

### 3-2-7. U.S.N.1999・Table 3 と 4 : 最近の潜水表「繰返し空気潜水用残留窒素時間表」

#### (1) 本章の要約

NOAAダイビングマニュアル(2001年版)の付録IVはU.S.N.潜水表Table3とTable 4「繰返し空気潜水用の残留窒素表-1999」を紹介している。(略称「1999・Table3と4」)これらはU.S.N.潜水教範(1981)9章紹介の「繰返し空気潜水用残留窒素時間表」(略称「1981・Table3と4」)に若干の追補をしたものである。潜水教範9章に「繰返し潜水の計算手順」が紹介されている。1981・Table2と1981・Table3のグループ指標再現と同じ考え方で1999・Table4追補根拠を推測すると、「1999・Table3と4」の数値が再現された。改めて、これらの活用方法を紹介する。

#### (2) 1999・Table 4 の概要

1999・Table4(右図参照)は、前回潜水で水面浮上後10分以上経過、12時間以内に再潜水(これも減圧停止不要潜水)を実施する場合に適用される。10分以内の再潜水は窒素分圧が減少しないために連続潜水と見做している。この表は実際には2表の組み合わせとなっており、上段の表は、水面待機長期化したがつて残留窒素レベルがどのように減少するかを示している。下段の表は、次の潜水で過剰窒素をどのように評価しなければならないかを示している。

#### (2) 1981・Table3の「繰返し潜水計算手順」(出典:潜水教範1981・9-11頁)

- 1) 最小水面休止期間10分が必要である。もしそれが10分より短いなら、2潜水のうち深い方の深度を対象とした減圧及び実滞底時間がとられる。水面休止期間は含まない。
- 2) もし、水面休止期間が10分あるいは長ければ、斜め傾斜にある先の潜水から繰返しグループ文字を抽出する。
- 3) 適切な水面休止期間を選択するために表内に垂直に進入する。
- 4) 新たな繰返しグループ文字を得るために表の底に読み降りる。
- 5) 繰返し潜水深度に対応する残留窒素時間が表の下部で得られる。
- 6) 繰返しグループ文字から、繰返し潜水深度を示す列に沿って読み降り続ける
- 7) 交点に示される時間が繰返し潜水で適応される残留窒素時間(分)である。
- 8) この表で一つの例外がある。ある場合のとき、繰返し潜水が先の潜水と同深度あるいは深いとき、残留窒素時間は先の潜水の実滞底時間を超過する。この場合、前回潜水の実滞底の総時間は単一潜水相当時間の決定に際して残留窒素時間として使われる。

#### (3) 第1回実潜水とモデル潜水及びモデル潜水における窒素分圧変化の計算

##### 1) 第1回実潜水規模、モデル潜水規模と1999・Table3の適用

最初に第1回目実潜水を深度47fsw(14.2msw)、滞底75分と想定する。この潜水の規模は1999・Table3に見当たらない。それで、深度と滞底時間が次に大きい欄を選択すると深度50(fsw)、滞底時間80分となる。これをモデル潜水と設定する。その潜水規模は1999・Table3

から指標 J（水面浮上直後の状態：NOAAダイビングマニュアルでは「水面待機時間の始まり」の表現）に該当することがわかる（1章の1999・Table3の点線矢印参照）。

一方、水面浮上直後の窒素分圧は1章の表3より40.68(fsw)と抽出され、この値は1章の表1中におけるグループ指標の定義を窒素分圧に換算した右側の訳注欄の値（窒素分圧範囲Jグループ）に該当する。実潜水、モデル潜水と指標Jの関係は整合している。

**Table4 の解説**

ダイバーの直前潜水から、ラベルの上の斜線沿いにそのダイバーの繰り返しグループを探せ。

ダイバーの水面待機が置かれている待機時間に向かって水平に読め

次に、新たな繰り返しグループ指標に向かって垂直に読み降り、この同じ縦の行を繰り返し潜水深度表示の列まで降りろ。交点で与えられる時間が繰り返し潜水に適用される残留窒素時間・分である。

\* 12 時間以上の水面待機に続く潜水は繰り返し潜水に該当しない。そのような潜水では減圧計算用に標準空気減圧表での実滞底時間を使え。

\*\* もし、残留窒素時間が与えられないなら、繰り返しグループは変わらない。

**TABLE 4**

Locate the diver's repetitive group designation from his previous dive along the diagonal line above the table. Read horizontally to the interval in which the diver's surface interval lies.

Next read vertically downward to the new repetitive group designation. Continue downward in this same column to the row which represents the depth of the repetitive dive. The time given at the intersection is residual nitrogen time, in minutes, to be applied to the repetitive dive.

\* Dives following surface intervals of more than 12 hours are not repetitive dives. Use actual bottom times in the Standard Air Decompression Tables to compute decompression for such dives.

\*\* If no Residual Nitrogen Time is given, then the repetitive group does not change.

Repetitive Dive Depth feet / meters	NEW GROUP DESIGNATION															
	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
10	3.0															
20	6.1						9.17	9.99	2.79	2.08	1.59	1.20	0.88	0.62	0.39	0.18
30	9.1			4.69	3.49	2.79	1.90	1.59	1.32	1.09	0.86	0.70	0.54	0.39	0.25	0.12
40	12.2	2.57	2.41	2.13	1.87	1.61	1.33	1.16	1.01	0.87	0.73	0.61	0.49	0.37	0.25	0.17
50	15.2	3.68	3.60	3.42	3.24	3.11	2.99	2.87	2.76	2.66	2.57	2.47	2.38	2.29	2.21	2.13
60	18.2	4.72	4.69	4.57	4.42	4.28	4.17	4.07	3.97	3.88	3.79	3.70	3.61	3.52	3.43	3.34
70	21.3	5.73	5.70	5.57	5.42	5.28	5.17	5.07	4.97	4.88	4.79	4.70	4.61	4.52	4.43	4.34
80	24.4	6.74	6.70	6.57	6.42	6.28	6.17	6.07	5.97	5.88	5.79	5.70	5.61	5.52	5.43	5.34
90	27.4	7.73	7.70	7.57	7.42	7.28	7.17	7.07	6.97	6.88	6.79	6.70	6.61	6.52	6.43	6.34
100	30.5	8.74	8.70	8.57	8.42	8.28	8.17	8.07	7.97	7.88	7.79	7.70	7.61	7.52	7.43	7.34
110	33.5	9.73	9.70	9.57	9.42	9.28	9.17	9.07	8.97	8.88	8.79	8.70	8.61	8.52	8.43	8.34
120	36.6	10.74	10.70	10.57	10.42	10.28	10.17	10.07	9.97	9.88	9.79	9.70	9.61	9.52	9.43	9.34
130	39.6	11.73	11.70	11.57	11.42	11.28	11.17	11.07	10.97	10.88	10.79	10.70	10.61	10.52	10.43	10.34
140	42.7	12.74	12.70	12.57	12.42	12.28	12.17	12.07	11.97	11.88	11.79	11.70	11.61	11.52	11.43	11.34
150	45.7	13.73	13.70	13.57	13.42	13.28	13.17	13.07	12.97	12.88	12.79	12.70	12.61	12.52	12.43	12.34
160	48.8	14.74	14.70	14.57	14.42	14.28	14.17	14.07	13.97	13.88	13.79	13.70	13.61	13.52	13.43	13.34
170	51.8	15.73	15.70	15.57	15.42	15.28	15.17	15.07	14.97	14.88	14.79	14.70	14.61	14.52	14.43	14.34
180	54.8	16.74	16.70	16.57	16.42	16.28	16.17	16.07	15.97	15.88	15.79	15.70	15.61	15.52	15.43	15.34
190	57.9	17.73	17.70	17.57	17.42	17.28	17.17	17.07	16.97	16.88	16.79	16.70	16.61	16.52	16.43	16.34

2)-1 第1回目潜水の浮上直後からの水面待機時間(SIT)と第2回目潜水可能時間

水面待機時間をSITと略称する。SIT : Surface Interval Time

第2回目潜水の規模を目標潜水深度とSITが指定されているものとする。この条件で第1回潜水に続いて第2回目の減圧停止不要潜水時間がどの程度になるかを1999・Table4を用いて評価し、あわせて窒素分圧との関係を探る。

2)-2 水面待機時間(SIT)と第2回目潜水深度の指定

浮上直後のグループ指標Jで終えた第1回目潜水の第2回目潜水開始までの水面待機時間(SIT)を65分、第2回目潜水深度を前回の47(fsw)より浅い38(fsw)と想定する。

2)-3 第2回潜水開始時(SIT終了時)の窒素分圧

第1回目潜水を終えて水面浮上直後から第2回目潜水開始まで大気を呼吸するので浮上直後の窒素分圧は減少する。その程度は $P_{tis} = P_0 + (P_a - P_0)(1 - e^{-0.693 t / T_{1/2}})$ を用いて36.11(fsw)と計算される。ここに初期値 $P_0$ は水面浮上直後の40.68(fsw)、

$P_a = 26.07$ (fsw) : 呼吸ガス(大気)の窒素分圧 $= 33 \times 0.79$

$t = 65$ 分、半飽和時間 $T_{1/2} = 120$ 分である。

①函数電卓による直接計算 :  $P_{tis} = 40.68 + (26.07 - 40.68)(1 - e^{-0.693 \times 65 / 120})$   
 $\approx 36.11$ (fsw)

②時間函数表による計算 :  $P_{tis} = 40.68 + (26.07 - 40.68) \times 0.313 \approx 36.11$ (fsw)

2-3) 1999・Table4が教えてくれる事項 : 第2回目潜水時間

SIT開始時のグループ指標はJである。1999・Table4(右の表を参照して)の上段斜めラベルのJに着目し、人差し指をそこに置き、次に水平に右側に向かって指を動かして65分=1時間5分=1:05に該当する時間を探し出す。該当する時間が見当たらないので、1:05の範囲に入る時間区分を探すと、上段0:55と下段1:19の数字の組み合わせが見つかる。

この数値が存在する箇所から下に向かって指を垂直に降ろすと上段表と下段表の中間のアルファベット群に辿りつく。ここには「新グループ指標」の名称がついている。

辿りついたアルファベットHが新たなグループ指標Hで、この程度のSITでは第2回目潜水終了時の窒素分圧(瞬間的浮上を想定すれば水面浮上時の窒素分圧)が1章・表1のHの深度範囲に限定されることを示す。窒素分圧換算では、1章の表1より37.13~38.63(fsw)の範囲である。

次に、新グループ指標Hからさらに下方に降りていき、この列と第2回目潜水深度38(fsw)表では40(fsw)を右に辿った線との交点に着目すると、87分となる。これが残留窒素時間(RNT)

である。

1999・Table3の深度40(fsw)における減圧不要潜水限界時間(NDL)は200分なので、 $200 - 87 = 113$ 分を得る。この時間が第2回目の最長滞底時間となる。

RNT : Residual Nitrogen Times 残留窒素時間

NDL : No-Decompression Limit 減圧不要潜水限界時間

### 3) 新グループ指標Hの意味

指標Jは表3-2より120分組織（以下、同様）の窒素分圧範囲（40.29～41.79fsw）である。一方、新グループ指標Hが示すSITは1999・Table4より（0:55～1:19）の範囲すなわち水面待機時間55～79分である。最小水面待機時間55分で窒素分圧範囲（40.29～41.79）も減少し、37.43～38.21(fsw)となる。この範囲は表3-2より37.13～38.63(fsw)の範囲すなわちグループ指標Hに該当する。ここで水面待機時間の最初の10分間における120分組織の減少量は無視している。無視する理由は、次に示す3点からきている。

- ①この10分間で120分組織より半飽和時間が短い組織の窒素分圧増大が収まり、減少に転じることが殆どの場合であることから、
- ②実質的に120分組織の窒素分圧減少に関与する時間は、上記の55分から10分を差し引いた45分と想定することができる。
- ③想定は窒素分圧を安全側評価（過大側評価）にしている。

### 次頁U,S.Navy Dive Table4注釈

指標Jの窒素分圧（PN<sub>2</sub>と総称）上下限値は以下のようなになる。

指標JのPN<sub>2</sub>の下限値40.29(fsw)の変動：

$$\begin{aligned} \text{PN}_2 &= P_0 + (P_a - P_0) (1 - e^{-0.693 \times t / T_{1/2}}) \\ &= 40.29 + (26.07 - 40.29) \times (1 - e^{-0.693 \times 45 / 120}) \\ &= 40.29 + (26.07 - 40.29) \times 0.228 \\ &= 37.43 \end{aligned}$$

指標JのPN<sub>2</sub>の上限値41.79(fsw)の変動：

$$\begin{aligned} \text{PN}_2 &= P_0 + (P_a - P_0) (1 - e^{-0.693 \times t / T_{1/2}}) \\ &= 41.79 + (26.07 - 41.79) (1 - e^{-0.693 \times 45 / 120}) \\ &= 41.79 + (26.07 - 41.79) \times 0.228 \\ &= 38.21 \end{aligned}$$

窒素分圧範囲は37.43～38.21fswとなり、この範囲はグループ指標Hに該当する。

# U.S. Navy Dive Table 4

## Residual Nitrogen Timetable for Repetitive Air Dives - 1999

Locate the diver's repetitive group designation from his previous dive along the diagonal line above the table. Read horizontally to the interval in which the diver's surface interval lies.

Next, read vertically downward to the new repetitive group designation. Continue downward in this same column to the row which represents the depth of the repetitive dive. The time given at the intersection is residual nitrogen time, in minutes, to be applied to the repetitive dive.

\* Dives following surface intervals of more than 12 hours are not repetitive dives. Use actual bottom times in the Standard Air Decompression Tables to compute decompression for such dives.

\*\* If no Residual Nitrogen Time is given, then the repetitive group does not change.

Repetitive Dive Depth feet / meters	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
10	3.0	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
20	6.1	**	**	**	**	**	917	399	279	208	159	120	88	62	39	18
30	9.1	†	†	469	349	279	229	190	159	123	109	88	70	54	39	25
40	12.2	257	241	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17
50	15.2	169	160	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	13
60	18.2	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11
70	21.3	100	96	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9
80	24.4	84	80	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8
90	27.4	73	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7
100	30.5	64	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7
110	33.5	57	55	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10	6
120	36.6	52	50	46	43	39	35	32	28	25	21	18	15	12	9	6
130	39.6	46	44	40	38	35	31	28	25	22	19	16	13	11	8	6
140	42.7	42	40	38	35	32	29	26	23	20	18	15	12	10	7	5
150	45.7	40	38	35	32	30	27	24	22	19	17	14	12	9	7	5
160	48.8	37	36	33	31	28	26	23	20	18	16	13	11	9	6	4
170	51.8	35	34	31	29	26	24	22	19	17	15	13	10	8	6	4
180	54.8	32	31	29	27	25	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4
190	59.9	31	30	28	26	24	21	19	17	15	13	11	10	8	6	4

Residual Nitrogen Times (Minutes)

† Read vertically downward to the 40/12.2 (feet/meter) repetitive dive depth. Use the corresponding residual nitrogen times (minutes) to compute the equivalent single dive time. Decompress using the 40/12.2 (feet/meter) standard air decompression table.

## 第4章 酸素中毒

高分圧酸素と活性酸素との関係（作業及び酸素減圧に伴う生体への影響）

酸素減圧の有用性を検討

### 1. スキューバダイビングにおける活性酸素種および抗酸化力の変化

「第40回日本高気圧環境医学会」抄録

(2005年11月25日～26日 千葉県文化センター)

#### 1-1. 目的

スキューバダイビングでは高分圧空気（高分圧酸素）を呼吸するため活性酸素（ROS）が増加する可能性がある。今回、我々はダイビング前後の血清ROM（活性酸素代謝物）、血清BAP（抗酸化ポテンシャル）等について検討したので報告する。

#### 1-2. 方法

被験者ダイバーは健常人11名とした。ダイビングプロフィールはAパターン（6名）：最大深度20m、エントリーからエキジットまでの時間36分、最大深度20m20分、減圧時間6分（うち水深3m3分停止）とした。Bパターン（5名）：最大深度20m、エントリーからエキジットまでの時間53分、最大深度20m20分、減圧時間23分（うち3m10分停止）とした。ダイビング前後において血清ROMおよび血清BAPを測定した。

#### 1-3. 結果

Aパターンでは、前値：血清ROM $318.0 \pm 37.7$  U.CARR、血清BAP $2495.0 \pm 89.4$   $\mu$ M、後値：血清ROM $299.3 \pm 32.9$  U.CARR、血清BAP $2606.3$

$\pm 329.7$   $\mu$ Mであり、前値と後値との間にいずれも有意差はなかった。Bパターンでは、前値：血清ROM $309.6 \pm 51.0$  U.CARR、血清BAP $2358.8 \pm 163.7$   $\mu$ M、後値：血清ROM $303.2 \pm 40.3$  U.CARR、血清BAP $2233.8 \pm 165.2$   $\mu$ Mであり、前値と後値との間にいずれも有意差はなかった。しかしながら、明らかなストレスがなかった（ボンベの残圧が30kg/cm<sup>2</sup>以上、心拍数の安定）ダイバー（Aパターン：4名、Bパターン：2名）については、前値：血清ROM $314.0 \pm 32.7$  U.CARR、血清BAP $2404.5 \pm 165.8$   $\mu$ M、後値：血清ROM $288.5 \pm 28.1$  U.CARR、血清BAP $2361.2 \pm 323.0$   $\mu$ Mであり、血清ROMについて後値が有意に減少（-8.1%）していた（ $p < 0.05$ ）。

#### 1-4. 結論

スキューバダイビングは血清ROSに影響を与え、ダイビング後にはROSが減少している時期がある。

## 2. 高気圧酸素による活性酸素種および抗酸化力の変化

「第40回日本高気圧環境医学会」抄録  
(2005年11月25日～26日 千葉県文化センター)

### 2-1. 目的

高気圧酸素 (HBO) の副作用の一つである酸素中毒は活性酸素 (ROS) が関与しているとされている。今回、我々は、血清 ROM (活性酸素代謝物)、血清 BAP (抗酸化ポテンシャル)、尿中 8-OHdG について、ROS の影響を評価する指標となりうるかについて検討したので報告する。

### 2-2. 方法

被験者は健常人 10 名とした。HBO スケジュールは米国海軍 Table 6 を使用した。曝露前、曝露直後、1 日後、3 日後、7 日後に採血および採尿を行い、血清 ROM、血清 BAP、尿中 8-OHdG を測定した。

### 2-3. 結果

血清 ROM は曝露直後に平均 6.1% 増加 ( $p < 0.05$ ) し、1 日後には平均 8.5% の減少 ( $p < 0.05$ ) を認めた。血清 BAP および尿中 8-OHdG

については HBO による影響を認めなかった。

### 2-4. 考察

HBO による血中 ROS の変化は、酸素分圧、圧力、曝露時間に関連していると考えられ、今回得られた結果は、既存の報告とも矛盾しない。血清 ROM は HBO による酸化ストレスレベルを評価する指標となりうると思う。HBO では、曝露直後に一過性に酸化ストレス (ROS の増加) が引き起こされるものの、その後、生体の適応反応によって動員された抗酸化物質によって、曝露 1 日後には消去されるのではないかと考えられる。血清 ROM は、血中ヒドロペルオキシドの量を具体的に測定評価できる精密な方法といわれており、HBO による ROS の影響を検知する上でも有用な検査項目であると思う。



### 3. 酸化ストレス（高気圧酸素）によって影響を受ける抗酸化物質の検討

「第40回日本高気圧環境医学会」抄録

(2005年11月25日～26日 千葉県文化センター)

#### 3-1. 目的

抗酸化作用を持つコエンザイム Q10 や抗酸化アミノ酸は、ヒトにおける効果のエビデンスがないままに一般市場に流通している。実際には、これらの抗酸化物質が酸化ストレスを受けた際にどのように変化するかについてはほとんど知られていない。そこで我々は、身体に直接的に酸化ストレスをもたらすと考えられる高気圧酸素において、これらの抗酸化物質が受ける影響について観察し検討したので報告する。

#### 3-2. 方法

高気圧酸素曝露（アメリカ海軍 Table 6A）の前後において血清総コエンザイム Q10、血清 SOD（NBT 還元法）、血漿抗酸化アミノ酸（HPLC-ESD 法）を測定した。被験者は 10 名（男性 6 名、女性 4 名、平均年齢  $34.3 \pm 7.2$  歳）である。抗酸化剤常用者、ピル服用者、喫煙者については被験者から外した。曝露前 12 時間は真水のみ可とした絶食とし、曝露当日は朝食を摂取せずに、前採血後に被験者すべてが同じ食事を摂った。

#### 3-3. 結果

総コエンザイム Q10 (単位: ng/ml) は、曝露前  $1342.1 \pm 412.7$ 、曝露後  $1316.8 \pm 386.9$ 、曝

露 1 日後  $1291.6 \pm 432.1$ 、3 日後  $1370.9 \pm 322.8$ 、7 日後  $1505.9 \pm 423.1$  であり、有意差は認められなかった。SOD (単位: %) は曝露前  $10.7 \pm 1.6$ 、曝露後  $10.9 \pm 1.5$ 、曝露 1 日後  $15.5 \pm 2.7^*$ 、3 日後  $14.0 \pm 1.0^*$ 、7 日後  $16.6 \pm 2.6^*$  であり、曝露 1 日以降に有意な増加がみられた (\*  $p < 0.05$ )。抗酸化アミノ酸 (単位: nmol/ml) においては、尿素: 曝露前  $3508.6 \pm 625.7$  と曝露後  $3905.8 \pm 560.5^*$ 、バリン: 曝露前  $239.7 \pm 50.9$  と曝露後  $255.8 \pm 45.2^*$ 、アラニン: 曝露前  $416.8 \pm 66.1$  と曝露後  $367.0 \pm 38.4^*$ 、オルニチン: 曝露前  $112.3 \pm 34.2$  と曝露後  $95.3 \pm 22.3^*$ 、タウリン: 曝露前  $126.5 \pm 47.2$  と曝露後  $93.7 \pm 36.9$ 、ヒスチジン: 曝露前  $97.3 \pm 8.1$  と曝露後  $90.0 \pm 7.9$  であった (\*  $p < 0.05$ )。

#### 3-4. 考察

高気圧酸素は総コエンザイム Q10 については影響をもたらさない。高気圧酸素はこれまでアミノ酸代謝を司る肝胆道機能に対して影響を及ぼすことが報告されているが、血漿抗酸化アミノ酸についても変化をもたらす可能性がある。

## 4. 高気圧酸素 US Navy Table6 における生体内の酸化・抗酸化力の変化

「第 41 回日本高気圧環境・潜水医学会」抄録  
(2006 年 11 月 3 日～4 日 琉球大学医学部臨床講義棟)

### 4-1. 目的

高気圧酸素 (HBO : Hyperbaric Oxygen) 治療の副作用の一つである酸素中毒は、活性酸素 (ROS : Reactive oxygen species) が関与していることが知られている。我々は、今回、末梢血のヒドロペルオキシド濃度を呈色させ光度計にて測定することで身体内の活性酸素レベルを測定する ROM (Reactive Oxygen Metabolites) テストおよび各種酸化・抗酸化力の指標について評価したので報告する。

### 4-2. 方法

10 名の健常被験者 (男性 3 名、女性 7 名、平均年齢  $32.8 \pm 5.4$  歳) に対して US Navy Table 6 のプロトコールに従って HBO 曝露を行った。採血は、HBO 直前・直後に行われ、採尿 (8-OHdG) については、HBO 曝露日と翌日の早朝尿とした。酸化ストレスの指標である血清 ROM (Reactive oxygen metabolites)、および血清 BAP (Biological Antioxidant Potential)、血清 HEL (Hexanoyl-Lysine)、血清 LPO (lipid peroxides)、血清 SOD (Superoxide dismutase)、血清 CoQ10

(CoEnzyme Q10) 濃度、血清 CoQ10 酸化率、尿中 8-OHdG (8-hydroxydeoxy-guanosine) を測定した。

### 4-3. 結果

血清 ROM については、HBO 直後に平均値が 6.9%増加した (HBO 前 :  $315.3 \pm 16.6$  U. CARR, HBO 後 :  $337.0 \pm 16.9$  U. CARR ;  $p > 0.05$ )。血清 BAP は HBO 直後に 2.1%増加、血清 HEL は 3.1%増加、血清 LPO は 26.5%増加、血清 SOD は 1.5%増加、血清 CoQ10 濃度は 17.5%増加、血清 CoQ10 酸化率は曝露前後ともに 0.0%、尿中 8-OHdG は 3.1%増加した (いずれも有意差なし)。

### 4-5. 結論

US Navy Table 6 曝露によって ROS は一過性に増加することが示唆された。ROS を定量的に評価する指標として ROM テストは有用であり比較的鋭敏に反映するものと考えられた。

## 5. 食事制限下の高気圧酸素曝露における血漿遊離アミノ酸の変化

「第 41 回日本高気圧環境・潜水医学会」抄録

(2006 年 11 月 3 日～4 日 琉球大学医学部臨床講義棟)

### 5-1. 目的

血漿遊離アミノ酸は、酵素異常による先天性アミノ酸代謝異常のみならず、後天性疾患の診断や病態の解明、臓器の機能評価の手段として注目されつつあり、最近では肝代謝を始めとしてさまざまな病態または生体内の変化において代謝過程が変化することが知られてきている。今回、我々は、食事制限下において身体に直接的に酸化ストレスをもたらすとされる高気圧酸素 (HBO: Hyperbaric Oxygen) が血漿遊離アミノ酸にどのような影響をもたらすかについて検討したので報告する。

### 5-2. 方法

被験者は HBO (米国海軍 Table 6A) 施行群 10 名 (女性 10 名、平均年齢  $35.1 \pm 11.5$  歳) および HBO を施行しないコントロール群 9 名 (男性 5 名、女性 4 名、平均年齢  $33.4 \pm 7.0$  歳) とした。HBO 群においては HBO 直前と直後に採血を行い、コントロール群においても同時点で採取し、血漿遊離アミノ酸を HPLC-ESD 法にて測定した。HBO 群、コントロール群ともに、検査日の朝食前 12 時間を禁食

(水分摂取のみ可) とし、当日の HBO 前の朝食については 160 g の白米および味噌汁 1 杯とし、HBO 中の昼食については 160 g の白米のみとした。HBO 中の水分摂取は 500ml とした。

### 5-3. 結果

HBO 施行群において、HBO 後、血漿グルタミンが減少した (HBO 前:  $514.3 \pm 76.4$  nmol/ml、後:  $483.2 \pm 64.1$  nmol/ml) ( $P < 0.05$ )、フィシャー比についても HBO 後に減少した (HBO 前: 2.94、後: 2.76) ( $P < 0.05$ )。尿素、アスパラギン、グリシン、ヒスチジン、リジン、アルギニンについては有意な変化を認めなかった。

### 5-4. 結論

HBO は血漿遊離アミノ酸代謝に何らかの影響を与える可能性があることが示唆された。

## 6. 高気圧酸素曝露によって発生する活性酸素に対する CoEnzyme Q10 の抑制作用についての検討

「第 41 回日本高気圧環境・潜水医学会」抄録  
(2006 年 11 月 3 日～4 日 琉球大学医学部臨床講義棟)

### 6-1. 目的

抗酸化物質である CoQ10 (CoEnzyme Q10) を内服している被験者において、HBO 曝露による活性酸素発生の影響を検討したので報告する。

### 6-2. 方法

6 名の健常被験者 (女性 6 名、平均年齢 36.2 ± 14.6 歳) は CoQ10 600mg/day 内服 2 週間目に US Navy Table 6 のプロトコールに従って HBO 曝露された (内服群)。一方、コントロール群については 10 名の健常被験者 (男性 3 名、女性 7 名、平均年齢 32.8 ± 5.4 歳) が CoQ10 のプラセボを 2 週間内服して同様のスケジュールで HBO 曝露された (非内服群)。検体採取は、内服前、HBO 直前、直後、1 日後、3 日後、7 日後に行われた。

### 6-3. 結果

非内服群において血清 ROM (Reactive Oxygen Metabolites) (単位: U.CARR) は、HBO 直後に平均値が 6.9% 有意に増加した ( $p > 0.05$ ) (HBO 直前:  $315.3 \pm 52.5$ , 直後:  $337.1 \pm 53.5$ )。血清 BAP (Biological

Antioxidant Potential) については有意な変化を示さなかった。一方、内服群において血清 ROM は HBO 後に有意な変化を示さなかった。また、血清 BAP (単位:  $\mu\text{mol/l}$ ) については 3 日後と 8 日後に有意な増加を認めた ( $p > 0.05$ ) (内服前  $2451.2 \pm 80.5$ , HBO 直前:  $2462.3 \pm 190.7$ , 3 日後:  $2712.0 \pm 135.7$ , 8 日後:  $2668.0 \pm 193.9$ )。血清 CoQ10 濃度は、内服 2 週間目 (HBO 直前) において、内服群は、非内服群の 6.4 倍、内服前の 7.6 倍であった。血清 CoQ10 酸化率は、内服群において HBO 直前は 0.0%、直後は 1.68% に増加した (非内服群は HBO 経過中すべて 0.0%)。

### 6-4. 結論

CoQ10 は HBO によって発生する活性酸素を消去またはその発生をコントロールする可能性がある。

## 7 . FREE RADICALS AND ANTIOXIDANT POTENTIAL IN SCUBA DIVER

UNDERSEA AND HYPERBARIC MEDICAL SOCIETY SCIENTIFIC MEETING & ASSOCIATES/BNA Annual Scientific Meeting 22-24 June 2006 H13

### ABSTRACT

**BACKGROUND:** No studies exists on the estimated risk from oxidative stress induced by recreational scuba activities, although some observations suggest that inhaled oxygen under hyperbaric treatment increase oxidative stress on living body. This study intended to evaluate oxidative stress and antioxidant potential of divers during scuba activity, and to estimate the effect of reactive oxygen on recreational scuba divers.

### METHODS

The subjects were 7 healthy divers. Group A: maximum depth of 20m for 20 minutes, total diving time was 36 minutes including 6 minutes of decompression time. Group B: maximum depth of 20m for 20 minutes, total diving time was 53 minutes including 23 minutes of decompression time. Blood samples were collected from divers' forearm vein before and after diving. Immediately after having had the samples, a portable free radical and antioxidant potential determination device called FRAS® (Free Radical Analytical System) was used to measure the reactive oxygen metabolites (ROMs) and the biological antioxidant potential (BAP). To estimate the stress level for ROMs and BAP values, divers who met the following condition: HR<140bpm and tank pressure>30kg/cm<sup>2</sup> were selected as the low stress group (Group C).

### RESULTS

There was no significant difference (Group A: 318.0 ± 37.7 to 299.3 ± 32.9 U.CARR, Group B: 309.6 ± 51.0 to 303.2 ± 40.3 U.CARR). In Group C, the ROMs value significantly decreased -8.1% after diving (314.0 ± 32.7 to 288.5 ± 28.1 U.CARR) (P=0.038). All subjects maintained proper BAP values before diving, and there were no significant changes in the values after diving (Group A: 2495.0 ± 89.4 to 2606.3 ± 329.7uM, Group B: 2358.8 ± 163.7 to 2233.8 ± 165.2uM, Group C: 2404.5 ± 165.8 to 2361.2 ± 323.0uM).

**CONCLUSION:** In this study, it was confirmed that there was a time frame when serum ROMs decrease in low stressed scuba diving, which suggests that free radical damage may be reduced in scuba activities under certain conditions.

### INTRODUCTION

It is well known that reactive oxygen is a cause of significant cell damage by the oxidation of membranes or by altering critical enzyme pathways and systems. Many studies point out that oxidative stress appears to be associated with increased production of reactive oxygen radicals that alter the natural antioxidant defense mechanisms present in

most cells and tissues.

Some reports states observations that inhaling oxygen under hyperbaric treatment increased oxidative stress on living body, however, there are no studies on estimating the risk of oxidative stress caused by inhaling high pressure air from tanks during scuba diving by healthy subjects under sea. For divers' health care, it is an important issue whether scuba diving as a recreational activity increases oxidative stress or not. The aim of this study is to evaluate oxidative stress and antioxidant potential of divers during scuba diving activity under sea, and to estimate the effect of reactive oxygen on recreational scuba diving.

## **METHODS**

### **Subjects**

Healthy eleven divers enrolled in the study (nine male, two female, age range  $44.5 \pm 8.6$  years-old, 6 smokers included). All subjects were informed of the aim of this study, and informed consent was obtained from all subjects. Divers were randomly assigned to two groups, Group A (six divers) or Group B (five divers). They dived with the following protocol in sea:

Diving protocol (Fig.1)

Group A: maximum depth at 20m for 20 minutes, total diving time was 36 minutes including six minutes decompression time (safety stop at three meters deep for three minutes).

Group B: maximum depth at 20m for 20 minutes, total diving time was 53 minutes including 23 minutes decompression time (safety stop at three meters deep for ten minutes).

Definition of LS (Low stressed) group: To estimate the effect of stress level for ROMs and BAP values, divers who satisfied following condition: HR < 140 bpm during diving and gas cylinder pressure > 30 kg/cm<sup>2</sup> in after diving (190 kg/cm<sup>2</sup> in before diving) were selected for LS group. These divers were regarded as less stressed divers.

During diving, each diver carried a pulse sensor (SEIKO PULSE GRAPH® SEIKO WATCH Co., Japan) to confirm one's own heart rate to be below 110 bpm. They also carried diving computers (CITIZEN AIR DIVER®, Citizen Watch Co., Ltd.) to control the time and depth of diving.

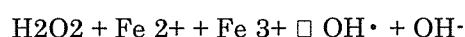
### **Sample collection and measurements**

Blood samples were collected from divers' forearm vein before and after diving. Immediately after gathering samples, a portable free radical and antioxidant potential determination device called FRAS® (Free Radical Analytical System) (Diacron, srl., Italy) was used to measure the reactive oxygen metabolites, ROMs and the biological antioxidant potential, BAP.

### **ROMs test: Test for oxidative stress level**

The method is based upon metals transition capacity to catalize, once these metals are freed from their chelate protein transport forms and the deposit where they are normally found in plasma and cells, reactions from the formations of free radicals according to Fenton's

reaction as in the following formula, or in radical propagation:



The radicals which are produced, the quantity of which is directly proportional to the quantity of peroxide present in plasma, are chemically trapped by phenolic derivate molecules, and through the reaction, these peroxides are transformed into ions. The ion transformation colors the peroxides, and the color can be measured with photometers.

Practically, a small amount of serum is diluted in an acid buffer solution (pH 4.8). The iron ions that were bonded to the serum proteins become available to catalyze in vitro the breakdown of blood hydroperoxides to alkoxy and peroxy radicals.

The chromogen (N,N,-diethylparaphenylen-diamine) is oxidized by hydroperoxyl and alkoxy radicals, then change to colored cation detectable at 505 nm. The concentration of colored complex reflects (correspond, related) to the hydroperoxides levels of the tested biological sample.

The results were expressed as U CARR, where 1 CARR U corresponds to 0.08 mg/100 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

The normal range has been determined as 250-300 U.CARR.

**BAP test:** Test for biological antioxidant potential

Based on the ability of a colored solution, containing a source of ferric (Fe<sup>3+</sup>) ions bound to a chromogenic substrate (i.e. a thiocyanate derivative), to decolor when Fe<sup>3+</sup> ions are reduced to ferrous ions (Fe<sup>2+</sup>), as it occurs by adding a blood plasma sample. For the test, plasma sample already has been dissolved in a colored solution obtained by mixing a source of ferric ions (i.e. ferric chloride, FeCl<sub>3</sub>).

Practically, a small amount of blood plasma (10 µL) to be tested is dissolved in a colored solution, which has been previously obtained by mixing a source of ferric ions (i. e. ferric chloride, FeCl<sub>3</sub>) with a special chromogenic substrate (i. e. a thiocyanate derivative)

After five minutes incubation at 37°C, the solution will decolor, reflecting the ability of plasma to reduce ferric ions to ferrous ions, according to these reactions:

By photometrically assessing the intensity of decoloration, the amount of reduced ferric ions can be adequately evaluated, which shows antioxidant potential of tested sample.

The value more the 2,200 µM is estimated to physiological adequate.

### Statistics

All data are expressed as mean ± SD. Statistical analysis was performed on a personal computer with the Microsoft Excel. Variables were analyzed by paired t-test to analyze change from baselines. P values of less than 0.05 were considered significant.

### RESULTS

Table 1 depicts the background of subjects and informational data on the test day. Though subjects of this study included six smokers, result shows no difference in the control values

of ROMs and BAP between smokers and non-smokers. Based on the definition, six subjects were selected for LS group. There was no relation among smoking habit, age, gender and diving experience for selection of low stressed group.

In both groups A and B, ROMs values did not show any significant difference between before and after diving. There was no significant difference (Group A:  $318 \pm 37.7$  U CARR to  $299.3 \pm 32.9$  U.CARR, Group B:  $309.6 \pm 51.0$  to  $303.2 \pm 40.3$  U.CARR). However, in LS group, the ROMs value decreased  $-8.1\%$  significantly after diving ( $314.0 \pm 32.7$  to  $288.5 \pm 28.1$  U.CARR,  $P=0.038$ ) (Table 2). All subjects maintained proper BAP values before diving, and there were no significant changes in the values after diving. (Group A:  $2495.0 \pm 89.4$  to  $2606.3 \pm 329.7 \mu\text{M}$ , Group B:  $2358.8 \pm 163.7$  to  $2233.8 \pm 165.2 \mu\text{M}$ , Group C:  $2404.5 \pm 165.8$  to  $2361.2 \pm 323.0 \mu\text{M}$ ) (Table 2).

Table 2 Results of d-ROMs and BAP

	ROMS(U CARR)		BAP( $\mu\text{Mol/l}$ )		
	Before	After	Before	After	
A	$318.0 \pm 37$	$299.3 \pm 33$	A	$2495.0 \pm 89.4$	$2606.3 \pm 329$
B	$309.6 \pm 51$	$303.2 \pm 40$	B	$2358.8 \pm 164$	$2233.8 \pm 165$
LS	$314.0 \pm 32$	$288.5 \pm 28$	LS	$2404.5 \pm 166$	$2361 \pm 323$

\*LS: Low stressed group i.e. HR<140 and remaining air in tanks>30kg/cm<sup>2</sup>

Subjects	Subjects initials	Gender	Age	Smoker	Diving experience
A1	MK	M	59	Yes	>10,000times
A2	YY	M	38	Yes	>700 times
A3	TY	M	37	Yes	398 times
A4	MT	F	45	No	1,600 times
A5	SK	M	39	Yes	1,040 times
A6	GT	M	35	Yes	> 5,000 times
B1	MS	M	35	Yes	7,000 times
B2	NS	M	44	Yes	850 times
B3	NK	M	49	No	850 times
B4	NT	M	57	No	3,100 times
B5	GM	F	51	No	150 times

Table 1 Demographic data of subjects

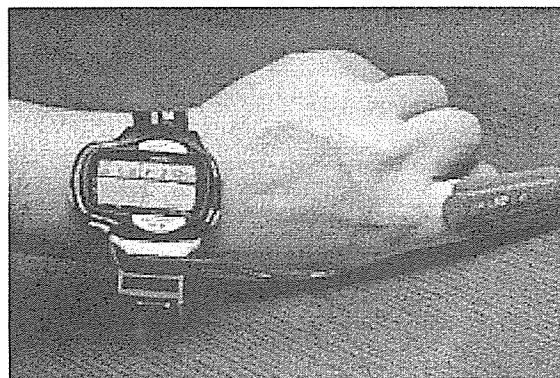
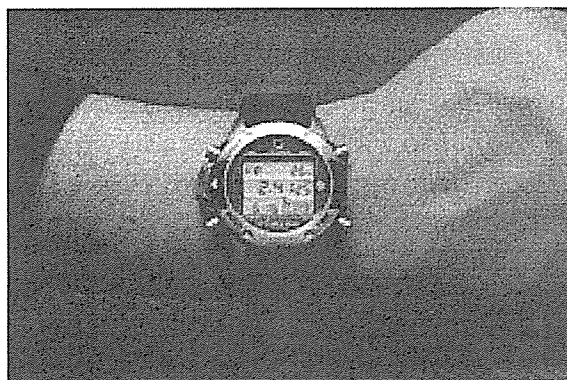


Subjects	Self condition*	Subjective stress**	Maximun HR at 20m depth	Remaining air in tunks	Selection for LS***
A1	Good	None	150	70	LS
A2	Mild general fatigur	Slight	100	20	
A3	Mild lack of sleep	None	65	30	LS
A4	Good	None	103	70	LS
A5	Good	None	120	60	LS
A6	Good	Slight	200	70	
B1	Good	None	110	25	
B2	Good	None	100	55	LS
B3	Good	Moderate	100	70	LS
B4	Good	None	100	20	
B5	Good	None	90	10	

\*Self conditon: Subjective self condition on morning of the test day

\*\*Subjective stress: Subjective physical and mental stress during diving

\*\*\*LS: Low stressed group i.e. HR<140 and remaining air in tanks > 30kg/cm2



## 7-5. DISCUSSION

Generally, it is said that the rise of inhalation oxygen partial pressure increases the generation of reactive oxygen as by products of promoted oxygen metabolism in the body. If the generated reactive oxygen and free radicals not appropriately eliminated, there is a risk of oxidative damage in the body. Also, although it is said that physical exercise improves antioxidant potential, the change of antioxidant potential in scuba diving wherein compressed air is inhaled has not been clarified in relation to physical activities in scuba diving.

In this study, it was confirmed that there is a time frame when serum ROMs decrease in

low stressed scuba diving, which signifies that free radical damage may be reduced in scuba activities under a certain conditions. Usually, it is said that about 2% of oxygen consumed in respiration at rest becomes free radicals, but in scuba diving wherein high partial pressure oxygen is inhaled, there are concerns that free radical generation may increase in accordance with the increased oxygen intake. However, as for physical exercise and lipid hyperoxidation, it is reported that exercise load up to 50% of maximum oxygen intake does not affect the lipid hyperoxidation.

Furthermore, as in the LS Group in this study, in scuba activities wherein stress load was relatively low, radical generation might have not been so significant. Nonetheless, even taking this in consideration, many issues remain to be solved regarding the result that shows the decrease of free radicals while ROMs level was expected to rise during scuba diving. One possibility is that although there may have been generation of free radicals during scuba activities, the scavenger system in the divers' body was mobilized and that the ROMs level was lower after diving.

In this study, the fluctuating situation of the scavenger system during scuba diving activities was not grasped, but it was confirmed that antioxidant potential shows no significant change before and/or after a single scuba diving activity. It is considered that one of the reasons for that is that the samples of this study were all well experienced divers. According to studies related to antioxidant potential, people who exercise frequently have higher level of antioxidant enzyme and other antioxidant substances. The antioxidant potential that was measured in this study showed a high value before the experiment in all Groups. It is considered that this is because the samples had already acquired sufficient antioxidant potential in their daily exercise activities that includes diving.

There is also the possibility that the divers' confidence in their activities underwater may have prevented mental stress. As time and repeated activities are necessary for a person to acquire the ability to strengthen the antioxidant potential of the body by doing regular exercise, it is possible that significant change in antioxidant potential in scuba diving activities may appear by continuously observing the samples.

The ROMs test is effective in that it can measure the amount of hydroperoxides (ROOH) in the blood that are the by-products of oxidized lipid, protein, nucleotides, and amino acids that have been damaged by free radicals. The life span of a free radical in the body is extremely short-lived, but the oxidative damage done by free radicals in the body can be evaluated by measuring ROMs. There are some clinical studies that report the change of ROMs due to oxidative stress in ischemic reperfusion, change of ROMs after celiotomy operation. With regards to the topic of physical exercise and oxidative stress, there are studies of athletes, and the ROMs test is utilized to promote better performance.

As a conclusion, in low stressed scuba diving, there is a time frame when the serum ROMs decrease, and rise of oxidative stress due to high pressurized oxygen inhalation was not found. As one topic to follow, an investigation needs to be conducted on what influences the oxidative damage in cases when diving is conducted repeatedly, and how divers acquire the antioxidant potential features. Moreover, although evaluation of oxidative stress and heart

beat change is difficult because of multiple factors that affect the relation between the two parameters, it is thought that appropriate analysis is possible when accurate control is conducted.

## 8. 高気圧酸素における血漿遊離アミノ酸の検討

【日本高気圧環境・潜水医学会 投稿中】

### 8-1. はじめに

高気圧酸素 (HBO: Hyperbaric oxygen) は、脂質、たんぱく質、DNA の酸化など、細胞障害を起こしうる活性酸素の発生を増加させることが報告されている<sup>1)</sup>。活性酸素は、老化や疾病との関連について、これまで多数の報告があり、様々な病気の原因や病態増悪因子として知られている<sup>2)</sup>。一方、生体内には、ビタミンCやEなどに代表される大量の抗酸化物質が存在し、スカベンジャーとしての役割を果たしている<sup>3)</sup>。近年では、一般社会においても“抗酸化ブーム”という言葉で象徴されるように、抗酸化作用のある物質を含んだサプリメント類が多数販売され、その市場は1兆円にも達する勢いである<sup>4)</sup>。中でも、アミノ酸の中には抗酸化作用のあるものもあるため<sup>5)</sup>アミノ酸サプリメントは、コエンザイムQ10などと並んで需要率が非常に高くほとんどのドラッグストアに陳列されている。しかしながら、抗酸化アミノ酸を始めとするサプリメント類は、ヒトにおける効果のエビデンス、または生体内における抗酸化作用の機序、およびその生理的作用についてはあまり解明されていない。

一方、基礎的研究では、HBOの酸化ストレスが生体内のアミノ酸に影響することが確認されており、Itoら<sup>6)</sup>は、高気圧酸素曝露によってラットの脳のアルギニン代謝が変化することを報告し、また、Mialonら<sup>7)</sup>は、マウスの大脳皮質等において、タウリン、グルタミン酸、アスパラギン酸が減少し、酸化ストレスによる遊離作用が生じることを報告している。また、抗酸化作用を有するアミノ酸は、酸化ストレスを受けた際、代謝および体内動態が変化する可能性がある<sup>8)</sup>。

今回、我々は、健常者においてHBOが血漿

遊離アミノ酸にどのように影響したかについて検討した。

### 8-2. 方法

HBOは、健常者10名(男性6名、女性4名、平均年齢 $34.3 \pm 7.2$ 歳)に対して、アメリカ海軍が作成したTable 6(時間延長のない標準治療表)のスケジュールで施行された。抗酸化剤の常用者、ピル服用者、喫煙者については、被験者に含まれていない。HBO前日は、日常通りの生活と食事を摂取し、HBOを施行する当日は、HBO前の採血直後に、朝食として、おにぎり2個を摂取し、HBO試行中、ゲージ圧0.09MPaに減圧された際の1回目の空気呼吸(酸素ブレイク)中に、昼食として、おにぎり2個を摂取した。HBO中は、座位安静、睡眠不可とし、水分摂取は500ml以内とした。HBOを受けた同被験者は、1ヶ月が経過した後、HBO曝露なし群(安静コントロール群)として、HBO曝露時と同様のスケジュールで実験が行われた。

血漿遊離アミノ酸測定のための採血は、HBOの前・後に行われた。採血された検体は可及的速やかに遠心分離(3,000回転、15分、室温)後、血漿のみを採取し、 $-18^{\circ}\text{C}$ にて凍結保存された。HBOの翌日、すべての検体は同時に測定された。バリン( $224.1 \sim 276.3 \text{ nmol/l}$ )、イソロイシン( $63.4 \sim 88.0 \text{ nmol/l}$ )、トリプトファン( $43.0 \sim 67.2 \text{ nmol/l}$ )、チロシン( $54.6 \sim 75.2 \text{ nmol/l}$ )について検討された。検体は、陽イオン交換樹脂クロマトグラフィーを用いたニンヒドリン反応による自動アミノ酸分析装置(日立835-50型自動アミノ酸分析器)により測定された。

当研究は、ヘルシンキ宣言に基づき、東京医科歯科大学医学部附属病院の倫理委員会の