

第1部 減圧症

#1 減圧症とはなにか

Q1 減圧症とは？

気圧が下がったとき、体に溶解している気体（おもに窒素などの不活性ガス¹）が気泡化して発症する病気を「減圧症²」といいます。

減圧症は通常、一時的に高圧下に滞在したあと、大気圧に復帰したときに発生します³。高圧下では窒素が体にたくさん溶解するからです。

スキューバダイビングでは、ボンベに充填された空気を吸いながら水中で過ごします。水中では水圧がかかるため、圧力に相応した窒素が体に溶け込みます（図1-1）。浮上の際、気泡ができないよう、適切な速度で大気圧に復帰すれば減圧症は防げますが、一部でも窒素が十分排出されない箇所があると発生する可能性があります⁴。ダイビングにおいて減圧症が発生するおもな原因は、次の2つです。

- ① 窒素を体内に溜め込むこと：潜水深度が深く、潜水時間が長いこと
- ② 窒素が排出されないこと：減圧速度（浮上の速度）が適切でないこと

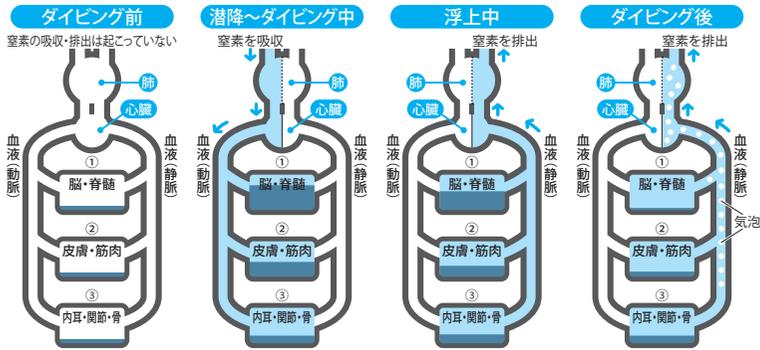


図1-1 窒素の溶解と排出のイメージ

①脳・脊髄は半飽和時間（組織に溶け込むことができる最大量の半分まで溶解するのにかかる時間）が短い組織、②皮膚・筋肉は半飽和時間が中くらいの組織、③内耳・関節・骨は半飽和時間が長い組織というイメージを持って考えるとわかりやすい。半飽和時間が短い組織ほど、ダイビング時に窒素が早く吸収され、ダイビング後、速やかに排出される。体内に溶けた窒素の移動は、医学的には、灌流（かんりゅう：おもに血液による移動）または拡散（おもに細胞から細胞への移動）という言葉で表現されることが多い。灌流と拡散は、流れる血液量とガス分圧の隔差などによって決まる。①>②>③の順で窒素は早く吸収され、①>②>③の順で早く排出される。排出される際、多くの窒素は溶解したまま肺まで運ばれるが一部は気泡化して肺に到達し、毛細血管に捕らえられ呼吸として排出される。一定の深度（圧力）に2～3日滞在すると、①、②、③はほとんどすべて飽和する。

1：窒素は、本来、完全な不活性ガスではないが、呼吸ガスとして体内に取り込まれたあと、タンパク質などの生成には関わらないため、呼吸代謝過程としては不活性といえる。ヘリウムを含むガスを吸入して潜る場合は、ヘリウムが気泡化して減圧症を発症することもある。

2：減圧症（DCS：decompression sickness）

3：超高圧下に長時間滞在すると減圧中にかかることもある。

4：減圧症を発生させる生理的なメカニズムには、気泡による物理的な組織の傷害や血管閉塞による虚血だけでなく、気泡などによる血管内皮障害（血管の内側の細胞が傷つくこと）¹⁾⁻¹⁾、気泡発生とその後の消失による虚血再灌流障害（血液の流れが閉ざされたあと、血流が再開したことによって障害を受けること）、気泡（異物）が血液に作用することによって生じる凝固系（血液を固める作用）の亢進、および血管内皮を傷つけることによって生じる線溶系（血液を溶かす作用）の亢進（いくつかの線溶系物質は血管内皮から放出される）、血小板が活性化¹⁾⁻²⁾されることによって生じる血液凝固と線溶の変化、その他、白血球（好中球など）の活性化^{1)-1), 1)-3)}、補体活性の変化¹⁾⁻⁴⁾、熱ショックタンパクの遊出¹⁾⁻⁵⁾なども関係することが知られている。動脈ガス塞栓（⇒Q13）についても同様の機序が関係する。

5: 気体などが、ある物質（ヒトなど）にもうこれ以上溶け込まない状態のこと（体内の窒素分圧と周囲環境の窒素分圧が平衡して、吸収も排出もされない状態）。

6: 高度3,000m台相当圧の減圧でも発症したケースがあるとの報告があるが、一般に必要な最小高度は21,200フィート（約6,500m）とされている。

7: 地下鉄や橋脚などを造る際、加圧した環境内で行われる作業。

8: 減圧障害（DCI：decompression illness）

9: 動脈ガス塞栓（AGE：arterial gas embolism）

10: 空気塞栓症は、静脈内の空気塞栓も含む。高濃度酸素などが動脈につまった場合も、ガスの組成が空気とは異なるため空気塞栓とはいわずガス塞栓という。

一方まれには、高圧下に滞在しなくても減圧症が発生することがあります。私たちは、通常、約1気圧の大気圧下に窒素が飽和⁵した状態で生活しています。そのため、周囲の気圧が急激に下がると、体に溶けていた窒素が気泡化してしまうのです。航空機（空軍）のパイロットなどでは、急激な大気圧の低下（高度6,000m以上の急速な減圧⁶）によって減圧症が発症することがあります。

Q2 潜水病と減圧症は同じ？

「潜水病」という言葉をよく耳にしますが、使い方を間違えると誤解のもとになるので、まずは、語意について整理しておきたいと思います。

① 潜水病：

ダイビング後の体調不良を一括して表現する言葉で、正式な医学用語ではありません。減圧症以外の症候（症状や病態）も含んで使用されることが多く、病気を正確に表しているわけではありません。

② 潜函病^{せんかん}：

おもに圧気土木作業⁷で発症する減圧症のこと。最近はこの語が使われる頻度が減りました。

③ 潜水障害：

ダイビングがきっかけで発症する障害の総称。減圧症はもちろん、耳や副鼻腔などのスクイズ、肺気圧外傷、水中環境やダイビング器材が原因で発生した障害すべてを含む言葉（総称）です（表1-1）。

④ 減圧障害⁸：

減圧症と動脈ガス塞栓を総称した病名。両者が合併したとき、またはどちらの病気が明確でないときに使われます。

⑤ 動脈ガス塞栓⁹：

動脈内に気泡が生じて、脳などの血管が閉塞する病気。エアエンボリズム（air embolism：空気塞栓症）¹⁰とよばれることもあります。脳動脈ガス塞栓を発症すると脳梗塞と同様の症状が現れます。

表 1-1 おもな潜水障害

加圧時に生じやすい潜水障害	<ul style="list-style-type: none"> (1) スクイズ：中耳腔スクイズ、外耳道スクイズ、副鼻腔スクイズ、マスクスクイズ、ウェットスーツスクイズまたはドライスーツスクイズ (2) 鼓膜穿孔（中耳腔スクイズや外耳道スクイズによる） (3) 外リンパ漏
減圧時に生じやすい潜水障害	<ul style="list-style-type: none"> (1) リバースブロック：中耳腔リバースブロック、副鼻腔リバースブロック (2) 鼓膜穿孔（中耳腔リバースブロックや外耳道リバースブロックによる） (3) 肺過膨張症候群：肺気圧外傷（気胸、縦隔気腫、皮下気腫）、肺気圧外傷または肺過膨張による動脈ガス塞栓 (4) 動脈ガス塞栓（肺気圧障害または肺過膨張以外の原因によるもの） (5) 消化管穿孔（消化管内ガスの膨張による胃または腸の破裂）
加減圧変化と必ずしも関係のない潜水障害	<ul style="list-style-type: none"> (1) 窒素酔い（多くは水深30m以上） (2) 二酸化炭素蓄積性頭痛（ダイビング後半に多い） (3) ガス中毒：酸素中毒、二酸化炭素中毒、一酸化炭素中毒 (4) 酸素欠乏（エア供給不足） (5) パニック (6) 過換気症候群（深場のほうが発生しやすい） (7) 寒冷頭痛（冷水下ダイビング時の潜降直後） (8) 波酔い（浅い深度で発生しやすい） (9) 海洋生物による刺毒 (10) 外傷：ボートとの接触など
ダイビング後に発症しやすい潜水障害	<ul style="list-style-type: none"> (1) 減圧症 (2) 動脈ガス塞栓

Q3 体内の窒素が気泡になりやすいのはなぜ？

空気中の気体（窒素や酸素など。図 1-2）は、周囲を取り巻く環境圧（気圧）に応じて体内に溶け込みます。ダイビング中など、気圧が高い環境で空気を吸った場合、酸素は体に取り入れられても消費され二酸化炭素として排出されます¹¹。しかし、窒素は体で消費されないため溜まり続けます。スクーバダイビング中は、ボンベの空気を水圧がかかった環境で吸いますから（図 1-3）¹²、深く潜れば潜るほど高圧で密度の高い空気を吸うことになり、水中に長く留まれば留まるほど、窒素が体内に蓄積されることとなります。

一方、浮上時は、ダイビング中に溶けた窒素が、少しずつ体内から排出されます。わずか数十分ほどのダイビングでも、すべての窒素が排出されるには何時間もかかります（図 1-4）。その間、気泡が生じて組織につまってしまうと減圧症が発症してしまいます。

11：肺に取り込まれた酸素の70～80%はそのまま排出される。体内に取り込まれた酸素も、最終的にすべてが二酸化炭素になるわけではなく、数%は、活性酸素にもなり、減圧に際して気泡化することもありうる。

12：水中では、レギュレータを介してボンベの空気を吸うが、吸気時、気道に入ってくる空気圧は周囲の環境圧と等しいので水圧を感じることはない。肺やその他の部位もスクイズを起こさない限り圧を感じることはない。

減圧症

13：空気などの混合気体において、それぞれの気体成分の圧力を分圧という。空気1気圧では、窒素が0.78気圧、酸素が0.21気圧である。

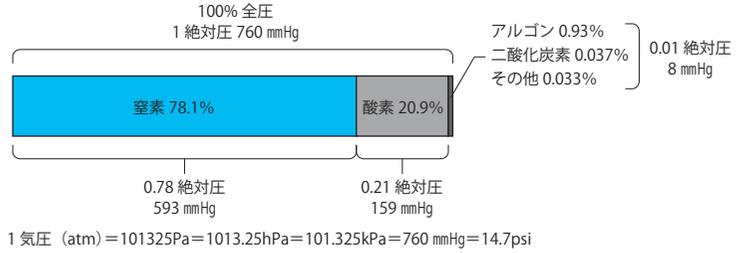
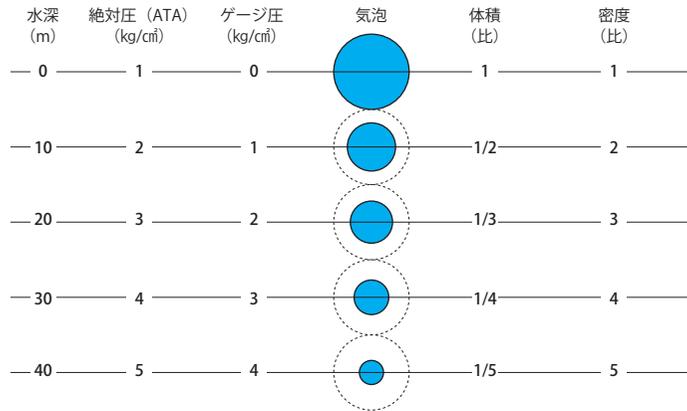


図 1-2 空気の組成と分圧¹³



大気圧 + ゲージ圧 = 絶対圧 (ATA = atmosphere absolute)

図 1-3 水深と気体の体積

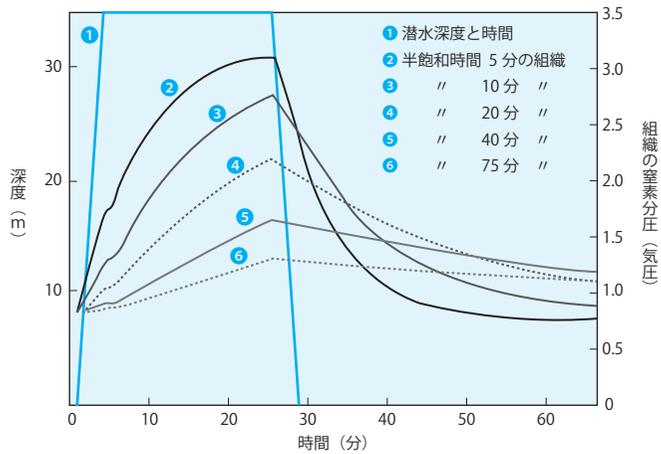


図 1-4 窒素の溶解と排出^{1-6), 1-7)}

体内の窒素分圧は、ダイビング中もダイビング後も、組織によって増減速度が異なる。この違いはおもに組織の血流によって生じる。図中の曲線は半飽和時間の異なる5つの組織の窒素分圧変化である。半飽和時間とは、組織に受け入れる最大量の半分まで溶解するのに要する時間。また、組織の窒素分圧が、ダイバーを取り巻く環境の窒素分圧を超えること（平衡状態を超えること）を過飽和という。水面に浮上するとすべての体内組織の窒素分圧が過飽和状態になる。人体はある程度までの過飽和状態に耐えうるが、限界を超えると気泡が形成され、減圧症が発症する。このガス曲線は、組織における窒素の出入りを簡単に示しただけで実際は非常に複雑である。

(1) 窒素の溶解（吸収）と排出

窒素の吸収と排出は、おもに肺で行われます。ダイビング中、肺に取り込まれた窒素は血液に溶け、神経、骨、筋肉、皮膚など、体のほとんどの組織に分配され溶解します。一方、浮上中は全身の窒素が再び血液によって肺まで運ばれ、呼吸によって排出されます。このとき、窒素は必ずしも血液に溶けたまま肺まで運ばれるわけではなく、気泡化して運ばれることもあります。ダイビング後、心臓に超音波（エコー）をあてると、心臓内に流入してきた気泡を観察できることがあります。

14：減圧症などの症状を起こさない気泡はサイレントバブル（silent bubble：無症候性気泡）とよばれている。

(2) 気泡の排出

ダイビング後、血管内（全身から心臓に戻ってくる静脈内）に気泡が見つかってすぐ減圧症が発症するわけではありません。一般に、心臓に流れてきた気泡は、肺動脈を通過して肺に運ばれ、肺毛細血管に捕らえられ呼吸として排出されます¹⁴。しかし、肺の血管に気泡が短時間のうちに過剰につまると、排出が間に合わず息が苦しくなり胸痛が現れることがあります。減圧症で発生する気泡の多くは血管外にできているとされていますが、このような肺症状を発生させる気泡塞栓も減圧症に含まれています（⇒p14）。

Q4 気泡ができやすいのはどんなとき？

気泡は、温度が上がり、減圧され、振動や衝撃が加わると歪な箇所から発生しやすくなります。これらの現象は炭酸飲料にたとえると理解しやすくなります（図1-5）。

- ① 炭酸飲料を温めると、溶解できる気体の量が減るため気泡は発生しやすくなる（温度上昇による気泡発生）。
- ② 蓋を開けた（ビン内の圧力が下がった）瞬間、あふれるほどの泡が発生する（減圧による気泡発生）。また、ビンの口を密封し振ると、再び口を開放したとき、さらに多くの気泡が発生する（振動による気泡発生）。
- ③ グラスにつぐときに大量の泡が発生する（衝撃による気泡発生）。
- ④ その後、コップの内表面にキズや汚れが付いている箇所から持続的に泡が作られる（歪な箇所からの気泡発生）。

温度が上昇して気泡が発生する現象は、ダイビングでは、エグジット後、冷えた体を熱いシャワーで温めたときにみられます（減圧症が発生しやすくなることを示した報告がある。⇒P121）。また、ビンを振ったりコップについだ振動や衝撃は、ダイビング後の作業や運動を意味し

15: 椎間板ヘルニアで圧迫された脊髄、脳腫瘍、脊髄腫瘍など、組織が歪になり、血流障害または神経障害に陥った箇所には気泡はできやすい。2つまたは3つの病因（病気）が重なると症状が現れる現象をダブルクラッシュ¹⁻¹⁴またはトリプルクラッシュ¹⁻¹⁵とよぶ。減圧症においても、症状が現れる一歩手前の病変（持病）に気泡が発生して、症状が顕性化あるいは重症化することがある。減圧症の治療を施しても速やかに軽快しない場合は、基礎疾患を疑う必要がある。

16: 気泡が発生するキズをガスポケットとよぶこともある。ガスポケットに入り込んでいる溶解ガスは、ある種のタンパク質によって安定化している（気泡にならない）ともいわれている。しかし、体液が動いたり、筋肉が動いたりすると、ガスポケット内に圧力の低い箇所（陰圧）が生じ、気泡ができる可能性がある。これらのメカニズムは、激しい運動後に気泡（超音波ドップラー検査で心臓内に検出されるサイレントバブル）が発生し、減圧症発症率が上がる理由として理解されている。アガロースゲルを使った実験では、非常に高い圧力に曝されるとガス核が減少し（破壊され）、そのあとの圧曝露後には気泡が発生しにくくなることが確認されている（定期的なダイビングがガス核を減少させるのではないかと考えられるが、今のところ明確なデータがない）。

ます（ダイビング後の運動は静脈内の気泡発生量を増加させる報告がある）。ガラスのキズから気泡が発生する現象は、体の病変部（組織が歪になっている箇所）に気泡が発生しやすいことに似ています^{15,16}。

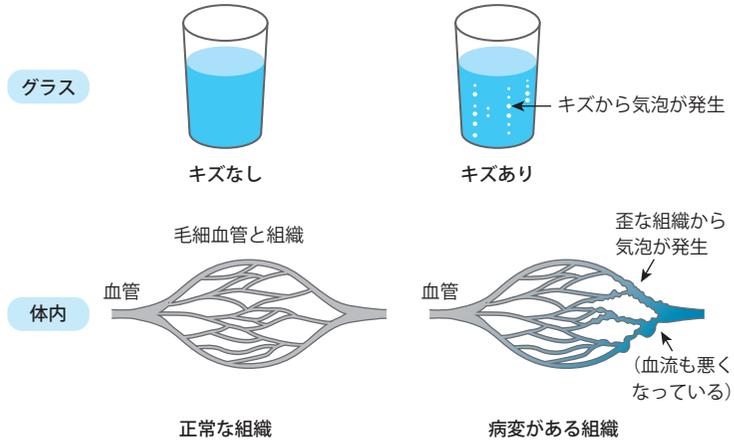


図 1-5 ガス核^{1-8)~1-13)}

キズや歪（いびつ）な組織が気泡の発生源（ガス核）になる。

#2 症 状

Q5 よくみられる減圧症の症状は？

減圧症の原因となる窒素は体のすべての組織に溶け込むため、症状は多彩です。減圧症の多くは、図2-1に挙げた症状のいずれかまたはいくつかが組み合わさって現れます²⁻³⁾。

たとえば、潜水時間が比較的長いダイビングでは、関節や内耳^{ないじ}など、血液の流れが少ない組織の症状が現れやすくなります。関節であれば関節痛⁽¹⁾¹⁾、内耳であれば回転性めまい⁽⁵⁾、浮動感⁽²²⁾、吐き気⁽⁸⁾などです。一方、深い深度に短時間潜って急浮上したときは、脊髄^{せきずい}などの中樞神経症状（手足のしびれ感⁽²⁾²⁾など）が現れやすくなります。

発生した気泡の量によっても重症度や症状が異なります。とくに、手足のしびれ感⁽²⁾や皮膚のピリピリ感⁽⁹⁾などの神経症状は、軽症例では現れたり消失したりすることがあります。気泡が脊髄のあちこちに少しずつできた場合は、ピリピリ感が体をぐるぐる回るような気がすることもあります。

1: 関節痛を起こす気泡は、おもに関節周囲の靭帯（関節と関節をつなぐ組織）と腱（筋肉の付着部）にできると考えられている。

2: 本書では、知覚（感覚）障害としてのしびれを「しびれ感」、知覚障害と運動機能障害の両者を含むときを「しびれ」と記している。運動機能障害だけを表すときはしびれという言葉は使っていない。

症状 割合

① 関節痛	40.5%
② 手足のしびれ感	34.7%
③ 痛み(関節・筋肉・頭・胸以外)	14.0%
④ 全身のだるさ	12.4%
⑤ めまい(視野がぐるぐる回る感じ)	11.6%
⑥ 筋肉痛	11.6%
⑦ 筋力低下	7.4%
⑧ 吐き気	6.6%
⑨ 皮膚のピリピリ感	5.8%
⑩ 触った感覚が鈍い	5.8%
⑪ 皮膚の違和感	5.0%
⑫ 頭痛	4.1%
⑬ 皮膚のかゆみ	3.3%
⑭ 頭が覆われた感じ	2.5%
⑮ 頭のぼへつとした感じ	2.5%
⑯ 腕や脚の圧迫感	2.5%
⑰ 胸痛	2.5%
⑱ 息切れ	2.5%
⑲ 皮疹	2.5%
⑳ 複視(二重に見える)	2.5%
㉑ 腕や脚が重い	1.7%
㉒ 浮動感(ふわへつとした感じのめまい)	1.7%
㉓ 冷感(皮膚が冷たい感じ)	1.7%

0.8%

- ㉔ むくみ
- ㉕ 眠け
- ㉖ 筋肉のはり
- ㉗ ぼやへつと見える
- ㉘ 立ちくらみ
- ㉙ 筋肉のつり
- ㉚ ふるえ
- ㉛ 顔面蒼白
- ㉜ 難聴
- ㉝ 耳鳴り
- ㉞ 触った感じが過敏
- ㉟ 動悸
- ㊱ 尿が出にくい
- ㊲ 便が出にくい
- ㊳ 不器用になった
- ㊴ ときどき物を落とす
- ㊵ 物をうまく取れない
- ㊶ 歩きづらい
- ㊷ つまずきやすい
- ㊸ 階段の昇り降りがしづらい
- ㊹ 記憶力の低下
- ㊺ 考えがまとまらない
- ㊻ うつ状態
- ㊼ 意識レベルの低下
- ㊽ 視力低下
- ㊾ 焦点が合わない
- ㊿ 物の大きさや間隔を正しく認識できない

協調運動障害
 図 2-1 には記載されていないが、協調運動障害がみられることもある。おもな症状は、上肢では、思わず握っている物を落とす、お箸がうまく使えない、字が下手になる、不器用になるなどで、微細な運動機能低下が現れる。下肢では、階段の昇り降りがしづらく、つまずきやすい、歩行が不安定になるなどがある。つねに現れている症状でないため気付きにくい。小脳(ときに大脳や脊髄)に気泡ができたときに発生する。

痛みの特徴
 ① 関節痛：同じ深度に長時間潜る作業ダイバーは強い痛みを感じることもある。レクリエーショナルダイバーは長時間潜ることが少ないため、痛みは軽いが複数箇所現れる傾向がある。対称的に現れることは少ない。
 ③ 痛み(関節・筋肉・頭・胸以外)：痛みを感じる部位に気泡があるか、その部位を支配する神経に気泡があるか明確でないことがある。
 ⑥ 筋肉痛：肩の周囲、上腕(二の腕)、前腕(肘より末梢)、大腿(太もも)、下腿(ふくらはぎ)などによくみられる。⑯ 腕や脚の圧迫感、⑳ 筋肉のはり、㉑ 筋肉のつりなどの症状を伴うこともある。
 ⑫ 頭痛：⑭ 頭が覆われた感じ、⑮ 頭がぼへつとした感じなどの症状を伴うこともある。
 ⑰ 胸痛：⑱ 息切れとともに現れることが多い。痛みはおもに胸の中央付近にみられ、重症例では息が苦しく酸素を吸入しないと意識を失うこともある。(⇒Q8)

神経症状の特徴
 皮膚の感覚的な症状(知覚障害)：② 手足のしびれ感、⑨ 皮膚のピリピリ感(ジンジンなどの感覚も含む)、⑩ 触った感覚が鈍い、⑪ 皮膚の違和感、⑯ 腕や脚の圧迫感、㉓ 冷感、㉔ 触った感じが過敏などもある。多くは脊髄などの中枢神経が傷んだときに現れ、上肢のほうが下肢の2倍程度現れやすい。手足(四肢)の末梢ほど、現れる頻度が高く知覚障害の程度も強い。通常、末梢から中枢に向かって悪化する。
 運動機能障害：単独または手足のしびれ感とともに現れ、④ 全身のだるさ、⑦ 筋力低下、㉑ 腕や脚が重い、㉒ ぶるえとして自覚される。しびれ感と同様、脊髄や脳などの中枢神経に気泡が生じたときに現れる。
 自律神経の障害：頭の血圧が下がり、㉘ 立ちくらみ、㉙ 顔面蒼白、㉚ 動悸などの症状がみられる。(⇒Q7)

めまいの特徴
 脳や内耳に気泡ができたときに発生し、回転性の⑤ めまい、㉒ 浮動感、自律神経障害による㉘ 立ちくらみなどがみられる。脳性のめまいでは、運動機能障害もみられることがあり、内耳性のめまいでは、㉚ 難聴(聴力低下)や㉝ 耳鳴りを伴うこともある。いずれのめまいも、⑧ 吐き気や平衡障害(片足立ちできないなど)を伴うことがある。(⇒Q9、Q71)

皮膚症状の特徴
 ⑬ 皮膚のかゆみなどの自覚症状と、見た目でも確認できる⑲ 皮疹がある。
 ⑨ 皮膚のピリピリ感、⑪ 皮膚の違和感、⑬ 皮膚のかゆみといった症状は、気泡が皮膚だけでなく、脊髄にできたときにも現れる。(⇒Q10)

むくみの特徴
 重症例は体幹、軽症例は四肢にみられることが多く、通常、腫れの程度に左右差がある。気泡がリンパ管やリンパ管に影響して、リンパ液の流れが悪くなったときに発生すると考えられる。

目の症状の特徴
 ㉔ 複視、㉗ ぼやへつと(かすんで)見える、㉙ 焦点がすぐに合わず凝視するとゆっくり合ってくるなどの症状が現れることがある。脳(おもに小脳)や目を支配する神経に気泡ができたときにみられる。

図 2-1 減圧症の自覚症状(％：減圧症患者121名に対する割合)_{2-1)~2-2)}
 症状は重複してみられることが多い。