

## S7. 高圧環境下の生体モニタリング —機器使用上の注意と対策について—

梨本一郎\*

### Physiologic monitoring under hyperbaric states

I. Nashimoto

Saitama Medical College, Department of Hygiene

Physiologic monitoring under hyperbaric states is very helpful to the evaluation of the effects of hyperbaric oxygenation to a patient and also very important to study the effects of high pressure exposures to a man. However it has several technical difficulties due to high pressure atmospheres. The measurements of blood gases, respiratory O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>, breathing pattern, and blood bubbles using ultrasonic Doppler method which were carried out under hyperbaric states are shown and discussed.

高圧医学の基礎研究あるいは応用研究を行うに当たり、高圧環境の生体への影響など各種の情報を得るため、生体モニタリングはきわめて有効な手段となるばかりでなく、臨床応用として高気圧酸素療法を施行する場合、患者の状態の監視や治療効果を知るうえで重要な役割を果たしている。

ところで高圧環境は、われわれが通常研究や医療に携わっている大気圧（常圧）環境と異なり、表1に示すような各種の作用を生じるので、これらの点を考慮して生体モニタリングを行わないと、正確なデータが得られないばかりでなく、機器の破壊や場合によっては火災の発生を招くおそれ大きい。以下、問題点と対策を考えてみたい。

#### 1. 機器の対圧性

高圧下で生体モニタリングを行う場合、使用する機器、とくに高圧に暴露する部分が圧力変化に

より破損しない構造であることが必要である。

トランジスタやICなどを用いた最近の電子機器の本体はかなりの圧力に耐える。われわれはテープレコーダー、心電計、超音波ドプラー気泡検知器、テレメーター送信部などを、最高5kg/cm<sup>2</sup> Gまでの高圧室内圧力下で使用してきたが、高圧暴露による性能の劣化は認められなかった。

ただ構造上密閉空間を有する機器本体、あるいはトランスジューサーは、圧力の機械作用に弱く容易に破損するものが多い。したがってこうした機器類は、予め密閉空間が外部と通じるように改良を加えるか、または密閉空間のないトランスジューサーやプローブを高圧室内に、機器本体を外部に設置し、両者間を高圧室壁を貫通するコネクタを介してリード線で結ぶ、あるいは検体を高圧室より外部へとり出し常圧下で測定を行う（ただしこの場合には次項で述べるような注意を要する）などの対策が必要である。

たとえば、血圧、呼吸圧などの測定に用いられる（ストレインゲージ）圧力トランスジューサーでは、受圧膜内外の各室が外部と交通している構造のものを使用する。また呼気CO<sub>2</sub>の連続測定に用いられる赤外式のCO<sub>2</sub>計は、トランスジューサーの機構上、基準側のセルが密閉室となっているので、加圧すると容易に破損する。したがってトランスジューサーを高圧室内に置くことはできない。そこでやむを得ず高圧室壁を貫通する細管を介して呼気を外部へ導き計測する。この際図に示すようにやや太い管の内部に、CO<sub>2</sub>計の細い採取管を挿入し、ポンプで吸引するようにし、CO<sub>2</sub>計のセルに過大な圧がかからないようにしておく。

なお、超音波プローブやO<sub>2</sub>計のセンサー（磁気

\*埼玉医科大学衛生学教室

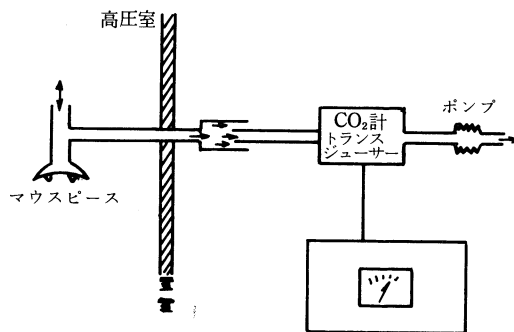
表1 高圧の作用と障害 (梨本)

物理的	病態生理的	障害
1) 加 圧		
(1) 直接作用		
a. 均等加圧	—	きわめて高圧のとき以外 はみられない。
b. 不均等加圧	組織の変形, 圧迫	締めつけ傷害 (squeeze)
(2) 間接作用		
a. 呼吸ガスの密度増加	気道抵抗の増大	肺換気不全
b. 成分気体分圧上昇		
i) 酸 素	酸素の毒性出現	酸素中毒
ii) 窒 素	麻酔作用	窒 素 酔
iii) 炭酸ガス	炭酸ガス過剰	炭酸ガス蓄積
iv) ヘリウム	浸透圧差による膜 透過性の変化	高圧神経症候群
2) 減 圧		
(1) 直接作用		
a. 均等減圧	—	—
b. 不均等減圧	肺の膨張	肺破裂, 空気塞栓症
(2) 間接作用		
気体溶解度減少	体内気泡の形成	減圧症(潜水病, 潜函病), 無菌性骨壊死

表2 高圧曝露時の血液ガス (O<sub>2</sub> 分圧)

Pressure (ATA)	P <sub>tO<sub>2</sub></sub> mmHg	P <sub>aO<sub>2</sub></sub> mmHg
1	740	470
2	1320	1045 (970)
3	1920	1620 (1320)

Radiometer社血液ガス測定装置使用。いずれも採血直後, 同一圧の下で測定, 但し括弧内は同一サンプルを常圧に減圧して測定。



高圧下の終末呼吸 CO<sub>2</sub> 濃度測定

式を除く)は構造上耐圧性を有する。

2. 検体の性質の変化

圧力変化の二次的現象として, 気体の密度, 分圧, 溶解度などが変化する。それに伴って検体の性質が変わり, 測定値が正しい値を示さないことがある。

たとえばニューモタコグラフで呼吸の気速や気積を測定する場合, 環境圧力の変化に伴い呼吸ガスの密度が変わるので, 同一容積流量に対する指示値が変化する。理論的に補正することは可能であるが, 正確を期するためには, 正弦波呼吸ポン

プによるキャリブレーションを要する。

また高圧曝露時の血液ガスの測定は余程慎重に行わないと, 正確な値が得られず誤判断のもとになりかねない。とくにPo<sub>2</sub>の場合に注意が必要である。表2はわれわれが以前行った実験<sup>1)</sup>で, 1~3 ATAに曝露し, O<sub>2</sub>を呼吸させたときの被験者の P<sub>iO<sub>2</sub></sub>と P<sub>aO<sub>2</sub></sub>を示す。いずれも括弧内を除き, 曝露圧力下で計測したものである。一方括弧内の値は, 検体である血液を常圧下に戻してから測定した場合を示す。同一検体について比較すると(2 ATAの場合) 75mmHg から (3 ATAの場合) 300mmHg もの差があり, 減圧して測定すること

は  $P_{aO_2}$  の著しい低下を招くことが明らかである。この点については Lanphier<sup>2)</sup> や Severinghaus<sup>3)</sup> も指摘している。

さらに  $P_{aO_2}$  を *in vivo* で測定すれば、より正確な値を連続的に得られると考え、Beckman 社の micro electrode を用い、イヌを高圧下で  $O_2$  呼吸をさせ股動脈で測定した。たしかに  $P_{O_2}$  は予期したものに近い値を示したものもあったが、変動が大きく信頼のおけるデータが得られなかった。これは電極自体やキャリブレーションがやりにくいなど機器ならびに使用上の問題が重なったためといえよう。

### 3. 安 全 性

この点については、専門的な立場から他の演者より指摘されると思うので、ごく簡単に述べる。

高圧環境は酸素分圧の上昇に伴う火災のリスクの増大や、密閉性のため一たん火災が発生すると待避が困難で悲惨な結果となる。したがって十分な安全対策が講じられなければならない。

機器自体ならびに電気配線について、この点が十分考慮されるべきは当然である。

#### 〔参 考 文 献〕

- 1) 梨本一郎：高圧下の生体機能監視。医科器械誌 38：402-408, 1968.
- 2) Lanphier, E.H.: Special requirements of gas administration and physiological measurement in hyperbaric procedures. *Annals N.Y. Acad Sci.* 117: 824-827, 1965.
- 3) Severinghaus, J.W.: Anesthesia and related drug effects. In: *Fundamentals of Hyperbaric Medicine*, 115-127, NAS-NRC Publ. 1298, 1966.