

## ● 総 説

## 古典的減圧理論の展開

## I : 最初の改訂減圧表まで

池田知純\*

キーワード：減圧理論，減圧症，潜水医学

**The development of classic decompression theory  
I : To the first revision of the decompression  
table**

\*Tomosumi Ikeda

\*Division of Environmental Medicine, National  
Defense Medical College Research Institute**Keywords :**decompression theory  
decompression sickness  
diving medicine

## 緒 言

減圧症に罹患しないためにはどの程度の速度で減圧浮上するのが望ましいかを見いだすための理論が減圧理論であるが、本邦に於て減圧理論の展開を判りやすく記した論文は、管見の限りでは殆ど認められないのが現状である。そこで、今回、日本で最も広く使われている米海軍標準空気減圧表（以下標準減圧表とする）がどのような理論に基づいて如何にして開発されていったのか、その概要及び問題点等を三部に分けて記すことにする。本稿では減圧表の最初の改訂に至るまでを示す。

なお、減圧理論に関する文献の多くが米海軍実験潜水部隊の報告書等いわゆる政府刊行物である

ために入手が簡単ではなく、また人を対象とした実験であることから実験の計画と実施が輻輳していること、及び筆者の理解力の不足等によって、減圧理論の発展の跡を確実にたどることは容易ではなく、どうしても若干の推量が生じることを了解していただきたい。また、ここに述べる古典的減圧理論は主に米海軍と英海軍によって発展してきたので、圧力単位としてはフィート (ft) を使うことにする。1気圧は33ftであるが、それが絶対圧力なのかゲージ（計器）圧力なのかははっきりしないことがあるので注意しなければならない。大気圧はゲージ圧力では0ft、絶対圧力では33ftである。

## ホルダーン教授による最初の科学的アプローチ

それまで、単に経験とカンに基づいて実施されてきた減圧方法に対して、最初に理論的なアプローチを行い大きな成果を挙げたのは、英国のホルダーン (J.S. Haldane) 教授である。即ち、コンプレッサーや潜水用ヘルメット等のハードウェアが目覚ましい発達を遂げるに従って、潜水深度や滞底時間（本稿では潜降開始から浮上開始までのいわゆる bottom time を滞底時間とする。日本の潜水士テキストで言うところの在底時間とは異なる）が飛躍的に大きくなり、それに伴って必然的に減圧症に罹患する潜水員の数も増加していった。英海軍では、このような状態は無視できないとして、1906年、当時の著名な生理学者ホルダーン教授に有効な減圧法を確立するように委嘱した。その成果は1908年に英国の衛生学雑誌に発表されたが<sup>1)</sup>、これが現在まで続く減圧法の研究の

\*防衛医科大学校防衛医学研究センター異常環境衛生研究部門

嚙矢となるものである。但し、実際にどのようにして計算したかは示されておらず、またここに記された減圧表が後述の2:1の原則に正確に従って制定されたものではないことにも留意しておかなければならない<sup>2)3)</sup>。

それはともかく、研究に当たっては、まず最初に研究にふさわしい動物を探すことから始めなければならなかった。それは、周知のように、減圧症への感受性は動物の種によって異なり、総じて小さい動物ほど減圧症に罹患しにくく<sup>4)7)</sup>、かつ減圧症の症状は重症でない限り他覚的に判断可能なものは少なく、殆どは四肢の痛み等の自覚的の症状であるからである。教授は実験動物として人間に比較的近い、と言っても人間の約1/3程度の大きさの山羊を用い、痛みのために後ろ足を持ち上げる等の動作によって減圧症に罹患しているか否かを判断した。

実験は、山羊を2時間前後(当時は約3時間で山羊の組織は不活性ガスで飽和されるものと思われていた) 高压下に曝露した後に、急速に低い圧力に減圧して、減圧症に罹患するか否かを観察することによって行われた。その結果、2絶対気圧相当深度から大気圧まで、4気圧から2気圧まで、6気圧から3気圧まで減圧しても、山羊は減圧症に罹患しないということが明らかになった。そして、これらの結果を敷衍して絶対圧力で半分の圧力までは減圧症に罹患することなく減圧浮上できるのではないかと考えたのである。

これを組織内の不活性ガス分圧と環境圧力との関係で見ると、空気中の窒素は79%であるので、2気圧下で飽和した場合の窒素分圧は $0.79 \times 2 = 1.58$ 気圧となって、環境圧力の1気圧の1.58倍までは安全に浮上できることになる。4気圧から2気圧の場合も $0.79 \times 4 : 2 = 1.58$ となってこの値は変わらない。このような圧力の比のことを許容比 (allowable ratio) といい、これから述べるように許容比を深度や半減時間(後述)によって変えることにより減圧表を改良改善してきたわけである。ただし、なぜ山羊に於ける許容比をそのまま人に適用できると考えたのか筆者には未詳である。

なお、許容比にはこのように環境の絶対圧力そのものの比を言う場合と、組織内不活性ガス分圧と浮上後の環境絶対圧力の比を言う場合があるの

で、混乱しないように注意しておかねばならない。本稿では二つをはっきりと区別する場合には前者を許容絶対圧力比、後者を許容過飽和比ということにする。

では、教授はこの現象を説明するのにどのような数学的処理を行ったのであろうか。以下に示す。

考え方の基本は次のようになっている。即ち、生体が新しく高压下に曝露された場合、血液が肺毛細血管を通る短い時間の間にその環境圧力下で血液に溶解得るガスがすべて血液内に溶解込み、血液内に存在するガスの量が増加するとみなす。次に、こうして不活性ガスを多く含んだ血液は末梢の組織に運ばれ、新しく増えたガスはすべて末梢の組織に移動してそこに残り、その結果、組織内のガスの量が増える、別の言葉で言えば組織内のガス分圧が上昇するようになる、と考えたのである。

これを数式で表すと次のようになる。血中の不活性ガス分圧、組織の血流量及び血液と組織における溶解度を以下のようにすると

$$\text{動脈内不活性ガス分圧: } P_a$$

$$\text{静脈内不活性ガス分圧: } P_v$$

$$\text{組織内不活性ガス分圧: } P_{tis}$$

$$\text{組織血流量: } B$$

$$\text{血液溶解度: } \alpha_b$$

$$\text{組織溶解度: } \alpha_{tis}$$

不活性ガスが組織内に取り込まれる速度は  $B \cdot P_a \cdot \alpha_b$ 、不活性ガスが組織から取り去られる速度は  $B \cdot P_v \cdot \alpha_b$  で表されるので、不活性ガスが組織内に蓄積していく速度  $P_{tis} \cdot \alpha_{tis}$  は

$$P_{tis} \cdot \alpha_{tis} = B \cdot \alpha_b (P_a - P_v)$$

で表される。

ここで  $B \cdot (\alpha_b / \alpha_{tis})$  を  $K$  とすると

$$dP_{tis}/dt = K (P_a - P_v)$$

となる

さらに、ここで組織と血液の間に拡散による障害がなく、血液内のガスが速やかに組織に移行すると仮定すると、 $P_v = P_{tis}$  と見なしてもよいので、この式は次のように書き表される。

$$dP_{tis}/dt = K (P_a - P_{tis})$$

これを解いて、

$$P_{tis} = P_0 + (P_a - P_0) (1 - e^{-Kt})$$

が得られる ( $t = 0$  のとき、 $P_{tis} = P_0$  とする)。

ここで、 $P_{tis}$  は時間  $t$  の関数なので  $P_t$  とし、 $P_t$  が

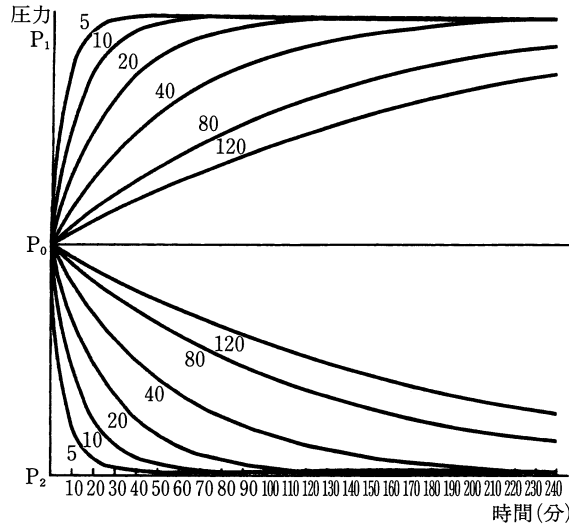


図1 各半減時間ごとの不活性ガスの取り込みと排出。縦軸は組織内のガス分圧、横軸は経過時間(分)を表し、元の圧力  $P_0$  から高い圧力  $P_1$  あるいは低い圧力  $P_2$  への不活性ガスの移行の状況を示す。図中の数字は半減時間(分)である。(池田知純 (1995)<sup>8)</sup>から引用)

$P_a$  と  $P_0$  の中間の値を示すところ、即ち  $P_t - P_0 = 0.5 (P_a - P_0)$  となるところの  $t$  を  $T$  とすると

$$(P_a - P_0) (1 - e^{-K \cdot T}) = 0.5 (P_a - P_0)$$

これを解いて、 $K = -\ln 0.5 / T = 0.693 / T$  を得る。

$T$  は半減時間ないし半飽和時間という言葉でも表されるので、 $t$  時間(分)経過後の組織の不活性ガス分圧は固有の半減時間  $T$  に応じて

$$P_t = P_0 + (P_a - P_0) (1 - e^{-(0.693/T) \cdot t})$$

として書き表すことができる。式の展開の詳細は別稿<sup>8)</sup>を参照されたい。

加圧と減圧の差異は上式の  $P_a - P_0$  が正であるか負であるかの違いに過ぎず(ときに減圧の際にもこの値が正の値をとることがあるが大きな影響はない<sup>9)</sup>)、ガスの取り込みと排出は同じ速度でなされることになる。したがって、本稿ではこれを減圧計算の基本式とする。図1に各半減時間ごとのガスの取り込みと排出の様相を示しておく。

なお、ホールデン教授は考慮しなければならない最も長い半減時間として75分という値を挙げたが、これについて説明を加えておく。

原著によれば、山羊を高圧下に一定時間曝露し

た後に減圧させて減圧症に罹患する割合をみる実験を行った際、曝露時間が3時間を超えてもその割合が増加しなかったことから、山羊は3時間で飽和すると考えたのである。すると、当時は半減時間の4倍経過した状態、すなわち  $(1 - 0.5^4) \times 100 = 94\%$  飽和した状態で実質上は飽和したとみなしていたので、もっとも長い半減時間は  $3 \div 4 = 0.75$  時間、つまり45分になる。一方、山羊の体重当たりの呼吸量はヒトの  $5/3$  倍であるが、不活性ガスが生体に溶け込み排出する速度は呼吸量に反比例し、逆に組織の側から見ればガスの出入りに要する時間は呼吸量に比例すると考えられたので、ヒトにおける最長の半減時間は  $45 \times 5/3$  から75分という値が導き出されたわけである。

この説明はワークマン (R.D. Workman) の報告書<sup>10)</sup>の記載とは微妙に異なっているので留意されたい。ワークマンによれば、人の体からガスが完全に排出されるまでに7時間半を要すると考えられており、そこから75分の半減時間が導き出されたようにされている(完全に排出されるといっても、実際には半減時間の6倍の時間で排出された状態、つまり  $(1 - 0.5^6) \times 100 = 98.5\%$  排出され

た状態を完全に排出されたものとみなした。そうすると、 $75\text{分} \times 6 = 7.5\text{時間}$ で完全に排出されることになる。

### 最初の減圧表：C & R テーブル

さて、ホールデー教授は先に述べたように、許容絶対圧力比 2 : 1 (許容過飽和比では 1.58) の概念を用いて減圧表を制定した訳であるが、それらは次の三つの減圧表に分けることが出来る<sup>16)</sup>。第一の減圧表は減圧時間 30 分までの潜水中であり、第二の減圧表は 30 分以上の減圧時間を要する潜水のためのもので、潜水深度は 206ft までとなっている。さらに第三の減圧表として深度 330ft (100m) までの減圧表も開発された由である<sup>9)</sup>。

それらの減圧表のうち、第一と第二はホールデー教授のグループによる原著に記載されており、またより細かく分類した曝露時間ごとの減圧表もヘンブルマンの総説に記されているので、詳細はそちらを参照されたい。この減圧表の特徴は、現在の減圧表に較べて深い深度に第一減圧点が設けられており、その割に浅いところでの停止時間が少ないことである。

第三の減圧表は筆者の手元にはないが、基本的にはこの減圧表によって減圧されたと思われる 1915 年に実施された潜水作業の報告<sup>11)</sup>があるので記しておく。それは米海軍の沈没した潜水艦 F-4 の救難サルベージ潜水におけるもので、最大深度 306ft にも達する空気潜水である。その内の一つを示すと、4 分かけて 275ft まで潜降、海底で 19 分作業し (滞底時間としては 23 分になる)、最初の減圧点 90ft まで 5 分かけて浮上、その後 10ft ごとに浮上し、結局減圧に総計 2 時間を要している。これは現行の標準減圧表による減圧時間 1 時間 53 分に較べて却って長い第一減圧点は 30ft 深い (標準減圧表では 60ft)。但し、この第一減圧点の深度の求め方は理論とは大きくはずれている。第一減圧点は深度 306ft の潜水でも変わらず 90ft となっているので、深度 300ft 絶対圧力 333ft の潜水を考えてみる。許容圧力比を 2.3 とすると、特に減圧点を設けることなくまっすぐ浮上できるもっとも浅い深度の絶対圧力 P は、 $333 : p = 2.3 : 1$  から 145ft、ゲージ深度として 112ft が導き出される。ところが、当時の海上模様が悪かったために、潜

水員にとって最も安全な減圧は第一減圧点をより浅くしてできるだけ速く浮上させることだ、という考えから、減圧点を飛ばして 90ft にした訳である。このように当時の潜水作業はおおらかであったことがうかがわれるが、理論的には本来の第一減圧点深度は実際に実施された深度 90ft よりもさらに深いことになる。

このようにして深度 306ft の空気潜水が行われた訳であるが、現在の目から見て当然興味深いのは、果たして減圧症に罹患することなくこのような深い潜水から無事浮上できたのかどうかである。結果は、2 名ほどが減圧症に罹患したものの、再圧治療によって後遺症を残さず浮上できたとされているが、そのとおりか否か疑問である。特に、潜水番号 4 の潜水では、潜水員を浮上させるのに四苦八苦しており<sup>11)12)</sup>、骨壊死等の後遺症を全く残さず浮上できたとは考え難いのが実状であろう。

なお、ここに記したように、ホールデー教授によるこの減圧表において実際に採用された許容絶対圧力比は 2 : 1 ではなくて、それよりもかなり大きい 2.3 程度にも昇るようである<sup>9)</sup>。これは、次に述べるホーキンス (J.A. Hawkins) による米海軍減圧表の見直しの報告の中でも述べられている<sup>2)</sup>。

ホールデー教授の考えに基本的に基づく減圧表は英海軍では British Admiralty Table (英国海軍省減圧表) と呼ばれ、米海軍では the Bureau of Construction & Repair Table (海軍建造修繕局減圧表：C & R Table と略称される) と言われて、次のヤーボロー・テーブルが導入されるまで使用されてきたのである。因みに、日本でも基本的にはこの減圧表に基づくと思われる減圧法を帝国海軍が採用している (山田稔：未公刊資料及び海軍潜水教範<sup>13)</sup>による)。

### 最初の見直し：ヤーボロー・テーブル

このようにして開発された減圧表を採用することによって減圧症の発生を大きく減少させることができたが、一方ではその欠点も徐々に浮き彫りにされてきた<sup>6)14)</sup>。具体的には、この減圧表は浅い短時間の潜水にとっては安全サイドに偏りすぎており、逆に深く長い潜水からの減圧には不十分だということが判ってきたのである。例えば、現行

の減圧表によると深度 100ft 滞底時間25分（以後このように記すときは深度及び滞底時間を省略する）の潜水では海底から特に減圧時間を設けることなく直接水面まで浮上できるが、この減圧表では 30ft, 20ft 及び 10ft にそれぞれ 1分, 5分及び 10分留まらなければならないことになっている。

そこで米海軍のホーキンス博士と軍医達は、深さ約 3m の加圧水槽を使用して総計2143回の実験潜水を行ない、減圧表の再評価を実施したわけである<sup>2)</sup>。なお、これ以降発表された減圧に関する重要な報告書は殆ど全て米海軍によるものである。

ホーキンスの実験の対象者は健康な軍人で、実験の概要は彼らにほぼ毎日相当深度 100ft, 167ft, 185ft 及び 200ft の圧曝露を行ない、減圧症が発症するまで滞底時間を 1分毎に延長することによって、減圧症の発症と圧曝露量との関連をみたものである。

結果を分析すると、5分組織（半減時間5分の組織の意。以下同様）の許容絶対圧力比は深度 100ft の潜水実験では3.8, 150ft では4.8から5, 200ft では5.6もの高値に昇ることが導き出されてきた。その他の組織の許容比もかなり高値で40分組織でも2.3から2.8にのぼり、ホールデン教授の言うように許容比が2以下であったのは75分組織のみということになる。

そこでホーキンスはこれら一連の実験から、改善提案として表1に示すような許容圧力比を示したのである。ホーキンスの原著に拠れば、最初の列に示した値による減圧でも多分大丈夫であろうということであったが、減圧表の実際の計算は二列目の許容比によって計算されたもようである。

この提案の特徴は、浮上に要する時間を考慮すると（浮上速度は毎分50フィート）、半減時間が5分から10分のように短い組織が浮上を制限する可能性は殆どないのではないかとしたことにある。したがって5分組織と10分組織においては許容圧力比を示していない。

なお、短い半減時間組織では許容比を考慮する必要がないという考えを示したのは次に述べるヤーボロー (O.D. Yarborough) であるとする成書もあるが<sup>6)15)</sup>、この概念はこのようにすでにホーキンスの報告の中に明瞭に記載されている。

このようにして出来上がったホーキンスの訂正案は最初の減圧点が浅くとられるとともに滞底時

間の短い潜水の減圧時間が著明に短縮されて、より現行の標準減圧表に近くなっている。具体的には先に挙げた 100ft25分の潜水の場合、最初の減圧点 10ft まで2分かけて浮上し、そこで僅か2分止まればよいようになっている。

その後、米海軍ではホーキンスの改正提案をたまたき台として減圧表の改訂に取り組んできており、その成果は1943年版の米海軍潜水教範に記載の減圧表として明らかにされている<sup>16)</sup>。この減圧表はヤーボローによる報告書<sup>17)</sup>に記載の方法によって作成されたのでヤーボロー・テーブルとも言われるが、他の報告書や成書<sup>6)15)</sup>も参考にしてその特色を見てみよう。

ここではホーキンスによる改正提案と同じく、半減時間5分と10分の許容比は考慮する必要がないとして、半減時間20分、40分及び75分の組織のみの許容絶対圧力比が示されている（表2）。ここに示すように、許容比は一つの値だけでなく、高低二つの値が示されているが、深い潜水では低い値の方を使用するようになっている。具体的には185ft 以深の潜水では小さい方の値を使って減圧するようにされている<sup>6)</sup>。これらの値は次稿で述べるドワイヤー (J.V. Dwyer) の報告書<sup>18)</sup>でも基本になる値として記されている。

この減圧表はホーキンスの改正提案の減圧表と同じく第一減圧点が浅く設定されているが、深く長い潜水になるに従って減圧時間がかなり長くなっている。これは40分及び75分組織の許容比をこのように小さく見積もっていることによるのであろう。

ヤーボロー・テーブルの海軍によって評価された当初の減圧症発症率は1.1%とされている<sup>15)</sup>。

なお、ワークマンら及びヘンブルマン (H.V. Hempleman) による綜説にこれら一連の実験に於ける許容比が記されているので、参考のためにそれも表3に示しておく<sup>6)19)</sup>。但し、ここでホーキンスとしてあるのはホーキンスの改善提案における値ではなく、その前の分析の段階で暫定的に得られた値のようである。ここで記されているホーキンスの値をホーキンスの改正減圧表に用いられた許容比と間違ふことがあるので記しておく。

以上をまとめると、ホーキンスら及びヤーボローによる一連の見直しの要点は、許容比を全ての組織に一樣のものとしてせず、組織の半減時間の相違

表1 ホーキンスの改善提案における許容絶対圧力比

| 半減時間 | 許容絶対圧力比 |      |
|------|---------|------|
| 5    | —       | —    |
| 10   | —       | —    |
| 20   | 3       | 2.8* |
| 40   | 2.3     | 2.0  |
| 75   | 2.3     | 2.0  |

\*許容比が3でもおそらく大丈夫だろうと記している。

表2 ヤーボロー・テーブルにおける許容絶対圧力比

| 半減時間 | 許容絶対圧力比 |       |
|------|---------|-------|
| 5    | —       | —     |
| 10   | —       | —     |
| 20   | 2.8     | 2.45* |
| 40   | 2.0     | 1.75  |
| 75   | 2.0     | 1.75  |

\*ヤーボローでは2.8のままのようである。

表3 ホーキンス及びヤーボローによる各半減時間組織の許容比

| 半減時間 | ホーキンス   |           | ヤーボロー    |           |
|------|---------|-----------|----------|-----------|
|      | 許容絶対圧力比 | 許容過飽和比    | 許容絶対圧力比  | 許容過飽和比    |
| 5    | 5.5     | 4.35      | —        | —         |
| 10   | 4.5     | 3.56      | —        | —         |
| 20   | 2.8*    | 2.21      | 2.45—2.8 | 1.94—2.21 |
| 40   | 2.0*    | 1.58      | 1.75—2.0 | 1.38—1.58 |
| 75   | 1.8—2.0 | 1.42—1.58 | 1.75—2.0 | 1.38—1.58 |

許容絶対圧力比はワークマン<sup>19)</sup>より引用し、許容過飽和比はヘンブルマン<sup>6)</sup>から引用した。\*印については二つの報告書の間で値が一致せず、別の文献<sup>15)</sup>と一致しているヘンブルマン<sup>6)</sup>の方の値から計算して記した。ワークマン<sup>19)</sup>による値はそれぞれ3.2及び2.4である。

に従って変えている点にある。つまり、短い半減時間組織の許容比はホールデー教授によって示された値よりもかなり高く、逆に長い組織の許容比は同じか若干小さくして、減圧症に罹る危険性を少なくすると共に、減圧時間が長すぎる部分は短くして潜水効率の向上を図ったのである。

最後に、浮上速度がヤーボローの報告書までは毎分50ftとなっているのに対し、ヤーボロー・テーブルでは毎分25ft以下とされていることを記しておく。但し、当時の浮上はダイバーが索に足を絡ませながら浮力をつけて自力で第一減圧点まで浮上し、そこでステージに移乗して以後の減圧を実施することが多く<sup>16)</sup>、浮上速度の正確な制御は加圧タンクでの実験を除きなされていなかったもようである。

### 結語に代えて

ホールデー教授の所謂古典的減圧理論の概要を示すと共に、それに基づいて如何にして初期の減圧表が制定されていたかを提示した。本稿ではいわゆるヤーボロー・テーブルまでの過程を示し、標準減圧表の制定及びM値については次稿以降に記すことにする。

### 【参考文献】

- 1) Boycott AE, Damant GCC, Haldane JS: The prevention of compressed-air illness. J Hyg 8: 342-443, 1908
- 2) Hawkins JA, Shilling CW, Hansen RA: A suggested change in calculating decompression tables for diving. U. S. Navy Med Bull 33: 327-338, 1935
- 3) Dwyer JV: Calculation of Air Decompression

- Tables. US Navy Experimental Diving Unit Research Report 4-56. 1955
- 4) Flynn ET & Lambertsen CJ: Calibration of inert gas exchange in the mouse. In: Lambertsen CJ ed. Underwater Physiology. Proceedings of the Fourth Symposium on Underwater Physiology. New York: Academic Press, 1971; 179-191
  - 5) Berghage TE, David TE, Dyson CV: Species differences in decompression. Undersea Biomed Res 6: 1-13, 1979
  - 6) Hempleman HV: History of evolution of decompression procedures. In: Bennett PB & Elliott DH eds. The Physiology and Medicine of Diving, 3rd ed. London: Baillière Tindall, 1982; 319-351
  - 7) Hempleman HV: Decompression theory. In: Shilling CW, Carlston CB, Mathias RA eds. The Physician's Guide to Diving Medicine. New York: Plenum Press, 1984; 223-272
  - 8) 池田知純: 減圧. In: 潜水医学入門. 東京: 大修館書店. 1995; 106-114 & 264-266
  - 9) 池田知純: 古典的減圧理論による減圧計算の実例. 防衛衛生. 43: 391-395, 1996
  - 10) Workman RD: Calculation of Decompression Schedules for Nitrogen-Oxygen and Helium-Oxygen Dives. US Navy Experimental Diving Unit Research Report 6-65. 1965
  - 11) French GRW: Diving operations in connection with the salvage of the U. S. S. "F-4". US Navy Med Bull 10: 74-91, 1916
  - 12) Bartholomew CA: Mud, Muscle, and Miracles. Washington DC: Department of the Navy, 1990
  - 13) 海軍省: 潜水用減圧標準表. In: 潜水教範. 1927
  - 14) Thalmann ED: USN experience in decompression table validation. In: Shreiner HR & Hamilton RW eds. Validation of Decompression Tables. Bethesda MD: Undersea Hyperbaric Medical Society, 1989; 33-44
  - 15) Flynn ET, Catron PW, Bayne CG: Lesson 18; Historical evolution of U. S. Navy air decompression procedures and decompression concepts. In: Diving Medical Officer Student Guide. Naval Technical Training Command. 1981
  - 16) Navy Department Bureau of Ships: The ascent. In: Diving Manual 1943. Washington D. C.: United States Government Printing Office, 1943; 168-176
  - 17) Yarborough OD: Calculation of Decompression Tables. U. S. Navy Experimental Diving Unit Research Report. 1937
  - 18) Dwyer JV: Calculation of Repetitive Diving Decompression Tables. US Navy Experimental Diving Unit Research Report 1-57. 1956
  - 19) Workman RD, Bornmann RC: Decompression theory: American practice. In: Bennett PB & Elliott DH, eds. The Physiology and Medicine of Diving and Compressed Air Work. London: Baillière Tindall, 1975; 307-330