

飽和潜水実験時の情動ストレスと 血清トランスアミナーゼ活性値の変化

竹内 久美*¹ 毛利 元彦*¹

1990年と1991年に実施したHe-O₂による2度のドライ環境での飽和潜水実験(New Seatopia '90-'91)において、各実験毎にそれぞれ4名の被験者を対象に血液検査を実施した。血液生化学検査で最も顕著な変化を示したのは、血清トランスアミナーゼ(Serum glutamic oxaloacetic transaminase : S-GOT, Serum glutamic pyruvic transaminase : S-GPT)活性値の上昇で、特にS-GPTの上昇が顕著であった。この変化の特徴は個人差があり、ピークはおおむね実験の後半にみられ、上昇時には常にS-GOT<S-GPTの関係を示し、さらに多くの場合下痢を伴うことなどであった。これらのことから飽和潜水実験時にみられるS-GPT活性値の上昇は、圧力や呼吸ガスなどの影響によって起こるのではなく、むしろ狭隘な閉鎖環境、すなわち高圧チェンバー内での長期間の生活や人間関係などによる心因性ストレスが主な原因となって起こると思われた。

キーワード：飽和潜水、血清トランスアミナーゼ(S-GOT, S-GPT),
情動ストレス、閉鎖環境

Mental Stress and Change of Serum Transaminase Activity in Saturation Diving

Hisayoshi TAKEUCHI*² Motohiko MOHRI*²

Two dry saturation dives with He-O₂ were carried out from 1990 to 1991 at Japan Marine Science & Technology Center (JAMSTEC). The number of subjects for each dive was four male adults. In blood chemical analysis, it was observed that activity of serum transaminase, i.e., serum glutamic oxaloacetic transaminase (S-GOT) and serum glutamic pyruvic transaminase (S-GPT) activity was elevated throughout the dives. Especially, the elevation of S-GPT activity was remarkable.

There were some characteristics in these changes: first, there was a definite individual difference; second, peaks of those elevations appeared during the decompression phase or after the dives; third, the peak of S-GOT tended to be less than that of S-GPT, fourth, generally, the elevation of S-GPT activity was accompanied by diarrhea. By taking the results of various observations into account, it

* 1 海域開発研究部

* 2 Marine Development Research Department

is concluded that the elevation of serum transaminase during or after the dive was possibly caused by mental stress accumulated in the confinement of a closed environment for a long period of time, rather than by the pure effects of hyperbaric helium gas exposure.

Key words : Saturation dive, serum tranminase (S-GOT, S-GPT), mental stress, closed environment

1 はじめに

H₂-O₂による飽和潜水実験において、ダイバーの血清トランスアミナーゼ活性値が上昇するという報告が多くある^{1)~10)}。本酵素の血清中の活性値は、本酵素が多量に含有されている肝細胞や心筋細胞に損傷や壊死が生じた場合に上昇し、その上昇率は損傷や壊死の度合いを反映するといわれている。それ故この変化を知ることは临床上、肝疾患や心疾患などの診断を行う上で極めて有効な手段となっている。反面、この酵素活性値は病的な原因だけで上昇するのではなく、激運動を行った場合^{11) 12)}や各種のストレスを負荷した場合^{13) 14)}にも上昇することが知られている。また梶ら¹³⁾は、肝機能異常者と心因性ストレス(情動ストレス)との関連に着目し、情動ストレスを軽減させることにより、血清トランスアミナーゼ活性値が速やかに下降したと報告している。そこで本報告では、飽和潜水実験時にしばしば観察される血清トランスアミナーゼ活性値の上昇に着目し、特にS-GPTの活性値の上昇が情動ストレスによって起こると思われる知見を得たので報告する。

2 方法

1990年と1991年に海洋科学技術センターで実施したH₂-O₂による2回の潜水シミュレーション実験(New Seatopia '90及びNew Seatopia '91)において、それぞれ4名のダイバー(被験者)を対象に血液検査を実施した。被験者(New Seatopia '90ではA, B, C, D. New Seatopia '91ではB, C, E, F. なお同一記号は同一被験者を示す)は24才~29才の健康な男子ダイバーで、B以外の被験者は飽和潜水実験の経験者であった。これらの実験は共にエクスカージョン(以下EXと略す)

潜水実験で、New Seatopia '90は270mの保圧深度から300mへの深深度へのEX潜水を、New Seatopia '91は300mの保圧深度から270mへの浅深度へのEX潜水を、それぞれ保圧中に3度ずつ実施した。これらの潜水計画の概要を図1に示す。採血はNew Seatopia '90では、事前観察期1回(事前観察3日目)、保圧期2回(保圧2日目, 7日目)、減圧期1回(減圧6日目)事後観察期1回(事後観察1日目)の計5回、早朝空腹時(07:00~)に実施した。これに対しNew Seatopia '91では、事前観察期2回(事前観察1日目, 3日目)、保圧期1回(保圧4日目)、減圧期2回(減圧1日目, 11日目)、事後観察期1回(事後観察3日目)の計6回実施した。採血時間は他の測定項目との兼ね合いにより、上記の下線を引いた3回については夕食の約2時間30分後(19:40~)から、その他は従来通り早朝空腹時(07:00~)に実施した。入手したサンプルは直ちにオートアナライザー(東芝製TBA-380)による自動分析を行った。実施項目は血清トランスアミナーゼ(S-GOT, S-GPT)及び乳酸脱水素酵素(LDH)であった。なおNew Seatopia '91では、その後の経過をみるために実験終了後14日目(空腹時採血09:00~)に検診を行ったので、その時の値も参考に付記した。

3 結果

両実験における各4名の被験者のS-GOT, S-GPT及びLDH活性値の変化[平均値(mean)及び標準偏差値(SD)]を図2に示した。New Seatopia '90(左図)では、S-GOTは事前観察期(I)の値が15±4 IU/Lで、その後ほとんど変化なく、減圧を終了した翌日の事後観察期(V)に

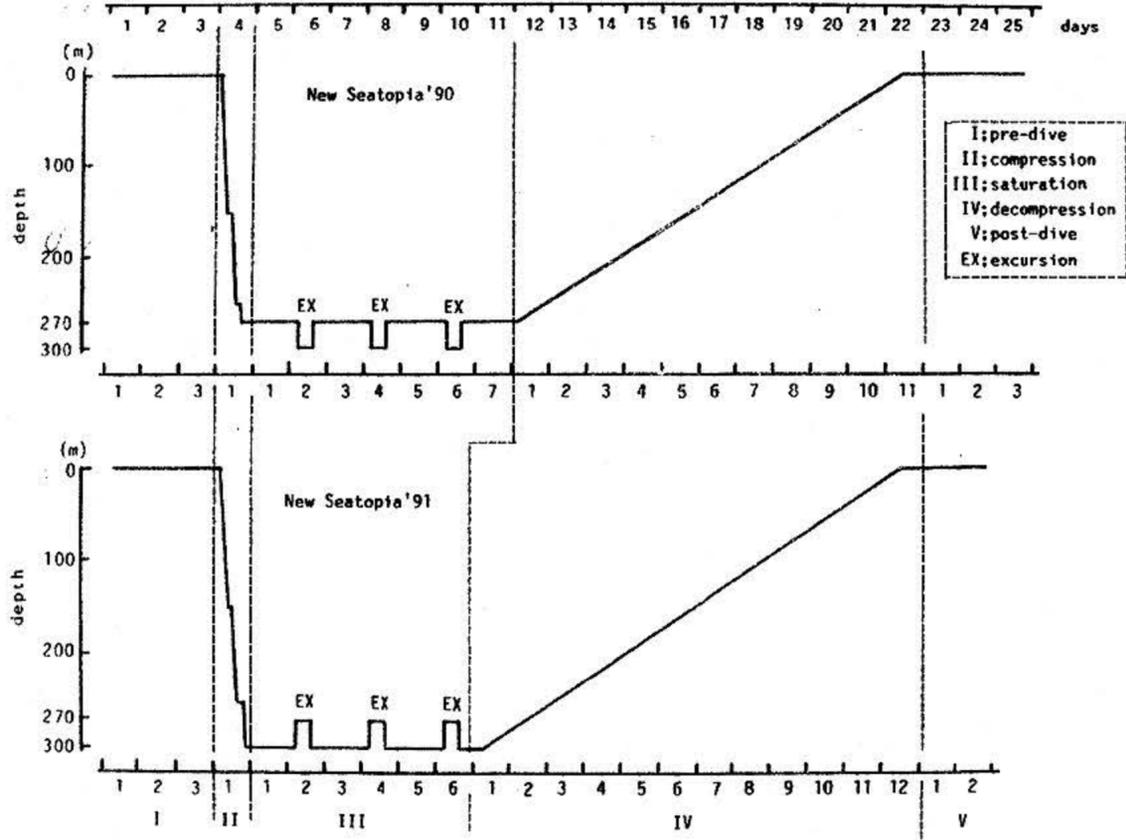


図1 2回の実験の潜水計画

Fig. 1 Two dive profiles (New seatoria '90, '91)

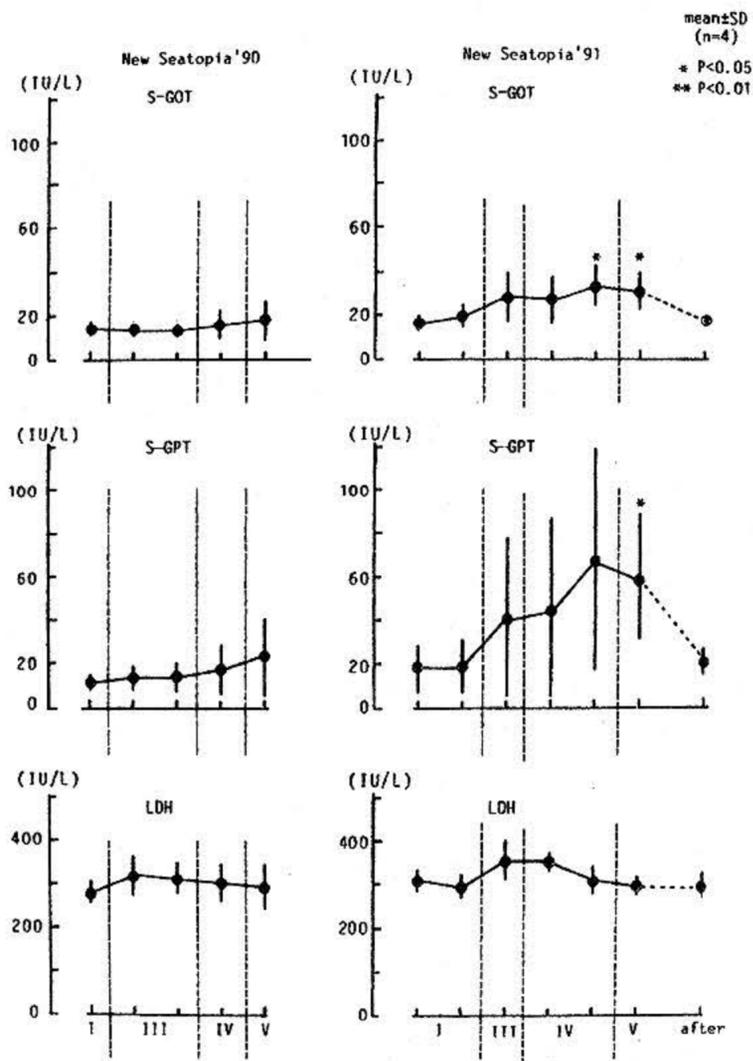


図2 2回の実験におけるS-GOT, S-GPT及びLDH活性値の変化

Fig. 2 Change of S-GOT, S-GPT & LDH activities in two dives

わずかに上昇し 19 ± 8 IU/Lとなった。S-GPTは事前観察期の値が 11 ± 4 IU/Lで、保圧期(III)にはほとんど変化なく、減圧期(IV)からやや上昇し事後観察期にピークとなった。この時の値は 23 ± 19 IU/Lであったがバラツキが大きく、事前観察期の値との比較では有意差は認められなかった。LDHは事前観察期 280 ± 23 IU/Lで、保圧初期に 320 ± 23 IU/Lとやや上昇したもののその後はほとんど変化なく、事後観察期にはおおむね元のレベルに復した。これに対しNew Seatoria '91(右図)では、S-GOTの事前観察期の2回の値はそれぞれ 16 ± 4 IU/L、 19 ± 5 IU/Lで、その後、保圧期から減圧後期にかけて上昇し、事後観察期も引き続き高いレベルを維持した。減圧後期及び事後観察期の値はそれぞれ 33 ± 9 IU/Lと 31 ± 7 IU/Lで、ともに事前観察期の値と比較して統計学的に有意な増加($P < 0.05$)であった。そして実験終了後14日目(after)に実施した検診時の値は 17 ± 1 IU/Lで、おおむね元のレベルに復した。S-GPTは事前観察期の値が 18 ± 11 IU/Lと 18 ± 13 IU/Lではほぼ一定であったが、保圧期以降は漸次上昇し、減圧後期のピーク時には 69 ± 51 IU/Lとなった。この時バラツキも最大となった。その後、事後観察期にも 60 ± 29 IU/Lと引き続き

高いレベルを維持し、事前観察期との比較で統計学的に有意な増加 ($P < 0.05$) となったが、実験終了14日後の値は 21 ± 5 IU/Lで、ほぼ元のレベルに復した。なおS-GPTとS-GOTとの関係では、S-GPTが極度に上昇する際は必ず $S-GOT < S-GPT$ となった。LDHは事前観察期の値が 313 ± 25 IU/Lと 295 ± 35 IU/Lで、その後保圧期に 353 ± 42 IU/Lまで上昇したが、減圧後期にはおおむね元のレベルに復した。

以上に示した如く、2回の実験の比較では上記の酵素活性値に顕著な変化が現れたのはNew Seatopia '91で、特に保圧期以降から事後観察期にかけての血清トランスアミナーゼ活性値の上昇が顕著であった。このうち特徴的な変化を示したのはS-GPTで、表1に示した個人別の分析結果から明らかなように、極めて大きな個人差がみられた。例えば被験者EのS-GPT活性値が減圧後期に最高143IU/Lに上昇したのに対し、他の被験者ではこれほどまでの上昇はみられず、特に被験者Bの同日の活性値は30IU/Lと低い値を示した。それ故この時のSDは最大となった。またNew Seatopia '91での被験者B、Cは、先のNew Seatopia '90の実験にも参加しており、その時の彼らのS-GPT活性値は、New Seatopia '91とほぼ同様な変化を示した。その他、両実験において毎朝起床時に実施した定時計測の結果では、S-GPT活性値が

上昇した被験者にしばしばその時期、排便回数の増加や下痢が観察された(表2)。すなわちNew Seatopia '90では被験者Cが保圧4日目に4回の排便と2回の下痢をし、その前日や減圧初期の頃にも3回の排便と下痢をした。一方、New Seatopia '91では、同被験者は減圧期に入ってから排便回数の増加や下痢が観察され、本実験でS-GPT活性値が最も上昇した被験者Eでは保圧後期から減圧中期にかけて排便回数が増加し下痢が多発した。

4 考察

当センターで実施した飽和潜水実験では、当該実験を始めた当初の「シートピア計画」60m実験の時から、S-GPTの上昇を主とした血清トランスアミナーゼ活性値の上昇が観察されてきた¹⁾²⁾。その後「シードラゴン計画」の一連の実験³⁾⁴⁾や、ダイバーではなく研究者を被験者とした「シーメッカ計画」の30m実験⁵⁾の時ですえ、やはり同様な現象が観察された。またこれ以外にも防衛庁で実施した一連の飽和潜水実験⁶⁾⁷⁾や米海軍で実施した「シーラブII」⁸⁾さらにデューク大学で実施した飽和潜水実験⁹⁾など、他の多くの実験でも同様な現象が観察されている。これらの酵素は血中逸脱酵素と呼ばれ、その活性値は心筋梗塞や肝機能障害等の病変で上昇することが知られている。それは両者とも、心臓・肝臓・腎臓及び筋

表1 2回の実験における各被験者のS-GOT, S-GPT及びLDH活性値の変化

Table 1 Change of S-GOT, S-GPT & LDH activities of each individual person in two dives

New Seatopia '90

項目 被験者	S-GOT(IU/L)				S-GPT(IU/L)				LDH(IU/L)						
	I	III	IV	V	I	III	IV	V	I	III	IV	V			
A(H.T)	15	16	15	11	15	17	21	15	13	14	250	276	281	250	232
B(F.Mt)	20	14	13	17	20	10	8	10	14	25	301	377	348	340	337
C(N.M)	14	16	17	25	30	10	16	22	33	48	274	281	281	295	294
D(F.Mr)	11	10	13	12	11	7	8	8	6	6	293	345	339	327	305

New Seatopia '91

項目 被験者	S-GOT(IU/L)						S-GPT(IU/L)						LDH(IU/L)								
	I	III	IV	V	aft.		I	III	IV	V	aft.		I	III	IV	V	aft.				
B(F.Mt)	18	20	25	19	27	23	18	14	14	17	15	30	29	15	330	323	403	350	350	311	316
C(N.M)	13	13	18	20	28	27	18	12	8	21	19	45	46	24	290	245	304	330	265	266	251
E(O.T)	21	24	46	41	46	36	17	34	37	94	108	143	96	25	339	316	363	368	312	304	318
F(N.H)	13	18	24	25	31	36	15	10	14	32	35	58	67	20	346	294	340	371	293	293	271

表2 2回の実験における各被験者の1日の排便回数。()内は下痢の回数を示す
 Table 2 The number of times of daily evacuation in two dives.
 The numbers in the bracket show the frequency of diarrhea.

実験名	被験者	日数	I			II							III												IV			V		
			1	2	3	1	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
New Seatopia '90 (270 → 300 EX)	A (H. T)		2 (0)	1 (0)	2 (0)	0 (0)	1 (0)	3 (0)	1 (0)	2 (0)	3 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)															
	B (F. Mt)		1 (0)	1 (0)	3 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)														
	C (N. M)		1 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	3 (0)	3 (2)	4 (2)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (1)	2 (1)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)
	D (F. Mr)		1 (0)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)																		
New Seatopia '91 (300 → 270 EX)	B (F. Mt)		1 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	3 (1)	2 (0)															
	C (N. M)		2 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	3 (2)	2 (2)	2 (0)	2 (0)	3 (1)	3 (1)	3 (1)	3 (1)	3 (0)	3 (0)	3 (0)	3 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)							
	E (O. T)		2 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (1)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	4 (2)	3 (2)	3 (2)	2 (2)	4 (3)	2 (1)	2 (1)	3 (1)	3 (1)	3 (2)	3 (2)	3 (0)	3 (2)	2 (1)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)
	F (N. H)		1 (0)	2 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)	4 (2)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)

肉等にそれぞれ異なった割合で分布し、それらの組織に損傷等が起こると血中に多量に逸脱するためである。また運動生理学の分野では、激運動後にS-GOTやLDHなどの酵素活性値が上昇することが知られている。井川^{1) 12)}はその原因について、細胞の損傷や壊死によるのではなく、体液浸透圧の上昇に伴い膜の透過性が亢進して、その結果、これらの酵素が血中に逸脱するのだと述べている。

当センターで実施した初期の飽和潜水実験時で観察されたS-GPTを主とした血清トランスアミナーゼ活性値の上昇については、当初から情動ストレスが関与していると思われた²⁾が、その後の実験で本酵素活性値が顕著に上昇しなかったこともあり¹⁵⁾、今日までその確証を得るには至らなかった。しかし上記の如く、当センターで実施したその後の一連の実験や^{3) 4) 5) 10)}他の多くの研究機関で実施した飽和潜水実験でも、やはり血清トランスアミナーゼ活性値が上昇することが確認されてきた^{6) ~ 9)}。これに関しわれわれは今回の2実験を含め、これまでに得た実験結果から、この活性値の上昇に極めて大きな個人差があり、しかもこ

の上昇率が深度と無関係で、活性値が上昇する被験者に下痢が多発することを確認した。例えばNew Seatopia '90の被験者A, DのS-GOTとS-GPTにはほとんど変化がみられず(表1)、これらの被験者は過去の実験においてもほぼ同様の結果を示した(本報告での被験者DはNew Seatopia '86 ~ '89の被験者Gと同じ)¹⁰⁾。これに対し、New Seatopia '91で血清トランスアミナーゼ活性値が最高値を示した被験者EはNew Seatopia '87, '88で、これらの活性値がそれほど顕著な上昇を示さなかったものの、New Seatopia '85, '89では今回と同様に顕著な上昇を示した(本報告での被験者Eはその時の被験者Dと同じ)¹⁰⁾。特にNew Seatopia '89で本被験者は保圧4日目に悪心・倦怠感等身体の不調を訴え、1日中病床に伏す事態に陥った。そしてこの時も今回と同様、ストレス性と思われる高頻度の下痢が観察された。また同様な現象が、「シートピア計画」の60m実験¹⁾と「シードラゴンI計画」の100m実験¹⁶⁾など両実験に参加した某被験者にも観察された。この時の血清トランスアミナーゼ活性値の最高値は、60m実験ではともに事後観察期に観察され、S-GOT,

S-GPTの値はそれぞれ200IU/L, 300IU/Lであった。そして100m実験ではそのピークは減圧期に見られ、この時のS-GOT, S-GPTの値はそれぞれ35IU/L, 40IU/Lで、前の実験に比べて深度が増したにも拘わらず、それよりも低値を示した。

Doranら¹⁶⁾は彼らが得た実験結果に基き、高圧環境が肝機能に障害を来すということから、高圧肝機能障害説 (hyperbaric liver dysfunction theory) を提唱している。一方、Ritterら¹⁷⁾は、マウスを用いたH₂-O₂による24時間の高圧暴露実験において、圧力の上昇に伴いS-GOTやLDHの活性値が直線的に増加するのを観察した。本報告ではS-GPTの記載はないが、これらの活性値の上昇は、高圧ストレスにより細胞の代謝または膜の透過性が変化したためであろうと述べている。これらの報告は、ともに高圧ストレスが原因となって肝障害や細胞の変化を引き起こすとしている。しかしながら、われわれが今回得た実験結果やこれまでの実験結果^{1)~5) 10)}からは、S-GPTを主とした血清トランスアミナーゼ活性値の上昇は、高圧暴露やH₂-O₂の呼吸ガスによって起こったのではなく、むしろ情動ストレスによってもたらされた一過性の変化であることが強く示唆された。それは第1に、血清トランスアミナーゼ活性値の上昇率は深度とは無関係で、活性値のピークはおおむね実験後半の減圧期や事後観察期にみられたこと。第2に、本酵素活性値の上昇には個人差がみられ、しかも同一被験者が繰り返し異なった深度の飽和潜水実験に参加した場合、これが上昇した場合とそうでない場合とがあったこと。第3に、本酵素活性値が上昇した被験者に同じ時期、ストレス性と思われる下痢が多発したことなどである。

また、「シードラゴンV計画」の300m実験では、血清トランスアミナーゼ活性値の上昇に加え、同時に測定したストレス関連ホルモンの血清コーチゾール、カテコールアミンも、多少時間的なズレがあったものの高値を示した⁴⁾。さらに血清トランスアミナーゼ活性値が飽和潜水以外のシミュレーション実験で上昇したとの報告もある。防衛庁で実施した大気圧での閉鎖環境下における2週間の居住実験では、特定の被験者に本酵素活性値の上昇が確認されており、ここでもS-GPT活性値の上昇が顕著であった¹⁸⁾。一方、梶ら¹³⁾や関谷

ら¹⁴⁾は、ともに情動ストレスが負荷されると、血清トランスアミナーゼ活性値が上昇するのを確認し、このストレスによって肝機能障害 (ストレス性肝炎) が起こることを報告している。

この肝炎の特徴は本酵素活性値が軽度の上昇を示し、上昇時には常にS-GOT<S-GPTの関係を保ち、血清ビリルビンやLDHに異常が認められないことなどである。そして、このようなストレス性肝炎と思われる患者からそのストレスを取り除くことにより、肝機能が極めて顕著に改善されたと報告している。また彼らは同時に、マウスを対象とした騒音や疼痛刺激等のストレスを加えた実験においても、血清トランスアミナーゼ活性値が上昇することを報告している^{13) 14)}。これはストレス刺激が自律神経系・内分泌系を介して肝血流量の減少をもたらし、その結果、肝細胞が低酸素状態に陥り、肝細胞の膨化・変性・壊死を起こして本酵素の血中への逸脱が起こるのであると考察している。これらの報告は、高圧暴露や呼吸ガスであるH₂-O₂とは関係なく、各種のストレスにより肝機能障害が起こることを示唆したものである。これらの結果からも、飽和潜水実験時にみられるS-GPTを主とした血清トランスアミナーゼ活性値の上昇に、情動ストレスが極めて大きな要因となっていることが推測される。

当該実験では、狭隘な閉鎖環境で長期間にわたる居住を強いられるため、被験者が受ける心因性ストレスが多大であることは言うまでもない。特に減圧期には減圧症の発生を防止する意味で強度の運動を禁止しており、かつスケジュールにも時間的余裕ができるが、これらは被験者にとってむしろ退屈な時間を増やす結果となっている。また事後観察期には、減圧後の大気圧下でのコントロールデータを取得するため、引き続きチェンバー内での居住を強いられる。従ってこれらの時期には、イライラが募り、情動ストレスが一段と強まることが予測される。表2の被験者Eに見られた減圧期における高頻度の下痢の出現や血清トランスアミナーゼ活性値のピークが、おおむねこの時期に集中していることは、その影響を反映した結果であると推測される。また同一被験者であってもその時々の実験で、血清トランスアミナーゼ活性値が極度に増加した場合と、そうでない場合とがあっ

たが、これはその時の実験内容や実験参加時の精神状態などが関与していると思われた。すなわち、実験期間やスケジュールの内容に関する問題、それにメンバーが代わることによって生じる人間関係などである。従って、これらの状況下では精神的ストレスを受けやすい被験者に情動ストレスが強く現れても、それはごく当たり前のことであると言えよう。その結果、梶ら¹³⁾が確認したような反応すなわち一時的に肝血流量の減少を来し、膜の透過性が変化して、特に肝細胞に多く含有されている GPTが血中に多量に逸脱したと思われる。換言すると、情動ストレスの有無を把握するための一手段として、S-GPTの変化の割合を知ることが極めて有効であると思えた。またこれ以外に、両実験において保圧期にLDH活性値の軽度の上昇が観察されたが、この変化が必ずしも血清トランスアミナーゼ活性値の変化と一致していなかったことから、上記のストレス反応とは別の原因で上昇したと思えた。井川ら¹⁹⁾は日常定期的な運動をしていない者に激しい運動を負荷すると、運動負荷の割合に応じてLDH 活性値が上昇し、その消長時間は運動強度が増すほど長びくことを指摘している。本報告でのLDH 活性値の上昇もこれに類似した変化であると思えた。すなわち2回の実験の被験者達は、日頃定期的な運動をしてはいなかったため、採血前日またはその数日前に実施した自転車エルゴメータによる70% $\dot{V}O_{2max}$ や水中作業による運動負荷の影響があったに違いない。Ritterら¹⁷⁾が確認したS-GOTやLDHが高圧暴露により、圧力の増加に伴って直線的に増加したという事実は無視できないが、われわれが得たヒトでの結果からはそれを立証することはできなかった。

飽和潜水実験時にみられる血清トランスアミナーゼ活性値の上昇が、単に細胞膜の透過性が亢進するために起こるのか、また肝炎による肝細胞の壊死により起こるのかは未だ明かではない。しかしながら、このような異常環境において、生体に必要な酵素が多量に失われてしまうことは決して好ましいことではない。またこれを未然に防止することができるのなら、なおさらのことである。

これまでの実験では、S-GPTなどの活性値の上昇は一時的なものであったが、このような状況を

繰り返していたならば、いずれ肝障害を引き起こすことも予測される。従って、飽和潜水に参加するダイバーを選抜する際にはこのことを考慮し、技術面のみならず、このような過酷な環境にも十分対処し得る強い精神力の持ち主であることを見極める必要がある。

参考文献

- 1) 海洋科学技術センター：昭和49年度研究成果報告書・海中作業基地による海中実験研究，138，(1976)。
- 2) 海洋科学技術センター：昭和50年度研究成果報告書1/2・海中作業基地による海中実験研究(100m海中実験)，140-146，(1976)。
- 3) 海洋科学技術センター：昭和52年度研究成果報告書2/2・大陸棚有人潜水作業技術の研究開発，87-91，(1978)。
- 4) 海洋科学技術センター：昭和56年度研究成果報告書・潜水作業技術の研究開発，136-142，(1983)。
- 5) 海洋科学技術センター：昭和57年度研究成果報告書・潜水作業技術の研究開発，209-226，(1984)。
- 6) 及川 武志ほか：1-4 血液・尿の生化学的変化，昭和52，53年度ヘリウム酸素飽和潜水実験研究成果報告第2号，海自潜医隊，21-26，(1980)。
- 7) 小此木国明ほか：1-4 血液・尿の生理生化学的変化，昭和56年度ヘリウム酸素飽和潜水実験研究成果報告第4号，海自潜医隊，19-25，(1982)。
- 8) Hock, R. J., et al. : Physiological Evaluation of SEALAB II, Effects of Two Weeks Exposure to an Undersea 7-Atmosphere helium-oxygen environment, U. S. Navy Deep Submergence Systems Project Report, II Dec. (1966)。
- 9) Philip, R. B., et al. : Hematology and blood chemistry in saturation diving : II. Open-sea vs. hyperbaric chamber, Undersea Biomed. Res., 2 (4), (1975)。
- 10) 竹内久美, 毛利 元彦：飽和潜水実験時血清トランスアミナーゼ活性値の変化，日高圧医誌，

- 25 (3), 143-151, (1990).
- 11) 井川幸雄：検査データから見た運動の功罪，第20回日本医学会総会誌，2 (77)，1901-1905，(1979).
- 12) 井川幸雄：運動と酵素，日本臨床，66 (5)，518-521，(1984).
- 13) 梶巖ほか：肝疾患の心身医学的研究，心身医，21 (4)，302-312，(1981).
- 14) 関谷千尋ほか：肝障害とストレス—実験的および臨床的研究，日消誌，76，480，(1979).
- 15) 海洋科学技術センター：昭和51年度研究成果報告書・大陸棚有人潜水作業システムの研究開発，72-80，(1977).
- 16) Doran G. R., et al. : Hyperbaric liver dysfunction in saturation divers, Undersea Biomed, Res., 12 (2), 151-164, 1985.
- 17) Ritter, T., et al. : Serum alkaline phosphatase, serum lactic dehydrogenase, and serum glutamic oxaloacetic transaminase in mice exposed to 1, 20, 40 or 60 atmospheres of helium-oxygen at physiologic oxygen partial pressures Aerospace Med. 40 (12), 1349-1352, (1969).
- 18) 及川武志ほか：2-4血液・尿の生化学的変化，第1回閉鎖環境（潜水艦環境再現装置）実験，昭和53年度実験研究成果報告第2号，海自潜医隊，123-131，(1981).
- 19) 井川幸雄ほか：運動後1週間にわたる血中生化学成分の動態からみた身体鍛練の影響，体育科学，9，237-248，(1981).

(原稿受理：1991年12月11日)