

持久的作業能に及ぼす姿勢変化の影響

中京大学体育学部運動生理学研究室

藤 田 公 和

山 本 高 司

朝 比 奈 一 男

藤 松 博

EFFECT OF BODY POSITION CHANGE ON ENDURANCE WORK CAPACITY

K. FUJITA, T. YAMAMOTO, K. ASAHINA and H. FUJIMATSU

The purpose of this study is to observe the effect of body position on circulatory responses and muscular endurance work capacity. Thirty four subjects participated in the study. Body position used to this study were three kinds, Horizontal-supine position(S), Head-down position(D), Head-up position(U). Each subject performed hand grip exercise in three different body positions. Forearm and lower leg blood flow was measured by using mercury-in-rubber strain gauge method.

Blood sample were obtained from cubital vein and brachial artery in selected ten subjects. The results were summarized as follows:

- 1) The significant difference of resting blood flow was observed among three body positions.
- 2) In work of one-third work load of maximal hand grip strength, significant difference of performance was not observed among three body positions, but in 1/6 max. work, significant difference was observed between Head-up position and other two body positions.
- 3) As to the peak blood flow, difference between Head-up position and other two body positions was statistically significant.
- 4) Blood lactate and arterial-venous oxygen difference of immediately after exercise showed highest value in Head-up position.
- 5) Circulatory responses with body position change (hydrostatic effect, nervous regulation, etc.) seem to have influence on endurance work capacity. The longer the work time become, the more remarkable the effect of body position seem to be remarkable.

緒論

ヒトが地球上に生存するかぎり、絶えず重力の影響を受けている。1日の生活の中でもヒトは立位・座位・仰臥位等、様々な安静及び作業姿勢をとる。生体に対する重力の作用方向を変化させると、この刺激に対する代償作用として循環応答に変化が生ずる。また、宇宙空間での無重力状態、あるいは水中での無重力に近い状態など、生体に作用する重力そのものを変化させることによっても様々な生体系の変化が生ずる。

Astrand¹⁾は有気筋活動能力に影響をおよぼす諸因子の1つとして作業姿勢をあげている。すなわち、彼は、作業姿勢の変化に伴う循環応答が持久的作業能に影響をおよぼすことを示唆している。

持久的作業能を決定する主要な要因として筋血流量が上げられる。また、姿勢変化に伴う血液配分のメカニズムとして以下の因子が考えられる。

- 1) 静水力学的な影響
- 2) 静脈還流の増減による神経調節
- 3) その他

したがって、姿勢と持久的作業能とは、きわめて密接な関係があるものと推察される。

一方、「姿勢」というものは2種類に分類できる。身体各部、すなわち体幹・体肢・頭部などの相対的位置関係を意味するものと身体軸が地球の重力の作用方向といかなる関係にあるかを意味するものがある。本研究においては後者の姿勢変化について実験を行なった。したがって、本研究の目的は被検者に7種類の姿勢をとらせ、姿勢が安静時の循環応答に及ぼす影響と、それぞれの姿勢で最大掌握作業を行なわせ作業姿勢が局所の持久的作業能に及ぼす影響を観察し、それを重力生理学的観点から考察することである。

方法

本実験に参加した被検者は年齢 20.5 ± 2.9 才(平均値±標準偏差, 以下同様)の健康な男子体育学部生及び教官からなる、延べ34名であった。被検者の身体特性は身長 170.8 ± 4.9 cm, 体重

60.8 ± 7.1 kgであり、日常的に特別な身体トレーニングを行なっていなかった。

安静及び作業時の姿勢を設定するために特別に製作した四肢作業用可傾ベットを用いた。この装置は両手足の規定作業が可能であり、 ± 70 度の傾斜範囲を有するものである。

本研究で用いた姿勢は図1に示してある。

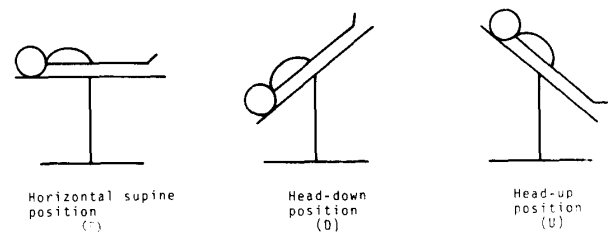


Fig. 1 Three kinds of body positions used in the experiment

左側からHorizontal-supine position (S), 水平から体幹を40度後方に倒した姿勢Head-down position (D), 及び水平から前方へ40度起こした姿勢Head-up position (U)の3種類であった。またこれに加えて、体肢の周径囲と血流量の変化を測定するため、後方へ20度倒した姿勢、前方へ20度および60度起こした姿勢もとらせた。

Head-down position では被験者は腰に巻いたベルトを両肩にあてた支持台によって姿勢を保持した。Head-up position では被検者はベッド上に取りつけてあるサドルに腰をおろし、できる限り下肢に体重がかからないようにして姿勢を維持した。

安静時及び作業終了後の血流量の測定は、Whitney 考案の Mercury-in-rubber strain gaugeを用いたvenous occlusion methodで行なった。右側の手首と足首、上腕と大腿にそれぞれ血圧測定用の cuff を巻き、それぞれのcuffに自動的に空気を注入し加圧できるようにした。手首と足首のcuffには200mmHgの空気圧を加え、上腕と大腿のcuffにはそれぞれの姿勢で測定した拡張期血圧に等しい圧力を加えた。

作業前後の血中乳酸(LA),血糖(Glucose),ヘマトクリット(Hct),血清総タンパク(Serum TP),を測定するため安静時と作業終了後30秒,3分,5分,10分目にそれぞれ右腕の肘静脈から採血した。LAは酵素法,GlucoseはO-トルイジンホウ酸法,Hctは超遠心法,TPは屈折計法で分析した。

同様に,血液ガス(CO₂,O₂)を測定するため作業前後に上腕動脈及び肘静脈から採血した。血液ガスの分析はナテルソン微量血液中ガス分析装置を用いた。

各被検者はそれぞれの姿勢で10分間の安静をとった後,最大掌握作業を行なった。作業負荷は各被検者の最大握力の $\frac{1}{3}$ 及び $\frac{1}{6}$ に相当する重量(kg)とし,1分間に60回の頻度で錘を22mm持ち上げる作業を疲労困憊まで行なった。疲労困憊の判定規準は被検者が規定の距離まで錘を持

ち上げることができなくなった時か,規定の収縮頻度が維持できなくなった時とした。また,実験は1日1姿勢の作業とし,4~5日間の間隔を置き3姿勢について行なった。

結果

被検者10名について3姿勢での安静時前腕血流量と血圧を測定した(図2,図3)。

前腕血流量はHead-up position 2.12 ± 0.68 ml/100ml/min, Supine position 3.61 ± 0.70 ml/100ml/min, Head-down position 4.79 ± 1.09 ml/100ml/min,であった。Head-up positionとSupine positionの間には1%水準,Supine positionとHead-down positionは5%水準の有意差がみられた。一方,血圧は収縮期,拡張期血圧ともHead-up,Supine,Head-down positionの順に高くなる傾向を示した。

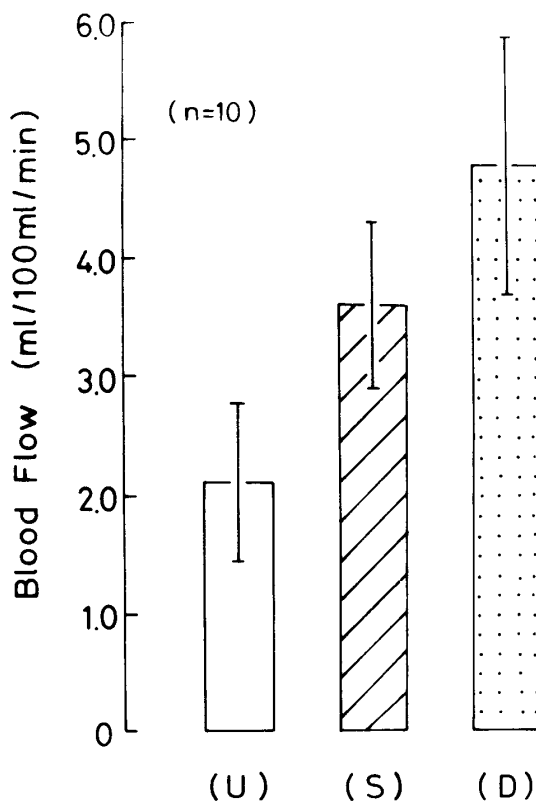


Fig. 3 Resting forearm blood flow in three different body positions. U, 'S, and 'D, mean Head-up position, Horizontal-supine position, and Head-up position, respectively.

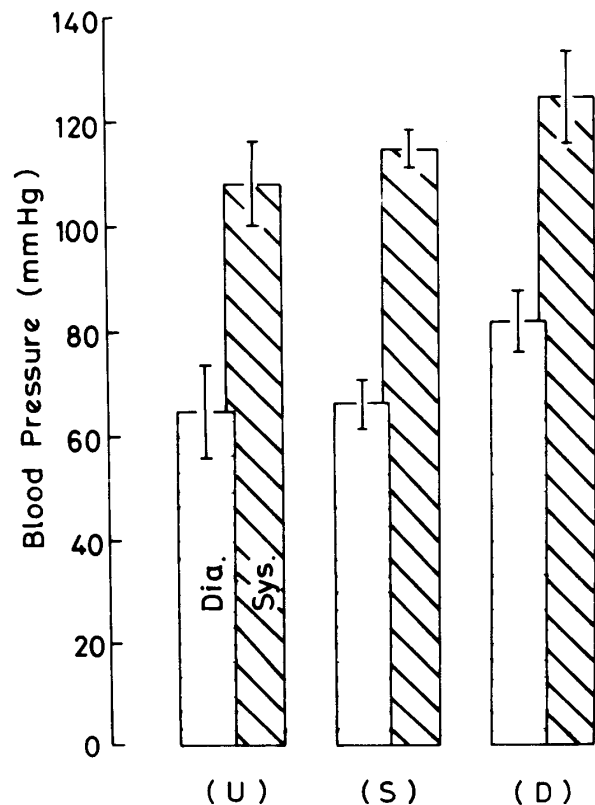


Fig. 3 Systolic and diastolic blood pressure in three different body positions at rest

姿勢変化によって、特に容量血管系に血液の貯留が生ずる。図4はSupine positionを基準とし、姿勢変化させた時の右側下肢と右側上肢の周径変化を記録したものである。測定部位は大腿、下腿、足、上腕、前腕の5ヶ所である。横軸はHead-down position (40度, 20度), Supine position, Head-up position (20度, 40度, 60度)を示している。

縦軸はSupine positionの周径圍を±0とし、姿勢変化時の周径圍の増減をパーセントで表わしたものである。Head-down positionでは上肢の周径圍は増加するが下肢の周径圍は減少する。逆にHead-up positionでは下肢の周径圍が増加し、上肢は減少する。

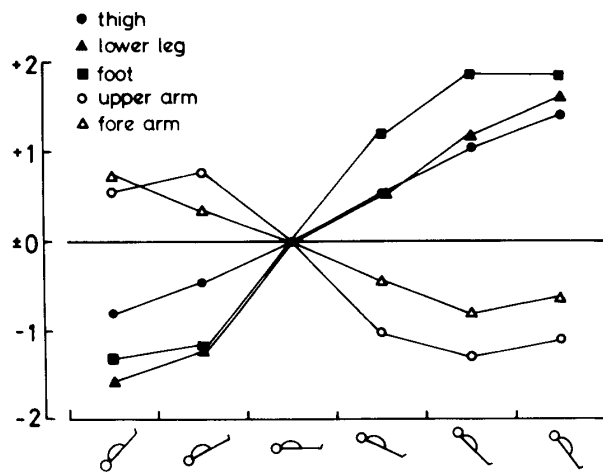


Fig. 4 Circumference change of body segments accompanying body position

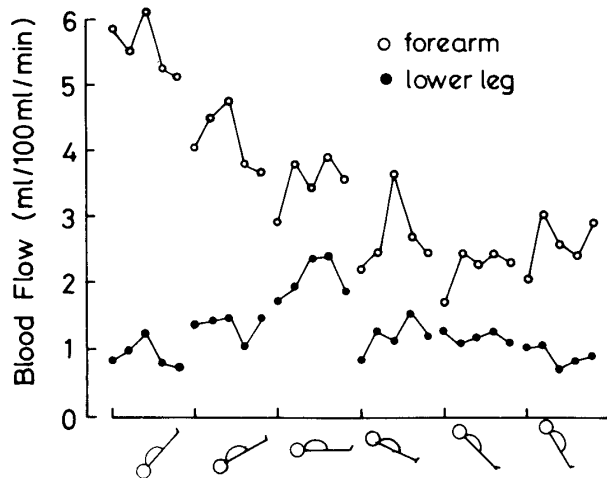


Fig. 5 Forearm and lower leg blood flow accompanying body position change

Body Position Subj.	U	S	D
A	45	55	54
B	44	37	50
C	60	62	60
D	49	46	47
E	50	45	57
F	85	66	55
G	52	63	67
H	74	85	81
I	72	81	82
J	77	88	78
K	61	67	58
L	73	70	83
M	69	65	79
N	62	74	80
M ± S.D	62.4 12.5	64.6 14.5	66.5 12.9

Fig. 6 Performance of hand grip exercise in work load of 1/3 of maximal hand grip strength

Body Position Subj.	U	S	D
A	117	180	195
B	91	134	137
C	168	162	163
D	189	256	255
E	187	178	180
F	180	207	178
G	168	209	213
H	120	141	124
I	210	219	212
J	126	196	160
K	203	266	280
L	124	126	114
M	159	170	204
N	135	183	210
O	153	153	138
P	247	358	293
Q	150	211	180
M ± S.D	160.4 38.7	197.0 55.3	190.4 49.8

Fig. 7 Performance of hand grip exercise in work load of 1/6 of maximal hand grip strength

周径圍の変化量を具体的に数字で表わすと、例えば周径圍 300 mmの体肢が 1 %太くなるということは断面積として 1.45 cm²増加することである。また、図 5 はこのときの前腕と下腿血流量を測定したものである。前腕の血流量は 40 度の Head-down position が最も多く、身体軸を回転させ立位姿勢にすると減少する。一方、下腿の血流量は Supine position が最も多く、Head-down, Head-up position のいずれの姿勢においても血流量が減少する傾向がみられた。

図 6 は最大握力の $\frac{1}{3}$ と $\frac{1}{6}$ の負荷で最大作業を行なった時の作業回数を示している。 $\frac{1}{3}$ max. 作業において作業回数は 3 姿勢間でほとんど差がみられなかった (Head-up position 62.4 ± 12.5 回, Supine position 64.6 ± 14.5 回, Head-down position 66.5 ± 12.9 回)。 $\frac{1}{6}$ max. 作業ではかなりの個人差がみられたが、Head-up 水準、Head-up position と Head-down position との間には 1 %水準の有意差がみられた。Supine position と Head-down position では有意差がなかった。

最大掌握作業を行なった被検者から 5 名 ($\frac{1}{3}$ max.) と 7 名 ($\frac{1}{6}$ max.) を無作為に選出し、作業前後で前腕の血流量を測定した結果を図 7 に示した。 $\frac{1}{3}$ max. $\frac{1}{6}$ max. の両方の作業で Head-up position と他の 2 姿勢との間に 5 %水準の有意差がみられた。しかしながら、Supine position と Head-down position との間には有意差がみられなかった。

作業直後血流量、又は作業後最大血流量と作業回数との間には直線相関のみられることが以前から報告されているが⁶⁾、本研究においても $\frac{1}{6}$ max. での作業後最大血流量と掌握作業回数との間には高い直線相関がみられた (図 8)。 $\frac{1}{3}$ max. 作業でも同様の傾向がみられたが、3 姿勢での平均の相関が $Y = 0.956x - 13.110, r = 0.733$ と $\frac{1}{6}$ max. 作業と比較してやや低い相関が得られた。

作業筋における酸素供給、代謝の状態を観察するため血液性状を分析した。図 9 は握力の $\frac{1}{3}$ の負荷で最大作業を行なった後の血中乳酸の最高値を示している。Head-up position では 40.83 ± 6.64 mg/dl, Supine position $38.64 \pm$

7.26 mg/dl, Head-down position 34.09 ± 6.84 mg/dl であった。回復時の最高値はほとんどの被検者で作業終了 30 秒後に得られた。握力の $\frac{1}{3}$ での作業回数は 3 姿勢間でほぼ同じであるため、この差は作業量の差により生じたものではなく血液による活動筋からの乳酸の消去率によるものであろうと推察できる。

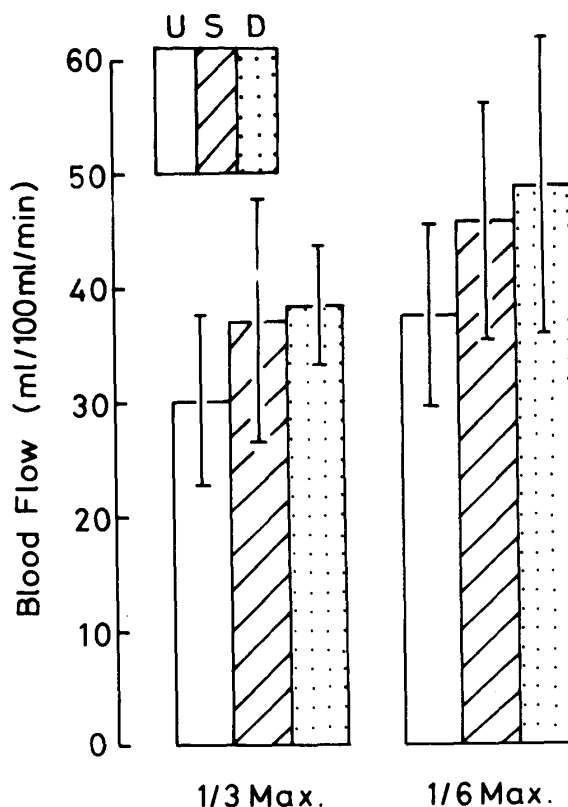


Fig. 8 Maximal blood flow after exercise in three different body positions and different work loads

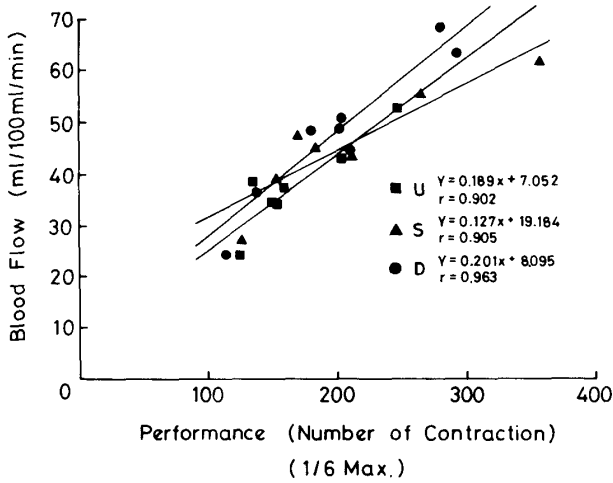


Fig. 9 Relationship between performance and maximal blood flow after exercise (work load of 1/6 maximal hand grip strength)

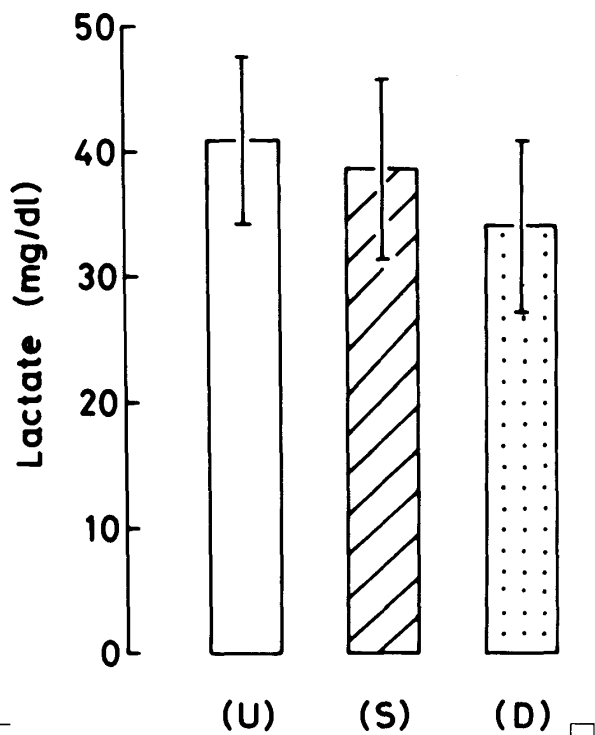


Fig. 10 Maximal lactate value during recovery in three different body positions

Glucose, Hct, TPの分析結果は図10に示した。いずれの項目も作業終了後30秒で最も高い値を示し、その後徐々に安静時の水準まで回復している。Hct, TPの増加は筋作業により血液中の水分が血管壁外へ漏出する血液濃縮の影響であろうと考えられる。したがって両者はエネルギー

一代謝とは直接的な関係はないと考えられる。

短時間の激しい作業のエネルギー源として筋のグルコーゲン分解が活発になる。図10にみられる作業終了後の高血糖値は筋作業中に筋のエネルギー需要をまかなっていた筋中のグルコースが作業終了により血中に放出されたものと考えられる。

図11は作業前後における動脈及び静脈血中のO₂とCO₂を表わしている。動脈血中のO₂, CO₂は作業前後でそれぞれ O₂ 22.99vol%, 20.97 vol%, CO₂ 52.77vol%, 53.45vol%と作業による変化をほとんど示さなかった。一方、作業により静脈血中のCO₂は3姿勢の平均で安静時の55.97 vol%から69.97 vol%まで増加し、逆にO₂は低下した。

安静時と作業終了直後の動静脈酸素較差を図12に示した。安静時、作業終了直後ともにHead-up positionが最も高く、Supine position, Head-up down positionの順に低くなった。すなわち血流量と動静脈酸素較差はほぼ逆の傾向を示している。

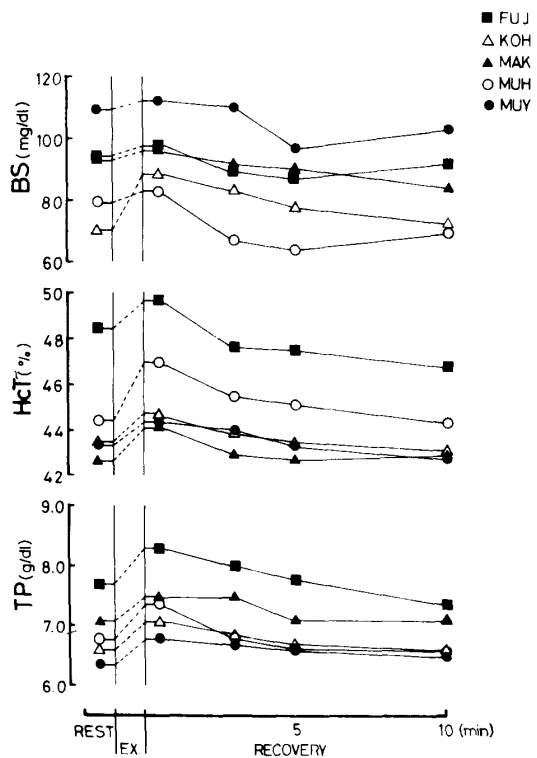


Fig. 11 Blood sugar (BS), Hematocrit (Hct), Total protein (TP), at rest and during recovery in five subjects

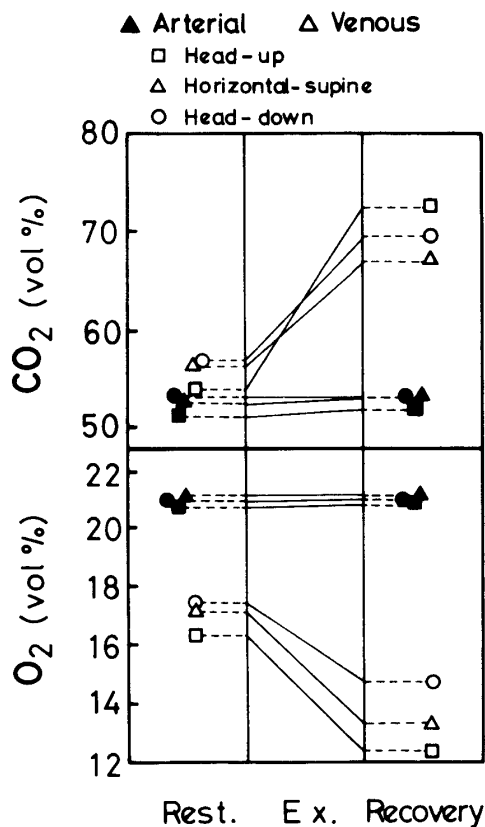


Fig. 12 CO₂, O₂ of arterial and venous blood before and after exercise

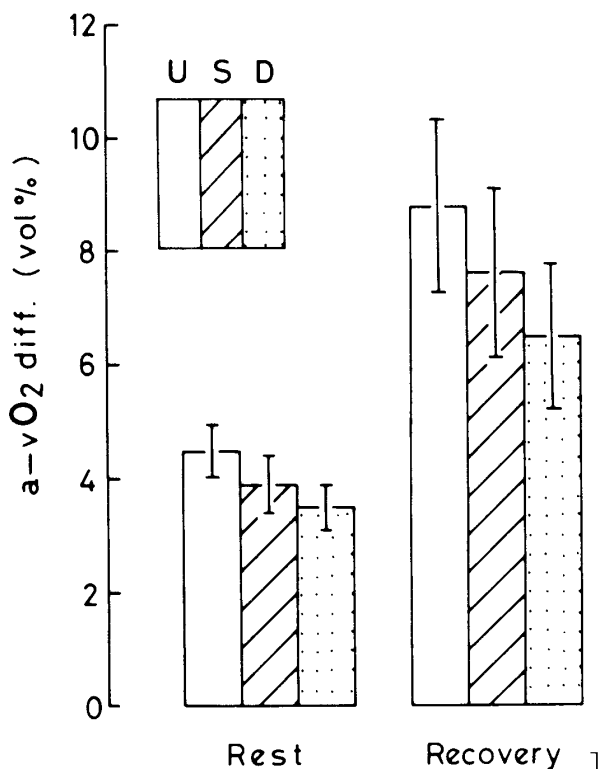


Fig. 13 A-vO₂ difference at rest and immediately after exercise in three different body positions

論議

姿勢変化によって生ずる還流静脈血の増減により前腕の筋血流量が変化することはBrigdenたち(1950)^{3),4)}, Roddieたち(1956, 1957)^{8),9)}によって報告されている。本実験においても彼らの報告と同様、安静時の前腕血流量は3姿勢間で有意な差がみられた。このような循環応答のメカニズムはRoddieたちにより説明されている。すなわち、胸廓内低圧部に存在する圧受容器からの刺激により前腕のアドレナリン作動性血管収縮神経の興奮が抑制され、前腕の筋血管が拡張するために血流量の増加が生ずるものである。

作業後の血流量は律動的作業中の弛緩期の血流量を反映するものであり²⁾、血流量と作業回数との間には高い相関がある⁵⁾。しかしながら本研究において、 $\frac{1}{3}$ max. 負荷での作業回数はほぼ同じであったにもかかわらず、前腕の作業後最大血流量はHead-up positionと他の2姿勢との間に5%水準の有意差がみられた。これは作業時間からみて比較的無酸素的な作業であったことと、静水力学的な影響によりHead-up positionでの血流量が減少したものと考えられる。一方、 $\frac{1}{6}$ max. 作業では作業回数と作業後最大血流量とは3姿勢間で同様の傾向を示した。したがって $\frac{1}{6}$ max. 作業では作業姿勢によって生じた循環応答の変化が持久的作業能に影響をおよぼしたものと考えられる。

筋の酸素摂取はその筋を流れる血流量と動静脈酸素較差の2つの因子により決定される^{6),10)}。Wahren¹⁾は作業強度が増すにつれて血流量は増加するが動静脈酸素較差は一定水準以上の増加を示さないと報告している。

すなわち、特に最大作業において筋の酸素摂取量は血流量の増加により補われることを示唆している。

本実験において、Head-up positionでは静水力学的な影響として下肢への血液貯留、環流静脈血の減少による前腕の筋血管収縮、上肢皮膚血管の狭窄などが生ずる。したがってこのように前腕血流量が減少している状態での持久的作業は動静脈酸素較差の増加にもかかわらずきわ

めて効率の悪いものであると考えられる。

一方、Head-down positionでは環流静脈血の増加による前腕の筋血流量の増加、上肢への血液の貯留、前腕における動静脈酸素較差の減少などがおこる。安静時では3姿勢間で前腕血流量に有意な差がみられたが、作業終了直後ではSupine positionとHead-down positionとの間に有意差がみられなかった。この原因としては、上肢の血液貯留の影響が考えられる。血流量は単位時間当りに流れる血液量であるため、血液の流れる速度が遅くなれば当然減少する。したがって血液貯留がその部位での血液の流速を低下させ、血流量の増加を妨げ、その結果として持久的作業能がSupine positionと比較してHead-down positionで増加しなかったものと考えられる。

結論

7種類の姿勢変化に伴なって生ずる循環応答の変化を延べ34名の被検者について測定した結果、以下のことが明らかとなった。

安静時

- 1) 前腕血流量はHead-up, Supine, Head-down positionの順に高くなった。また、Head-up positionとSupine positionとの間には1%水準、Supine positionとHead-down positionとの間には5%水準の有意差がみられた。
- 2) 下腿血流量はSupine positionが最も多く、Head-up, Head-down positionではいずれも低下する傾向がみられた。
- 3) 姿勢変化に伴ない、静水力学的な影響により上肢及び下肢に血液貯留がみられた。

最大作業時

- 1) $\frac{1}{3}$ max. 負荷の作業回数は3姿勢間で有意な差がみられなかったが、 $\frac{1}{6}$ max. 負荷の作業ではHead-up positionと

他の2姿勢との間に有意差($P < 0.01$)がみられた。

- 2) 作業後最大血流量は $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{6}$ max. の両方の作業でHead-up positionと他の2姿勢との間に有意差($P < 0.05$)がみられた。
- 3) 作業終了後の血中乳酸値はHead-down, Supine, Head-up positionの順に多くなる傾向がみられた。
- 4) 安静時及び作業終了直後の動静脈酸素較差はいずれもHead-down, Supine, Head-up positionの順に高くなった。

引用文献

- 1) Åstrand P.O. and K.Rodahl 著. 朝比奈一男監訳. 浅野勝己訳: 運動生理学. 大修館書店, 1976.
- 2) Barcroft, H. and A.C. Dohnhorst: The blood flow through the human calf during rhythmic exercise. J. Physiol. 109: 402-411, 1949.
- 3) Brigden, W. and E.P. Sharpey-Schafer: Postural changes in peripheral blood flow in cases with left heart failure. Clin. Sci. 9: 93-100, 1950.
- 4) Brigden, W. Sheila howarth and E.P. Sharpey-Schafer: Postural changes in the peripheral blood flow of normal subjects with observations on vasovagal fainting reactions as a result of tilting the lordotic posture pregnancy and spinal anesthesia. Clin. Sci. 9: 79-90, 1950.
- 5) 猪飼道夫編著: 身体運動の生理学. 杏林書院1973.
- 6) Love, A.H.G: the rate of blood flow and the oxygen saturation of the effluent blood following contraction of the muscles of the human forearm. Clin. Sci. 275-283, 1954.
- 7) Robert F. Fushmer, M.D. 著. 入沢宏, 入沢彩共訳: 心・血管系の構造と機能. 医歯薬出版株式会社. 1944.
- 8) Roddie, I. C. and J. T. Shepherd: The reflex nervous control of human skeletal muscle blood vessels. Clin. Sci. 15: 433-440, 1956.

- 9) Roddie, I. C., J. T. Shepherd and R. F. Whelan:
Reflex changes in vasoconstrictor tone in human
homan skeletal muscle in response to stimulation
of receptors in a low-pressure area of the
intrathoracic vascular bed.
J. Physiol. 139 : 369-376, 1957.
- 10) 田口貞善, 猪飼道夫: 筋の酸素摂取量からみた筋の作業能力.
作業能力. 体育学研究13(5) : 125, 1969.
- 11) Wahren John: Quantitative aspects of blood
flow and oxygen uptake in the human forearm
during rhythmic exercise. Acta physiol.
Acta physiol. scand. 67 : Supplementum 269,
1966.
- 12) Whitney, R. J: The measurement of volume
changes in human limbs. J. Physiol.
121 : 1-27, 1953.