

高压下救護用呼吸保護具に関する研究 (第1報)

眞野喜洋* 芝山正治* 高橋茂樹* ロー・バン・チャイ*
石山 明* 大串貫太郎* 柏倉章男* 前田 博*

目 的

高気圧下作業の場合の救護用呼吸保護具としては開放式、閉鎖循環式および半閉鎖循環式の異なる様式が考えられる。この中で実用面から考えて最も望ましいと思われる半閉鎖循環式の呼吸装置を救護用として用いる場合の生体への影響を調べる目的で実験を行った。

方 法

呼吸用ガスとして $N_2 : O_2 = 55 : 45$ の混合ガスを 10 l/min の定量送気により、半閉鎖回路を循環させ、過剰分は漏気させる重量 14.5 kg の呼吸装置を用意した。なお產生される CO_2 は回路中に組み込まれた CO_2 吸収装置にて除去される。救護を想定して呼吸装置装着後 5 分安静、10 分負荷 (300 kpm)、5 分安静、15 分負荷 (600 kpm)、5 分安静の 40 分間を 1 セットとし、圧力は 1, 1.5, 2, 3, 4ATA の暴露とした。

測定項目は、圧、温度、酸素および炭酸ガスセンサーを吸気管と全面マスク内の内マスクに設置、さらに流量計を吸気管に設置することで呼吸流量、呼吸用保護具の抵抗、吸気管内およびマスク内の温度、酸素分圧、炭酸ガス分圧を高圧室外記録計に連続記録した。

運動負荷は自転車エルゴメーターにて行ったが、この負荷量は心拍数のモニターによって最大 180 回/分を超えないように設定され、その間、随時心電図を計測した。

結果と考察

得られた測定結果の一部は図 1～4 に示されて

いる通りである。

酸素分圧は異なる各暴露圧力毎に安静時には上昇し、運動負荷中は時間経過と共に下降するが、その最小値は常圧 (1.0ATA) の後半運動負荷 14 分過ぎであり、 $227.9\text{ mmHg} \pm 6.9$ (約 30%) であり、生理学的にも支障はなかった。一方、4ATA 環境下での酸素分圧が最大となったのは安静休息 5 分後の値で $1170.6\text{ mmHg} \pm 6.6$ であり (図 1)、この値は常圧換算では 154% に相当し、被験者の中には口腔内異和感を自覚する者もあり、急性酸素毒性の初期徴候とも考えられる。酸素：窒素の混合比率はこのような高圧下では検討を要することが示唆された。

炭酸ガス分圧については吸気管内 PCO_2 が最大となったのは 4ATA 下の後半における運動負荷終了間近で $2.76\text{ mmHg} \pm 0.9$ であったが、これは常圧換算でも 0.36% であり、呼吸用ガスとしては支障のないことが知れた。運動負荷中の変動も生理学的な範囲であった。

呼吸に及ぼす保護具の負荷は、半閉鎖循環回路であるためにバイパスの抵抗が加わり、大気を呼吸する場合とは異なるのはやむを得ない。特に炭酸ガス吸収剤を収めたキャニスター部分を通過することによる抵抗増大のために吸気側より呼気側にその抵抗が大となり、混合ガス密度の最も高い 4ATA 下の後半の運動負荷終了間近までは呼気時の抵抗値は $128.6\text{ mmHg} \pm 32.4$ 、吸気時は $92.7\text{ mmHg} \pm 15.6$ となった (図 2)。圧力が大なる程、呼吸回数は減少し、1 回の換気量は増大していた。呼吸流量は運動負荷時間にしたがって増大したが、圧力が高くなるにつれ同一負荷運動量では減少の傾向を示した。これらの一連の傾向は、気体の密度変化の及ぼす影響と共に、呼吸装置の回路抵抗を併せて検討しなければならない。特に、呼

*東京医科歯科大学医学部公衆衛生学教室

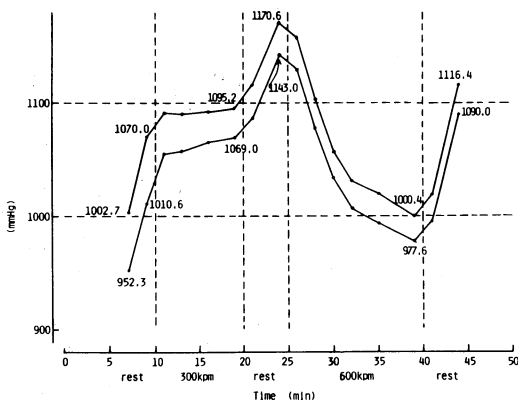


図1 運動負荷（自転車エルゴメーター）に伴うマスク内 PO₂max および min の変動（4.0ATA, Semi-Closed）

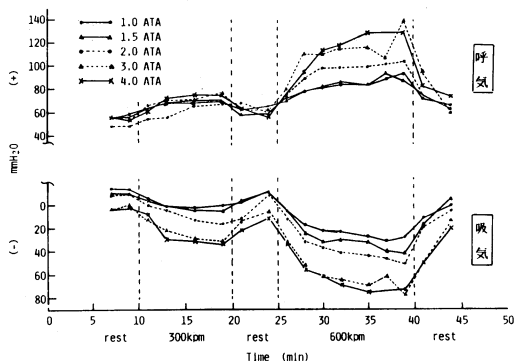


図2 運動負荷（自転車エルゴメーター）に伴う呼吸装置と圧力変動に基づく呼吸の抵抗（1.0~4.0ATA, Semi-Closed）

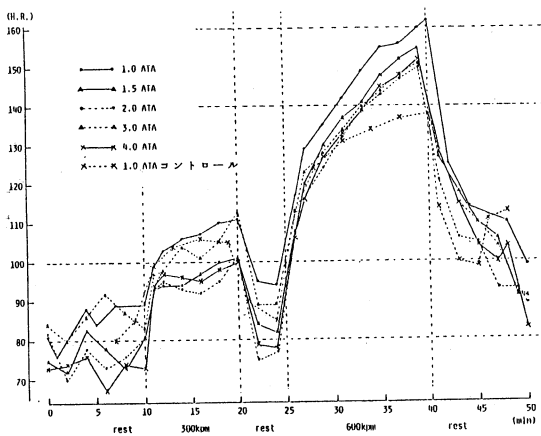


図3 運動負荷（自転車エルゴメーター）に伴う心拍数の変動（1.0~4.0ATA, Semi-Closed）

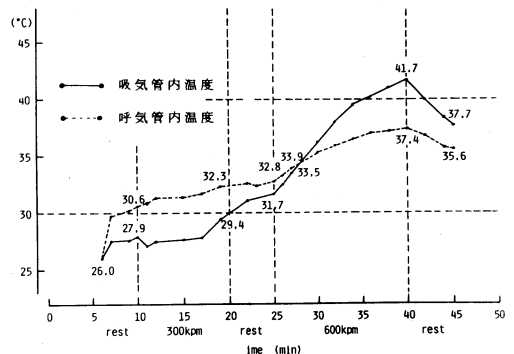


図4 運動負荷（自転車エルゴメーター）に伴う吸気管内および呼気管内温度の変動（3.0ATA, Semi-Closed）

気時の回路抵抗は負荷運動量の増大に伴って生体にマイナスとなって作用するため、今後の検討課題といえよう。

心拍数（図3）は常圧から3ATAまでの圧力変動に従って減少の傾向を示したが、2~4ATAについては優位差はなく、特に4ATA下における心拍数は2~3ATAとくらべるとむしろ運動負荷中は増大し、安静時には減少する傾向を認めた。これらの傾向はある程度の圧力の増大は酸素供給が多いため、心拍数の減少を生ぜしめるが、それ以上の酸素分圧の上昇はかえって生体にはマイナスに作用し、安静時における心拍数の回復には有効であっても運動負荷中においてはオール・アウト

の誘発因子となる可能性を示唆している。これらを考察すると、高圧下の呼吸用ガス中の酸素分圧は少なくとも2ATA下の酸素分圧0.9ATA以下でなければならないと思われた。今後の最も重要な検討課題の1つといえる。

呼吸ガス温度の変動については吸気管および呼気管内に設置した温度センサーにより連続モニターを行った結果、呼吸保護具装着後約30分間は呼気温度が吸気温度を上まわっているが、33℃前後で逆転し、その後は吸気温度の上昇は実験終了間近の40分経過時には42℃近くまで上昇し、一方呼気温度は38℃前後となった（図4）。この現象は炭酸ガス吸収に伴う化学変化による発熱が主たる原

因であり、呼吸による熱発散は行われず、逆にうつ熱状態を呈してしまう結果となって、望ましくない。この傾向は圧力の変化に伴う影響としては認められず、負荷運動量にのみ影響されているようであった。しかし環境温度が高いと必然的に温度変化も比例して増大する傾向があり、環境温度が30℃を超えると吸気温度も45℃以上になると考えられるので、生体への負荷も増大してしまう。これに対する吸熱対策も今後の課題であるといえる。

ま と め

現在なお、いくつかの検討課題は存するも、高

圧下における40分間の救護活動を考えた場合、従来の開放式呼吸装置と比較し、はるかに実用性の高い呼吸装置として半閉鎖呼吸回路が有効であることが知れた。

〔参 考 文 献〕

- 1) 小川新吉ほか：自転車エルゴメーターによる二種類の筋活動にみられる最大酸素摂取量について，体力科学，21：107—117，1972.
- 2) 猪飼道夫：呼吸・循環機能からみた体力の限界，呼吸と循環，16：5—12，1968.
- 3) 宮村実晴ほか：種々な吸気酸素分圧における全身持久性，体育学研究，14：9—18，1969.