

第3章 研究課題

第2節：間欠型と一定型持久運動における生理生化学的応答の比較検討

1. 最大下でのインターバル形式の持久運動が血中エネルギー基質とそれに関連するホルモン応答に及ぼす影響

【緒言】

持久的な運動中のエネルギー基質には主に糖質と脂質が利用され、その調節にはカテコールアミン（アドレナリン :Ad, ノルアドレナリン :NA), グルカゴン, コルチゾール, ACTH およびインスリンなどのホルモンが関与していると考えられている (Galbo 1975, 1976, Koivisto 1982, 村岡 1978, Tabata 1984). とくに Ad と NA は解糖作用と脂肪分解を調節する主要なホルモンであることから、これまで持久的な運動中のエネルギー基質とこれらのホルモン応答に関する多くの研究がなされている。その結果、40% ~ 70% $\dot{V}O_2\max$ 強度での長時間運動時の血中カテコールアミン濃度は、運動時間とそれに伴う生体内糖質の枯渇度に依存して上昇すると考えられている (Galbo 1975, Koivisto 1982)。

一方、運動中の血中カテコールアミン濃度は運動強度にも大きく依存することはよく知られており、漸増負荷運動を用いた研究によると (Galbo 1975, 村岡 1978, Haggendal 1970, Maszeo 1989), 血中カテコールアミン濃度は強度に対して直線的ではなく、50% ~ 70% $\dot{V}O_2\max$ の強度を境に急激に上昇すると考えられている。それ以下の低強度運動 (20% ~ 30% $\dot{V}O_2\max$) では、血中からの消失速度 (クリアランス) が亢進する (Kjaer 1985, 1989) こともあり、血中カテコールアミン濃度はほとんど上昇しないことが示されている。また、運動中に分泌された循環血液中のカテコールアミンの半減期は 2 ~ 4 分と比較的短いことも知られている (Kjaer 1985, 1986)。このような、低強度運動中の血中カテコールアミン応答を考慮すると、長時間運動であっても、運動中に数分の低強度運動を繰り返す間欠型持久運動では、一定型持久運動と比べて、血中カテコールアミンの応答は異なることが予想される。また、もし血中カテコールアミンの応答が異なるのであれば、血中エネルギー

基質に対しても影響を及ぼすと考えられる。

これまで、間欠型の運動に対する血中カテコールアミン応答について検討したものはいくつみられるが、これらの研究では短時間（6秒）の高強度運動 $100\% \dot{V}O_{2\max}$ 以上）を、短い休憩（30秒）を挟んで10~15回繰り返すものであり（Brooks 1990, Gaitanos 1993）、必ずしも持久運動といえるものではない。

そこで本研究では、間欠型持久運動に対する血中カテコールアミン、インスリンおよびエネルギー基質の応答を、運動時間と機械的になさなれる仕事量が同等である一定型持久運動の場合とで比較検討することを目的とした。

【方法】

I. 被験者

健常で活動的な男子大学生8名が被験者であった。彼らの年齢、身体的特徴および最大酸素摂取量を表3-3に示した。彼らは予め実験の目的、内容およびそれに伴う危険性について説明を受け、それらを十分に理解し、同意書に署名したうえで実験に参加した。

II. 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\max}$), 換気閾値 (VT) の測定

本実験開始前に、各被験者は実験室に来室し、 $\dot{V}O_{2\max}$ の測定のために、自転車エルゴメーター（コンビ社製, RS232C Model 50）による負荷漸増運動を疲労困憊まで行った。漸増運動は0 watt から毎分30 watt の割合で増加するランプ負荷法とした。被験者は運動中のペダル回転数を60 rpm に維持するように指示され、疲労困憊の判定は検者の叱咤激励にもかかわらず、60 rpm の回転数を維持できなくなったときとした。運動中は連続して呼気ガスを採取し、自動呼気ガス分析装置（ミナト医科学社製, MG360, RM300）を用いて、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$), 二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) および換気量 ($\dot{V}E$) を測定した。得られた酸素摂取量の最大値を $\dot{V}O_{2\max}$ として用いた。

また、 $\dot{V}E$ の非直線の上昇、 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の変化を伴わない $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ の上昇を判定基準としてVTを求めた。

表3-3 被検者の特徴と最大酸素摂取量

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	VO ₂ max (ml/min)
Mean	23.0	171.3	67.7	2795
SE	±0.5	±2.1	±1.5	±13

Values are means ± SE for 8 subjects. VO₂max; maximal O₂ uptake measured during graded exhaustive cycle exercise.

III. 実験プロトコール

実験運動は自転車エルゴメーター（コンビ社製 RS232C Model 50）で行なわれた。間欠型持久運動は、各被験者の25% $\dot{V}O_{2max}$ と 75% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する負荷を4分毎に交互に繰り返す運動を80分間続けるものであった（図3-6）。間欠型持久運動における高強度運動の負荷は、被験者が80分間にわたり運動持続が可能であり、かつ、十分なカテコールアミンの上昇が予測される強度として75% $\dot{V}O_{2max}$ 強度に設定した。また、Kjaerら（1985, 1989）によって20~30% $\dot{V}O_{2max}$ 強度では血中カテコールアミンのクリアランスが亢進するとの報告がなされていることから、低強度運動を25% $\dot{V}O_{2max}$ 強度とした。

さらに、本実験では間欠型持久運動と比較することを意図し、運動強度が変化せず一定（50% $\dot{V}O_{2max}$ ）であり、運動時間および機械的になされる仕事量が同等である一定型持久運動を行わせた（図3-6）。なお、両持久運動とも運動40分目に5分間の休憩を設け、また、運動中のペダル回転数は60 rpm に維持された。被験者は12時間の絶食後、両持久運動をクロスオーバー法により、1週間の間隔をおいて行った。

運動前、運動40分目、運動終了時に肘前静脈より真空採血管を用いて血液を採取した。採取した静脈血の一部から、自動乳酸分析器（SI社製 Model 23L）を用いて血中乳酸濃度を測定した。残りの血液はすみやかに4℃で遠心分離し血清および血漿を得た。血清は血糖、遊離脂肪酸およびインスリンの分析に、血漿はAdおよびNAの分析に供した。血糖、遊離脂肪酸は酵素法、インスリンはRIA法、AdおよびNAはHPLC法によってそれぞれ濃度を求めた。なお、運動中および運動終了時のこれらの生化学的項目の値は、運動前値からの変化量で表わした。また、運動0分目、運動終了時に、Borg scaleによる主観的運動強度を測定した。

IV. 統計処理

各々の測定値は平均±標準誤差で表わした。生化学的項目および主観的運動強度の値の分析には試行×運動時間の2元配置分散分析を行い、多重比較にはLSD検定法を用いた。また、有意水準は危険率5%未満をもって有意とした。

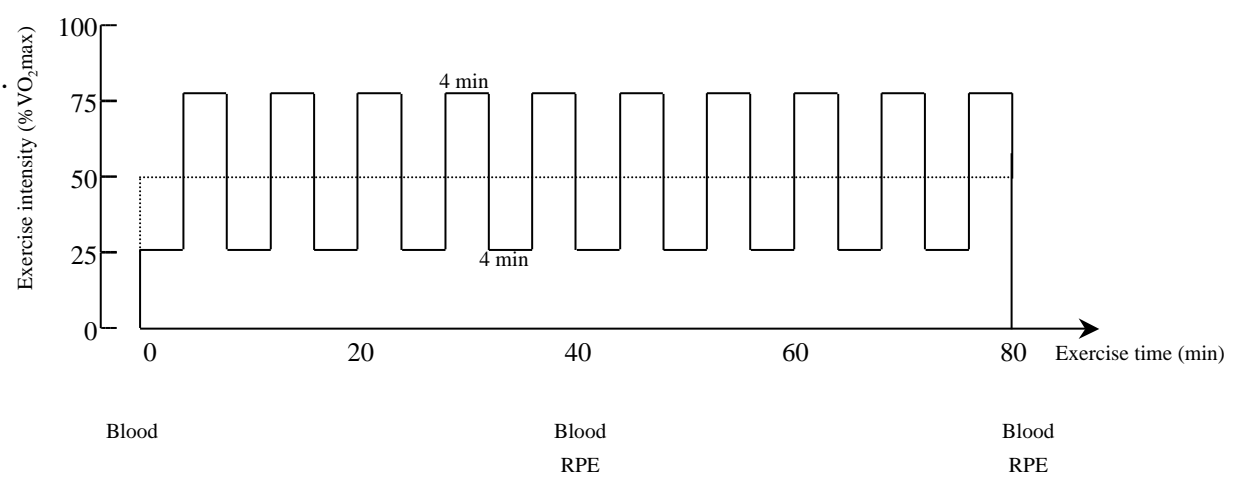


図3-6 運動プロトコル（実線は間欠型運動，破線は一定型運動）

【結果】

I. Ad, NA, インスリン濃度

図 3-7 には Ad, NA およびインスリン濃度の変化を運動前値からの変化量として示した。一定型持久運動と間欠型持久運動における運動中および運動終了時の Ad 濃度は、運動時間の経過にともない上昇したが、いずれの運動時間においても両試行で同様であった。一方、間欠型持久運動における運動40分目の Ad 濃度は一定型持久運動よりも低い傾向（一定 vs. 間欠, 37.7 ± 21.2 vs. 14.9 ± 3.9 pg/ml, $p=0.07$ ）にあり、さらに運動終了時には有意に低い値が観察された（一定 vs. 間欠, 152.8 ± 27.0 vs. 90.5 ± 16.1 pg/ml, $p<0.05$ ）。インスリン濃度は、80分間の持久運動中に漸減する傾向にあったが、両試行で違いはみられなかった（図3-7）。

II. 血糖, 遊離脂肪酸, 血中乳酸濃度

図 3-8 には遊離脂肪酸, 血糖および血中乳酸濃度の結果を示した。一定型持久運動および間欠型持久運動の血糖値は、いずれの測定時点においても両試行間で差は認められず、80分間の持久運動中に低下する傾向にあった。遊離脂肪酸濃度は、間欠型持久運動における運動40分目（一定 vs. 間欠, 0.28 ± 0.06 vs. 0.10 ± 0.04 mEq/l, $p<0.05$ ）および運動終了時（一定 vs. 間欠, 0.54 ± 0.08 vs. 0.33 ± 0.07 mEq/l, $p<0.05$ ）で、一定型持久運動よりも有意に低い値であった。血中乳酸濃度の運動前安静値からの増加量は、間欠型持久運動で一定型持久運動よりも有意に高かった（40分目：一定 vs. 間欠, 0.48 ± 0.2 vs. 2.4 ± 0.3 mmol/l $p<0.05$, 運動終了時： 0.5 ± 0.1 vs. 1.6 ± 0.3 mmol/l $p<0.05$ ）。

III. 主観的運動強度

両持久運動における主観的運動強度は、運動0分目（一定型： 13.6 ± 0.5 , 間欠型： 14.0 ± 0.5 ）、運動80分目（一定型： 15.4 ± 0.7 , 間欠型： 16.1 ± 0.5 ）のいずれにおいても両試行で同様であった。

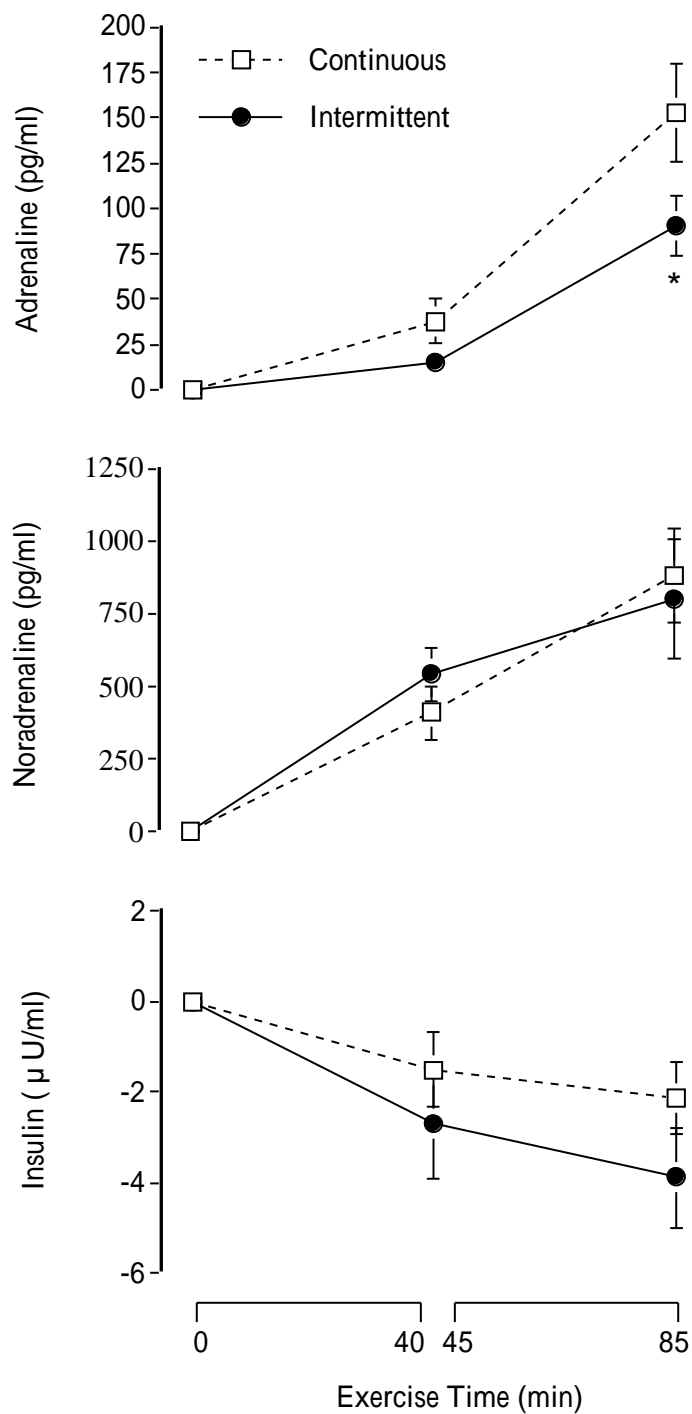


図3-7 持久運動中のアドレナリン，ノルアドレナリンおよびインスリンの変化量．平均±標準誤差，*は両試行で有意に異なることを示す（ $p < 0.01$ ）

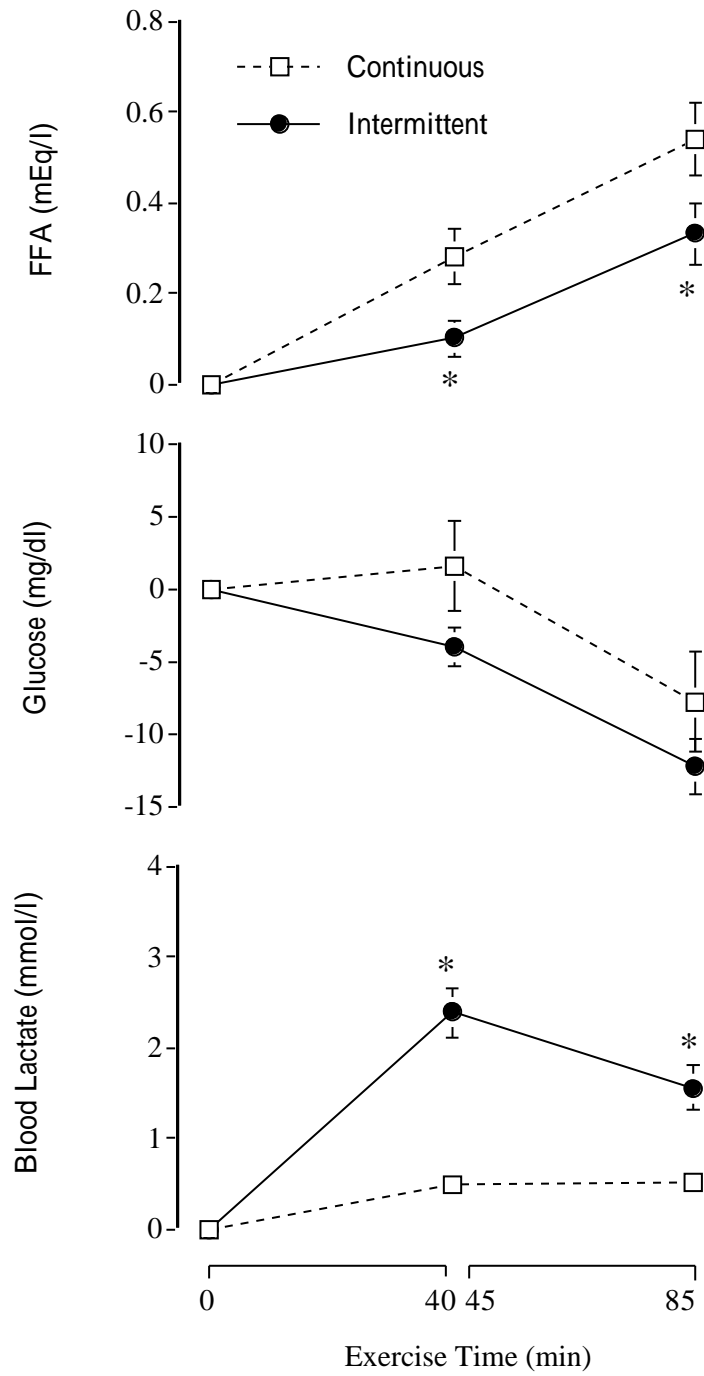


図3-8 持久運動中の遊離脂肪酸，血糖値および血中乳酸ん濃度の変化量．平均±標準誤差，*は両試行で有意に異なることを示す (p<0.01)

【考察】

本実験の主な知見は、高強度 ($75\% \dot{V}O_{2max}$) と低強度 ($25\% \dot{V}O_{2max}$) の運動を4分毎に繰り返す間欠型持久運動では、一定型持久運動 ($60\% \dot{V}O_{2max}$) と比べて、運動中の Ad 濃度の上昇が少なく、また、遊離脂肪酸の動員に有意な抑制が認められたことである。

I. カテコールアミン、インスリンの応答

一定型持久運動と間欠型持久運動における運動中の Ad と NA 濃度は、先行研究 (Galbo 1976, Koivisto 1982) にみられるように運動時間の経過にともない上昇した (図-7)。また、このときの両持久運動の血糖値は低下する傾向にあった (図3-8)。すなわち、これまでの報告 (Galbo 1975, Koivisto 1982, Tabata 1984) と同様に、長時間運動におけるカテコールアミンの上昇は運動時間とそれに伴う血糖値の低下に依存していた。しかしながら、本研究の両持久運動を比較すると、NA 濃度は同様であったが、間欠型持久運動における Ad 濃度は、一定型持久運動のよりも低い値であった (図3-7)。このことは、低強度運動を挟みながら繰り返される間欠型持久運動では Ad 濃度は運動時間や血糖値の低下のみではなく、運動強度の変化にも影響を受けることを示している。

藤井ら (1992) は $30, 50, 70$ および $90\% \dot{V}O_{2max}$ の強度で6分間の自転車運動を行わせ、それぞれの運動直後の Ad 濃度を測定した結果、 $50\% \dot{V}O_{2max}$ では安静時よりもわずかな上昇であったが、 $70\% \dot{V}O_{2max}$ 以上では Ad 濃度の上昇は顕著であることを認めている。同様に、Deuster ら (1989) も $50\% \dot{V}O_{2max}$ よりも $70\% \dot{V}O_{2max}$ での運動において、Ad 濃度が高かったことを報告している。また、血中カテコールアミンは換気閾値や乳酸閾値を境に上昇することも知られているが (Mazzeo 1989)、本研究における被験者の換気閾値は8名のうち1名が一定型持久運動の強度である $50\% \dot{V}O_{2max}$ よりも低い値であったものの ($48.3\% \dot{V}O_{2max}$)、その他の7名は $50\% \dot{V}O_{2max}$ よりも高く、 $75\% \dot{V}O_{2max}$ よりも低かった。これらのことから、本研究の間欠型持久運動では一定型持久運動よりも Ad の分泌量は多くなるものと考えることができる。一方で、間欠型持久運動での高強度運動は Ad 分泌を亢進するのに十分な強さではあったものの、運動時間が4分と短かったため

に、一定型持久運動と比べてそれほどAd 分泌に差がなかったとみることもできよう。しかしながら、藤井ら (1992) によると、6 分間の短い自転車運動後では50% $\dot{V}O_{2max}$ よりも 75% $\dot{V}O_{2max}$ で Ad の分泌が高かったことを認めている。したがって、本研究における両持久運動でAd 分泌が同等であった可能性は少ないと考えることができよう。

このように間欠型持久運動では、Ad の分泌が一定型持久運動よりも多くなると考えられたが、本研究においては、間欠型持久運動におけるAd 濃度は一定型持久運動よりも運動40目で低い傾向 ($p=0.07$) を示し、運動終了時には有意に低い値 ($p<0.05$) であった。

運動中の Ad 濃度の上昇は、主に分泌の増加によるものの、血中からのクリアランスにも影響されると考えられている (Kjaer 1985, 1989)。本研究における間欠型持久運動では25% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する強度での運動が4分毎に繰り返された。漸増負荷運動中のAd 濃度を検討したものや (Haggendal 1970, Mazzeo 1989)、藤井ら (1992) および Deuster ら (1989) の報告から、25% $\dot{V}O_{2max}$ 強度では Ad はほとんど分泌されないと考えられる。さらに、Kjaer ら (1985, 1989) は、運動中の血漿 Ad 濃度に及ぼす運動時間と運動強度の影響を検討したなかで、Ad のクリアランスは運動強度と関連しており 76% $\dot{V}O_{2max}$ 強度では安静時よりクリアランスが22%低下するが、30% $\dot{V}O_{2max}$ 強度では15%高まることを示している。彼らはその理由として、低強度運動ではAd を代謝する組織への血流量が高強度運動よりも多くなることを挙げている。

Ad は主に肝臓や腎臓で除去・代謝されることが知られており (Elser 1990, Sacca 1986)、間欠型持久運動における25% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での運動中にこれらの組織への血流量が高まり、一定型持久運動と比べてAd のクリアランスが亢進した可能性が考えられる。また、循環血液中の Ad の半減期は2～4分であるといわれており (Kjaer 1985, 1986)、漸増負荷法による12分間のランニング直後にピーク値まで上昇したAd 濃度は、運動終了5分後には運動前値まですみやかに戻ったことが報告されている。間欠型持久運動で用いた低強度運動の4分は、Ad 濃度が半減する時間であり、このこともAd のクリアランスと関わっていたと考えられる。

これに対して、一定型持久運動は50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度で行われた。Kjaer ら (1986) の結果によると、50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度における Ad のクリアランスは安静状態よりも減少している。したがって、一定型持久運動中の血中 Ad 濃度に及ぼすクリアランスの効果は、間欠型持久運動と比べて少なかったと思われる。それゆえ、本研究の間欠型持久運動では、低強度運動中に Ad のクリアランスが亢進し、それが繰り返されることによって、血中への Ad の蓄積が一定型持久運動よりも抑制されて低値を示したと考えられよう。

また、カテコールアミンの分泌は心理的ストレスによっても刺激されることから、本研究の間欠型持久運動では、4分間の低強度運動を行うことによって、一定型持久運動よりも心理的ストレスが軽減し、Ad の分泌が抑制された可能性も考えられなくもない。しかし、主観的運動強度に両試行で差は認められなかったこと、さらには、交感神経活動の指標となる NA 濃度も同等であったことから、心理的ストレスの影響は少なかったといえよう。

Ad の分泌は血糖値に依存していることが知られており (Christensen 1983, Galbo 1986), Koivisto ら (1982) は、40% $\dot{V}O_{2max}$ の強度であっても運動が長時間に及んで血糖値が低下すると、血漿 Ad 濃度は上昇し、一方、血糖値が維持されるとほとんど変化しないことを示している。したがって、血糖値の違いが試行間の Ad 濃度の差に影響する可能性も考えられたが、本研究での両持久運動における運動中の血糖値は同様であったことから、その関与は少なかったと考えられる。

漸増負荷運動を用いた研究では (Haggendal 1970, Mazzeo 1989), 血中乳酸濃度と血中カテコールアミン濃度の上昇との間に高い相関がみられ、これは乳酸の産生による活動筋内の pH の低下が、交感神経の活動を高めることによると考えられている (Victor 1988)。本研究の間欠型持久運動では、血中乳酸濃度は一定型持久運動よりも有意に高かったが Ad 濃度は逆に低値を示し、また、交感神経の指標である NA 濃度も両試行で同等であった。したがって、血中乳酸濃度によって試行間の Ad 濃度の違いを説明することはできない。

ところで、間欠型持久運動における低強度運動中に Ad のクリアランスが高まるのであ

れば, NA も同様のことが生じる可能性が考えられたが NA 濃度の上昇に両持久運動で差は認められなかった. Esler ら (1990) によると NA も主に腎臓や肝臓で除去・代謝されるが, その率は Ad よりも低いことが示されている. この理由としては, 血漿カテコールアミンのクリアランスは主に β -アドレナリン受容体の活性化によってなされるが NA の β -アドレナリン受容体に対する親和性は Ad よりも低いことが挙げられる (Best 1982, Cryer 1980). また, Leuenberger ら (1993) の報告では, 30 分間の自転車運動中における NA のクリアランスは, $65\% \dot{V}O_{2max}$ では低下し, $25\% \dot{V}O_{2max}$ でも安静時と変わらなかったことを報告している. これらのことから, 本研究における間欠型持久運動が NA のクリアランスに及ぼす影響は少なかったと思われる.

以上のように, 間欠型持久運動における Ad 濃度の上昇は, 運動時間と仕事量が同等である一定型持久運動よりも有意に低く, その理由として, 低強度運動中のクリアランスの亢進が関与していたと考えられる.

インスリンの分泌も運動強度と関連し, 強度が高くなると低下することが知られている (Galbo 1986). これは運動強度に依存したカテコールアミンの分泌が, β -アドレナリン受容体を介してインスリン分泌を抑制するためであると考えられている (Galbo 1986, Christensen 1983). しかし, 本研究では両試行で Ad 濃度に有意な違いが認められたが, インスリン濃度は同様であった. ラットを用いた研究では Ad が膵臓の細胞の活性を抑制することが報告されているものの (Christensen 1983), ヒトでは交感神経活動がインスリン分泌をより抑制することが示唆されている (Galbo 1986, Christensen 1983). 本研究では交感神経活動の指標となる NA 濃度は両試行で違いはなかった. さらに Galbo ら (1975) は, ヒトでは Ad が運動中のインスリン分泌抑制に及ぼす効果は少ないことを示している. これらのことから, インスリン濃度に及ぼす両持久運動の影響は同様であったと考えられる.

II. 血中エネルギー基質の応答

間欠型持久運動中の遊離脂肪酸の動員は抑制され, 一定型持久運動よりも有意な低値を

示していた。高強度運動では、解糖系エネルギー供給の亢進により脂肪分解は抑制されることが知られている (Brooks 1990, Gaitanos 1993)。

本研究の間欠型持久運動においても、血中乳酸濃度は一定型持久運動よりも有意に高い値であったことから、解糖系エネルギー供給の亢進が遊離脂肪酸濃度の低値に一部関与していた可能性が考えられる。しかしながら、血中乳酸濃度の増加量はピーク値でも 2 mmol/L 程度であった。さらに運動終了時では 40 分目よりも低下していたことから、その影響はそれほど大きなものではなかったとも思われる。また、インスリンも脂肪分解を抑制するように作用するが (Nicklas 1997)、両持久運動でのインスリン濃度も同様であった。

カテコールアミンは、 β -アドレナリン受容体を介して脂肪分解を刺激し、一方で α -アドレナリン受容体を介して抑制するが、正味の脂肪分解に及ぼす効果は、これらの受容体における親和性のバランスによって決定されるといわれている (Nicklas 1997, Arner 1990, Christensen 1983)。Galbo ら (1976) は、運動前に β -アドレナリン遮断剤を投与すると、運動中の血中遊離脂肪酸やグリセロールの上昇が抑制されることを報告している。本研究の間欠型持久運動では、Ad 濃度の上昇が一定型持久運動に比べて抑制されていた。したがって、間欠型持久運動中の脂肪分解の刺激は一定型持久運動よりも少なく、血中の遊離脂肪酸濃度が有意に低い値を示したと考えられる。

Ad は血糖値を上昇させることから、間欠型持久運動と一定型持久運動における Ad 濃度の違いが、遊離脂肪酸と同様に血糖値に影響を及ぼしてもよさそうにも思われた。しかしながら、両試行での血糖値は同等であり、血糖値を低下させるインスリンも両持久運動で同様であった。一方、長時間運動中には Ad の他にもグルカゴン、コルチゾール、ACTH も血糖値調節に関与していることから (Galbo 1975, 1976, Tabata 1984)、本研究の結果にはこれらのホルモン応答が関連していた可能性もあるが、本研究の結果からその理由を明らかにすることは難しい。いずれにしても、本研究のような最大下 ($100\% \dot{V}O_{2max}$ 以下) の範囲で強度が変化する間欠型持久運動は、血糖値に対して一定型持久運動と同様の影響を及ぼすと思われる。

以上まとめると、低強度運動が繰り返される間欠型持久運動では、血中Ad濃度が一定型持久運動よりも低くなり、それにはAdのクリアランスが亢進していたことが示唆された。そして、血中Ad濃度の上昇が少なかったことが、運動中の遊離脂肪酸の上昇を抑制したことに関与していたと考えられた。

第3章 研究課題

第2節：間欠型と一定型持久運動における生理生化学的応答の比較検討

2. 一定型と間欠型持久運動が高強度運動後の血中遊離テストステロン応答に及ぼす影響

【緒言】

運動中や運動直後の血中テストステロンの応答について検討した研究をみると，最大下の持久運動 (Galbo 1977, Hackney 1995, Kuoppasalmi 1980, Vogel 1985), 最大漸増運動 (Cumming 1986, Wilkerson 1980), 短時間高強度運動 (Jezova 1985, Gray 1993) では血中テストステロンは増加することを認めた報告が多い．このように運動によって血中テストステロンが増加する理由として，肝血流量の低下によるテストステロン消失作用の減少 (Kuoppasalmi 1980) や血液濃縮 (Galbo 1977, Wilkerson 1980) などが考えられている．

また，血中カテコールアミンは運動強度や運動時間に敏感に応答し，さらにテストステロンの分泌を増大させることから (Eik-Nes 1969), 持久運動 (Galbo 1977) や高強度運動 (Jezova 1985) における血中テストステロン濃度 (テストステロン) 増大の要因として挙げられている．

ところで，長時間運動ではカテコールアミンは運動時間にともない増加することはよく知られている．また，Jezova ら (1985) の報告によると，運動時間と総仕事量が同等である場合，カテコールアミンの応答は運動負荷に影響を受けると考えられる．それゆえ，運動時間と総仕事量が同等で運動の負荷様式が異なる一定型と間欠型持久運動では，カテコールアミンの応答が異なるものと推測される．もし，持久運動におけるテストステロンの応答にカテコールアミンが関連しているのであれば (Galbo 1977), 間欠型と一定型持久運動中の血中テストステロン応答は異なる可能性がある．

短時間の高強度運動においても，テストステロンの上昇にはカテコールアミンが関連していることが示唆されている (Jezova 1985)．もしそうであるならば，高強度運動前のカテコールアミン濃度は高強度運動におけるテストステロン応答に影響する可能性がある．

すなわち間欠型と一定型持久運動中のカテコールアミンの応答の違いが，引き続いて行われる高強度運動後のテストステロン濃度に影響を及ぼすことも考えられる．

そこで本研究では，運動時間と仕事量が同等である一定型と間欠型持久運動に引き続いて最大漸増運動を行い，運動中のカテコールアミン濃度の違いがテストステロン応答に及ぼす影響を検討することを目的とした．

【方法】

I. 被験者

被験者は第2節の1)と同じであった(表-3)．

II. 実験プロトコール

実験運動は自転車エルゴメーター(コンビ社製 RS232C Model 50)で行なわれた．間欠型持久運動は，各被験者の25% $\dot{V}O_{2max}$ と 75% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する負荷を4分毎に交互に繰り返す運動を80分間繰り返し，引き続いて50% $\dot{V}O_{2max}$ の負荷からランプ負荷(20 watt/min)による漸増運動を行い疲労困憊に至らしめるものであった(図-9)．一定型持久運動は，50% $\dot{V}O_{2max}$ の負荷で80分間の運動を行い，その後間欠型と同様に漸増運動を行わせた．間欠型と一定型の80分間でなされた機械的工作量は同等であった．

両持久運動ともに運動40分目に5分間の休憩を設けた．また，運動中のペダル回転数は60 rpm とし，漸増運動における疲労困憊の判定は検者の叱咤激励にもかかわらずペダル回転数を維持できなくなったときとした．被験者は2時間の絶食後，両持久運動をクロスオーバー法により，1週間の間隔をおいて行った．

運動前，運動40分目，運動終了時に肘前静脈より真空採血管を用いて血液を採取した．採取した静脈血の一部から，自動乳酸分析器(SI社製 Model 23L)を用いて血中乳酸濃度を測定した．また，遠心法によりヘマトクリット値を求めた．残りの血液はすみやかに4で遠心分離し血清および血漿を得た．血漿はアドレナリンおよびノルアドレナリンの分析に供しHPLC法にて，血清は遊離テストステロンおよびコルチゾールの分析に供し

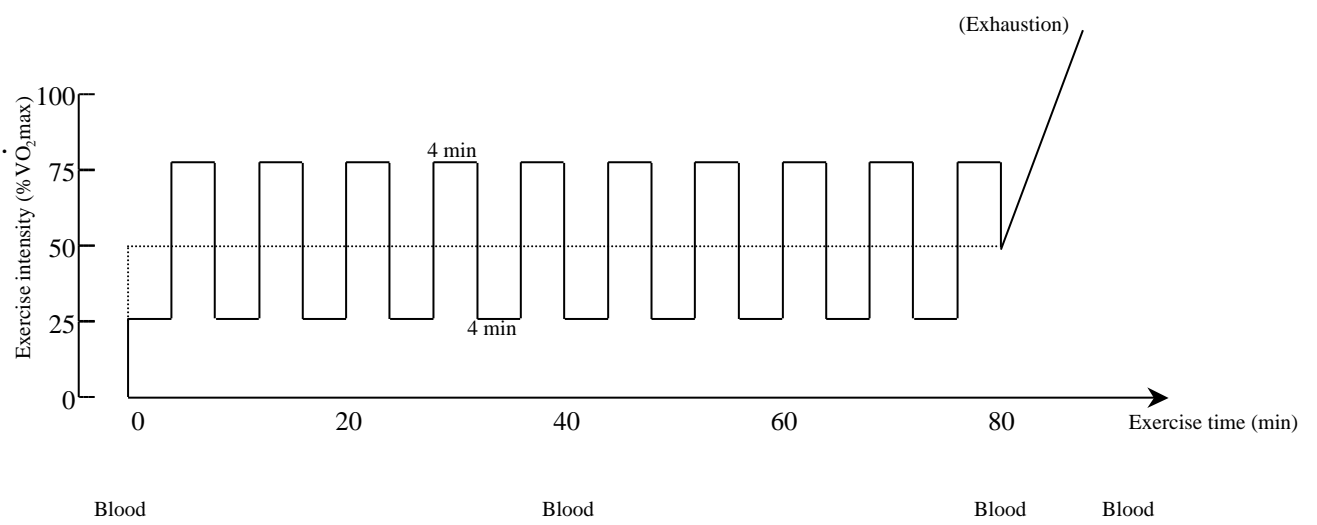


図3-9 . 運動プロトコル (—は間欠型運動, ---は一定型運動)

RIA 法にて測定した。

血中の遊離テストステロンおよびコルチゾール濃度は日内変動を有することが知られている。本実験では2 試行を異なる時間に開始した被験者もあり、測定結果には日内変動が影響している可能性がある。したがって、ホルモンの値は運動前値からの変化量で表わした。

IV. 統計処理

各々の測定値は平均 ± 標準誤差で表した。持久運動中の測定値の分析には試行 × 運動時間の 2 元配置分散分析を行い、多重比較には LSD 検定法を用いた。また、漸増運動後の測定値の分析には対応のある t 検定を施した。いずれも危険率 5 % 未満をもって有意とした。

【結果】

漸増運動における持続時間は、間欠型および一定型で、それぞれ 12.2 ± 0.5 分および 12.6 ± 0.9 分であり両運動で差はみられなかった。それゆえ 80 分間の運動時間を含めて、両運動における総仕事量および運動時間は同等であった。

持久運動中の血中乳酸濃度は間欠型で有意に高い値であった ($p < 0.001$, 図 3-10)。しかし、漸増運動後では両試行で同等の値であった (間欠型 $5.7 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$, 一定型: $5.4 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$)。ヘマトクリット値は運動時間にともない上昇したが、持久運動中および漸増運動後の値に両試行で違いはみられなかった (図-10)。

80 分間の運動中、遊離テストステロン、アドレナリン、ノルアドレナリン濃度は運動前値に対して両運動とも有意に増加した。このとき遊離テストステロン、ノルアドレナリンに両試行で違いはなかったが、アドレナリンの増加量は一定型で有意に高い値であった ($p < 0.05$, 図 3-11)。コルチゾール濃度は運動 40 分目に一時低下し 80 分目には運動前の値に戻る動態を示したが、いずれの時点でも両試行で同等の値であった。

運動 80 分目における遊離テストステロンとアドレナリンおよびノルアドレナリンの関

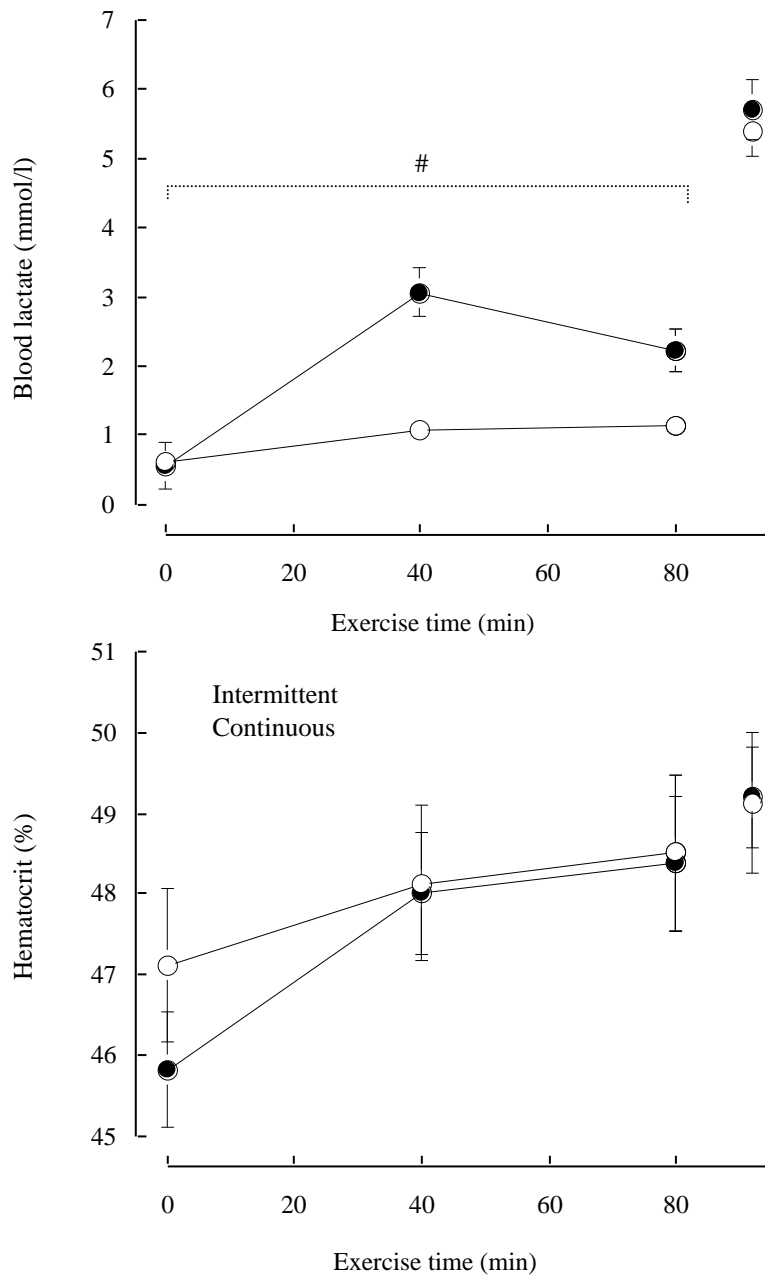


図3-10 持久運動中および最大運動後の血中乳酸濃度とヘマトクリット値．平均±標準誤差，#は両試行で有意に異なることを示す ($p<0.01$)

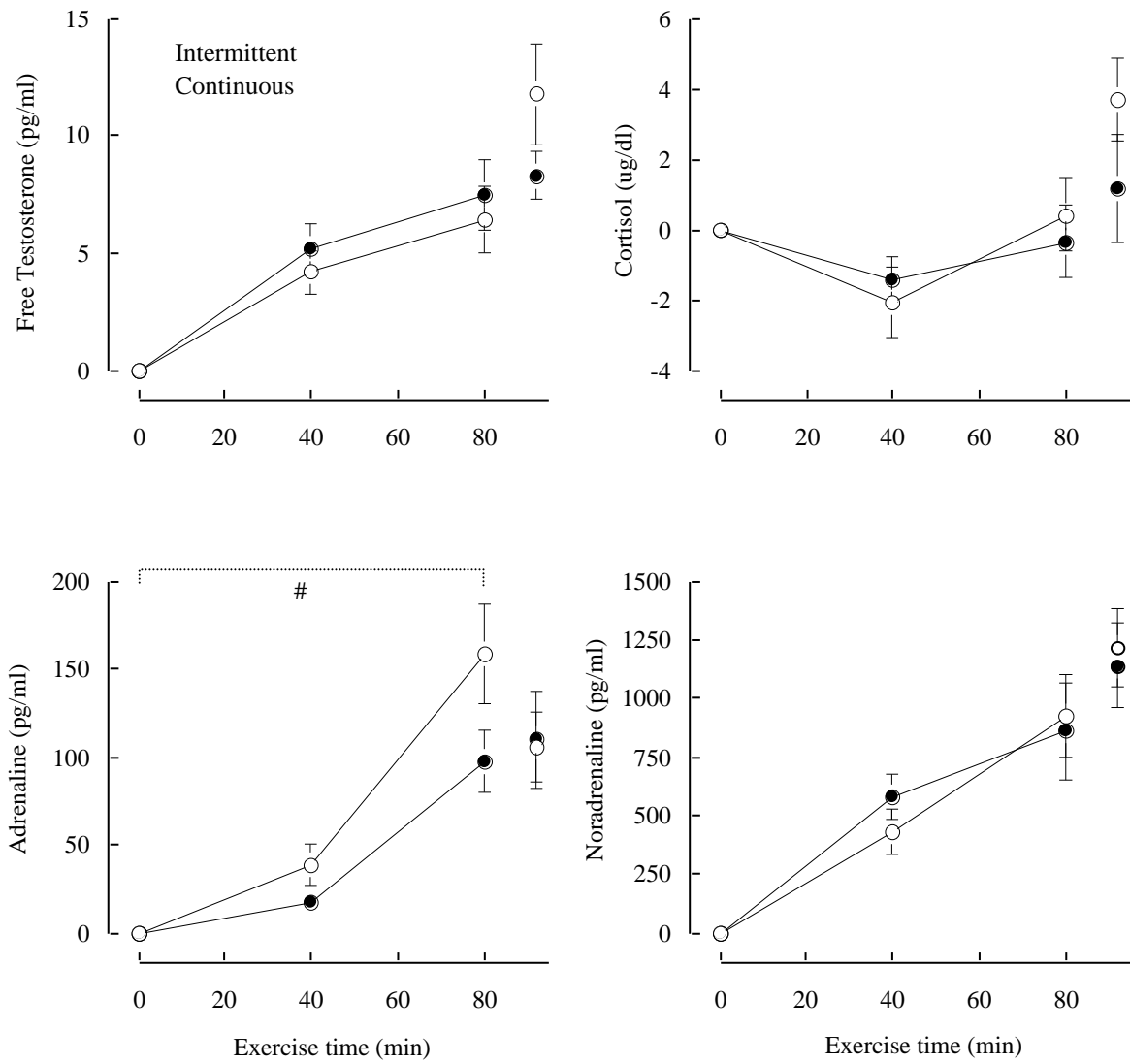


図3-11 持久運動中および最大運動後の遊離テストステロン，コルチゾール，アドレナリン，ノルアドレナリンの増加量．平均±標準誤差，#は両試行で有意に異なることを示す (p<0.01)

係については、いずれも有意ではなかった。

漸増運動後の遊離テストステロン、コルチゾール、アドレナリン、ノルアドレナリンはさらに増加する傾向にあったが、いずれも両試行で統計的な違いはなかった。しかしながら、漸増運動後のこれらの値を持続運動80分目の値（漸増運動直前）からの変化量でみると（表 3-4）、一定型持続運動に引き続く漸増負荷運動後では、遊離テストステロンの増加量が有意に大きかった ($p < 0.05$)。

なお、漸増運動後の遊離テストステロンとアドレナリンおよびノルアドレナリンに関連性はなかった。しかしながら、持続運動80分目のアドレナリンと漸増負荷運動後の遊離テストステロンとの間には有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.690$, $p < 0.01$, 図 3-12)。

【考察】

本研究の目的は、持続運動および高強度運動における遊離テストステロン応答に、カテコールアミンが及ぼす影響を検討することであった。その結果、持続運動では間欠型と一定型でアドレナリンに有意な違いが認められたものの、遊離テストステロンは両試行で同様の値を示した。一方、高強度運動後の遊離テストステロンと高強度運動前のアドレナリンとの間に有意な正の相関関係が得られた。

持続的な運動中や運動直後のテストステロンを検討した研究によると、運動時間が3時間を越え極度の疲弊を招くときにはテストステロンは低下するもの (Essypris 1976)、45分から90分の運動では上昇することを認めたものが多い (Galbo 1977, Hackney 1995, Kuoppasalmi 1980, Vogel 1985)。本研究でも、80分間の持続運動中の遊離テストステロンは両試行とも有意に上昇した。Galboら (1977) は持続運動におけるテストステロンの上昇の要因としてカテコールアミンの影響を示唆している。しかし、本研究の持続運動ではアドレナリンは間欠型で有意に低かったものの、遊離テストステロンは両試行で同様の値であった。また、運動80分目における遊離テストステロンとアドレナリンおよびノルアドレナリンの関連性は得られていない。したがって、本研究の持続運動における遊離テス

表3-4 80分目からの変化量で表した最大運動後のホルモン濃度 .

	Continuous	Intermittent
Free Testosterone (pg/ml)	5.3±1.2	0.8±1.3*
Cortisol (μ g/dl)	3.3±1.0	1.5±1.1
Adrenalinl (pg/ml)	-52.6±39.9	12.6±26.9
Noradrenalinl (pg/ml)	287.1±88.4	280.4±197.1

*は試行間で有意に異なることを示す (P<0.05)

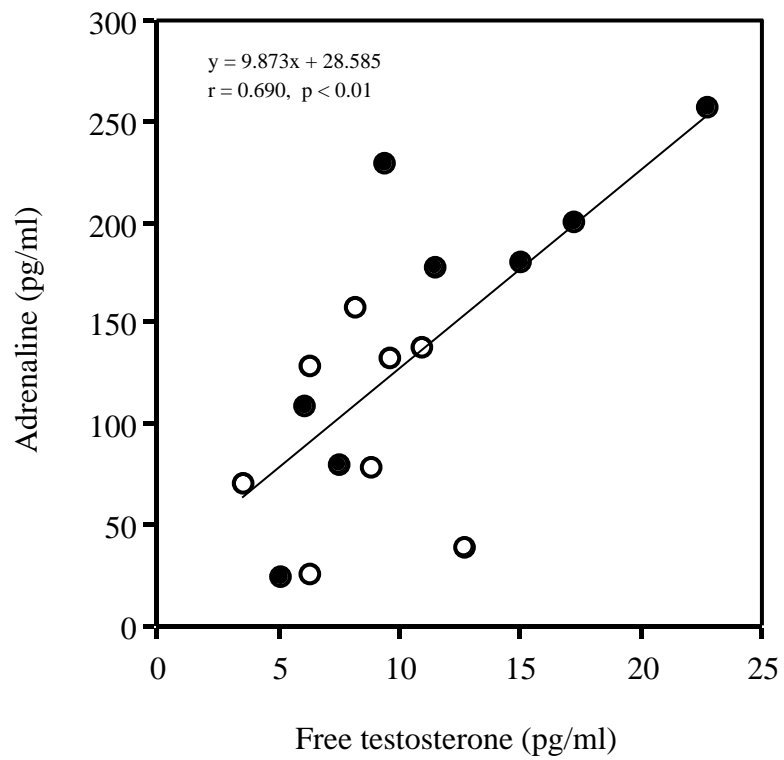


図3-12 持久運動終了時のアドレナリン増加量と最大運動後の遊離テストステロンの関係．遊離テストステロンは持久運動終了時からの増加量で表してある．相関関係は全データを対象に計算した． は一定型， は間欠型を示す．

トステロンの上昇にはカテコールアミンの影響は少なかったと考えられる。

その他の要因として血液濃縮が考えられるが、本研究のヘマトクリット値は両持久運動で差はなかったものの有意に上昇したことから、血液濃縮が遊離テストステロンを上昇させたことも考えられる。また、肝血流量の減少によるテストステロン消失作用の低下 (Kuoppasalmi 1980) も影響していたのかもしれない。

短時間の高強度運動においてもテストステロンは上昇することが認められている (Cumming 1986, Gray 1993, Jezova 1985, Wilkerson 1980)。本研究では、漸増運動後の遊離テストステロンは持久運動終了時からさらに増加していた。また、遊離テストステロンの増加量 (漸増運動前からの増加量) を両試行で較べると、一定型持久運動に引き続きなされた漸増運動で有意に高い値を示した Jezova ら (1985) は、5.0 W/kg の負荷で 4.5 分の自転車運動を 2 回繰り返す高強度運動においてテストステロンが有意に増加したことを認め、そして、テストステロンの増加は血液濃縮ではなくカテコールアミンの上昇によることを示唆している。そこで本研究では高強度運動におけるテストステロンとカテコールアミンの関連を検討するために、漸増運動直前のアドレナリンが運動後のテストステロン応答に及ぼす影響を検討した。その結果、持久運動終了時 (漸増運動開始前) のアドレナリンは一定型試行で有意に高く、漸増運動におけるテストステロンの増加量も一定型試行で有意に高かった。さらに、持久運動終了時のアドレナリンと漸増運動後の遊離テストステロンとの関連を調べたところ、両者の間に有意な正の相関関係が認められた。このことから、本研究の漸増運動における遊離テストステロンの増大には、アドレナリンが影響していたと考えられる。

アドレナリンと同様にノルアドレナリンもテストステロンの分泌を促すことが報告されている (Eik-Nes 1969)。しかし、いずれの時点においてもノルアドレナリンに両試行で差はみられず、遊離テストステロンとノルアドレナリンの間にも関連性は示されなかった。また、高濃度のコルチゾールはテストステロンの分泌を抑制することが示唆されているが (Cumming 1983)、ノルアドレナリンと同様に両試行で差はみられていない。したがって、

試行間での遊離テストステロンの違いにこれらのホルモンが影響した可能性は少ないといえよう。

Wilkerson ら (1980) は、漸増運動においてテストステロンは増加するものの、それは血液濃縮によるものであり、正味には増加していないことを報告している。本研究においてもヘマトクリット値は、持久運動前から漸増運動後まで有意に高くなっており、このことが遊離テストステロンを増加させた要因の一つである。しかし、いずれの時点でも、ヘマトクリット値は両試行で同等であり、やはり、漸増運動における試行間での遊離テストステロンの違いを説明することはできない。

以上のことから本研究では最大下での持久運動中に遊離テストステロンは上昇するが、それに対するカテコールアミンの影響は少ないと考えられた。一方、持久運動後の高強度運動における遊離テストステロン応答には、高強度運動前のアドレナリンの濃度が影響を及ぼすことが示唆された。しかしながら、最大下持久運動では遊離テストステロンの応答に対するアドレナリンの影響は少なく、高強度運動で遊離テストステロンとアドレナリンに関連が認められる理由については明らかではない。この点については今後検討していく必要がある。

第3章 研究課題

第2節：間欠型と一定型持久運動における生理生化学的応答の比較検討

3. 間欠型と一定型持久運動における糖質摂取の効果

【緒言】

長時間運動では糖質液を摂取することにより、疲労の発現が遅れ、運動継続時間が延長することが報告されている (Coggan 1987, 1989, Coyle 1983, 1986)。しかし、糖質液摂取が運動中の血糖とインスリンの応答や筋グリコーゲン利用に及ぼす影響においては、運動の負荷様式によって違いが認められている。

30~50 % $\dot{V}O_{2max}$ の低強度運動中に糖質液を摂取すると、血糖とインスリンは運動前の値より大きく上昇し (Ahlborg 1976, Ivy 1983, Yaspelkis 1991)、筋グリコーゲンの利用が抑制され (Yaspelkis 1991)、パフォーマンスが改善されること (Ivy 1983) が認められている。一方、Coggan ら (1987,1989) および Coyle ら (1986) は、70~75% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での一定型持久運動における糖質摂取は、低血糖を回避し糖質酸化率を維持することによって疲労の発現を遅らせるものの、筋グリコーゲンの利用には影響しないことを報告している。この違いは、低強度運動ではインスリン分泌の抑制が少ないことから、摂取した糖質がより利用されやすいためと考えられている (Yaspelkis 1993)。また、70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度以上の運動では、低強度運動や安静状態に比べて、摂取した溶液の胃から小腸への移送速度が遅くなることも (Costill 1974)、血糖やインスリンの応答に影響を与えていると思われる。

高強度と低強度運動を繰り返す間欠型持久運動における糖質液摂取では、低強度運動の影響により血糖とインスリン応答が高くなることが示唆されている (Hargreaves 1984, Yaspelkis 1993)。一方で、Mitchell ら (1989) は 75% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での運動を休憩を挟んで繰り返す間欠型運動と、同じ負荷で休息のない一定型運動において糖質摂取に対する血糖とインスリンの応答を比較した結果、両運動で血糖とインスリンの応答に違いはないこ

とを報告している．このように，低強度運動が繰り返される間欠型持久運動中の糖質摂取に対する血糖とインスリンの応答は，中強度以上でなされる一定型持久運動での応答と異なるのかについては十分に検討されていない．また，間欠型と一定型持久運動における糖質摂取の効果を直接比較したものは Mitchell ら（1989）の報告のみである．

そこで本研究では，間欠型持久運動中に糖質液を摂取したときの血中エネルギー基質の応答を，一定型持久運動の場合とで比較検討した．

【方法】

I. 実験I（間欠型持久運動）

- 1) 被検者：被検者は第2節の1)と同じであった（表-3）.
- 2) 実験運動：実験運動は第2節の2)で用いられた間欠型持久運動と同じであった（図3-9）.
- 3) 実験手順：12時間の絶食を課した被験者に8%グルコース溶液を摂取する試行（糖質試行）と，人工甘味料を添加したプラセボ溶液を摂取する試行（プラセボ試行）をクロスオーバー法により行わせた．溶液は運動5分前に400ml，運動開始後20分毎に200mlを4回摂取させた（図3-13A）. 運動前，前半運動40分目，後半運動40分目および漸増運動終了後に肘前静脈より静脈血を採取した．得られた血液より血糖とFAを酵素法にて，血中乳酸濃度を自動乳酸分析器（YSI社製 Model 23L）にて測定した．またインスリンをRIA法にて，アドレナリンおよびノルアドレナリンをHPLC法にて定量した．運動中には呼気ガスを採取し呼吸交換比を測定した．漸増運動における運動持続時間を計測しパフォーマンスの指標とした．

II. 実験II（一定型持久運動）

1) 被験者

健常で活動的な7名の男子学生が本実験に参加した．彼らの身体的特徴を表-5に示した．彼らは，実験の主旨，内容，およびそれに伴う苦痛と危険性についての説明を受け，

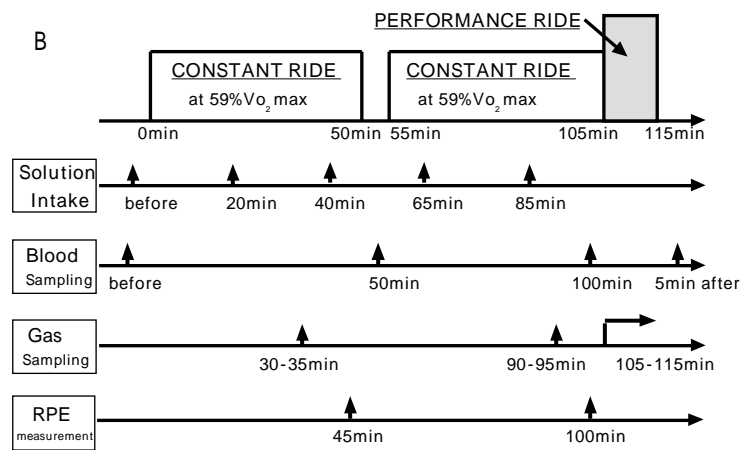
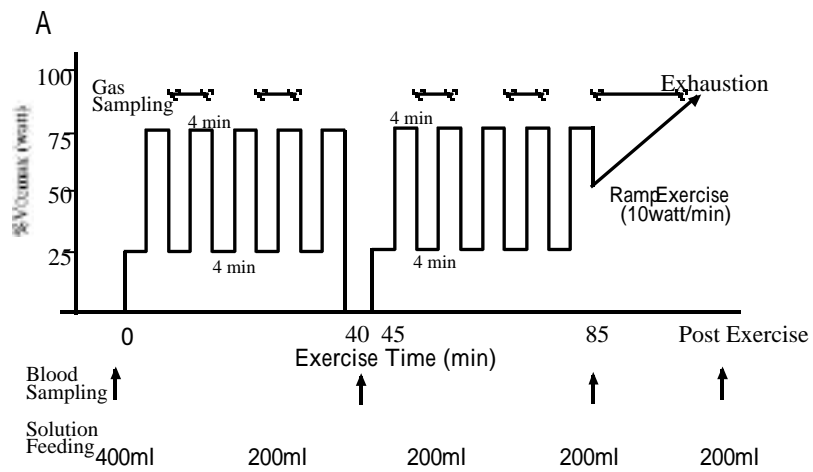


図3-13 間欠型持久運動 (A) と一定型持久運動 (B) の実験プロトコール

表3-5 被検者の身体的特徴と最大酸素摂取量

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Vo ₂ max (ml/min)
Means	23.3	171.3	68.4	3539
SEM	±0.7	±1.9	±1.4	±214

Vo₂max; maximal Oxygen uptake measured during graded exhaustive cycle exercise.

それらを十分に理解したうえで自由意思により実験に参加した。実験期間中は、通常の食事および身体活動を維持するように指示した。また、実験4時間前からは、激しい身体活動、カフェインの摂取および飲酒を禁止し12時間前からは絶食とした。

2) 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の測定

$\dot{V}O_{2max}$ および本実験での運動強度を決定するために、被験者は自転車エルゴメーター (232C MODEL50, コンビ) による負荷漸増運動を疲労困憊まで行った。運動負荷を0 watt から毎分30 watt の割合で漸増し、ペダル回転数は60 rpm に維持するように指示した。疲労困憊の判定は、検者の叱咤激励にもかかわらず、規定のペダル回転数を維持できなくなったときとした。運動中は呼気ガスを連続して採取し、自動呼気ガス分析器 MG360, RM300, ミナト医科学) にて30秒毎に酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$), 二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$), 換気量 ($\dot{V}E$) および呼吸交換比 (RER) を測定した。また、運動中は連続して心電図を記録した (カルディオスーパー2E32, 三栄)。 $\dot{V}O_{2max}$ の判定は、心拍数が180拍/分以上, RER が1.0以上を示し、負荷の増大に対して酸素摂取量の増大が見られない時点での最も大きいものとした。

3) 運動プロトコール

被験者は、室温 24℃, 湿度 50% に設定された実験室において、2 試行の自転車エルゴメーターによる長時間運動を行った。すなわち、運動前および運動中は8% グルコース溶液あるいは水にアスパルテームを加え甘味を添加したプラセボ溶液のいずれかを摂取する試行を、最低1週間の間隔を置き、クロスオーバー法で行った。なお、実験は全て二重盲検法にて行われた。

運動プロトコールを図3-13B に示した。本運動は自転車ペダリング運動とし、事前測定で得られた最大酸素摂取量の $59 \pm 2\%$ に相当する強度での50分間の一定強度運動を、5分間の休憩を挟み2回繰り返す、その後引き続き10分間の高強度運動を行うものであった。10分間の高強度運動中、自転車エルゴメーターには一定トルクが負荷されており、回転数が高いほど仕事量が増加するように設定された。被験者には、できるだけ高回転でペダ

リングするように指示した。なお、本運動に先立ち 10 分間における高強度運動のペースを掴むために、最低1 回以上の練習を行わせた。

摂取溶液は 5 に冷やされ、運動前に 400ml、運動中は 20、40、65、85 分目にそれぞれ 250ml ずつ摂取させた。

4) 測定項目

運動開始 30~35 分、90~95 分および 10 分間の高強度運動中に呼気ガスを採取し $\dot{V}O_2$ および RER を測定し、各区間の平均値を算出した。また心拍数も同時に記録した。

運動前、運動開始 50 分目、100 分目および運動終了 5 分後に肘前静脈より血液を採取した。得られた静脈血の一部から血中乳酸濃度およびヘマトクリット値を測定した。血中乳酸濃度は自動乳酸分析器 (Sports 1500, YSI) を用いて測定し、ヘマトクリット値は高速遠心法にて求めた。残りの静脈血は速やかに 4 において血清を遠心分離し、血糖値および遊離脂肪酸濃度の分析まで 40 で保存した。血糖値および遊離脂肪酸濃度は酵素法により測定した。

運動 45 分目、100 分目に、Borg scale による主観的運動強度を測定した。また 10 分間の高強度運動中になされた総回転数から総仕事量を算出しパフォーマンスの指標とした。

III. 統計処理

各々の測定値は、平均 \pm 標準誤差で表した。また、血中の測定項目は運動前値からの変化量であらわした。血液生化学的項目の分析には、試行 \times 運動時間の二元配置分散分析を行い有意なものに対しては、LSD 法を用いて対の比較を行った。また試行間におけるパフォーマンスの比較には対応のある t 検定を行った。いずれも危険率 5% 未満をもって有意とした。

【結果】

I. 糖質液摂取

運動前と運動中に摂取したグルコース溶液の濃度は一定型および間欠型持久運動のいず

れも 8 %であった。運動前には両持久運動ともに400ml を摂取した。しかし、運動中は間欠型では200 ml を 4 回、一方、一定型では250 ml を 4 回の摂取であったために、一定型の方が合計で200 ml、グルコース量にすると約16 g を多く摂取していた。しかしながら、単位時間当たりのグルコース摂取量に換算すると間欠型が2.1 g/h、一定型が61.0 g/h となり同等の値であった。

II. 血中エネルギー基質 (図3-14)

間欠型における血中乳酸濃度はいずれの時点でも両試行で同等であった。一定型では一定強度運動中はどの時点においても両試行で同等であったが、高強度運動後は糖質試行で有意に高い値であった ($p < 0.05$)。

間欠型持久運動の血糖値は、運動0分目までは両試行で同等であり、運動0分目において糖質試行で有意に高くなった ($p < 0.05$)。一方、一定型における糖質試行の血糖値は、運動 50 分目からすでにプラセボ試行より有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。間欠型の漸増運動および一定型の高強度運動後の血糖値は、両持久運動とも糖質試行で有意に高い値であった ($p < 0.05$)。

遊離脂肪酸濃度は両持久運動ともにプラセボ試行では漸増し、糖質試行よりも有意に高い値であった ($p < 0.05$)。しかし、その上昇の程度は一定型持久運動の方が大きい傾向であった。

III. ホルモン濃度 (図3-15)

間欠型持久運動におけるインスリン濃度は運動40分目からプラセボ試行より有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。アドレナリン、ノルアドレナリンは運動時間とともに有意に上昇したが、両試行に統計的な差はなかった。

IV. 呼吸交換比 (表3-6)

間欠型持久運動の呼吸交換比は、運動1分目と73分目において糖質試行で有意に高い値であった ($p < 0.05$)。また、一定型では運動90~95分目において糖質試行で高い値を示した ($p < 0.05$)。両持久運動で同等の時点で呼吸交換比を比べると、間欠型82分目

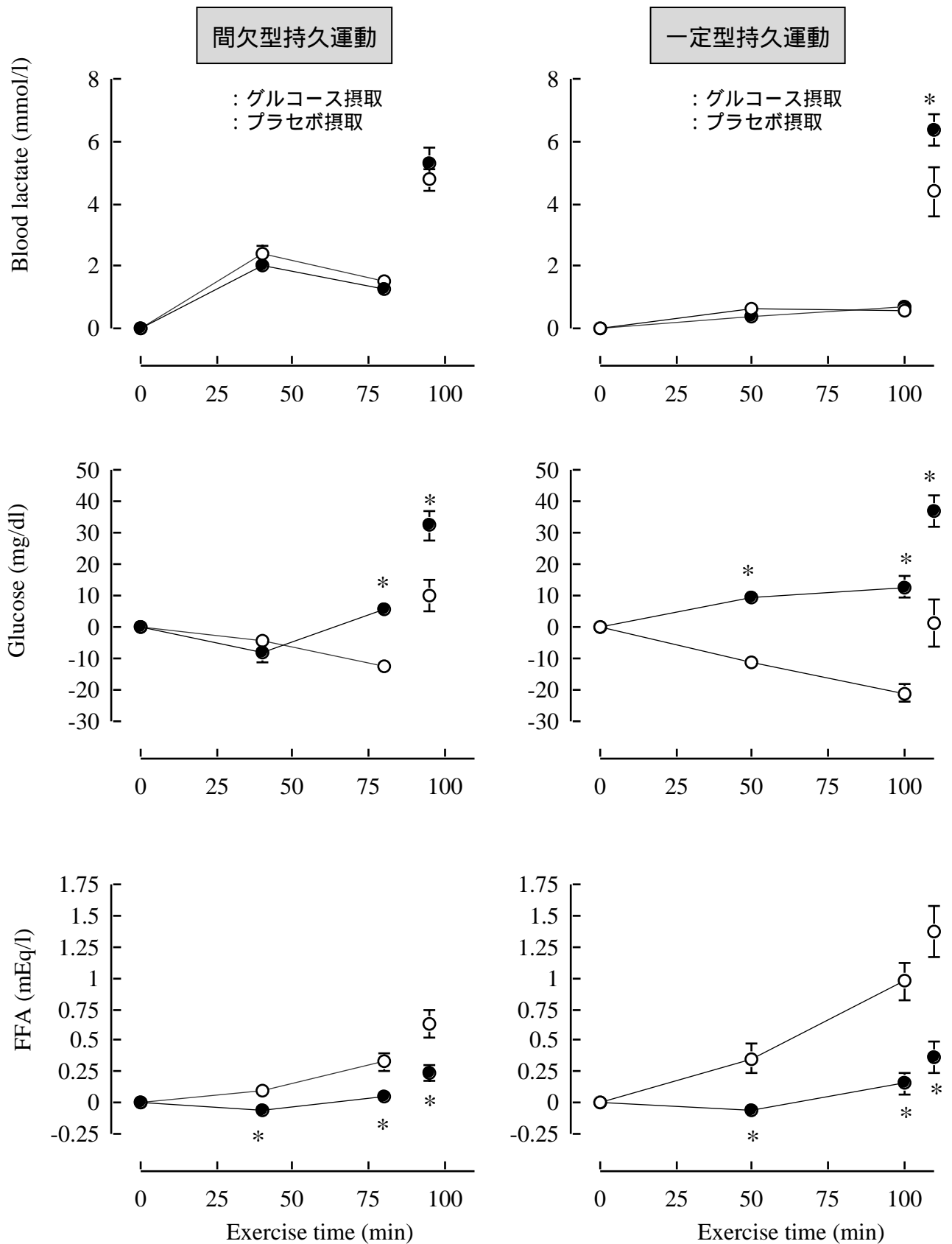


図3-14 間欠型持久運動と一定型持久運動でのグルコース試行とプラセボ試行における運動中の血中乳酸濃度，血糖値，遊離脂肪酸濃度の変化量．*はプラセボ試行と比べて有意に異なることを示す． $p < 0.05$

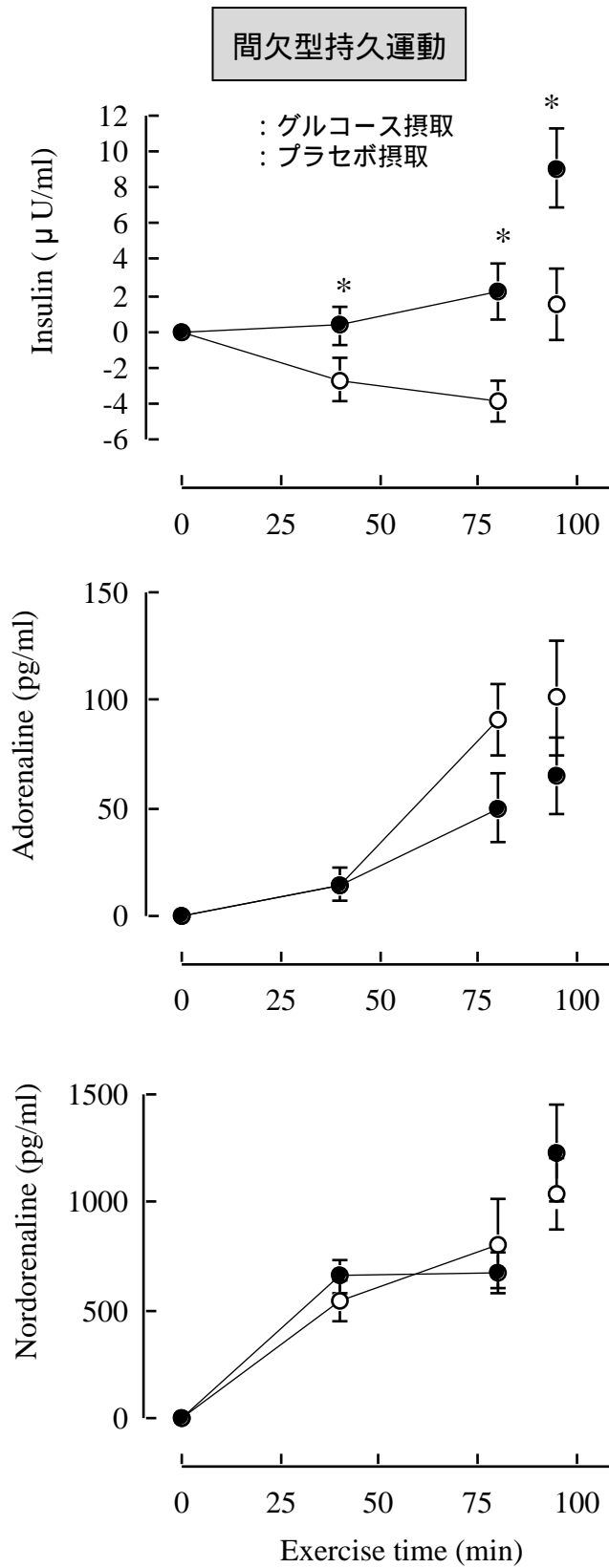


図3-15 間欠型持久運動のグルコース試行とプラセボ試行における運動中のインスリン，アドレナリン，ノルアドレナリンの変化量．*はプラセボ試行 と比べて有意に高いことを示す． $p < 0.05$

表3-6 間欠型持久運動と一定型持久運動のグルコース試行とプラセボ試行における呼吸ガス交換比．間欠型は1分間の平均値，一定型は5分間の平均値で表してある．*は試行間で有意に異なることを示す． $p<0.05$

間欠型	運動時間(分)									
	0	12	16	28	32	57	61	73	80	漸増運動後
プラセボ	0.79 ±0.02	0.96 ±0.03	1.02 ±0.02	0.93 ±0.02	1.01 ±0.02	0.91 ±0.03	0.99 ±0.03	0.89 ±0.02	0.98 ±0.03	1.13 ±0.03
グルコース	0.81 ±0.02	1.00 ±0.01	1.05 ±0.01	0.97 ±0.01	1.05 ±0.01	0.96 ±0.02	1.06* ±0.01	0.96* ±0.01	1.03 ±0.03	1.21 ±0.03

一定型	運動時間(分)		
	30~35	90~95	高強度運動中
プラセボ	0.91 ±0.01	0.87 ±0.01	1.03 ±0.02
グルコース	0.94 ±0.02	0.93* ±0.01	1.09 ±0.02

表3-7 間欠型持久運動と一定型持久運動のグルコース試行とプラセボ試行における高強度運動パフォーマンスの成績．*は試行間で有意な差があることを示す． $p<0.05$

間欠型	プラセボ	13.0 ± 0.5 (min)
	グルコース	12.6 ± 0.9 (min)
一定型	プラセボ	128 ± 8 (KJ)
	グルコース	135 ± 8* (KJ)

の値と一定型の30～35分目，あるいは間欠型の80分目と90～95分目とも間欠型で高い値であった。

V. パフォーマンス

間欠型持久運動後になされた漸増運動の運動時間は両試行で同等であった(表-7)。一方，一定型持久運動後になされた高強度運動の総仕事量は，プラセボ試行より糖質試行で有意に高い値であった($p < 0.05$)。

【論議】

1) 本研究の間欠型持久運動と先行研究の比較

30～50% $\dot{V}O_{2max}$ の低強度運動では，糖質液摂取によって血糖とインスリンは運動前の値より大きく上昇し(Ahlborg 1976, Ivy 1983, Yaspelkis 1991)，筋グリコーゲンの利用は抑制されることが報告されている(Yaspelkis 1991)。これは，低強度運動ではインスリン分泌の抑制が少ないためであると考えられている(Yaspelkis 1993)。

本研究における間欠型運動中の糖質摂取率は2.1g/hであった。Hargreavesら(1984)とYaspelkisらの糖質摂取量はそれぞれ21.5g/hと75g/hであり，これらと比べて本研究の糖質摂取量は決して少ないわけではない。それゆえ，本研究の間欠型持久運動では4分間の低強度運動(25% $\dot{V}O_{2max}$)が繰り返されることから，糖質摂取により運動中の血糖値とインスリンは高くなることも予測された。しかしながら，Yaspelkis(1991, 1993)，Ahlborgら(1976)およびIvyら(1983)の研究で認められた血糖値やインスリン濃度と同等にはならなかった。

Hargreavesら(1984)が用いた運動様式は，30分間の低強度運動(50% $\dot{V}O_{2max}$)と10分間の高強度運動を繰り返すものであった。またYaspelkisら(1993)は，はじめに30分間の低強度運動(45% $\dot{V}O_{2max}$)を行い，その後，8分間の高強度運動(75% $\dot{V}O_{2max}$)と低強度運動(45% $\dot{V}O_{2max}$)を繰り返している。それに対してMitchellら(1989)は，70% $\dot{V}O_{2max}$ での15分の運動を，3分間の完全休息を挟んで繰り返す間欠運動を対象と

して、糖質液摂取に対する血糖値とインスリンの応答を検討しているが Hargreaves ら (1984) や Yaspelkis ら (1993) ほどの高い応答は得られていない。本研究の間欠型持久運動での低強度運動時間は Mitchell ら (1989) と同様であったことから、間欠型持久運動では低強度での運動時間が短かったために、血糖とインスリンの応答が低かったものと思われる。

また、糖負荷試験などを行った際、日本人のインスリン分泌は、欧米人と比較して緩やかであることが知られている (石田1999)。日本人ゆえに糖に対するインスリン分泌量が少なかったことも一部影響していたと考えられる。

経口的に摂取したグルコースが、90 分間の運動中のエネルギー供給に占める割合は、 $22.1\% \dot{V}O_{2max}$ 強度で 15.4% 、 $39.4\% \dot{V}O_{2max}$ 強度で 18.1% および $55.1\% \dot{V}O_{2max}$ 強度で 17.1% であり、これらの中に統計的な違いはないが、強度が $44.4\% \dot{V}O_{2max}$ になると 14.4% に有意に低下することが報告されている (Pirnay 1982)。これには、 $70\% \dot{V}O_{2max}$ 以上の高強度運動では、低強度運動や安静状態に比べて摂取した溶液の胃から小腸への移送速度が遅くなること (Costill 1974) や、運動中に摂取した糖質液の小腸での吸収が抑制されること (Gisolfi 1991) などが影響していると考えられる。また AT を越える強度では筋グリコーゲンの分解が亢進するために、筋中に G-6-P が蓄積すると考えられる。G-6-P は Hexokinase に抑制的に作用することで、糖の取り込みを減少させる可能性も指摘されている (Hespe 1990, Jansson 1986)。

このように $70\% \dot{V}O_{2max}$ 以上の高強度運動では、外因性の糖質利用を抑制する要因が高くなる。Hargreaves ら (1984) と Yaspelkis ら (1993) の間欠型運動でも $75\% \sim 100\% \dot{V}O_{2max}$ 強度の運動が繰り返されていたが、一方で、インスリン分泌の抑制が低く外因性の糖利用が亢進する低強度運動時間が長く設定されており、高強度運動における外因性糖質利用の抑制を上回っていたと考えられる。これらに対して、本研究と Mitchell ら (1989) の間欠型持久運動では、低強度運動や休息が 3 ~ 4 分と短かく、そのため、外因性糖質の利用が一定型運動と同等に維持されたものと思われる。

2) 本研究の間欠型持久運動と一定型持久運動の比較

本研究の一定型と間欠型持久運動を比較してみると、血糖値は一定型では運動 40 分目において糖質試行で有意に高い値を示した。それに対して、間欠型では糖質試行とプラセボ試行で同等であった。血糖値から判断すると、間欠型では先に述べたように高強度運動が繰り返されて糖質の吸収が一定型より低かったために、血糖値がプラセボ試行と同等であった可能性も考えられる。しかしながら、間欠型におけるインスリン濃度をみると、糖質試行では運動 40 分目に有意に高い値を示した。また、アドレナリンは糖の取り込みを抑制することが知られているが、運動 40 分目のアドレナリン濃度は糖質試行とプラセボ試行で差はみられていない。本実験では測定していないものの、研究課題 3 の実験結果から、一定型持久運動ではアドレナリン濃度が間欠型よりも高かった可能性が考えられる。それゆえ、これらのホルモン動態もふまえると、間欠型持久運動では糖の取り込みが抑制されていたのではなく、一定型と同等に取り込まれたが筋においてすみやかに利用されていたために、血糖値が上昇しなかったのかもしれない。

このように、間欠型持久運動では、高強度運動が繰り返され糖代謝が一定型よりも亢進しており、同時に低強度運動が繰り返されたことによりインスリン分泌の抑制とアドレナリンの上昇が少なく、そのため、骨格筋での糖の取り込みが血糖の供給を上まっていたと考えることもできる。もしそうであるならば、間欠型では糖の消費量に対して摂取する量が見合っていなかった可能性がある。それゆえ、一定型では糖質摂取によってパフォーマンスが有意に向上したのに対して、間欠型ではプラセボ摂取と同等であったように思われる。

Christmas ら (1999a) は、 $120\% \dot{V}O_{2max}$ 強度での 12 秒の運動と休息时间 18 秒を繰り返す 90 分の間欠型持久運動と、同等の仕事量である 90 分の一定運動を対象として、血中エネルギー基質の動態を比較したところ、間欠型持久運動では糖質の利用が高く、脂肪の酸化率が抑制されることを報告している。本実験の両持久運動におけるプラセボ摂取試行を比較すると、間欠型で血中乳酸値と呼吸交換比が高く、遊離脂肪酸濃度の上昇は低い。す

なわち, Christmas ら (1999a) の結果と同様に, 本実験の間欠型ではエネルギー源としてより糖質に依存していたと考えられる. このように, 間欠型持久運動では同等の運動時間と仕事量である一定型持久運動よりも, エネルギー源として糖へ依存する傾向がみられることから, 運動中に糖質を摂取する場合には一定型よりも多く摂取する必要があると思われる. しかしながら, 間欠型持久運動と一定型持久運動における糖質摂取の効果に違いはないとする報告もあることから (Mitchell 1989), 今後さらに検討を重ねていく必要があるろう.

以上まとめると, 本研究の間欠型持久運動では, 先行研究 (Ahlborg 1976, Ivy 1983, Yaspelkis 1991) において報告されているような高い血糖やインスリン応答は認められなかった. しかしながら, 一定型持久運動と比べた場合, 間欠型では摂取した糖の利用が高い可能性が示された.