上腕骨頭部 34.2%, 両大腿骨頭部21.0%である (図1)。

各部位別の骨障害像は, 上腕骨頭部は8例中, A型が7例, B型が1例, 大腿骨頭部は13例中, A型およびB型が各4例, C型が5例である。A型の大部分はA-2: spherical segmental opacitiesであり, 一部にA-3: linear opacityを示し, B型のほとんどは, B-2: irregular calcified areasを示す。

一方, 膝部にみられる骨障害像は, 16例中B型が13例, C型が3例でA型は認められない。B型はすべてB-2: irregular calcified areasを示し, C型はbone islandsを示す。

膝部にみられる骨障害の特徴は, 大腿骨遠位では, 両側性が半分の例にみられるのに反し, 脛骨近位では, 7例すべてが片側に出現している。肩および股関節では骨障害像が片側に片寄る傾向は認められない (図2)。

また, 膝部の骨障害像を有するものが, 同時に上腕骨頭, あるいは大腿骨頭に障害像を併存するのはきわめて少なく, 13例中に1例が大腿骨頭に障害像を示すのみである。

レ線学的骨壊死を有する20名について, 年齢区分からみた障害の分類を表1に示す。

30歳以下の者では, A, B型を認めず, C型 (bone islands)のみである。30歳以降にA, B型が発現し, 以後加齢による分類型の特徴は殆どない。

また, 加齢による骨障害の発現率 (incidence) については, 調査対象が少なすぎることを考慮しても, 30歳を越えた年齢層では大差がないようにみえる。

骨壊死を有するものについて, 過去の急性減圧症の既往との関係は定かではなく, 同様に, 減圧症の後遺症と認められる例はない。

骨壊死の発現率と潜水作業歴との関係は, ないという結果を示しているが, 経頭年数が10年未満の骨障害3例はすべてC型 (bone islands) であり, 骨壊死というには, "doubtful"な例として考え

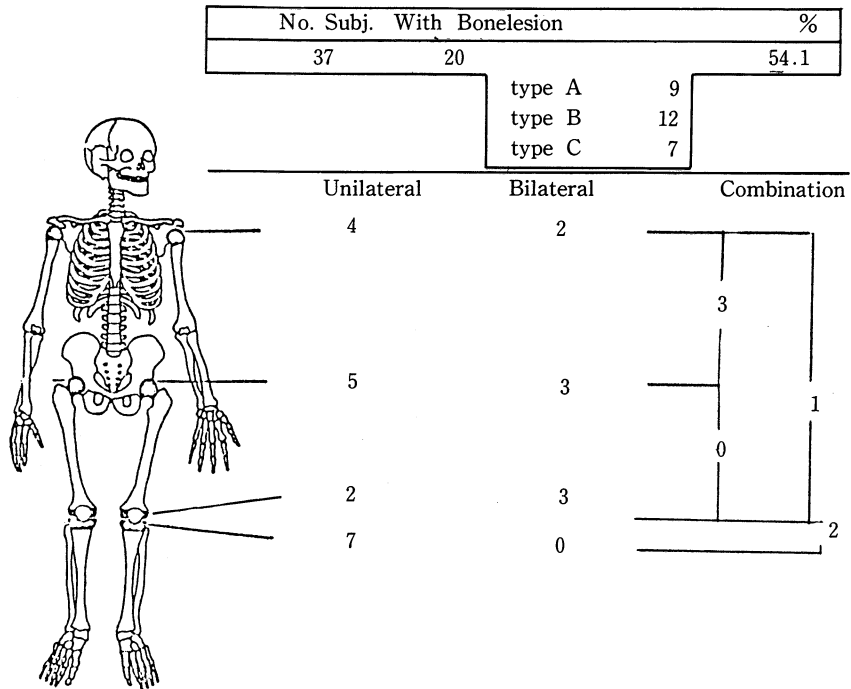


図2 Incidence and Sites of Bone lesions in Sample Survey of Diving Fishermen

表1 Age incidence and classification of the Bone lesion diagnosed by Roentgenography

	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-	Total
Totoal No. of Divers	4	12	5	10	5	1	37
Without Bone lesion	2	5	1	7	2	0	17
A1	0	2	2	1	1	0	6
A2	0	1	1	1	0	0	3
A3	0	0	0	0	0	0	0
T	0	3	3	2	1	0	9
B1	0	1	0	1	0	0	2
B2	0	3	1	2	1	1	8
B3	0	1	1	0	0	0	2
T	0	5	2	3	1	1	12
C1	2	3	1	0	1	0	7
C2	0	0	0	0	0	0	0
T	2	3	1	0	1	0	7

たい。従って、経頭年数が10年を越えて、AおよびB型を示す、“definite”な骨壊死が認められた(図2, 3)。

膝部の16例の骨壊死のうち、9例は大腿骨遠位端、7例は脛骨近位端に属するが、すべての例がB-2: irregular calcified areasを示し、A型は認

めない。

膝部にB型の骨障害像を有するものの年齢分布は、他の軀幹関節部にA型あるいは、B型の骨障害像を有する者の年齢分布と比較して特徴的なものは認められない。

表2 Incidence classified by experience period of the diving and History of DCS.

years	Total	With Bone lesion	With History of dcs	Without Bone lesion	With History of dcs
0-10	6	3	1	3	3
11-20	10	6	6	4	2
21-30	6	5	5	1	0
31-40	8	2	2	6	4
41-50	17	4	3	3	2
Total	37	20 85.0% cases with History	17	17 64.7% cases with History	11

表3 Influences on Recurrent DCS* on the incidence of Bone lesion classified the experience period of the Diving.

years	Total	Evidence of the lesion	Recurrent DCS	Without lesion	Recurrent DCS
0-10	6	3		3	
11-20	10	6		4	
21-30	6	5		1	1
31-40	8	2	1	6	2
41-50	17	4	2	3	1
Total	37	20 15.0% cases with Recurrence	3	17 17.6% cases with Recurrence	3

* Sensory disturbances affected by spinal cord lesion

考 察

潜水員の骨壊死の発現率については、3%¹⁵⁾から76%⁸⁾まで、調査対象グループによって大きな差がある。

我が国の潜水漁民では、およそ20%¹⁾から50%¹⁴⁾を示す。各国の海軍潜水員の骨壊死の発現率は、民間潜水員のそれに比べ低い³⁾⁶⁾¹⁵⁾。この事実は、海軍潜水員の減圧調節がきわめて良く行われていることによる。それでもなお、両者に共通することは、骨壊死が長管骨の中心から遠位、骨端部、すなわち、上腕骨頭、大腿骨および大腿骨下端ならびに脛骨上端にみられることである。

我々が抽出調査したグループの骨壊死発現率54.1%は、九州の潜水漁民を調査した大田、松永の報告¹⁴⁾と近似した成績を示す。

骨壊死の発現に関係する種々の要因のなかで、既往の減圧症については、過去に急性減圧症に罹患していないものに、骨壊死の発現を認める報告

が多い。今回の抽出調査でも、減圧症既往歴のないものに、AおよびB型骨壊死を示すものがある。

既往歴に急性減圧症を頻回に起したものに対する整形外科的診察結果からは、骨障害像を示す軀幹関節と減圧症罹患関節は必ずしも一致せず、急性減圧症罹患の投影としての骨壊死の発現を因果づけ難いと考えられた。過去に脊髄型減圧症に罹患し、後遺症として軽度の知覚鈍麻や膝蓋腱反射の減退を示す例においても大腿骨壊死は認めない例が多い¹²⁾。

骨壊死の病因に関して、過去、多くの潜水グループの調査と病態生理に関する実験を含む研究がなされて来た。しかしながら高圧曝露の動物に、いまだ、骨壊死を実験的に発症させる試みは成功していない¹⁶⁾¹⁷⁾。

骨壊死の病因、A型およびB型骨壊死の成り立ちについては、図4に示すような、一般的な説明がなされてきた。

減圧時に、血管内あるいは血管外に形成された

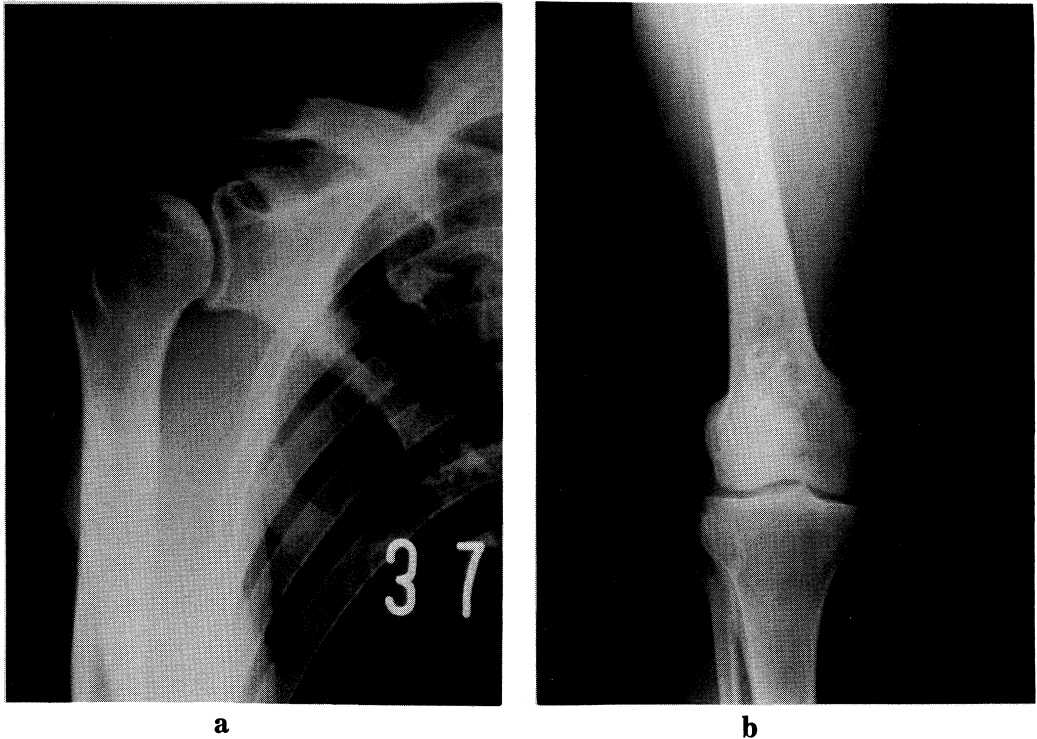


図3 症例(66歳, 潜水歴49年)は右上腕骨頭に SNOW CAP 像の A-2 型(a), 左大腿骨下端に不規則性石灰化像の B₂ 型(b)を示す。

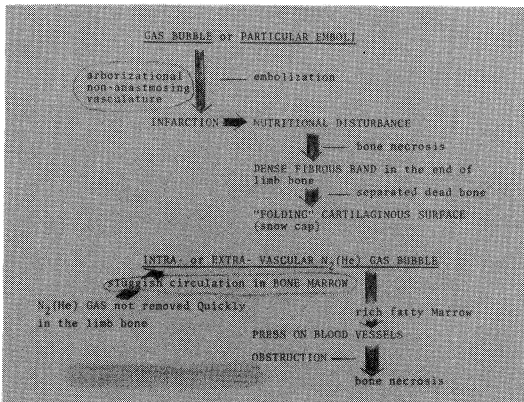


図4 潜水による骨障害の成り立ち

窒素気泡が血流障害を招来し、結果として骨の栄養障害による壊死をもたらす。この理由から骨壊死は減圧症の一面相と考えられてきた。

骨壊死の病態生理に関する進歩した仮説は、気泡-血液干渉 (blood-bubble interaction)¹⁸⁾ に基づく脂肪塞栓が主因とする考えである。

骨壊死の病因がいかんであるにせよ、減圧調節の良否が発現率を決める大きな要素を占めるのは事実であるが²⁾、減圧調節や急性減圧症の再圧治療がほとんど完璧に実施されている海軍潜水員においてさえ、数%の骨壊死を起こす事実がある³⁾⁶⁾¹⁵⁾。

骨壊死を完全に予防することのできる減圧調節法が分っていない現在、潜水員に対する健康管理で骨のレ線学的検査法は重要であり、特に、骨壊死の初期診断の確立は重要である¹⁹⁾。

1981年、MRCによる Decompression Sickness Central Registry の報告²⁾では、207名の商業潜水員(274例のB型骨壊死像を有する)の骨壊死の軀幹部位分布は、60% (209例)が大腿骨遠位端に、17% (58例)が脛骨近位端に発現している。

我々の抽出調査でも、膝部が42.1%を示し、B型骨壊死の好発部位について一致している。また骨障害の両側性について、先のMRCの報告でも、大腿骨遠位端では68%、脛骨近位端でも27%が両

側性に現れ、我々の調査でも、脛骨近位端に比べ、大腿骨遠位端に両側障害像が認められやすい成績と一致している。

数多くの調査例をもってしても、骨壊死の初発部位を意味づける報告はない。膝部、特に大腿骨遠位端に見いだせる骨障害像が初発像と判定することができるのであろうか？。

膝関節部にB型(medullary)骨壊死は一般的にみられるのに、A型(juxta-articular)骨壊死はきわめて稀である。Kindwall¹¹⁾によると、膝関節面におよぶA型骨壊死の発現は、過去2ないし3例の報告があるのみである。

この事実は、肩および股関節のような臼(marta)関節と、膝のような、蝶番い(hingi)関節の違いによる骨端部(epiphysis)の血流分布の差に基づくものと解釈される。

骨壊死の成り立ちを推測するのに、上腕骨頭および大腿骨頭のごとく骨頭部の栄養支配が、一種の終末血管と考えられる部位に、AおよびB型骨壊死が現われるのに比べ、膝部のように骨頭部の栄養支配が膝窩動静脈を通じて、順調に、独立してまかなえるためか、B型骨壊死、すなわち、骨幹部型骨壊死のみがみられる。大腿骨遠位および脛骨近位端の骨壊死の成り立ちについて検討するのは意味がある。

大腿骨遠位および脛骨近位端にB型骨壊死の発現しやすい理由を考えるには、長幹骨の骨髄の血流動態の特徴を考慮する必要がある。

長幹骨の主血管は、幹の中央部から斜めに骨髄内に入って、大腿骨では下行性に、脛骨では上行性に、栄養血管枝は骨髄内を灌流し、一種の静脈洞を形成して、再び栄養枝を反走した循環系路を形成している。更に、骨端部になる程、骨髄容積が増し、単位容積当りの血流量が少なくなる。

このため、骨の中心から遠位になる程、血流は遅くなる。これは、減圧時の窒素ガスの排泄を遅延させることになる。

Hills¹⁴⁾は実験的に、減圧時に骨髄の血流の減少と、骨髄圧の上昇を証明している。このことは、減圧時に骨髄遠位端における窒素ガスの排泄に、更に余計な時間が費やされることを意味する。

特に、長幹骨のなかで、大腿骨下端は上端に比べ脂肪髄に富んでおり、加圧中に窒素ガスの溶け込みを多くし、減圧に際し、無症状ながら、微小

気泡(silent bubble)が発現しやすいことを示唆するものである。

これに補足するものとして、骨壊死の病因について、脂肪栓塞が主因と考えるJonesとSakovich⁷⁾の報告は意味がある。

減圧時に発生した窒素の微小気泡は、血液—気泡干渉(blood-gas interface)⁷⁾によって、不安定脂質と結合し、貯蔵脂肪を破壊し、あるいは遊離する。この結果、血流が遅く、窒素ガス排泄に時間のかかる長幹骨の骨髄端に、間歇的ながら、系統的な乏血状態をつくりだす脂肪栓子が完成する。恐らく、頻回に繰り返される減圧操作が窒素ガスの気泡核の空洞現象(cavitation)を起こし、気泡化をうながし、局所の血液循環を更に悪化させ、骨髄の修復機転を妨げるのではないだろうか。

大腿骨頭置換術4例の病理組織所見を報告した川島は⁹⁾¹⁰⁾、部分的な石灰化を伴う、広範な骨壊死をとりまいて、硬化性または多孔性の骨変化、線維の増生、血管の新生と共に巨細胞肉芽組織とその中心にみられる黄色色素の沈着を認め、脂肪栓塞後の変化を疑わしめるものと述べている。

脂肪髄に富んだ長幹骨、大腿骨下端および脛骨上端、特に加齢による骨髄の脂肪化の促進は、窒素の微小気泡がトリガーとなる脂肪栓子を生みやすく、頻回の減圧は循環障害による骨髄の修復機転を妨げ、経年的な変化による骨壊死を完成させるのであろう。

今回の抽出調査では、30歳以下、潜水業務にたずさわって10年余では、B型骨壊死を認めなかったことは、同じような体内窒素微小気泡を長幹骨に発生しても、骨壊死を引き起すに足る身体的な条件が満たされていなかったと考えるのが妥当と思える。過去多くの動物実験で骨壊死を減圧症の後遺症(sequelae)としてしか発現することができなかった事実は¹⁶⁾、実験動物の長幹骨の骨成長が人間のそれと異なる問題に起因するのではないかという考えと共通するものがあるように思える。

まして、30歳を越えた各年齢層において、なお、骨壊死を発現しないという今回の調査結果は、加齢による身体的な条件の変化に、更に複雑な要素があることをうかがわせる。

骨壊死のレ線学的診断に、MRC分類は大きな貢献を果たしてきた。また骨壊死の経年的な変化

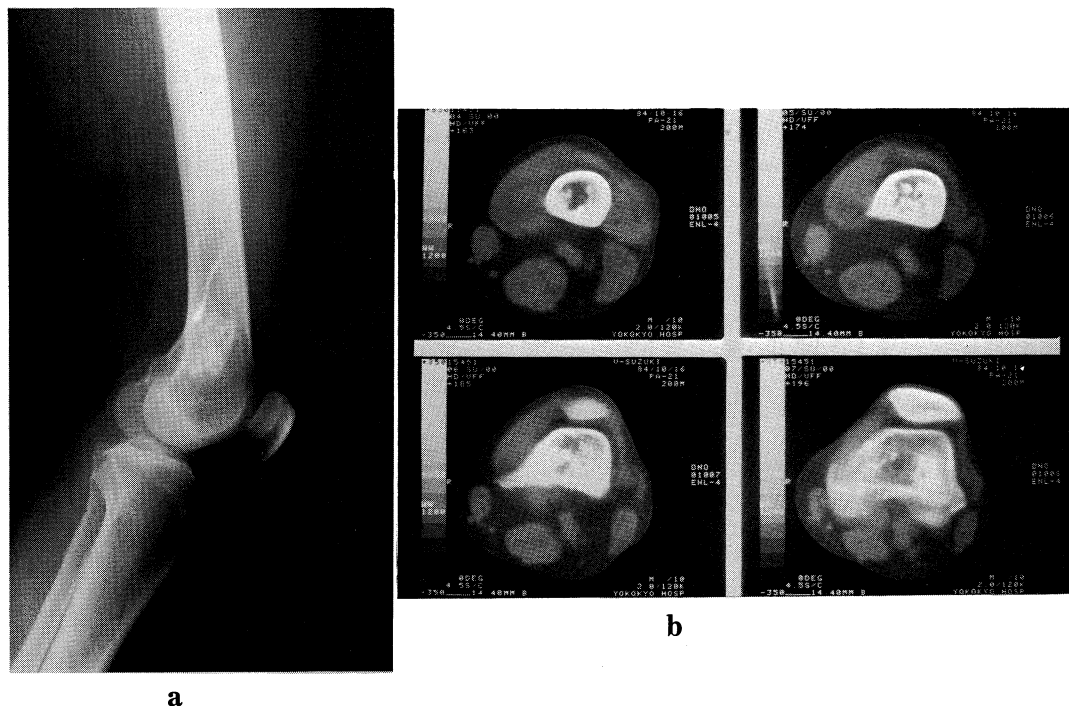


図5 図3-bに示す症例の大腿骨側面レ線像(a)とCT像(b)

については、上腕骨頭および大腿骨頭の子後に関する、川島⁹⁾らの優れた報告がある。骨壊死の最も好発しやすい膝部にみられるB型骨壊死については、臨床所見が付随しないため、比較的軽視されがちであった。

大腿骨遠位および脛骨近位端にB型骨壊死を認める者に上腕および大腿骨頭のA型骨壊死を併存する確率が高い。

膝部にみられるB型骨壊死を早期に発見できるなら、A型骨壊死の発現に役立つことができるかも知れないし、この意味からも、B型骨壊死のレ線学的診断を更に進める研究は重要と考える。

なお、今回の調査対象者のうち、潜水歴49年で、なお現役で潜水している66歳男子の左大腿骨遠位端B-2型骨壊死(両上腕骨頭にA-1型を併存する)のCT像では、diaphysisの領域より、骨髄の皮質近傍から変化が現われ、metaphysisに著明な骨硬化像が認められた。これは骨壊死が皮質側から進展してくることを疑わせるものであった(図5 a, b)。

今後の課題は、このような診断法を加味し併せ

て、他の検索法を進めながら骨壊死の早期発見と予防法の確立にあると考える。

まとめ

37名の千葉県勝浦市の潜水漁民に対し、無腐性骨壊死の抽出調査の結果、20名(54.1%)に骨障害を認めた。38例の骨障害像の42.1%は膝部；大腿骨遠位および脛骨近位端のB型骨壊死であり、同部にA型骨壊死は認めなかった。

膝部にB型骨壊死の好発する理由は、繰り返しの潜水作業の減圧時に、長幹骨の骨髄血流動態の特殊性により、発生しやすくなると考えられる無症状気泡(silent bubble)を生じさせ、脂肪髄に富む骨端部に脂肪栓子を形成し、骨髄の乏血状態を生み、骨壊死を発現するのではないか。また加齢による身体条件の変化、特に骨髄の脂肪化の促進などは、骨壊死の発現を容易にすると考えられる。

潜水歴の長い、高齢の者にもなお、約半数に、膝部の長幹骨骨端部に骨壊死を生じていないことから、B型骨壊死の成り立ちについて、潜水員の

身体的条件について、詳しい検討を加えつつ、CT像など新しい検索を取り入れて研究をすすめてゆく。

〔参 考 文 献〕

- 1) Asahi Shiro, H. Ohiwa and I. Nashimoto: A vascular bone necrosis in Japanese diving fisherman, *Bulletin of the Tokyo Medical and Dental University* 15 (3): 247-257, 1968.
- 2) Aseptic Bone Necrosis in Commercial Divers, A Report from the decompression sickness Central Registry and Radioiological: Panel, *The Lancet*. 384-388, August 22, 1981.
- 3) Elliott. D.H. and J.A.B. Harrison: Aseptic bone necrosis in Royal Navy divers, In: *Proceedings of the Fourth Symposium on Underwater Physiology*, p.251-262. New York, Academic Press, 1971.
- 4) Harrelson, J.M. and B.A. Hills: Changes in bone marrow pressure in response to hyperbaric Exposure, *Aerospace Medicine* 41 (9): 1018-1021, 1970.
- 5) Harvey, C.A.: Decompression tables in relation to dysbaric osteonecrosis, In: *Dysbarism-related osteonecrosis, Proceeding of a symposium on dysbaric osteonecrosis, U.S. Dept. of Health, Education and Welfare*, p. 47-55, National Institute for Occupational Safety and Health, 1974.
- 6) Harvey. C.A. and R.L. Sphar: Dysbaric Osteonecrosis in divers, *Naval Submarine Medical research laboratory Report No. 832, BUMED, Navy Dept*, 24 February 1976.
- 7) Jones. J.P, L. Sakovich and C.L. Anderson: Experimentary produced osteonecrosis as a result of fat embolism, In: *Dysbarism-related osteonecrosis. Proceeding of a symposium on dysbaric osteonecrosis, U.S. Dept. of Health Education and Welfare*, P. 91-102, National Institute for Occupational Safety and health, 1974.
- 8) Kawashima M.: Aseptic bone necrosis in Japanese divers, *The Bulletin of Tokyo Medical and Dental University*, 23 (2): 71-92, 1976.
- 9) Kawashima, M., K. Hayashi, T. Torisu and M. Kitano: Histopathology of the early stage of osteonecrosis in divers, *Undersea Biomedical Research*. 4 (4): 409-417, 1977.
- 10) 川島真人, 林皓, 北野元生, 浦郷篤史, 島栄岳顔, 加茂洋志, 岩淵亮, 船越啓右: 潜函工の骨壊死について. *整形外科と災害外科* 28(1): 425-430, 1974.
- 11) Kindwall E. P.: Milwaukee Sewerage Tunnel Project, In: *Dysbarism-related osteonecrosis, Proceeding of a symposium on dysbaric osteonecrosis, U.S. Dept. of Health, Education and Welfare*, P. 41-46, National Institute for Occupational Safety and Health, 1974.
- 12) 木下宏他: 潜水病後遺症についての知見, *災害医学* 4 (4): 252-258, S 36.
- 13) McCallum, R.I., D.N. Walder: Bone lesions in compressed air workers, *Journal of Bone and Joint surgery* 48B207-235, 1966.
- 14) Ohta. Y. and H. Matsunaga: Bone lesions in divers, *Journal of Bone and Joint Surgery*, 56B (1): 3-16, 1974.
- 15) Ohiwa H. and A. Itoh: Aseptic Bone Necrosis in Japanese Navy divers. In: *Proceedings of the Sixth Symposium on Underwater Physiology, New York, Academic Press, 1979. P. 305-310.*
- 16) Reeves E., A.E. Mckee, J.A. Stunkard and P. W. Schilling: Radiographic and Pathologic studies for aseptic bone necrosis in dogs incurring decompression sickness. *Aerospace Medicine* 43 (1): 61-66, 1972.
- 17) Shim, S.S., F.P. Patterson, M.J. Kendall: Hyperbaric chamber and recompression sickness, An experimental study, *Canadian Medical Association Journal*, 97: 1263-1272, 1967.
- 18) Smith K.H., P.J. Stegall and B.G. D'Aoust: Pathophysiology of decompression sickness, In: *International Symposium on Man in the Sea, UMS, Bethesda, Ma., 1975. p. 190-204*
- 19) Uhl R.R.: Aseptic bone necrosis in divers, *Clinical Aviation and Aerospace Medicine*, 1345-1347, December 1968.