

低圧低酸素条件下における精神運動機能について Effects of Hypoxia on Psycho-Motor Function

小山 哲^{*1} 猪俣 公宏^{*2}
岡沢 祥訓^{*3} 山本 勝昭^{*4}

Satoshi KOYAMA¹, Kimihiro INOMATA², Yoshinori OKAZAWA³,
and Katsuaki YAMAMOTO⁴

Sixteen normal male student subjects were exposed to simulated altitude of 4000 m and 5000 m for 75 minutes respectively. Four different tests were administered four times, pre-0 m, 4000 m, 5000 m and post-0 m. Heart rate increased or decreased in keeping step with change of altitude. On stabilometer test, above 4000 m there was impairment of performance, specially in back and forth direction.

Flicker value (CFF) showed decline at 5000 m, whereas there was a slight decline at 4000 m. On the contrary, above 4000 m hypoxic impairment was not clear for C.C.No. test. It was suggested that hypoxic effects at 4000 m and 5000 m altitude level might be more influential on organic functions than on central nervous ones.

目的

低圧低酸素条件下における精神運動機能についての研究は、主として航空機内及び高所登山などの特殊環境条件が人間の諸機能にどのような影響を及ぼすかなどの問題に関連して行なわれてきており、旧くは田中寛一や McFarlandらのすぐれた研究例がみられる。特に精神運動機能への影響をとりあげた研究では、フリッカー、タッピング、反応時間、追跡動作などの課題が用いられてきた。まずフリッカー値については、Kobrickらの研究にみられるように一般的に高度が高くなるにつれフリッcker値は低下するという結果が得られている。

タッピングについては Scow らは45秒間課題を用い、平地に比べ 18000 ft の高度では毎分13.1回パフォーマンスが低下すること、また Waldfogel らは、60秒の課題を用い平地に比べ 17600 ft では毎分 3.9 回パフォーマンスが低下したと報告して

いる。このような研究結果の不一致を説明するものとして、Tune は、タッピング課題の遂行時間がことなれば、高度変化がパフォーマンスに及ぼす影響も変わるであろうと推測している。

さらに一定の刺激条件に対する反応時間をとりあげたものとしては、Gerathewohl は、6500 ~ 26000 ft の高度において、高々度になるほど光と音に対する複雑な反応課題のパフォーマンスが低下すると報告している。Kobrick らは、3965, 4575, 5185 m の各高度において間接視による反応時間を測定し、RT は高々度になる程、また周辺にゆくほど遅くなることを明らかにしている。Ledwith は複雑な選択反応時間も高々度になる程遅くなると報告している。またこれらの研究にみられる単純な知覚運動課題に比べ、さらに複雑な運動反応を必要とする課題をとりあげたものとして追跡運動課題による高度の影響を検討した研究がいくつかあげられる。例えば Hogland は、13 ~ 10.5%

*1 中京大学体育学部 *2 名古屋大学総合保健体育科学センター

*3 中京女子大学体育学部 *4 福岡大学体育学部

¹ Department of Physical Education, Chukyo University.

² Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University.

³ Department of Physical Education, Chukyo Womens University.

⁴ Department of Physical Education, Fukuoka University.

の hypoxia 条件下で内分泌反応の変化（norepinephrine の不規則な排せつ）とパーシュートメーターのパフォーマンスが関連していたと報告している。また Shephard は 20000 ft の高度に被験者を 10 分間滞留させた結果、動脈の酸素飽和度、分時呼吸量、及び心拍数などの変化が観察され、それに伴ってパーシュートメーター課題のエラーが増加すると報告している。

以上のような研究結果は、課題の特質や条件設定、被験者の hypoxia 耐性などによって影響をうけはじめる高度が異なることを示しており、さらに新たな条件下でのデーターを蓄積していく必要性を示唆している。そこで前報に引き続き本研究においては、従来とりあげられていない課題のうち、特に身体の平衡維持機能に関連したスタビロメーターテスト、および中枢神経系の機能水準の一端を示す指標として考えられる C.C.NO テストを新しい課題として加えた。さらに他の研究との比較を可能にするために前述の如く従来からよく用いられてきたフリッカーテスト、及び心拍数などの一般的項目を加え、これらの精神運動課題に低圧低酸素がどのように影響を及ぼすかを検討することを主な目的とする。

方 法

実験は名古屋大学環境医学研究所、低圧実験室内で行なわれた。被験者は男子大学生 16 名で、実験に先立ち心電図と質問紙 (CMI) によるチェックの結果、異常のない者のみを使用した。実験は 1979 年 3 月 5 日から 8 日の 4 日間にわたり実施された。Fig. 1 に示すように検査は減圧前 (Pre-0 m) 4000 m, 5000 m, 復圧後 (Post-0 m) の計 4 回行なわれた。減圧時には、1000 m 上昇する毎に、その高度に 10 分間滞留させた。また 4000 m, 5000 m の高度ではそれぞれ 75 分間滞留させた。減圧速度は約 100 m / 分、復圧速度は約 70 m / 分とし、新鮮空気減圧法により手動で行なった。室内温度は常温 (約 20°C) とし、飲食物、トイレ、各種検査用具、緊急用酸素ボンベ、行動観察用テレビカメラ 2 台、マイクロホンが予め室内に搬入されている。実験は一日につき被験者 4 人、実験者 1 人を 1 組

として行なった。実験の進行はインター ホーンを通して指示し、各被験者の心身の状態を心電図及びテレビモニタにより絶えず監視しながら行なった。

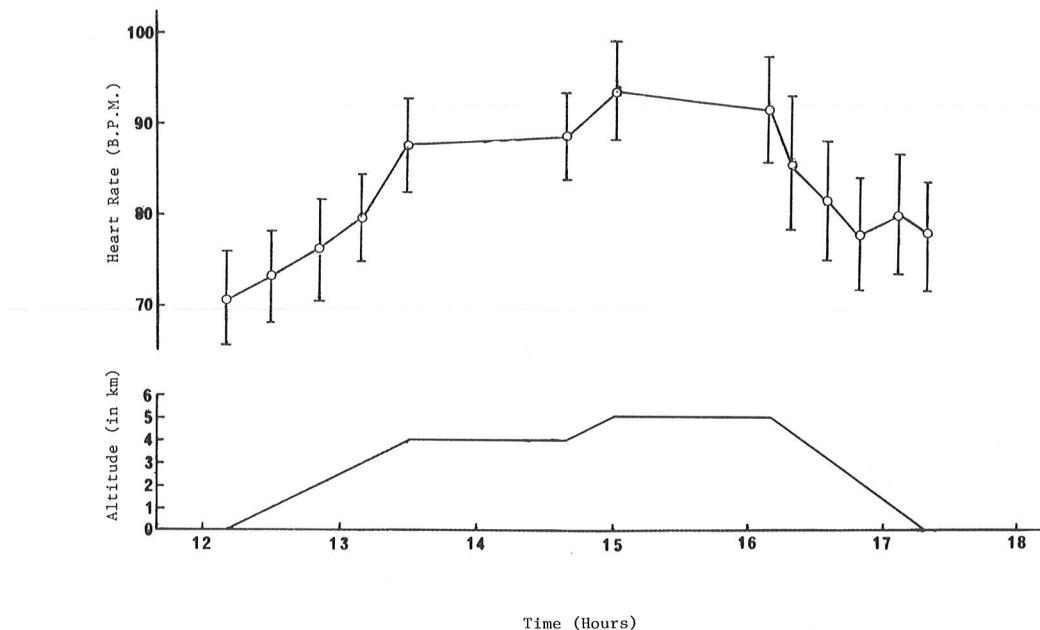
本実験で行なわれた測定項目の内容および手順は以下の通りであった。

- ① 心拍数 各被験者の胸骨柄と C₅ に心電図電極を接着し、全実験過程中的心電図を三栄多用途監視記録装置により記録した。この記録から減圧、復圧時の 1000 m 各に安静時の分時心拍数を計測した。
- ② スタビロメーターテスト T.K.K. 安定板型平衡機能測定器を用い、各高度において閉眼、閉眼条件で、それぞれ 30 秒間の測定を一試行なった。ただし、低圧室の天井が低いため、被験者は完全な直立姿勢がとれず、頭部をやや前傾させた姿勢で測定した。
- ③ フリッカーテスト T.K.K. デジタル式フリッカーを用い、上昇、下降系列とも最初に 2 回の練習を行なった後、各高度においてそれぞれ 3 回測定した。
- ④ C.C.NO テスト 稲葉研究所製 C.C.NO テスターを用いて以下に述べる 2 つの測定を行なった。
1) 約 10 cm はなれた 2 つの打叩部を利手で 10 秒間できるだけ早く交互にたたく動作テスト (タッピング課題) を遂行する。2) 3 種の光刺激 (○, △, □) のそれぞれに対応する打叩部を正しくタッピングすると、反応刺激が継続的に提示されるようになっている装置で 10 秒間に何回正しい反応ができるかを測定した。なお練習効果を除外する目的で両テストともそれぞれ 10 回の予備試行を行なった。また各高度での測定はそれぞれ 3 回行なった。

なお被験者全員が 1 つの測定項目を終了してから、次の項目に移った。また検査時以外は飲食、談話など、自由に休憩させた。

結果と考察

Fig. 1 は高度の変化に伴う全被験者の分時心拍数の平均と標準偏差を示したものである。高度が 0 から 4000 m に上昇するにつれ心拍数が増加し、

**Figure 1.** Mean heart rate as a function of altitude level.

4000 m滞留中(75分)にはやや増加する傾向がみられた。さらに高度を5000 mに上昇すると心拍数は再び増加した。しかし5000 m滞留時における心拍数の変化は4000 mレベルと異なりわずかに減少を示した。また5000 m滞留後、2000 mまでの復圧過程では、減圧時とは逆に、高度低下に伴なう心拍数の減少傾向がみられた。しかし2000

m以下では、心拍数の減少はみられず、高度1000 m付近では多少増加する傾向がみられた。上昇前の0 m及び下降後の0 mの心拍数を比較すると後者の心拍数が相対的に多い。高度変化に伴なう分時心拍数の変化過程は、すでに報告されている一般学生を対象とした木田らの研究結果とほぼ一致している。このような結果は、酸素欠乏に伴う生

Table 1. Mean Performance on Stabilometer Task under each Altitude Condition

Condition		Altitude							
		Om		4000m		5000m		Om	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Moving back and forth	Eyes Opened	6.63	(6.56)	12.75	(6.51)	12.88	(3.92)	12.50	(3.81)
	Eyes Closed	8.00	(8.73)	14.75	(5.40)	14.38	(5.19)	14.25	(5.53)
Moving right and left	Eyes Opened	10.75	(2.82)	10.13	(3.95)	10.13	(4.78)	10.50	(4.21)
	Eyes Closed	10.88	(3.18)	11.38	(3.77)	12.13	(6.15)	10.10	(5.51)

体の酸素ホメオスタシスの維持機構を示すものとして考えられ、特に4000 m水準までは、心拍順応が比較的良好であり、酸素ホメオスタシスがある程度維持されているものと考えられる。しかし5000 mに至り、大気中の酸素分圧が地上の約 $\frac{1}{2}$ 程度になるとこの心拍順応は限界に近づき酸素ホメオスタシスの維持が難しくなるものと考えられる。特に5000 m滞留中における心拍数の減少傾向はこの点を示唆しているものとしてあげられよう。

次に平衡安定盤機能検査の結果については、Table 1に総括されている。先ず前後のゆれについては、開眼、閉眼条件とも、減圧前0 mに比べ4000 m, 5000 m、復圧後0 mのいずれも明らかにゆれが大きくなっている。また左右のゆれについては、特に閉眼条件で、5000 mのゆれが他の高度条件に比べ、やや大きい傾向がみられた。本検査は直立の姿勢維持機能を測定しているものとして考えられ、この種の機能は約4000 m水準で hypoxia の影響を受けはじめることが推察される。また復圧後もある程度の after effect が残る傾向がみられる。

フリッカーテストの結果については、Fig. 2に示されたように、上昇、下降系列ともに高度上昇に伴う CFF の低下傾向がみられる。特にこの傾向は下降系列で著しく、その中でも 5000 m レベルでの低下が明確にみられる。また復圧後(0 m)は、減圧前(0 m)とほぼ同じ水準まで回復している。フリッカーバー値を測定する要因は、網膜を含めた末梢レベルの要因と、大脳中枢における覚醒水準であると考えられる。後者については、一般的によく取り上げられているが、前者についてはあまり考慮がはらわれていない。

McFarland は 4880 m で視力などの視覚的能力は、0 m と比べ著しい影響を受けると述べており、特に Robinson は、光刺激の照度が低い場合は Hypoxia の影響は大であり、網膜上の杆体細胞の Hypoxia に対する Sensitivity が高いことが示唆されている。このような研究結果を考慮すると、本研究でみられたようなフリッカーバー値の高度に伴う低下には、少なくとも末梢レベルでの hypoxia の影響が反映されていると、考えられる。

C.C.No テストの結果については、Table 2 に示されている。表中の左は動作テスト、右は選択反応テストの結果である。動作テストでは全般的に高度変化に伴いパフォーマンスが増加する傾向がみられるが、5000 m ではやや減少を示している。また誤反応は 5000 m でやや増加する傾向がみられた。これらの結果は、5000 m における低酸素条件が動作テストの結果に影響を及ぼしているものとして考えられるが、他方で課題の練習効果が融合していると推測されるので、統制群をもうけてさらに検討を加える必要があろう。

選択反応テストでは、高度 5000 m は他の高度に比べ、わずかではあるが正反応は少なくなっている。また誤反応は逆に増えており、高度の影響が推察される。しかし Gerathewohl や Kobrick らの研究結果に比べ、高度の影響は顕著ではない。このような差は課題の与える hypoxia 条件のちがいに依存しているものと考えられる。しかし、McFarland らによれば、一般的に hypoxia による大脳中枢機能の低下は、5500 m 以上の高度でみられるといわれており、5000 m における選択反応の低下が明確でなかった事実は、一般的な研究

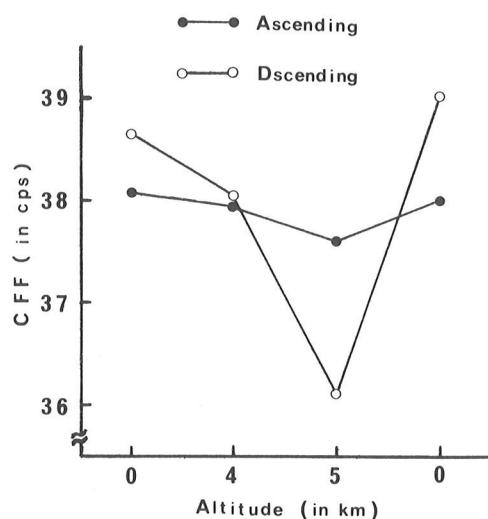


Figure 2. Mean Performance for the two different test methods of Flicker under each altitude condition.

Table 2. Mean Performance on CC NO Task under each Altitude Condition

Altitude	Movement				Discriminating			
	Correct responses		Errors		Correct responses		Errors	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1. 0 mm	61.0 (4.50)		1.03 (0.82)		20.39 (1.98)		2.06 (1.45)	
2. 4000	62.89 (4.02)		1.12 (0.9)		19.98 (1.79)		1.24 (0.92)	
3. 5000	61.72 (3.66)		1.31 (1.47)		19.90 (1.53)		2.31 (1.86)	
4. 0	64.47 (2.70)		1.11 (1.13)		19.97 (1.78)		1.92 (1.36)	

結果と一致しているように思われる。

以上、生理的な水準から知覚、判断を含めた大脳中枢機能の水準に至るまで、4つの指標を基に結果の検討と考察を試みてきたが、総じて、より生理的なレベルでは高度変化と依存変数の変化が相対的に対応しており、特に心拍数では顕著な傾向がみられた。また復圧後にも、hypoxia の影響がある程度残留することが推察された。他方、中枢水準の機能に関連したテストは、5000 m でやや影響を受ける程度であり、hypoxia の環境条件下で人間の中枢機能は末梢レベルに比べ相対的によく保護されていることを示唆しているものとして考えられる。

(付記)

本研究は、環境医学研究所第6部門との共同実験の一環として行なわれた。

参考文献

- 田中寛一：低圧及酸素不足が心身作業能率に及ぼす影響に関する研究(一)日本心理学雑誌, 3(1): 1—57, 1925.
- 田中寛一：低圧及酸素不足が心身作業能率に及ぼす影響に関する研究(二)日本心理学雑誌, 3(2): 115—161, 1925.
- 木田光郎, 萩阪良二, 杉本助男, 三輪武次, 谷口正子, 鈴木初恵：低圧下における精神機能－心拍数の変化と精神活動－名古屋大学環境医学研究所年報, 29: 43—46, 1978.
- 猪俣公宏, 岡村豊太郎, 山本勝昭, 工藤孝機：低圧下における精神機能－筋持久テストと円描きテスト－名古屋大学環境医学研究所年報, 29: 50—53, 1978.
- Gerathewohl, S.: Method for the analysis of psychomotor performance under hypoxia. *J. aviat. Med.* 22: 196—206, 1951.
- Hoagland, H.: Some endocrine stress responses in man. In J. M. Tanner (Ed.), Stress and psychiatric disorder. Oxford: Blackwell, p.76—94, 1960.
- Kobrick: Effects of hypoxia on voluntary response time to peripherally located visual stimulus. *J. Appl. Physiol.* 29 (4): 444—448, 1970.
- Ledwith, F.: The effects of hypoxia on choice reaction time and movement time. *Ergonomics*, 13: 465—482, 1970.
- McFarland, R. A.: Psycho-physiological studies at high altitude in the Andes. *J. Comp. Psychol.* 23: 191—258, 1937.
- McFarland, R. A.: Psycho-physiological implication of life at altitude and including the role of oxygen in the process of aging. In *Physiological Adaptations Desert and Mountain*, Edited by M. K. Yousef, S. M. Horvath and R. W. Bullard, New York: Academic Press, p.157, 1972.
- Robinson, D. H.: The dangerous sky. A history of aviation medicine. Henley-on-Thames: G. T. Foulis, 1973.
- Scow, J., Krasnow, L. R., and Ivy, A. C.: The immediate and accumulative effect of psychomotor performance of exposure to hypoxia, high altitudes and hyperventilation. *J. Aviat. Med.* 21: 70—81, 1950.
- Shephard, R. J.: Physiological changes and psychomotor performance during acute hypoxia. *J. Appl. Physiol.* 9: 343—351, 1956.
- Tune, G. S.: Psychological effects of hypoxia. Review of certain literature from the period 1950 to 1963. *Perce. and Mot. Skills*, 19: 551, 1964.
- Waldfogel, S., Finesinger, J. E., & Verzeano, M. The effect of low oxygen on psychologic performance in psychoneurotic patients and normal controls. *Psychosomatic Med.*, 12: 224—249, 1950.

(1980年1月31日受付)

