

酸素による気泡浴が人体に及ぼす影響

垣鍔 直¹⁾, 二和田 篤²⁾, 金子 堅三²⁾, 里見 泰彦²⁾

1) サイモンフレーザー大学・身体運動学部

2) (株)日本酸素・事業企画部・基礎研究グループ

Changes in Transcutaneous tcPO₂ during Water Immersion and its Effects on the Human BodyNaoshi KAKITSUBA¹⁾, Atsushi NIWADA²⁾, Kenzou KANEKO²⁾ and Yasuhiko SATOMI²⁾

1) Dept. of Kinesiology, Simon Fraser Univ., Burnaby, British Columbia, Canada

2) Japan Oxygen Co., LTD., Business Coordination Dept., Nishi-shinbashi, 1-chome, Minato-ku, Tokyo, Japan

Changes in transcutaneous PO₂(tcPO₂) during water immersions with O₂ and N₂ bubbling are presented. Three healthy male volunteers underwent water immersions for 30 min. Water temperature was controlled to 36.5°C to minimize any thermal stress. Minute ventilation (\dot{V}_e), oxygen consumption ($\dot{V}O_2$), heart rate (HR), respiratory rate (RR), and body temperature (T_b) were continuously monitored throughout exposure. In addition, tcPO₂ electrode was mounted on the volar side of the right forearm in the middle part of immersion and tcPO₂ and tcPCO₂ were then monitored in the water. Blood flow of the right forearm was also measured following tcPO₂/tcPCO₂ measurements.

The tcPO₂ values during water immersions with O₂ bubbling were higher than those with N₂ bubbling for given blood flow. Although end-tidal PO₂ remained unchanged for any occasion, \dot{V}_e , $\dot{V}O_2$, HR, RR during water immersions with O₂ bubbling were significantly decreased compared to those with N₂ bubbling. Results suggest that cutaneous respiration facilitated by hydration may contribute higher tcPO₂ values during water immersions with O₂ bubbling and may be somewhat related to systemic changes.

Key words: Transcutaneous PO₂, Water immersion, Oxygen bubbling, Cutaneous respiration

はじめに

入浴の歴史は古く、しかも我々の生活に不可欠となっている。入浴により血行が促進され疲労回復などの効果があることは良く知られているが、その生理的作用に関しては十分に理解されていないのが現状のようである(橋本と島田, 1986)。

入浴に関連する物理的要因として湯温、入浴時間、種類(静水浴、気泡浴など)などの条件がある。さらに、最適な入浴の検討をするには年齢、季節、その他の条件(飲酒後の入浴など)も考慮しなければならない。そこで今回は、最近注目されている気泡浴の効果

を検討したので報告する。

実験方法

健康な日本人男子3名(平均年齢38歳)を対象とした。被検者には水着のみ着させ約20分間の事前観測を行い、安静時の心拍数、体温、血圧、換気量、右手中腕の血流量と中央部の経皮酸素(tcPO₂)及び二酸化炭素分圧(tcPCO₂)を測定した。被検者は事前観測終了後直ちに浴槽に入り、首から下の全身を水中に暴露した。

被検者は水中で仰臥位の姿勢を保ち30分暴露され

た。暴露開始10分後に事前観測で測定した右手前腕の同じ部位に $tcPO_2$ 電極を取り付け出力が安定するまで水中で測定し（電極部の防水には市販のコーキング剤を使用）、安定後に前腕部の血流量を測定した。水中での血流量や $tcPO_2$, $tcPCO_2$ の測定は静水圧の影響を考慮して暴露及び測定中の前腕の水深が一定になるように支持台を設けた。

純酸素と純窒素を用いてバブリングを行った。従って、気泡の呼吸への影響を無くすために被検者は実験室外部に置かれたコンプレッサーから送気された新鮮な空気を麻酔用のマスクを介して呼吸した。市販の浴槽(71×120×55cm)を用い、水中暴露中の温熱性刺激を最小にするためにヒーターが組み込まれている循環槽で湯温を36.5°Cに維持した。

実験器具

$tcPO_2$ と $tcPCO_2$ はクラレ社のオキシゲンモニター630で測定した。血流量はマーキュリーストレンゲージをブリッジ（日本光電, JP610I）とキャリア・アンプ（日本光電, AP 6 0 1 G）に接続し、一分間の手首の静脈閉塞（約200mmHgの加圧）に続く上腕での静脈閉塞（約60mmHgの加圧）時の出力変化をペンレコーダ（YANACO, R5-101）に記録して求めた。

心拍数と呼吸数は5分おきに測定し記録した。呼吸ガスの酸素、二酸化炭素濃度(%)はサンプリングチューブを鼻腔付近に密着させ、連続して日本電気三栄（呼吸ガスモニター, 1H21B）で測定し、換気量は呼吸用マスクの呼気側に取り付けたミナト医科学の流量計（RF-2）で測定した。体温は市販の口腔用体温計を用いた。

温水の溶存酸素濃度はセントラル科学㈱のDOメーター（UCI2）で、湯温は銅・コンスタンタン熱電対をレコーダ（YOKOGAWA, 3081 Hybrid-recorder）に接続して連続的に測定した。

結果

各被検者に対し純酸素を用いた気泡浴（溶存酸素濃度の平均値=24.0ppm）及び純窒素を用いた気泡浴（溶存酸素濃度の平均値=0.6ppm）をそれぞれ4～6回行ったが、実験中の不手際で一人の被検者のデータの大半が無効となったので他の二人の被検者のデータを整理し図表に示した。

1. 前腕血流量と $tcPO_2$, $tcPCO_2$

手腕の血流量は、事前観測と比較すると入浴時で高い値を示す傾向が見られた(図中参照)。入浴時の血流量のばらつきを最小にするように試みたが、個体差やその他の要因でかなりばらついた結果を得た。そこで $tcPO_2$, $tcPCO_2$ が血流量の影響を最も受けることに注目してそれらの関係を図1に示した。データに限りがあることも一因ではあるが、相関はあまり高くない。しかし、 $tcPO_2$, $tcPCO_2$ 値ともに血流量に比例しており、同一血流量では事前観測の $tcPO_2$ が最も高く、酸素による気泡浴、窒素による気泡浴の順に低い値を示す結果を得た。 $tcPCO_2$ 値は $tcPO_2$ が安定後も変動したケースなどを除いて図に示したが、暴露条件の違いによる差は見られなかった。

2. その他の生理計測の結果

各被検者ごとに結果を表1に整理した。体温は口腔温を測定したので偏差はあるが、事前観測時と水中暴露後の体温に殆ど差は見られず温熱的ストレスによる換気量などへの影響は看過できることが確かめられた。後半10分間の呼吸終末時の酸素濃度を求めた結果、

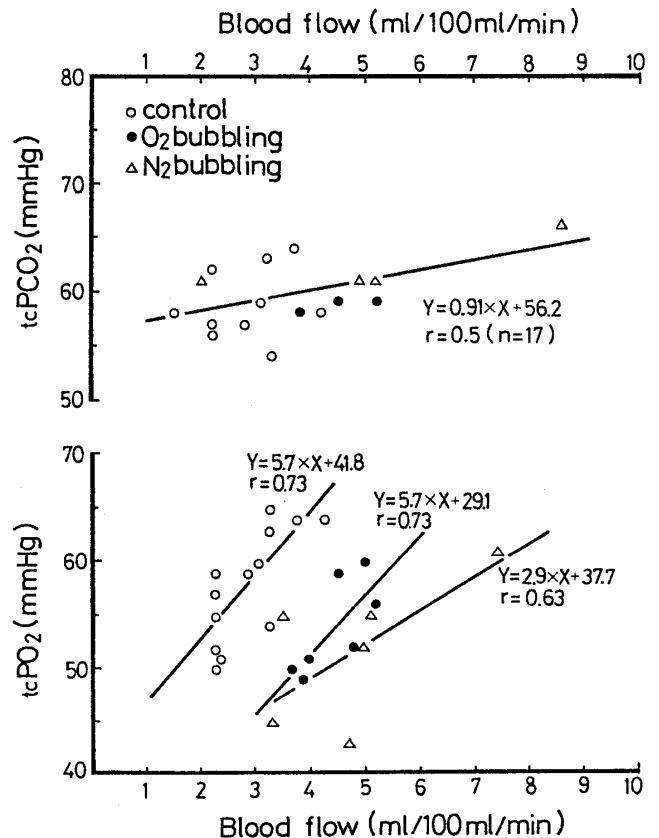


Fig. 1 $tcPO_2$ & $tcPCO_2$ vs Blood flow

Table 1 Physiological variables during exposures

subject: NA			
Variables	control (n=6)	O ₂ bubbling (n=3)	N ₂ bubbling (N=3)
end-tidal O ₂ (%)	14.7±0.35	14.6±0.3	14.7±0.23
¹⁾ \dot{V}_e (l/min)	7.8±1.1	6.8±0.7	7.6±1.3
²⁾ $\dot{V}O_2$ (l/min)	0.48	0.43	0.47
³⁾ HR(bt/min)	87±4.4	78±4.9	84±4.9
⁴⁾ RR(br/min)	13.4±0.9	11.3±0.9	14.7±1.9
⁵⁾ Tb(°C)	36.6±0.16	36.6±0.42	37.2±0.14
⁶⁾ BP(mmHg)	114-80	98-68	112-64
subject: KK			
Variables	control (n=7)	O ₂ bubbling (n=4)	N ₂ bubbling (N=3)
end-tidal O ₂ (%)	14.6±0.2	14.7±0.2	14.8±0.1
¹⁾ \dot{V}_e (l/min)	8.6±0.9	7.5±0.7	9.1±0.1
²⁾ $\dot{V}O_2$ (l/min)	0.54	0.47	0.55
³⁾ HR(bt/min)	65±5.6	66±8.2	70±7.5
⁴⁾ RR(br/min)	17.3±2.0	16.0±1.4	16.6±0.9
⁵⁾ Tb(°C)	36.9±0.23	36.8±0.44	36.8±0.44
⁶⁾ BP(mmHg)	137-80	125-69	117-67

¹⁾ minute ventilation ²⁾ oxygen consumption ³⁾ heart rate
⁴⁾ respiratory rate ⁵⁾ body temperature ⁶⁾ blood pressure

条件による有為な差は見られなかった。しかし、換気量に差が見られ、酸素を用いた気泡浴では窒素の場合と比較して有為な低下 ($p < 0.05$) を示し、被検者 KK の場合には窒素を用いた気泡浴で換気量が最も高い値を示した。これらの影響を受け、酸素消費量でも同様な傾向を示した。心拍数、呼吸数も換気量と同様な傾向がみられ、酸素を用いた気泡浴でそれらの値が低下しており、被検者 NA の場合には窒素を用いた気泡浴と比較してやはり有為な差 ($p < 0.05$) が確かめられた。

考 察

入浴中には、心拍出量が増加し、通常は血流の少ない脂肪の多い皮下組織への血流が増加するので結果的に全身の血行が良くなる。静水圧により皮下の血流が中殻に押しやられる影響は湯温を上げる (35°C 前後まで) ことにより血圧を上昇させることで補償される。

Balldin と Lundgren(1972)は体内の不活性ガスの肺からの排出が大気中より水中暴露で30~50%も増加することを報告しており、それが皮下組織からの不活性ガスの吸収の増加に一因していることを指摘している。

皮膚呼吸で呼吸全体に対する割合が2~4%と小さいので局所の代謝に関与する程度で全身の血流循環或は呼吸機能への影響は無いと考えるのが一般的であるが (Calvery ら, 1946), 前出の Balldin ら(1972)は、水中暴露中に空気バブリングと酸素バブリングを行った場合、肺からの窒素の排出に僅かながら差が見られる事から皮膚呼吸により皮膚から窒素が呼吸される影響も示唆している。さらに、Lin ら(1984)は、より経済的な減圧スケジュールを考えるために皮膚呼吸により窒素が排出される利点を強調している。

皮下組織への酸素は毛細血管を流れる血流により供給され、空気 (20.93%O₂) を呼吸する場合は組織内の酸素分圧 (tcPO₂) は約40~60mmHg に保たれている (5)。また、ミトコンドリアを多く含む表皮では皮膚呼吸により約10cc/m²/hr の酸素を外界から取り入れて代謝し、ほぼ同量の二酸化炭素を排出している。この様に経皮酸素分圧は末梢血流及び皮膚呼吸により正常 (>35mmHg) に維持されている。末梢での代謝に関与する皮膚呼吸は拡散の理論に従うと言われており、皮膚を取り巻く環境の影響を受けるが (Alkalay ら, 1971; Hansen ら, 1980), 皮膚自体は外界に対するバリアーとしての働きをする。ところが、拡散の主抵抗であるケラチンを含む角質層は水分を含むとガスの透過性が5~10倍も良くなると言われている (Fitzgerald, 1957)。Baumberger ら(1951)が温水中で皮膚から酸素が拡散することを報告しているので、入浴中の皮膚からの酸素の排出の度合いによりなんらかの生理的な影響を受けると推測される。

本研究は純酸素と純窒素を用いた気泡浴の違いが暴露中の tcPO₂ に及ぼす影響に注目した。測定機器の出力が安定するまでに時間 (10~15分) が掛かるので実際の値とは多少の隔たりはあると思われるが、酸素バブリング中の tcPO₂ が窒素バブリング中の値より高いことを確認できた。よって、tcPO₂ は血流のみならず皮膚呼吸にも依存すると考えられる。

低温暴露や血流障害の場合を除けば血流と皮下組織の間のガスの移動は拡散によって決定される。従って、

組織の酸素濃度が低ければ血中の酸素濃度との濃度差が大きくなり組織へ吸収される酸素量が増加すると考えられる。実験で呼気終末時の酸素濃度を測定したが、残念ながら顕著な差は認められなかった。しかし、換気量や心拍数に影響が見られ、酸素バブリングと比較すると窒素バブリングでは高い値を示した。心理的影響も考慮しなければならないので、これらの生理的な変化と局所的な $tcPO_2$ の変化の因果関係を明確には定義できないが、それらのメカニズムを知る手掛かりにはなりそうだ。

謝 辞

血流量の測定方法に関して御指導頂いた千葉大学工学意匠科人間工学教室の勝浦哲夫助教授に深く感謝申し上げます。また、実験を援助して頂いた同大学院生の立花エリザベッティみどり女史に感謝申し上げます。

参考文献

- Alkalay, I., S. Suetsugu, H. Constantine and M. Stein, 1971: Carbon dioxide elimination across human skin. *Am. J. Physiol.* 220: 1434-1436.
- Balldin, U.I. and C.E.G. Lundgren, 1972: Effects of immersion with the head above water on tissue nitrogen elimination in man. *Aerospace Med.*, 43 (10): 1101-1108.
- Baumberger, J.P and R. B. Goodfriend, 1951: Determination of arterial oxygen tension in man by equilibration through intact skin. *Federation Proc.*, 10: 10-11.
- Calvery, H.D., J.H. Draize and E.P. Laug, 1946: The metabolism and permeability of normal skin. *Physiol. Rev.*, 26: 495-540.
- Fitzgerald, L.R., 1957: Cutaneous respiration. *Physiol. Rev.*, 37: 325-336.
- Hansen, T. N., Y. Sonoda and M.B. McIroy, 1980: Transfer of oxygen, nitrogen, and carbon dioxide through normal adult human skin. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 49(3): 438-443.
- 橋本良子, 島田裕子, 1986: 入浴における血行促進の評価. 第10回人間-熱環境系シンポジウム記念大会報告集, 79-80.
- Lin, Y.C., N.Kakitsuba, D.K. Watanabe and G.W. Mack, 1984: Influence of blood flow on cutaneous permeability to inert gas. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 57(4): 1167-1172.
- Scheuplein, R.J. and I.H. Blank, 1971: Permeability of the skin. *Physiol. Rev.*, 51(4): 702-747.

(1988年11月14日受付)