

25. 異なる減圧表に基づく気泡の形成について

芝山正治* 眞野喜洋* 井田和美*
宮本智仁* 柏倉章男* 大串貫太郎*
矢野敬児* 前田 博*

目 的

減圧症を予防するための減圧表は各国によりまちまちであり、その評価は難しい。それぞれの減圧表による減圧症の発症率が比較できれば望ましいが、深度や圧暴露時間、個体差などを考慮すると現実的には、対象の構成も難しく、民間などにおける実際の作業では減圧表の正しい使用方法の検討も問題となる。そこで、評価方法の一つの手段として、物理的な圧力の変化にもなって形成されるアガローゼ中の気泡数により、表の相互比較を行った。

方 法

Bio Rad 社製, lot # 16320 のアガローゼを Tris buffer, pH7.4に80°C10分間溶解し, 0.36ml ずつに分画して12~16検体の0.5%アガローゼを常温にてゲル化させる。これらを研究室室内高圧タンク(室温25~27°C)にて4気圧=3.0kg/cm²に一定速度で加圧し, 一定時間圧暴露する。その後, 各減圧表ごとに決められたスケジュールにしたがって減圧したが, 各停止圧時および, 減圧終了後にそれぞれの形成気泡を計算し, その平均とS.D., S.E.とを求めた。

使用した減圧表は, 潜水用として, 米国海軍(U.S.N), 英国海軍生理研究所(R.N.P.L), 日本労働省別表2, 仏海軍, および仏労働省の5種類とし, さらに, 独自に米国海軍の表より修正されたModel 1を加えて6通りの減圧表につきその形成気泡数を調べた。また, 圧気土木作業用として,

英国のBlackpool表, 米国のWashington表および日本の労働省別表1の3種についても検討を行った。

圧暴露時間は各減圧表により, 使用するスケジュールの時間制限が異なるため, 目安として, 潜水用では, 25, 50, 80, 120分の4種を選んだが, かならずしも一致しなかった。圧気作業用では, 60, 120, 240, 360分を選んだが, これも完全に一致はみられなかった。各圧暴露時間は, それぞれの減圧スケジュールの使用が許される最大時間を選んだが, Blackpoolの6時間用の減圧表は4~8時間までの作業で使用するときの減圧スケジュールであるため, その内容に若干の差異が生じていることが予想される。

結 果 と 考 察

使用した各減圧表における圧暴露時間の推移とその各停止圧における平均気泡数(括弧内数値), および減圧終了後の平均気泡数, S.D.ならびに減圧時間の合計を表1と2に, また, それらの形成気泡数±S.D.を図1と2に示す。

イ) 潜水用の減圧表について

水深30m相当圧に15~130分間圧暴露され, 最終的に気泡数の多かったものはU.S.N, 日本第2表, 仏海軍の減圧表であった。水深30m相当圧に50分間の圧暴露をしたとすると, その時の減圧時間の合計はそれぞれ, 27.40分, 27分, 22.40分であり, 気泡数は単位あたり平均4.1, 4.8, 5.3であった。これらに比較して, 英国のR.N.P.L表では減圧時間は91.40分と長いが気泡数は2.4と少なかった。すなわち減圧時間が約3倍強, 余計に要した結果, 気泡数は単位あたり約半分に減ずるこ

*東京医科歯科大学医学部公衆衛生学教室

表1 Bubble Formation in Different Decompression Schedules
(lot # 16320, Tris-HCl Buffer, 0.5% Agarose, 0.27ml) (Diving)

Schedule (depth)	Bottom Time	Decompression Time (Bubble Number \bar{X})						\bar{X}	S.D.	S.E.	Total Decompression Time	Temp. (°C)	Coefficient of Body Pressure
		18m \approx ft	15m \approx 50ft	12m \approx 40ft	9m \approx 30ft	6m \approx 20ft	3m \approx 10ft						
U.S.N. (100ft)	25							(2.7)	(1.0)	(0.3)	1'40"	26.2	H
	50					2 (0.6)	24 (2.9)	(4.1)	(1.6)	(0.5)	27'40"	25.5	H
	80					23 (4.6)	48 (6.5)	(6.5)	(1.7)	(0.5)	72'40"	25.5	0
	120				12 (8.6)	41(10.5)	78(11.3)	(11.3)	(2.8)	(0.8)	132'40"	27.1	Z
R.N.P.L. (100ft)	15							(0.3)	(0~1)	(0.2)	1'40"	25.5	
	50			5 (0)		85 (1.1)		(2.4)	(1.3)	(0.5)	91'40"	25.8	
	75		5 (0)		5 (0.5)	140 (3.5)		(3.5)	(1.3)	(0.4)	151'40"	25.6	
	120	5 (0)		5 (2.4)	20 (5.1)	170 (6.6)		(6.6)	(1.6)	(0.5)	201'40"	25.8	
Model (100ft)	25						15 (0.1)	(0.7)	(0.5)	(0.2)	38'50"	25.9	K
	50					9 (0.6)	28 (2.3)	(3.1)	(2.0)	(0.7)	60'50"	27.0	N
	80				3 (2.1)	23 (3.4)	57 (3.9)	(3.9)	(1.0)	(0.3)	106'50"	25.5	Z
	120			1 (1.5)	29 (4.9)	53 (5.1)	118 (5.1)	(5.1)	(2.4)	(0.6)	224'50"	26.0	**
Japan No.2 (30m)	25							(2.2)	(1.1)	(0.4)	3'	26.6	1.5
	50					8 (0.9)	16 (2.8)	(4.8)	(1.9)	(0.5)	27'	27.6	1.8
	85				5 (2.0)	27 (6.3)	22 (6.5)	(6.5)	(1.2)	(0.4)	57'	26.0	2.2
	130				17 (7.8)	29(10.4)	48(10.4)	(10.4)	(2.7)	(0.9)	97'	25.5	2.2
France N. (30m)	30							(1.6)	(0.9)	(0.3)	1'40"	26.0	1.5
	50					21 (4.1)		(5.3)	(1.8)	(0.7)	22'40"	27.2	1.7
	60					37 (5.3)		(6.2)	(1.3)	(0.4)	38'40"	25.5	1.8
	70					5 (1.8)	47 (6.1)	(6.2)	(1.7)	(0.5)	53'40"	27.0	1.8
France Lad. (30m)	15							(0.3)	(0~2)	(0.2)	1'40"	25.5	
	30					10 (0.6)		(1.6)	(0.8)	(0.3)	11'40"	26.2	
	60					15 (1.8)	30 (3.3)	(4.5)	(0.9)	(0.3)	46'40"	25.7	
	100				12 (4.6)	31 (7.9)	44 (8.9)	(8.9)	(2.2)	(0.8)	88'40"	25.6	

表2 Bubble Formation in Different Decompression Schedules
(lot # 16320, Tris-HCl Buffer, 0.5% Agarose, 0.27ml) (Compressed Air Work)

Schedule (depth)	Bottom Time	Decompression Time (Bubble Number \bar{X}) (k : kg/cm ² , p : psi.)							\bar{X}	S.D.	S.E.	Total Decompression Time	Temp. (°C)	Coefficient of Body Pressure
		28psi.	1.8k \approx 24p	1.5k \approx 20p	1.2k16p	0.9k \approx 12p	0.6k \approx 8p	0.3k \approx 4p						
Blackpool (44psi.)	60					5 (0.6)	15 (2.3)	50 (3.6)	(3.6)	(2.0)	(0.7)	80'	25.6	
	120					10 (2.8)	30 (5.2)	50 (5.3)	(5.3)	(1.1)	(0.3)	160'	25.5	
	240		5(2.9)	10 (7.7)	30(10.5)	40(10.8)	45(10.8)	60(10.8)	(10.8)	(1.2)	(0.4)	200'	25.5	
	360		5(5.2)	20(10.8)	35(11.0)	40(11.0)	60(11.0)	110(11.0)	(11.0)	(2.7)	(0.7)	280'	25.8	
Washigton (44psi.)	60	3(0) \rightarrow				~16 (0.3)		~20 (3.3)	~25 (4.5)	(1.5)	(0.4)	64'	25.8	
	120	3(0) \rightarrow				~16 (6.1)		~40 (7.1)	~95 (7.5)	(1.3)	(0.5)	154'	25.8	
	240	3(0.1) \rightarrow				~16(11.2)		~85(12.5)	~130(12.5)	(2.8)	(0.8)	234'	26.0	
	360	3(3.7) \rightarrow				~16(14.6)		~115(17.9)	~130(18.0)	(1.8)	(0.6)	264'	26.1	
Japan No.1 (3.0kg/cm ²)	30							5 (0.1)	(1.7)	(1.1)	(0.4)	8'45"	26.1	1.5
	60							13 (1.7)	(4.6)	(0.7)	(0.3)	36'45"	25.5	1.9
	120					13 (5.3)	30 (8.9)	45 (8.9)	(8.9)	(2.6)	(0.9)	91'45"	26.5	2.1
	210					26(12.0)	40(13.3)	75(13.3)	(13.3)	(3.2)	(1.1)	144'45"	27.6	2.2

とができたといえる。参考のための減圧表, Model 1 は減圧時間は60.50分と両者の中間であったが, 気泡数も3.1とほぼ中間の値であった。

同一材料による飽和実験にて, 水深10m 相当の圧力下で飽和させた後, 急速減圧させた時の単位あたり気泡数は6.6 \pm 1.6であったが, この値以下ということは, 減圧症の危険性が10m 以内の潜水においてほとんど無いということを考え合わせるといずれも安全性が高いといえ, それならば, 減圧時間の短いU.S.Nなどの減圧表の方が,

R.N.P.Lより優れているといえる。しかし, 同一圧力に各120分間滞在したときのU.S.Nの減圧表によると気泡は11.3個形成され, 一方, R.N.P.Lでは6.6個形成された。それぞれの減圧時間の合計は, 132.40分と201.40分とであった。減圧時間はR.N.P.Lの方が69分間長いのであるが, 気泡数は, 丁度飽和実験で得た値と一致しており, U.S.Nの場合の気泡数は優位に増加されていた。物理的に形成された気泡数のみで, これらの減圧表の評価をすることはできないが, 形成気泡の少ない

Bubble Formation in Different Decompression Schedules
(lot No 16320, Tris-HCl Buffer, 0.5% Agarose, 0.27ml)

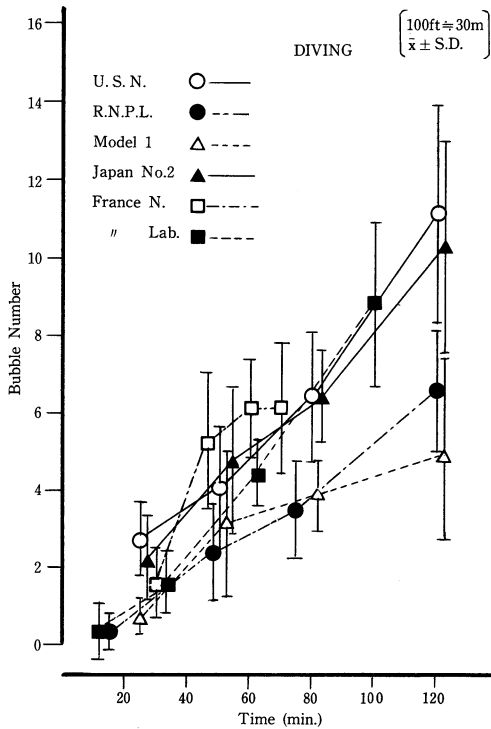


図 1

方が、減圧症に罹患しにくいことは予想されるので、この観点から考察すると120分圧暴露ではR.N.P.L表の方が優れているともいえる。

ロ) 圧気作業用の減圧表について

日本、米国、英国の3表の比較を行った。それぞれ許容作業制限時間に差があるので一概に評価することは困難であったが、単位あたりの気泡数は英国の減圧表が少ない傾向を認めた。3.0kg/cm² 120分間の圧暴露を例にとると、それぞれ8.9, 7.5, 5.3個の気泡数であり、それぞれの減圧時間は91.45, 154, 160分であった。日本の表は確かに気泡数は多いが減圧時間の合計はかなり短く、作業効率は良いといえる。しかし、さらに長時間作業になると図2から考慮して、形成気泡数は英国の表に比してかなり増加されるので、それだけ、減圧症の危険も大きいといえる。

以上より、各減圧表それぞれに特有の長所と短所が認められ、単純に優劣はつけ難い。

また、各表とも圧暴露時間が長くなるほど気泡数も増え、気泡数と減圧症の罹患との間に相関があるとすれば、滞在時間により危険性が増す

Bubble Formation in Different Decompression Schedules
(lot No 16320, Tris-HCl Buffer, 0.5% Agarose, 0.27ml)

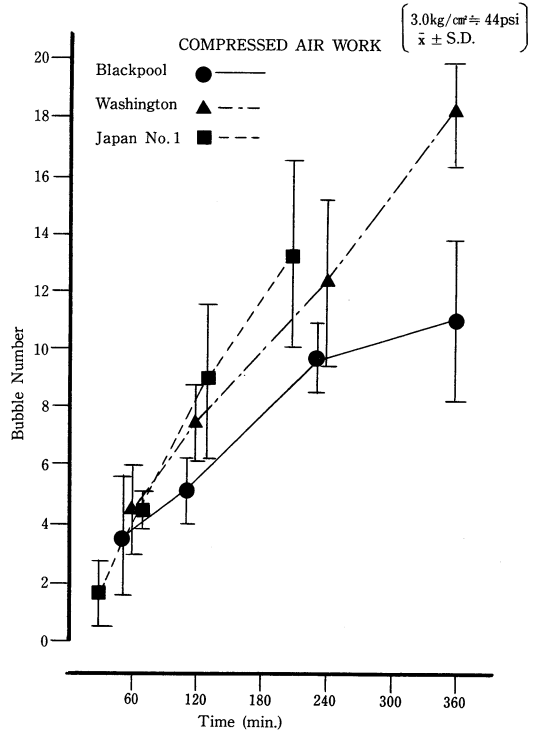


図 2

こととなり、好ましいとはいえない。いずれにしても今後、さらに検討を加え、かつ減圧症の発症率との関係からも分析する必要がある。

【参考文献】

- 1) Dept. of U.S.Navy: U.S.Navy Diving Manual, Carson, 1975.
- 2) Yount, D.E., and R.H. Strauss: Bubble formation in gelatin: a model for decompression sickness. J. Appl. Physics., 47:5081-5089, 1976.
- 3) D'Arrigo, J.S.: Improved method for studying the surface chemistry of bubble formation. Aviation, Space and Environ. Med., Feb.358-361, 1978.
- 4) LeMessurier, G.H., T.N. Smith, and W.R. Wood: Diffusion and nucleation of gas in gel and some implication for the development of decompression procedures. Undersea Biomedical Research 6: 175-188, 1979.
- 5) Yano, K., and Y. Mano: Evaluation of standard decompression schedule by agarose gel method. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ., 26: 197-212, 1979.