

酸素減圧利用による 新標準減圧表の 考え方

東京医科歯科大学 名誉教授
眞野 喜洋

酸素減圧の目的

高気圧曝露によって体内に蓄積された
 N_2 、He などの不活性ガスをより速く体外
へ排出する。

酸素減圧の目的・目標

その目的・目標は

- 1) 気泡をできるだけ形成させない。
- 2) 形成された無症候性気泡をさらに縮小し、消失させる。
- 3) 1, 2 を達成させるために減圧中の体内ガス圧係数をより速く減少させる。

酸素減圧の有効性

酸素窓効果

(Oxygen Window Effect)

純酸素を吸入すると肺胞膜における肺胞内 P_{N_2} は限りなくゼロに近づき、肺胞周囲血中 P_{N_2} との差圧が大となり、その差に比例して Henry の法則に従って血中 N_2 の呼気への排出量が増大する。

これを「洗い出し効果」または「脱窒素」ともいう。

酸素窓効果の成果

- 1) 生体への負荷の軽減
- 2) 減圧時間の短縮
- 3) 減圧症の予防
- 4) 減圧症症状の軽減
- 5) 減圧症治療効果の向上

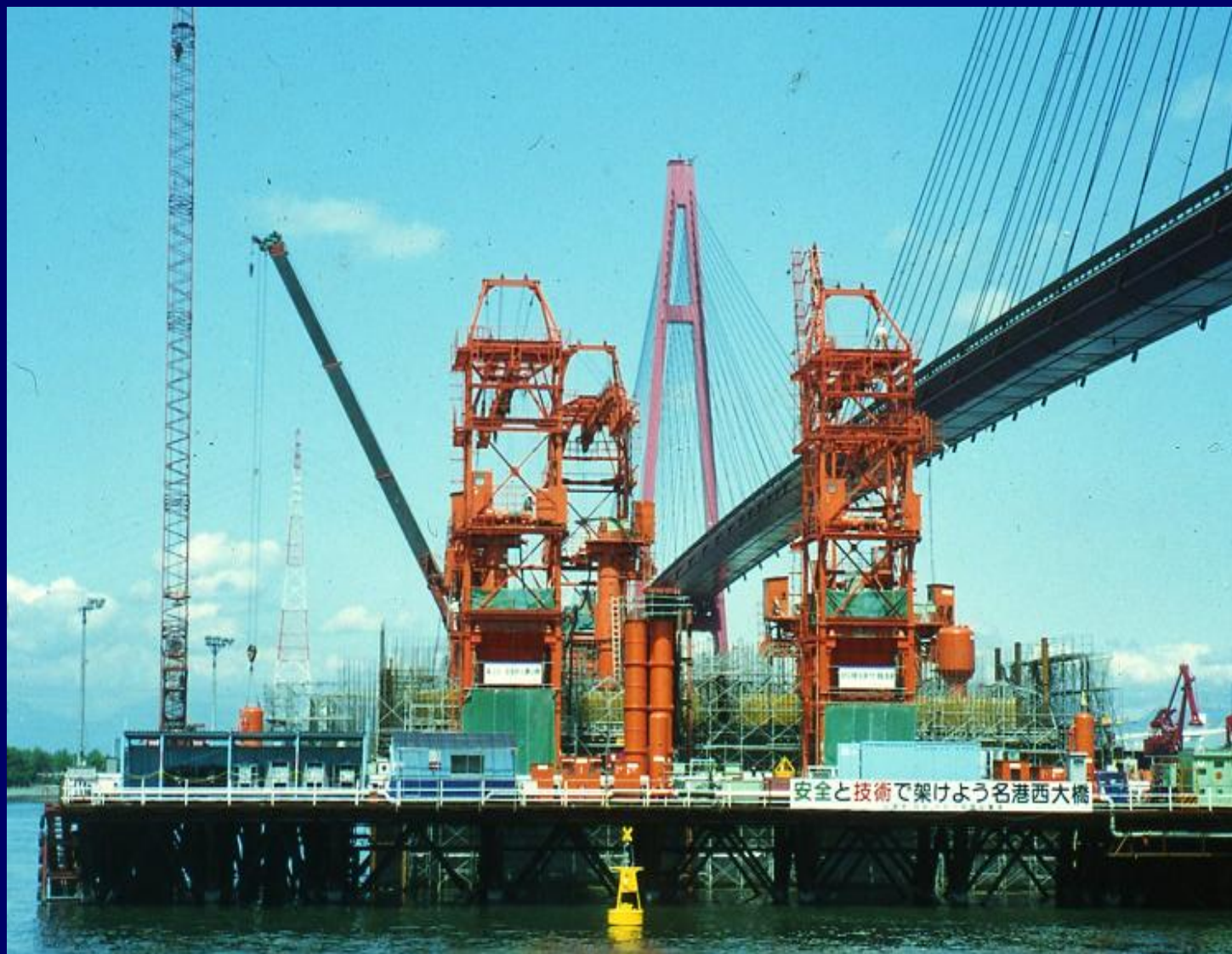
肺酸素毒性量の求め方

$$\text{UPTD} = \left[\frac{0.5^{-0.833 \times t}}{\text{PO}_2 - 0.5} \right]$$

UPTD : Unit of Pulmonary Oxygen Toxicity Dose

PO₂ : atm (吸入気酸素分圧)

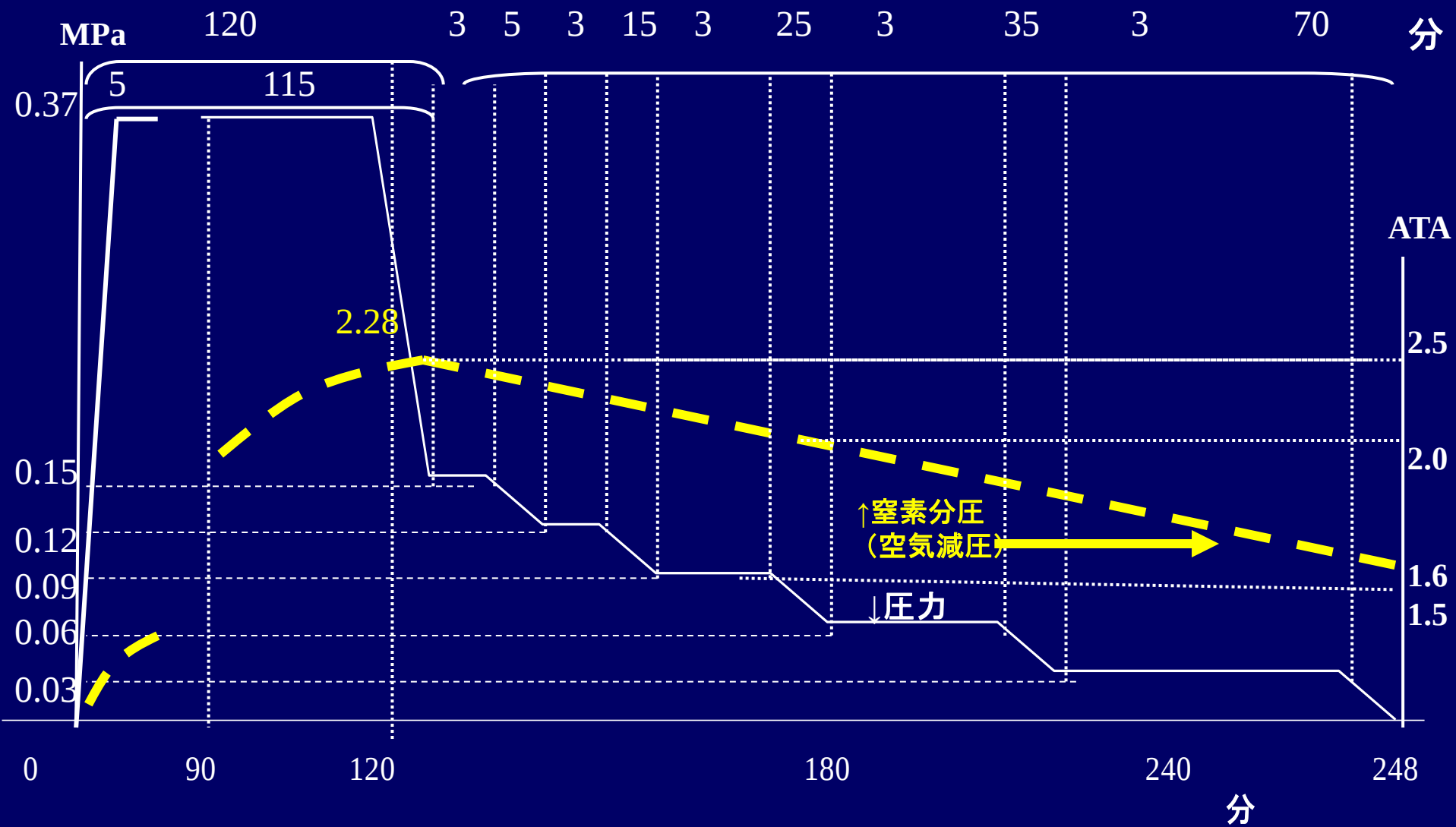
t : minute (酸素吸入時間(分))



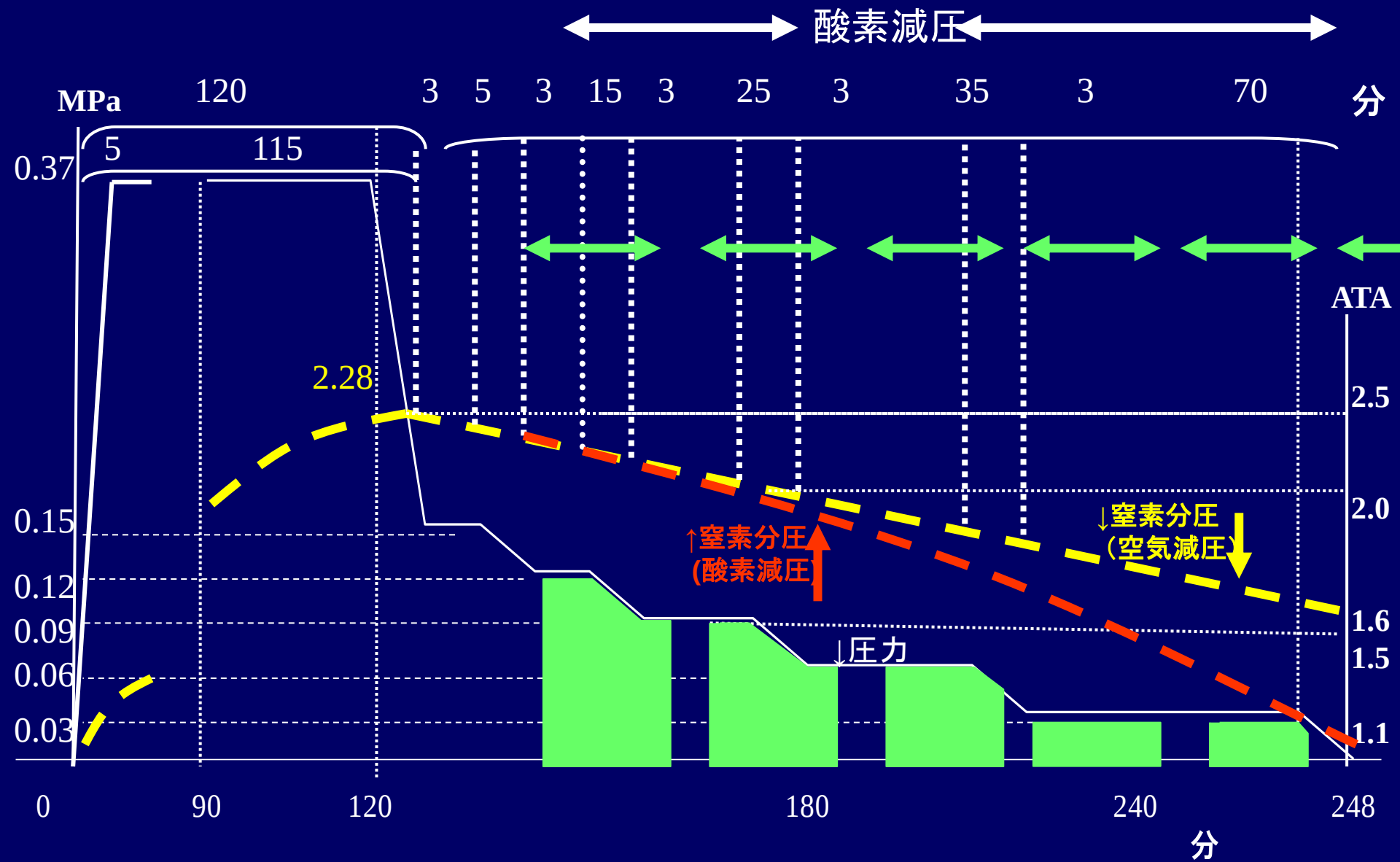
国内で初めてのTrimix gas を用いた名港西大橋工事(1995)



Trimix gas を用いた函内作業風景



空気による減圧時の N_2 排泄カーブ



酸素減圧と空気減圧との体内ガス圧係数の相違

標準減圧表の現状

- ① 厚生労働省の標準減圧表は 1961 年に刊行されたが、その後改正されることなく現在に至っている。
- ② 別表 2 は水深 90 m まで空気潜水を許容しているがこの減圧表に従って 90 m まで潜水するダイバーはいない。
- ③ 別表 1 は 0.39 MPa まで許容しているが減圧表に従う潜函作業を行うと減圧症発症率は 5 % を超える。
- ④ 厚生労働省の標準減圧表の作成根拠となる理論は全く示されていない。しかし、ホールデン理論の 6 モデル、120 分半飽和時間に依ったものと推定できる。
- ⑤ **したがって、この標準減圧表の抜本的改訂が不可欠である。**

Nitrox と三種混合ガス(Trimixed gas)の相違

[N₂ 68 %
O₂ 32 %

[He 34 %
N₂ 34 %
O₂ 32 %

空気による実水深	空気に換算した水深	PO ₂	空気に換算した水深	PO ₂
30 m	24 m		7 m	
40 m	32.5 m		11.3 m	
50 m	41 m (1.92 ATA)		15.5 m (1.92 ATA)	
↓			↓	
N ₂	O ₂		He	N ₂ O ₂
74 %	26 % (1.6 ATA)		60 %	34 % 26 % (1.6 ATA)
<u>45.5 m</u>			<u>15.5 m</u>	
			or	
			54 % 40 % 26 % (1.6 ATA)	
			<u>20 m</u>	

減圧表に対する現実的な対応： 潜水の場合

- ① スポーツ・ダイバーは日本の標準減圧表より、USN、カナダ、英国等のテーブルを利用するか、自己流を好む。
- ② 科学ダイバーは NOAA テーブルを好む。
- ③ 作業ダイバーは日本の別表 2 を使用しなければならないが幸いなことに水深はほとんど 30 m 以浅である。

作業潜水をするダイバーには**無菌性骨壊死に罹患**する事例が多い。

- ④ オフショア・ダイバーは海外の減圧表か独自で開発した減圧表を使用し、ベルバンス・ダイブかサットダイブを選択している。
- ⑤ 海外では**サット・システム**を所有していない企業の入札不可

減圧表に対する現実的な対応： 圧気土木の場合

- ① 1961 年以降、厚生労働省別表 1 に従っていたが作業圧力が 0.2 MPa を超えると**減圧症発症率は 2 % 以上(2~8 %)**であった。
- ② 1970 年代には作業圧力が 0.25 または 0.3 MPa を超えると**標準減圧表を修正する**(作業圧力 or/and 作業時間を 1 ランク高める)傾向になった。
- ③ 1980 年代からは減圧表予防の立場から**ブラックプール改訂表**を利用するようになった。
- ④ 日本の標準減圧表見直し評価委員会が 1980 年代、1990 年代に組織されたが答申書はその度に見送られた。
- ⑤ **混合ガス吸入と酸素減圧**が厚生労働省大臣審査会の指導で 1998 年に施工され、0.36 MPa までの圧気作業が減圧症発症 0 で完了された。
- ⑥ 1990 年代に入り、深いケーソン作業で**エレベーター**が利用される機会が増加し始めた。
- ⑦ 空気に依る圧気作業の**上限は0.39MPa**であり、0.35MPa以上では**He混合ガス使用**が望ましく、その**上限は0.6MPa**とするが、0.4MPa以上の作業にあっては**飽和システム**が望ましい。
- ⑧ これからの圧気作業では、**酸素減圧、He混合ガス、飽和システム**が key word となる。

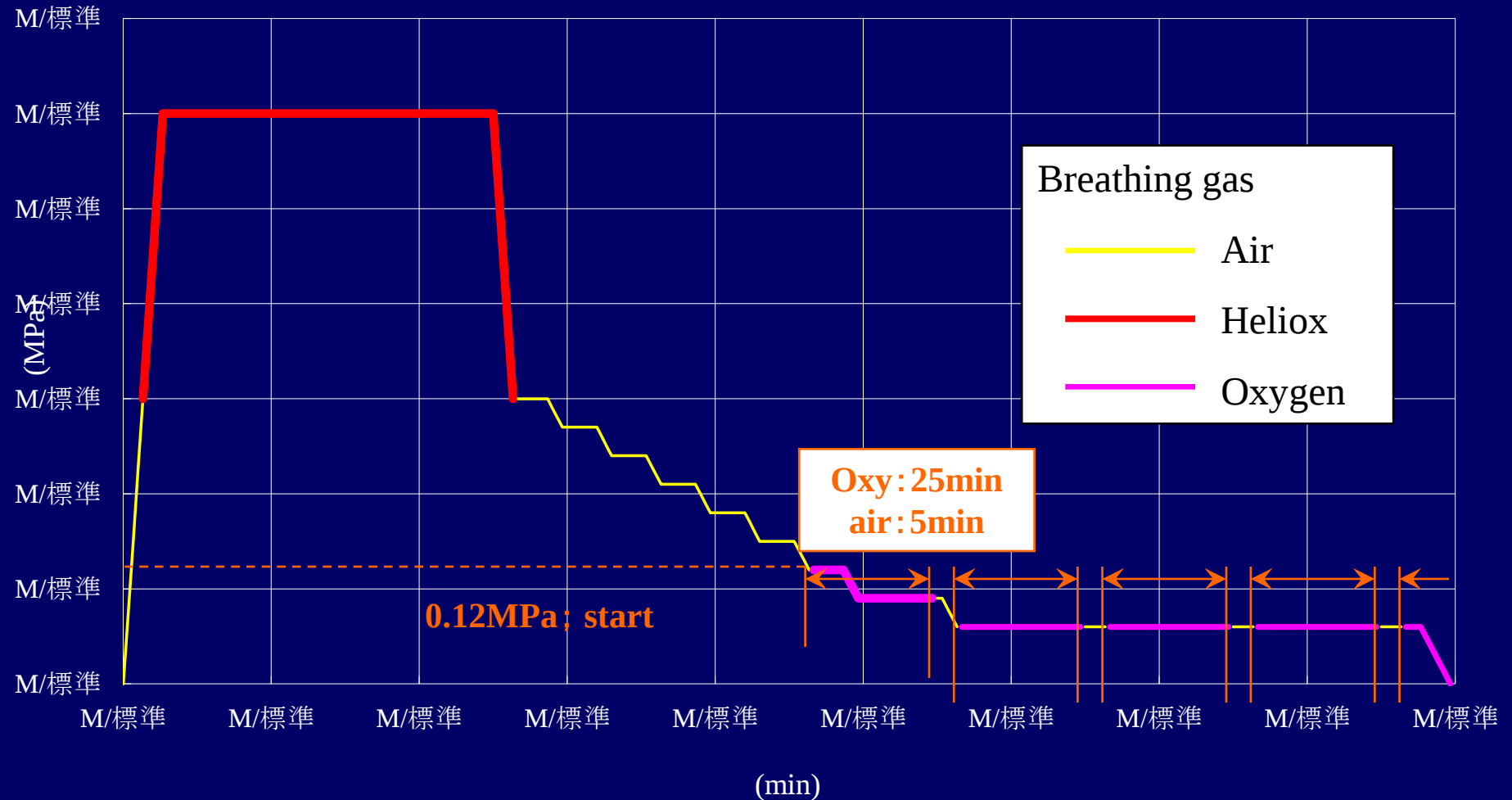
これからの標準減圧表における 基本概念:

- ① 水深 90 m (0.88 MPa) までの空気による呼吸用ガス使用は禁止するべきで**上限(水深40m)**を設定すべきである。
- ② 商業用潜水あるいは潜函作業においては水深 40 m または 0.4 MPa 以上においてはヘリウムによる混合ガス呼吸システムが使用されるべきである。
- ③ 上記①②に関する減圧表が公表されるべきである。
- ④ 減圧停止を必要とする作業水深(圧力)は水深 8 m (0.08 MPa) から始められるべきである。
- ⑤ **酸素減圧が原則的に採用**されるべきである。
- ⑥ 水深あるいは地表までの距離が 40 m 以上ある潜函または潜水作業の場合にはエレベーターまたはダイビング・ベルが用意されるべきである。
- ⑦ 減圧症発症時における空気による**救急再圧は禁止されるべき**である。必要不可欠な**現場における再圧治療**は専門医指導の下に酸素吸入装置の備えられた第 2 種装置によって**酸素再圧治療**がなされるべきである。
- ⑧ 個々のダイバーあるいは圧気作業員は雇用者と同様に潜水または圧気土木作業歴等の必要事項が記載されている**手帳**を常に保持管理してなければならない。

(0.4 MPa, 90 分)

ヘリオックス減圧表の減圧プロフィール

(0.6 MPa, 75 分 He/O₂=84/16)



これからの標準減圧表における基本概念:

- ① 水深 90 m (0.88 MPa) までの空気による呼吸用ガス使用は不適切で、上限を設定すべきである。
- ② 潜函作業あるいは商業用潜水においては、水深 35 m 以上においてはヘリウムによる混合ガス呼吸システム(Helioxまたは3種混合ガス Trimixを含む)が使用されることが望ましい。
- ③ 水深 40 m 以浅では Nitrox を有効に使用することが望ましい。
- ④ 上記①②に関する減圧表はその作成根拠と共に公表されるべきであろう。
- ⑤ 減圧停止を必要とする作業水深(圧力)は水深 8 m (0.08 MPa) から始められるべきであろう。
- ⑥ 酸素減圧が原則的に採用されるべきであろう(ベルに依らない潜水の場合は船上減圧法で対処)。
- ⑦ 水深が 35 m 以上の潜水においては、原則としてダイビング・ベルが用意されるべきであろう。
- ⑧ 減圧症発症時における空気による救急再圧は禁止されるべきである。必要不可欠な場合には専門医指導の下に酸素吸入装置の備えられた第 2 種装置(副室を要する大型)によって酸素再圧治療がなされるべきであろう。
- ⑨ 個々のダイバーまたは圧気作業員は潜水(圧気)作業歴等の必要事項が記載されている手帳を常に保持管理して雇用時にはそれを提示することが原則であろう。

(①②⑥⑦⑧)に関して海外では標準仕様となっている)
(海外では海軍を除いて標準減圧表の提示をしている国はない)

慢性減圧症の予防方法

- ・安全停止の十分な確保

(イギリスでは水深 7 m 以上、米国は9m以上から減圧停止を義務化)

- ・出来るだけ酸素吸入をする

(イギリスでは法律で規制、2001 年施行)

<圧気記録 Log book 40 年間の保存>