

【第51回学術総会シンポジウム：ダイバーの健康診断】

## 高気圧作業従事者に対する減圧性骨壊死の検診

高尾 勝浩, 川嶋 真人, 川嶋 眞之, 田村 裕昭, 山口 喬, 宮田 健司  
社会医療法人玄真堂 川嶋整形外科病院

キーワード 潜水士, 圧気作業員, 太田 - 松永分類

keywords Diver, Compressed air worker, Ota-Matsunaga classification

### 【Symposium】

#### Medical Check-Ups of Dysbaric Osteonecrosis

Katsuhiro Takao, Mahito Kawashima, Masayuki Kawashima, Hiroaki Tamura, Takashi Yamaguchi, Kenji Miyata

Kawashima Orthopaedic Hospital, 17 Miyabu, Nakatsu, Oita, 871-0012, Japan

潜水や潜函作業などの高気圧環境下での作業に就く労働者には、労働安全衛生規則で法定特殊健康診断が義務付けられている。高気圧環境下で作業を行うということは、日常的に加圧と減圧の繰り返しを強いられることになり、減圧性骨壊死 (Dysbaric Osteonecrosis: DON) が発症しやすいことが知られている。当院では高気圧作業従事者に対する検診を行っており、特に減圧性骨壊死について結果を報告する。

### 対象と方法

1982年から2014年10月までの検診受診者は272名 (男性268名, 女性4名) で、延べ531名であった。受診時の平均年齢は37.5±11.3歳、就業年数は11.9±10.8年、高気圧への曝露は、潜水によるものが203名、潜函作業 (圧縮空気) によるものが69名であった。職業別では漁業・水産業 (以下、漁業) 111名 (40.8%)、土木作業従事者 (以下、土木) 87名 (32.0%)、調査業31名 (11.4%)、サルヴェージ12名 (4.4%)、機械メンテナンス4名 (1.5%)、不明27名 (9.9%) であった (表1)。

検診では肩関節・股関節・膝関節の単純X線撮影、

表1 受診者の概要

受診者数	272名 (男性:268名、女性:4名)
延べ人数	531名
平均年齢	37.5±11.3歳
就業年数の平均	11.9±10.8年
高気圧への曝露	潜水:203名、潜函 (圧縮空気):69名
職業	
漁業・水産業	111 (40.8%)
土木	87 (32.0%)
調査	31 (11.4%)
サルヴェージ	12 (4.4%)
機械メンテナンス	4 (1.5%)
不明	27 (9.9%)

血液検査に加え、高気圧作業の条件 (圧力、頻度、継続年数、減圧の方法等) の聴取を行った。骨壊死の診断は単純X線撮影による画像診断によって行われ、英国のMRC分類 (Medical Research Council's Decompression Sickness Panel) を改変した太田-松永分類<sup>1)</sup>に従って分類した。太田-松永分類では壊死の発現部位によって、関節荷重面付近に発症するA型、骨頭・骨頸部・骨幹部に発症するB型に分類され、さらにA型はA1からA6、B型はB1からB3に細分される (図1)。

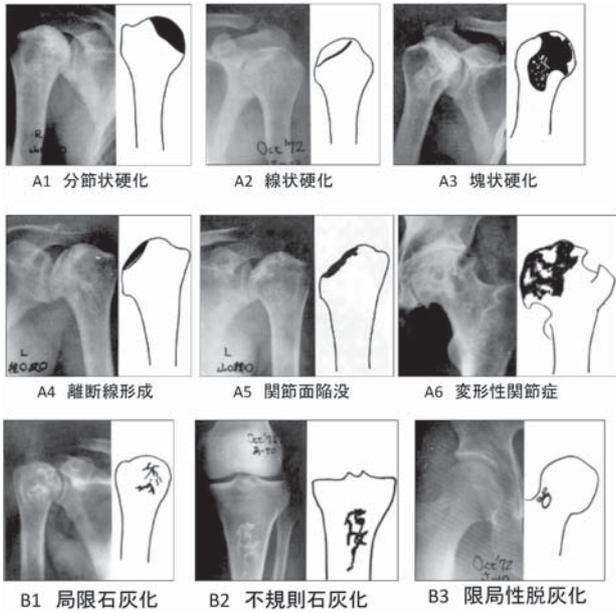


図1 太田 - 松永分類

結果

検診の結果、272名中80名(29.4%)、137部位の骨壊死が認められた。A型、B型分類別ではA型30.7%、B型69.3%であった。137部位の内訳は、大腿骨38.7%、肩関節24.1%、上腕骨・橈骨16.0%、脛骨14.6%、股関節6.6%であった(図2)。骨壊死が認められた群(DON+)と認められなかった群(DON-)間の各種項目の平均をt検定にて比較すると、年齢40.1±10.3歳 vs 36.4±11.7歳(p=0.013)、継続就業期間14.8±10.5年 vs 10.7±10.7年(p=0.006)、血中中性脂肪210.5±185.0mg/dl vs 152.3±118.8mg/dl(p=0.015)で有意差が認められた(表2)。職業別に発症率をみると最も高いのは漁業43.2%で2番目に高い土木24.1%の約1.8倍であった(表3)。漁業と土木の潜水について比較すると、潜水深度・作業圧力には有意差は無く(漁業:16.8±8.4m, 土木:18.3±7.3m(圧縮空気によるものは水深に換算)(p=0.2)、継続年数では漁業11.1±8.8年, 土木15.0±12.4年(p=0.019)であった。両者の作業条件で最も特徴が現れたのは、減圧の方法や潜水パターンであった。すなわち、減圧時に減圧表やダイビングコンピュータなどに従って適切な減圧手順を踏んでいるかどうかである。減圧管理の実施率は、土木が97.3%であったのに対して、漁業は16.3%であった。

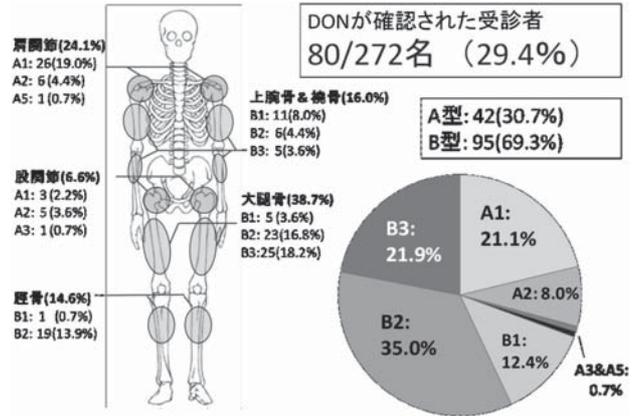


図2 DONの病型と発症部位

表2 各項目の比較 DON(+) VS DON(-)

項目	単位	DON(+)		DON(-)		P値
		n	平均±SD	n	平均±SD	
年齢	歳	80	40.1±10.3	192	36.4±11.7	*0.013
就業期間	年	71	14.8±10.5	167	10.7±10.7	**0.006
潜水頻度	日/年	16	145.6±91.6	37	174.1±82.1	0.271
平均深度	m	63	17.9±6.5	147	18.0±8.8	0.900
最高深度	m	75	43.5±48.3	168	41.2±37.4	0.718
血液検査結果						
総コレステロール	mg/dl	70	194.3±36.1	140	193.7±33.4	0.907
中性脂肪	mg/dl	75	210.5±185.0	143	152.3±118.8	*0.015
尿酸	mg/dl	69	5.7±1.4	104	5.8±1.1	0.676
血糖	mg/dl	73	98.6±34.1	115	91.0±26.4	0.107
血小板	x10 <sup>4</sup> /mm <sup>3</sup>	62	25.6±5.6	114	25.4±5.1	0.953

表3 職業別発症率

職業	DON(+)	DON(-)	受診者数
漁業	48 (43.2%)	63	111 (40.6%)
土木工事	21 (24.1%)	66	87 (32.1%)
調査	4 (12.9%)	27	31 (11.4%)
サルヴェージ	3 (25.0%)	9	12 (4.4%)
機械メンテナンス	(0.0%)	4	4 (1.5%)
不明	4 (14.8%)	23	27 (10.0%)
合計	80	192	272

さらに漁業を就業形態で、会社に所属する者と自営業者に分類して減圧管理の実施率を見ると、被雇用者(111名中18名)は100%、自営業者(111名中93名)は0%であった。土木潜水を行う者は全て会社に所属していた。

考察

減圧性骨壊死の発症原因としては川罵らの急性減圧症で死亡した4例の剖検と、ヒツジを用いた実験的骨壊死によって次のように考えられている。環境圧の

減圧によって長管骨の脂肪髄内に窒素気泡が発生し、それによって骨髓圧が上昇する。脂肪髄内の血流は遅いので窒素ガスの出入りが遅く、さらに骨髓腔は硬い皮質骨に囲まれた半閉鎖空間になっているため、骨髓圧が上昇し骨コンパートメント症候群が発生する。そのため血流と窒素ガスの流出が止まる。その結果、虚血状態となった骨組織で壊死が発生する。同時に凝固系の亢進に伴う血栓形成が増悪する<sup>2,3)</sup>(図3)。

DON発症群と非発症群の比較では、DON発症群において就業期間および年齢の平均値が高かった。就業年数と年齢は相関があると思われる、就業期間が長い、つまり高気圧環境への曝露回数が多くなるほど骨壊死の発症率が高くなると考えられる。血液検査で中性脂肪がDON群において有意に高かったことに関しては、窒素は脂肪細胞へより溶解しやすいことから、脂肪の多い者には高気圧環境で呼吸によって体内に取り入れた空気中の窒素が多く溶解し、図3に示すDON発症メカニズムにおいて発生する気泡の量が多くなるのではないかと推測することもできる。しかし、血液検査の数値は検査前の比較的短期間の生活習慣が大きく影響するため、血中中性脂肪とDONの発生に関連があると結論することには無理があるのではないかと考える。

職業によって発症率に差があったことについては、発症要因が作業内容そのものにあるのではなく、作業手順のコンプライアンスによるものではないかと推測する。高気圧作業ではDONだけでなく急性減圧症の発症リスクも潜んでいる。急性減圧症の予防には、体内

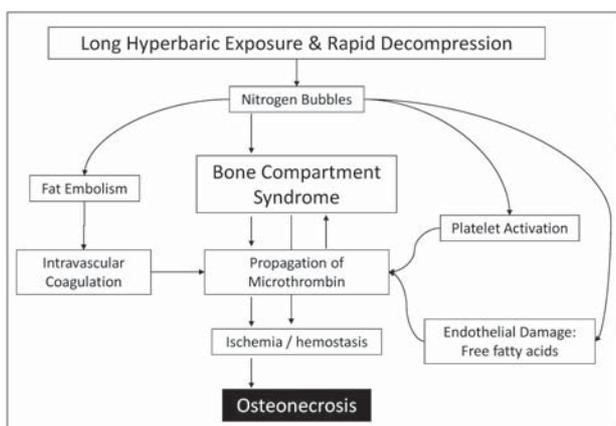


図3 減圧性骨壊死の発生メカニズム (1991 北野・川島)

の窒素を排出するために作業時間や圧力に応じて減圧に時間をかける必要がある。1日に繰り返して高気圧作業を実施する場合には窒素溶解量が累積するので、さらに慎重にならなくてはならない。今回の調査でDONが発見された80名のうち、減圧管理実施について調査し得たのが53名、うち39名(73.6%)は日常的に減圧管理を行っておらず、減圧管理を行っている者は14名(26.4%)であった。漁業潜水を行う者は、会社に所属している者と自営で行っている者に分類することができたが、自営業者は安全を犠牲にしてまで作業効率を優先する者が多く見られ、漁業者に高いDON発症率が見られた要因の一つであると考えられる。一方、きちんと減圧管理を行っていても24.1%のDONが確認されたことから、繰り返しの高気圧作業によって少なからず血流障害を生じているのではないかと推測する。

DONの報告は、Twynanが1888年に潜函作業者の大腿骨下端に発生した骨壊死を記載したのが最初で、我が国においても1959年に木下ら<sup>4,5)</sup>の報告がある。発症率に関する調査は、太田ら<sup>6)</sup>が潜水漁民189名を対象に行った集団検診の結果を1966年に報告している。太田らの報告ではX線撮影にていずれかの部位に何らかの骨病変を認めたものは69.3%(131/189名)であった。川島ら<sup>7)</sup>が1974年に報告した450例では59.5%(268/450名)にDONを認めた。宮西ら<sup>8)</sup>の56名の潜水士における調査では55.4%(31/56名)にDONが検出され、DON発症因子として凝血マーカーであるPAI-1と最大潜水深度が特に関わっていると報告している。津留崎ら<sup>9)</sup>は158名の潜水士の集団検診で44.3%(70/158名)にX線検査にて骨変化が認められた。津留崎らの調査は我々と同様にDON発症群と非発症群間を比較し、発症群で潜水歴が長く、発症部位は大腿骨頭で多く見られたと我々の結果と類似している。

これまでの報告に比べると、今回の我々の調査ではDONの発症率が低かった。この理由として調査の対象すなわち、集団検診と検診を希望して来院した者による違いがあるため一概には比較することができないが、水産資源の減少により潜水機会が減少したことや、土木技術の発展によって高気圧作業の労働環境

が改善したことなども発症率の減少の要因の一つであると推測する。当院では検診終了後にDONと急性減圧症に関する講義を行っている。我々の行ってきた検診と講習によって、高気圧作業者の意識が安全と健康に向いてくれれば幸いである。

DONは発症しても初期の段階では症状が現れることは無く、健康診断を受けない限り気付かないことが多い。さらに、発症していても直接X線撮影で病変が明確になるのは数年後であるとの報告もある<sup>10)</sup>。一旦発症した壊死骨は回復することは無く、陥没や変形まで進行すると疼痛や可動域制限などが症状として現れる。そうなると内反骨切りや回転骨切り、あるいは人工関節等の手術治療が余儀なくされる場合もある。継続して高気圧作業へ従事する者は定期的な検診を受け、もし検診で骨壊死が発見された場合でも直ちに就業を禁止する必要はなく、労働条件を変更したり定期的に経過を観察したりすることで健康生活水準の維持に役立つと考える。

## 参考文献

- 1) Ohta Y, Matsunaga H: Bone lesions in divers. *J Bone Joint Surg* 1974;56-B: 3-16.
- 2) 川瀧真人, 鳥巢岳彦, 加茂洋志: 急性減圧症の4剖検例の大腿骨頭病変について. *整形外科と災害外科* 1977;26: 172-175.
- 3) Kitano M, Kawashima M, Taya Y. et al: Histopathological analysis of dysbaric osteonecrosis experimentally induced in sheep. *United States-Japan Cooperative Program in Natural Resources. Proceedings of the 11th Meeting of the United States-Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Panel on Diving Physiology and Technology: Hakone, Shizuoka, September 26-27, 1991. Yokosuka; JAMSTEC. 1991; 36-47.*
- 4) 木下宏, 嶋孝, 古家慶三 他: 潜水病による変形性股関節症の13症例. *災害医学* 1959;2: 188-194.
- 5) 木下宏, 古家慶三, 中谷裕重 他: 潜水病による骨・関節の変化. *災害医学* 1963;6: 105-114.
- 6) 太田良実, 松永等, 松本道太郎: 潜水病と骨病変. *臨床整形外科* 1966;1: 455-467.
- 7) 川瀧真人, 鳥巢岳彦, 加茂洋志 他: 減圧症と骨関節の変化. *臨床整形外科* 1974;9: 18-28.
- 8) Miyanishi K, Kamo Y, Ihara H. et al: Risk factors for dysbaric osteonecrosis. *Rheumatology* 2006;45: 855-858.
- 9) 津留崎晋, 加茂洋志, 藤原稔史 他: 潜水士の骨病変—沖縄県石垣島における集団検診結果報告—. *日本職業・災害医学会雑誌* 2004; 52臨時増刊号: 162.
- 10) 眞野喜洋 (編著): 減圧症. In: 眞野喜洋 (編). *潜水医学*. 東京; 朝倉書店. 1992; pp193-236.