

有酸素性作業中における呼吸循環機能に対する 筋グリコーゲンローディングの効果

奈良女子大学 定本朋子

Effects of Muscle Glycogen Loading on Cardiorespiratory Responses during Aerobic Exercise

by

Tomoko Sadamoto

*Laboratory of Exercise Physiology,
Faculty of Letters, Nara Women's University*

ABSTRACT

The effect of muscle glycogen loading on cardiorespiratory responses during aerobic exercise was investigated in twelve healthy females.

Subjects performed bicycling exercise at a given workload ($50 \sim 65\% \dot{V}_{O_{2max}}$) for 31 min before (normal glycogen state : NG) and after muscle glycogen loading (high glycogen state : HG). The HG state was induced by a bout of exhaustive bicycling (up to $75\% \dot{V}_{O_{2max}}$ for 130 ~ 160 min) and carbohydrate-rich diet (4 ~ 5 days). Oxygen uptake (\dot{V}_{O_2}), Heart rate (HR), rating of perceived exertion (RPE), respiratory exchange ratio (RER), surface EMG and plasma lactate concentration (LA) during exercise were compared between NG and HG. Significant decreases in \dot{V}_{O_2} ($P < 0.01$), HR ($P < 0.05$) and RPE ($P < 0.05$) were found in HG compared to NG. The lower \dot{V}_{O_2} in HG associated with significant increases in RER ($P < 0.01$) and LA ($P < 0.05$). Furthermore, integrated EMG picked up from m. vastus lateralis was significantly higher in HG than in NG ($P < 0.05$).

From these data, it is indicated that muscle glycogen loading may

reduce \dot{V}_{O_2} required for the identical exercise through enhanced glycolysis and glycogenolysis pathways in active muscles. It is also suggested that the reduced \dot{V}_{O_2} in HG might be attributed to preferential recruitment of fast-twitch (FT) fibers since FT fibers are known to induce a higher LA production and amplitude of surface EMG. Thus, present findings also indicate affirmative effect of muscle glycogen loading on exercise performance.

要 旨

12名の健康な女子被験者において、有酸素性作業中の呼吸循環応答に及ぼす筋グリコーゲンローディングの効果について検討した。長時間自転車作業 (75% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の負荷, 約 130 ~ 160 分間) と高糖質食摂取 (4 ~ 5 日間) により、脚筋のグリコーゲンローディングを行った。被験者はこのローディング前後に、同一負荷による最大下自転車作業 (50 ~ 65% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 強度, 31 分間) を行った。その作業中に計測された酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2})、心拍数 (HR)、主観的運動強度 (RPE)、換気交換率 (RER)、筋放電量、血中乳酸濃度 (LA) を、ローディング前後間で比較した。その結果、グリコーゲンローディング後には、同一の自転車作業を行うために必要な \dot{V}_{O_2} が減少した ($P < 0.01$)。この \dot{V}_{O_2} の低下には、HR および RPE の有意な低下 ($P < 0.05$) が伴われ、また RER ($P < 0.01$) と LA ($P < 0.05$) の有意な上昇も示されていた。さらに、外側広筋から導出した表面筋電図の積分値 (IEMG) を指標とする筋放電量が、ローディング後に上昇するという結果もみられた ($P < 0.05$)。

これらの結果から、ローディングの効果ともいえる \dot{V}_{O_2} の低下を招くしくみとして、活動筋における解糖作用と筋グリコーゲン分解の高進が働いたのではないかと考えられた。さらに、ローディング後には、LA 生成が多く、高い IEMG が顕れ

やすい速筋線維が優先的に動員され、最終的に \dot{V}_{O_2} を低下させたのではないかと推察された。呼吸循環機能の応答から、ローディングの効果を検討した本実験においても、筋グリコーゲンローディングがパフォーマンスの向上に有効であると示唆された。

緒 言

試合において少しでも良い記録を出したいと考えるのは、運動選手にとって当然のことといえるだろう。そのためには、練習を積むだけでなく、良いコンディションで試合に臨むことができるかが大きなポイントとなる。このコンディションづくりの一つの方法として、試合前に筋グリコーゲンローディングを行うことはそう珍しいことではない。

筋グリコーゲンの初期レベルが高いほど、持久性能力も高いという Bergström らの報告以後^{2,3)}、ローディング後には確かに運動持続時間が延びるという研究結果が、これまでも繰り返し指摘されている。このような「パフォーマンス延長」という利点に関する報告は数多いが⁷⁾、呼吸循環機能にみられる変化から、グリコーゲンローディングの効果についてみた研究は数少ないといえる。

本研究の目的は、筋グリコーゲンローディングの前後における、有酸素性自転車作業に対する呼吸循環機能および主働筋の筋放電量や乳酸の生成について検討することにより、グリコーゲンロー

ディングの効果とそのしくみを考察することである。

1. 方法

1.1 被験者

健康な女子大学生 12 名 (表 1) が本実験に参加した。実験前に研究目的と手続きを詳しく説明し、すべての被験者から実験に参加することの同意書を得た。

表 1 被験者の年齢および身体的特性

年齢 (yr)	20.5±0.45
身長 (cm)	159.9±1.89
体重 (kg)	52.3±1.52
$\dot{V}_{O_{2max}}$ (l/min)	2.08±0.08

表中の値は、被験者 12 名の平均値±平均偏差 (SE) を示している

1.2 $\dot{V}_{O_{2max}}$ の測定

被験者は、差圧流量計 (フライッシュ型ニューモタコ, WESTRON) が連結された、呼気採取マスクおよび耳朶脈拍センサーを装着した後、自転車エルゴメータ (エアロバイク 710, Combi) を、オールアウトに至るまで 60 rpm のピッチに合わせて駆動した。作業負荷は 25~40 W のウォームアップ (1~3分) の後、25~40 W の負荷を毎分漸増させた (7~11分)。呼気ガス中の酸素、二酸化炭素および窒素の分画値および換気流量を、呼気分析用質量分析計システム (WSMR 1400 B, WESTRON) により計測した。酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2})、二酸化炭素排出量 (\dot{V}_{CO_2}) および換気交換率 (RER) を算出し、レベルオフした \dot{V}_{O_2} を被験者の $\dot{V}_{O_{2max}}$ とした。

1.3 本実験のテスト内容とその手続き

自転車エルゴメータ上における 5 分間の安静後に、31 分間の最大下自転車作業を行うテストを (図 1)、筋グリコーゲンローディングの前

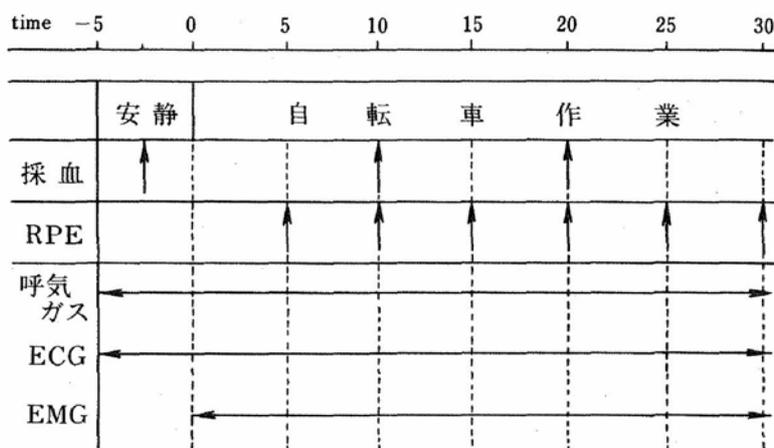


図 1 テストにおける測定項目と測定時間

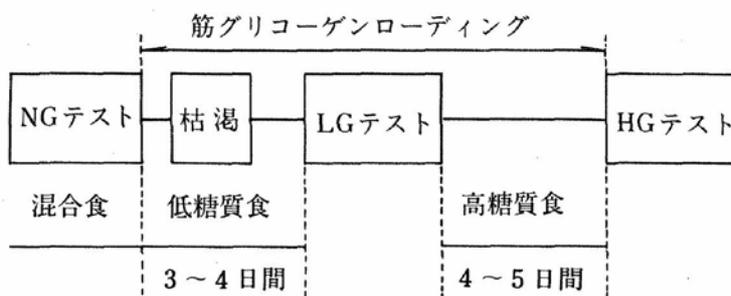


図 2 実験の構成

NG, LG, HG はおのこの Normal Glycogen, Low Glycogen, High Glycogen の略である

(Normal Glycogen condition : NG), 枯渇後 (Low Glycogen condition : LG), およびローディング後 (High Glycogen condition : HG) に行った (図 2)。なお、31 分間の自転車作業は、前述したエアロバイクを用い、4 分間の漸増負荷、21 分間の一定負荷、6 分間の漸増負荷により行った。負荷の漸増方法は表 2 のとおりである。

表 2 テストにおける負荷

作業時間 (min)	負荷 (% $\dot{V}_{O_{2max}}$)
2	30
1	40
1	50
21	55
3	60
3	65

1.4 筋グリコーゲンローディングの方法

筋グリコーゲンローディングを^{2,3,9)}、長時間自転車作業の食事規制により行った。長時間自転車作業は、被験者に自転車エルゴメータ(MONARK)を60rpmのピッチに合わせて、疲労困憊に至るまで駆動させた。その作業負荷は、開始後1時間までは $55\% \dot{V}_{O_{2max}}$ とし、その後2分ごとに5%ずつ10分間で $75\% \dot{V}_{O_{2max}}$ にまで上げるという方法を繰り返した。各被験者の疲労困憊時間は70~155分の範囲にあった。

食事規制は、NGテスト終了後からLGテストを行うまでは低糖質の食事を摂取し、LGテスト終了後からHGテストを行うまでは、高糖質の食事を摂取するように被験者に教示した。低糖質食が3~4日、高糖質食が4~5日であった。食事規制にあたり、望ましい食物一覧表とメニュー例を書いた冊子を配布し、食事規制に関する注意と十分な説明を行った。また、記録された食事内容から、適切な食事規制をすべての被験者が行っていたことを確認した。

1.5 測定項目

安静時および自転車作業中のガスを、一呼吸ごとに取り込み、質量分析計により測定した。これらの計測から、 \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_{CO_2} 、換気量(\dot{V}_E)、RER、呼吸数(RR)および一回換気量(TV)について算出した。

テレメータシステム(マルチテレメータ511, NEC三栄)を用い、胸部双極誘導により導出した心電図(ECG)波形を、データレコーダ(RD-111, TEAC)とポリグラフ(RM35型インク書きオシログラフ, 日本光電)に記録し、そのデータにより、心拍数(HR)を算出した。左脚の外側広筋の筋腹から、表面電極誘導によって導出した筋電図(EMG)を、生体電気用プリアンプ(RM5型, 日本光電)を介し、ECG同様にデータレコーダとポリグラフに記録した。なお、EMG導出部位が全テストを通じて同一となるようにした。極

間抵抗が高く、雑音が混入した3名のデータを除き、9名のEMG原波形を、積分用プリアンプ(RFJ5型, 日本光電)を用いて積分した。

採血は耳朶から、1回につき約75 μ lを採取した。採血した血液の全血中乳酸(LA)濃度を、固定化酵素膜電極を内蔵した自動分析器(model 23A, YSI社)により測定した。また、血液の一部を遠心分離器(CT12D, 日立工機)にかけ、ヘマトクリット値を求めて、前述した全血中LA濃度を補正し、その補正值を本研究ではLA値とした。Borg⁹⁾による主観的運動強度(RPE)を聴取した。

1.6 統計的検定

ローディングの効果の検討を目的とした本研究では、LGテストのデータを除く、ローディング前後間(NGとHGテスト)のデータの比較を、分散分析法(F検定)を用いて検定した。テスト要因(NGとHGテストの2水準)、測定時点の要因(7点あるいは3点の測定時点)、被験者要因(12名あるいは9名)の3要因のF検定を行った。F検定の結果、テスト要因の主効果に有意差が認められた測定項目について、対応する測定時点におけるNGとHGの平均値間の差を、Scheffé法により検定した。有意水準を5%と設定した。なお、LGテストのデータを、ここでは検定の対象にしていないが、NGとHGのデータの参照のために結果のグラフには図示した。

2. 結果

2.1 HR, \dot{V}_{O_2} , \dot{V}_{CO_2} , RERおよび \dot{V}_E にみられるローディングの影響

F検定の結果、HRにおけるテスト要因の主効果が有意であると示された($F=5.07$, $df=1$, 11 , $P<0.01$)。図3に見られるように、NGテストに比べ、HGテストのHRが常に低いが、対応する測定時点における平均値間の差は、わずかに有意水準に至らなかった。

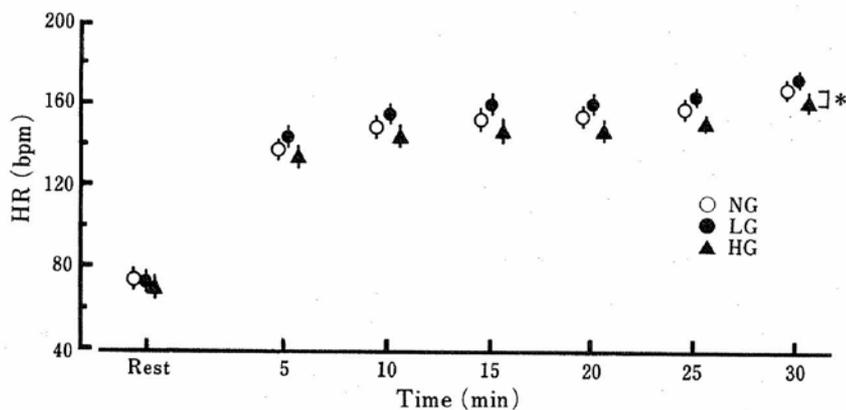


図3 NG, LG, HG テストにおける HR の比較
 NG, LG, HG はおのおの Normal Glycogen, Low Glycogen, High Glycogen の略である
 各ポイントは 12 名の被験者の平均値±SE を示している
 *印は, NG と HG を比較した F 検定の結果を示している
 (* : P < 0.05)

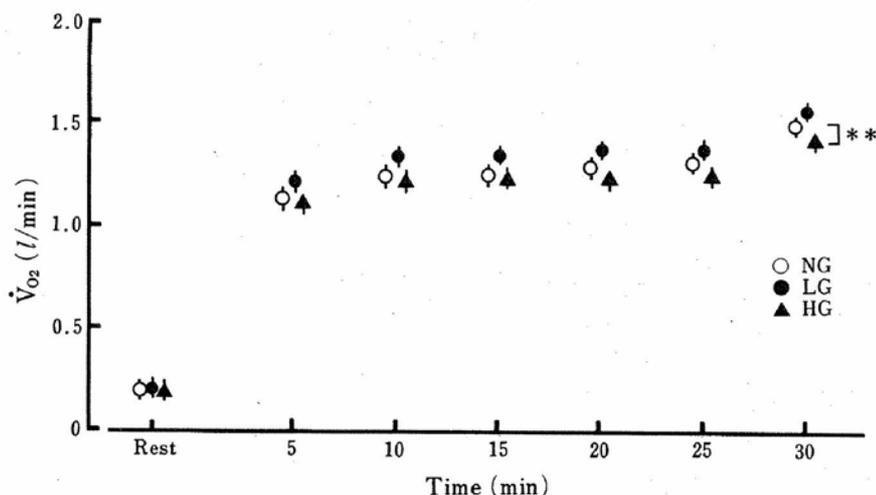


図4 NG, LG, HG における \dot{V}_{O_2} の比較
 各ポイントは 12 名の被験者の平均値±SE を示す
 *印は, NG と HG を比較した F 検定の結果を示す
 (* : P < 0.05, ** : P < 0.01)

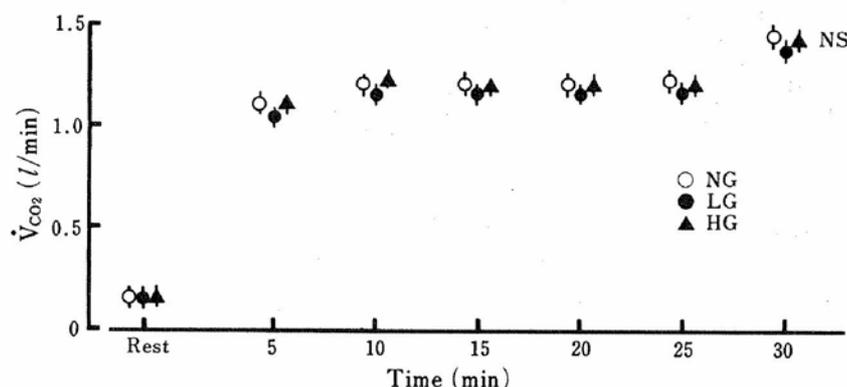


図5 NG, LG, HG テストにおける \dot{V}_{CO_2} の比較
 各ポイントは 12 名の被験者の平均値±SE を示す
 NG と HG を比較した F 検定の結果を示す (NS : P > 0.05)

\dot{V}_{O_2} においても, テスト要因の主効果が有意であった ($F=17.78$, $df=1, 11$, $P<0.01$). また, すべての測定時点において, NG に比べ HG の \dot{V}_{O_2} が低くなり (図4), 25 分と 30 分における平均値間の差は有意であった. 一方, \dot{V}_{CO_2} では, 有意なテスト要因の主効果はみられなかった (図5). つぎに, RER についてみると (図6), ローディング前後を比較した結果, テスト要因の主効果が有意であり ($F=35.81$, $df=1, 11$, $P<0.01$), NG より HG が高くなることが示された. 安静時, 10 分, 20 分, 30 分の測定時点において, NG と HG の平均値間に有意差がみられた. また, 換気能を示す \dot{V}_E (図7) およびその構成因子である RR と TV には, 有意なテスト要因の効果は見られなかった.

以上の結果から, グリコーゲンローディング後には, 低い \dot{V}_{O_2} によりローディング前と同一の有酸素性作業ができることが示された. このようなローディング後にみられる \dot{V}_{O_2} の低下は, HR の低下, 糖質に依存した有酸素性エネルギー供給機構への傾斜という変化が伴われていた. さらに, \dot{V}_E , TV, RR といった換気能が, ローディング前後間で変化しないことから, ローディング後の \dot{V}_{O_2} の低下は, 運動中の呼気 O_2 濃

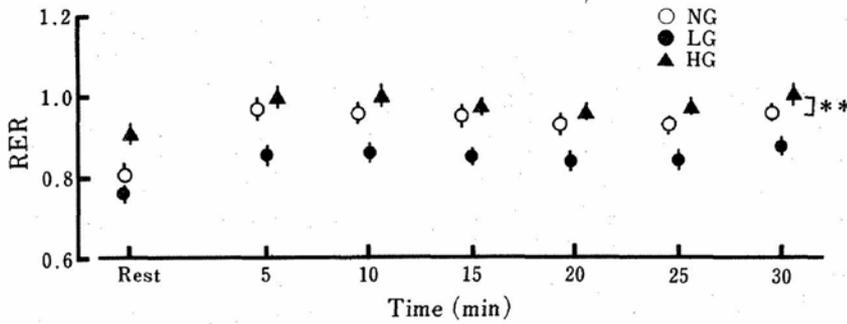


図6 NG, LG, HGテストにおけるRERの比較
各ポイントは12名の被験者の平均値±SEを示す
*印は、NGとHGを比較したF検定の結果を示す
(* : P < 0.05, ** : P < 0.01)

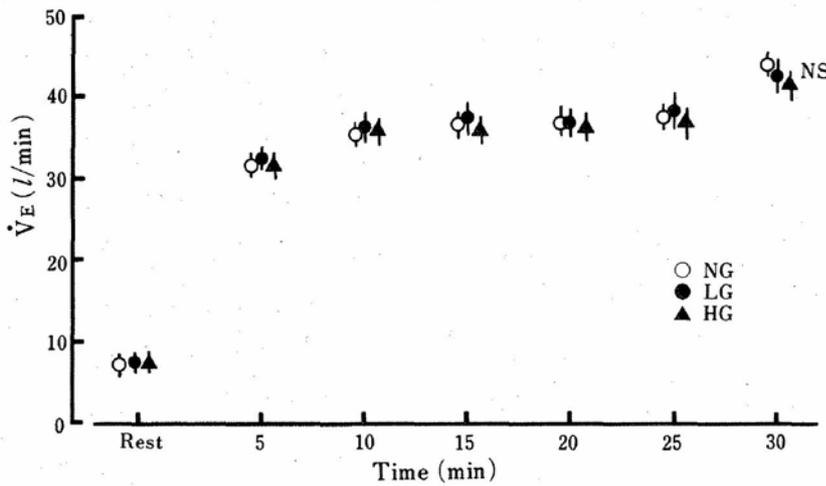


図7 NG, LG, HGテストにおける \dot{V}_E の比較
各ポイントは12名の被験者の平均値±SEを示す
NGとHGを比較したF検定の結果を示す (NS : P > 0.05)

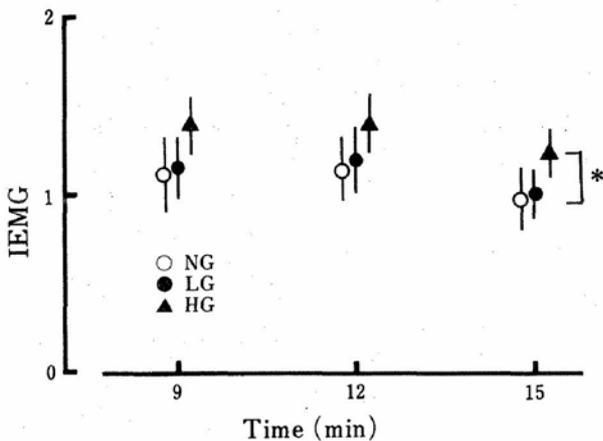


図8 NG, LG, HGテストにおけるIEMGの比較
各ポイントは12名の被験者の平均値±SEを示す
*印は、NGとHGを比較したF検定の結果を示す
(* : P < 0.05)

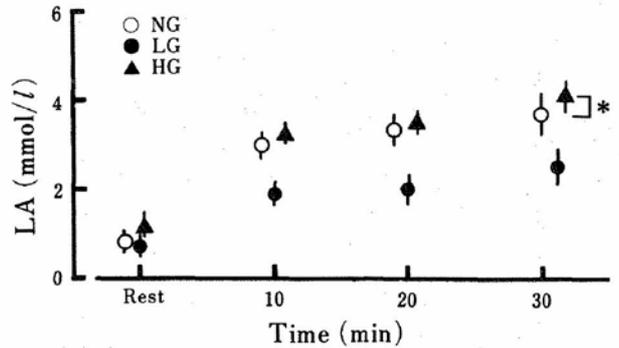


図9 NG, LG, HGテストにおけるLAの比較
各ポイントは12名の被験者の平均値±SEを示す
*印は、NGとHGを比較したF検定の結果を示す
(* : P < 0.05)

度 (F_{EO_2}) の上昇に起因することも示された。

2.2 IEMGとLAにおけるグリコーゲンローディングの影響

ローディング後にみられる \dot{V}_{O_2} の低下を導く F_{EO_2} の変化は、運動に利用される筋の O_2 摂取を反映すると考えられる。

このため、ローディング後の自転車駆動中の筋活動に、何らかの変化が生じたのではないかと考えられた。そこで、ローディング前後間における「筋の活動量を示すIEMG」と「筋での糖質の代謝状況を示すLA」について検討してみた。

自転車作業9分、12分、15分目における1分間のIEMGをF検定にかけたところ、テスト要因の主効果が有意であり (F = 11.79, df = 1,8, P < 0.05), NGに比べHGにおけるIEMGが有意に高いことが示された (図8)。つまり、 \dot{V}_{O_2} が低く

なったローディング後に、むしろ筋の活動量が増大するという結果が得られた。

無氣的解糖および筋グリコーゲン分解を反映するとされる LA を検定した結果においても、テスト要因の主効果は有意であり ($F = 4.91, df = 1,11, P < 0.05$), NG よりも HG テストの方が高かった (図 9)。つまり同一強度の自転車作業であっても、ローディング後には無酸素性機構による糖質代謝の高進が示された。

3. 論 議

有酸素性自転車作業中の呼吸循環応答にみられるグリコーゲンローディングの効果について検討した本実験では、同一強度の自転車作業であるにもかかわらず、ローディング後には、低い \dot{V}_{O_2} により運動が行えるという知見が得られた。ローディングの利点ともいえるこの \dot{V}_{O_2} の低下は、HR の低下および糖質依存による有酸素性エネルギー供給機構への傾斜を伴っていた。しかし、LA および IEMG の増大という現象も同時に伴っていた。一見すると、ローディングの効果に相反するかに見える IEMG および LA のデータを踏まえながら、ローディング後にみられる \dot{V}_{O_2} の低下を招く生理学的しくみについて考えてみよう。

3.1 ローディングに伴う \dot{V}_{O_2} 低下にかかわるしくみについて

ローディング操作のために極端な食事規制を行うと、体内の脂肪組織における O_2 摂取が変動するが、運動中の \dot{V}_{O_2} の増減は、主に活動筋の O_2 摂取が反映されると、Jansson¹¹⁾ によって報告されている。そこで、ローディング後にみられる活動筋の O_2 摂取を低下させるしくみについて考えてみよう。

3.1.1 有酸素性エネルギー供給における RER の上昇

まず、RER の結果から (図 6)、同一エネルギー量が必要であっても、ローディング後には有

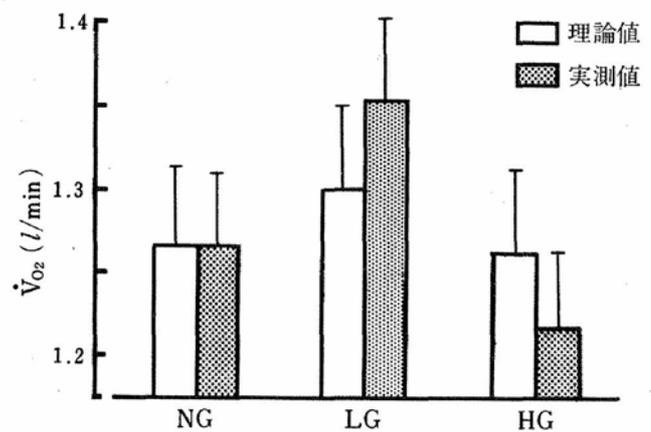


図10 自転車作業 15 分時点における \dot{V}_{O_2} の実測値と理論値との比較
12 名の被験者の平均値 \pm SE を示す

酸素性エネルギー供給機構において、糖質代謝への依存が高くなり、低い \dot{V}_{O_2} で運動ができたということが考えられる。ところが、各テストにおける運動の機械的効率を一定とし、RER の値から論理的に必要なとされる O_2 の量 (理論値) を算出し、実測された \dot{V}_{O_2} と比較すると (図 10)、ローディング後には実測値の方が理論値より低くなることが示された。したがって、RER に伴う糖質代謝への傾斜だけでは、ローディングに伴う \dot{V}_{O_2} の低下を説明できないことになり、機械的効率がローディング後には上昇したことが示唆された。

3.1.2 速筋線維の動員に伴う機械的効率の上昇

効率が良いということは、少ない筋の活動量で同一強度の自転車作業ができ、 O_2 も少なくすむことを意味している。ところが、本実験の結果では、筋の活動量を反映するとされる IEMG が、ローディング後に高くなっていた。そこで、ローディング後の \dot{V}_{O_2} の低下を招く要因には、活動筋における筋線維の動員様式が変化し、表面電極により導出された IEMG には顕れない効率の変化が生じたのではないかと考えてみた。

ヒトの筋は、力学的特性および代謝特性が異なる速筋線維と遅筋線維の 2 種類からなり、速筋線維はすばやく収縮して高い張力を生じ、無酸素性

によるエネルギー生成に優れているが、有酸素系の代謝能力が低いといわれている。逆に遅筋線維は、収縮速度が遅く張力も低く、有酸素系によるエネルギー生成に優れているが、無酸素性の代謝能力が低いといわれている。このように、異なる特性を持つ筋線維のうち、どちらを主に動員するかという動員様式が、ローディング後に変化したのではないだろうか。

Gollnick らの研究によると^{9,10}、高負荷の自転車作業により筋グリコーゲンを枯渇させた時には、速筋線維のグリコーゲンが優先的に枯渇されると報告されている。さらに、高糖質食摂取により、筋グリコーゲンの枯渇が著しい線維に、より多くのグリコーゲンが貯蔵されることもすでに指摘されている^{2,3}。本実験の筋グリコーゲン枯渇運動が、Gollnick らの研究と類似した負荷で行われたことを考えると、速筋線維における筋グリコーゲンが主に枯渇し、その後の高糖質食による筋グリコーゲン貯蔵も、速筋線維により顕著であったのではないかと推察される。さらに、ラットを用いた研究によると^{6,14}、筋グリコーゲンは遅筋線維よりも速筋線維に多くローディングされることが指摘されている。そして、ローディング後における筋収縮（電気刺激による）に対する両線維の動員の仕方を比較すると、速筋線維が優先的に動員されることも指摘されている。

これらの研究成果を踏まえると、本実験のローディング後の自転車作業では、速筋線維がより多く動員されたのではないかと考えられる。もしも速筋線維が優先的に動員されれば、線維1本あたりの発揮張力が高いため、少ない筋線維の動員、あるいは低いインパルス量で一定の作業が可能となるだろう⁴。ところが、速筋線維は筋の表層部に多く¹²、大きい EMG（表面電極による）を出すという報告から¹、ローディング後のインパルス量は低下したとしても、表面筋電図に顕れる IEMG が増加したことは十分考えられる。すなわち、

IEMG が増加したとしても、機械的効率が向上したのではないかということである。

このように速筋線維の動員がローディング後に多くなったと仮定すれば、ローディング後にみられる LA の増加もうまく説明できる。つまり、ローディング後には、無酸素性解糖に依存する速筋線維の動員により、LA は有意に増加するが、有酸素性エネルギー供給への依存が低下し、低い $\dot{V}O_2$ により作業が行えたということである。

3.1.3 筋グリコーゲン分解促進に伴う効率の上昇

前述した速筋線維の優先的動員と重複した機構であるが、つぎのような機構により、筋グリコーゲンの分解促進が生じ、ローディング後の機械的効率が上がり、ひいては $\dot{V}O_2$ が低下したという可能性も考えられる。

筋細胞内のグリコーゲンレベルが高くなればなるほど、一定負荷の筋収縮に対する筋のグリコーゲン分解が促進されることが、ラットを用いた研究により報告されている^{6,14}。これらの研究によると、筋グリコーゲンの貯蔵量に応じて、グリコーゲンの分解が促進されるメカニズムがあり、その機構は現時点では明らかではないが、筋細胞にある恒常性の維持機構ではないかと仮定されている。このような機構が速筋線維においてローディング後に働いたとすると、LA の増大をもたらせ、同時に機械的効率の上昇を招き、最終的には低い O_2 の摂取であっても同一運動が可能になったということも推察される。

3.2 グリコーゲンローディングがパフォーマンスに与える効果

ローディングの効果に関する先行研究では、ローディング後には過剰に筋グリコーゲンが貯蔵されるだけで、その分解速度には変化がなく、したがってグリコーゲンが消費されるまでの時間が延長するという観点から、常に利点が考えられてきた⁷。しかし、本研究結果からパフォーマンスに

与えるローディングの効果を考えてみると、ローディング後には、①有酸素性機構による糖質代謝の高進、②速筋線維の動員に伴う無酸素性解糖の高進、③さらに筋グリコーゲン分解の促進が生じることが、一定の作業に必要な $\dot{V}O_2$ の低下を招き、その結果、パフォーマンスの時間が延長するのではないかと示唆された。

これらのローディングの効果を導くしくみとして、考えられた①、②、③のいずれをとっても、本研究では、ローディング後には糖および貯蔵された筋グリコーゲンが、ローディング前よりもより多く（速く）分解されることが、ローディングの利点に結びつくことを示している。このような視点は、一見すると、従来の論議や観点と異なるばかりでなく、重要なエネルギー源を早く枯渇させ、筋疲労の一因ともなるLAの生成を高進させ、運動持続時間をむしろ短縮させるのではないかという誤解を招きかねないだろう。このため、本結果で示した①、②、③の機構に由来するLAの増大が、最終的にはパフォーマンス向上に有用であることについて、ここであらためてまとめておこう。

まず、上昇したLAの大部分は、TCA回路に入り、続く運動のためのエネルギー源として利用されると考えられる。したがって、本研究のような、30分程度の有酸素性作業において、筋グリコーゲン分解がローディング後に高進し、LAが上昇しても、続くパフォーマンスにとっては不利益ではないといえる⁹⁾。さらに、つぎのような利点もあるのではないかと推察される。

生成されたLAは、肝臓に戻されてグルコースに変換され、血糖値を維持する役割を担う。さらに、筋グリコーゲン分解の高進により、生成されるグルコース6リン酸(G6P)の上昇が、筋への血糖の取り込みを抑制することから、G6Pの上昇を介した血糖値低下を防止する効果を担うといえる¹⁰⁾。このような血糖の維持は、長時間運動

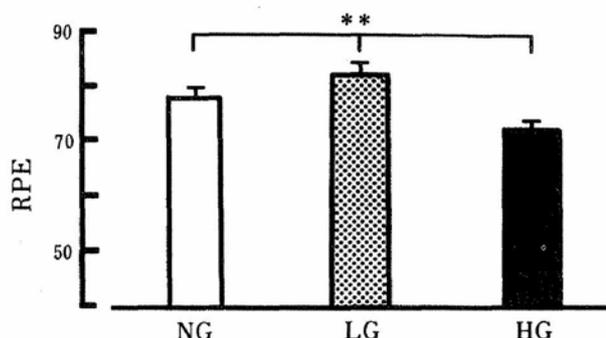


図11 NG, LG, HG テストにおける RPE の合計点の比較
 自転車作業中に6回聴取した RPE を合計し、12名の被験者の平均値±SEを示している
 印は、NGとHGを比較したF検定の結果を示す(:P<0.05, **:P<0.01)

にみられる中枢性疲労の発現を遅らせることに役立つのではないだろうか。種々の研究において、中枢性疲労の指標とされる主観的運動強度(RPE)は、血糖値と密接に関連することが知られている¹⁵⁾。本実験のRPEの結果においても、ローディング後のRPEはローディング前に比べ、有意に低くなっていた(図11)。つまり、LAの増加は、単にエネルギー代謝に有効であるばかりでなく、血糖を適正に維持することを介し、脳貧血の発現や急激な中枢性の疲労を遅延させ、運動を楽に行わせるという利点を持つものとも考えられる。

さらに、血糖に呼応して、運動中のHRが変化するという先行研究から考えると¹³⁾、血糖維持の機構により、本研究でみられたようにHRの低下を招き、心臓への負担を軽減するという利点も有するといえるだろう。このような種々の観点から考えても、ローディング後のグリコーゲンの分解促進とLAの増加は、むしろパフォーマンスを向上させるプラス効果を持つものといえる。

4. ま と め

有酸素性自転車作業中の呼吸循環機能に与える筋グリコーゲンローディングの主な効果は、同一

の自転車作業を行うために必要な \dot{V}_{O_2} を減少させることである。このローディング後における \dot{V}_{O_2} の低下をもたらすしくみには、有酸素性エネルギー供給機構における糖質代謝の高進、速筋線維の優先的動員および初期グリコーゲン濃度に応じたグリコーゲン分解の促進といった、無酸素性エネルギー供給機構への依存が関与しているのではないかと論議された。このような \dot{V}_{O_2} の低下に加え、楽だと感じながら、低い HR で運動ができ、増大した LA のエネルギー源への利用や血糖維持により、筋グリコーゲンローディングは、パフォーマンスの延長に有利に働くことが推察された。

文 献

- 1) Basmajian, J. V. ; Muscle Alive, Their functions Revealed by Electromyography, 4th ed, Baltimore, Williams & Winkins, pp 93-100 (1978)
- 2) Bergström, J., E. Hultman; Muscle glycogen synthesis after exercise : An enhancement factor localized to the muscle cells in man, *Nature*, **210**, 309-310 (1966)
- 3) Bergström, J., L. Hermansen, E. Hultman, B. Saltin ; Diet, muscle glycogen and physical performance, *Acta Physiol. Scand.*, **71**, 140-150 (1967)
- 4) Bigland-Ritchie, B., E. Cafarelli, N. K. Vøllestand ; Fatigue of submaximal static contractions, *Acta Physiol. Scand. (Suppl.)*, **128**, 137-148 (1985)
- 5) Borg, G. ; Perceived exertion : A note on history and methods, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **5**, 90-93 (1973)
- 6) Connet, R. J., T. E. J. Gayeski, R. Honig ; Lactate accumulation in fully aerobic, work-

- ing dog gracilis muscle, *Am. J. Physiol.*, **246** (Heart Circ. Physiol. 15) : H 120-128 (1984)
- 7) Conlee, R. K. ; Muscle glycogen and exercise endurance : A twenty-year perspective, In : Exercise and Sports Science Reviews edited by K. B. Pandolf, New York, Macmillan Publishing Company, Vol. 15, pp 1-28 (1987)
- 8) Gollnick, P. D., B. Pernow, B. Essen, E. Jansson, B. Saltin ; Availability of glycogen and plasma FFA for substrate utilization in leg muscle of man during exercise, *Clin. Physiol. Lond.*, **1**, 27-42 (1981)
- 9) Gollnick, P. D., K. Piehl, C. W. Saubertiv, R. B. Armstrong, B. Saltin ; Diet exercise and glycogen changes in human muscle fibers, *J. Appl. Physiol.*, **33**, 421-425 (1972)
- 10) Gollnick, P. D., K. Piehl, B. Saltin ; Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates, *J. Physiol.(Lond.)*, **241**, 45-57 (1974)
- 11) Jansson, E. ; On the significance of the respiratory exchange ratio after different diets during exercise in man, *Acta Physiol. Scand.*, **114**, 103-110 (1982)
- 12) Lewis, S. F., G. Haller, J. D. Cook, C. G. Blomqvist ; Metabolic control of cardiac output response to exercise in McArdle's disease, *J. Appl. Physiol.*, **61**, 391-401 (1986)
- 13) Lexell, J., K. Henriksson-Larsen, M. Sjostrom ; Distribution of different fibre types in human skeletal muscles, A study of cross-sections of whole m.vastus lateralis, *Acta Physiol. Scand.*, **117**, 115-122 (1983)
- 14) Richter, E. A., H. Galbo ; High Glycogen levels enhance glycogen breakdown in isolated contracting skeletal muscle, *J. Appl. Physiol.*, **612**, 827-831 (1986)
- 18) 田畑 泉 ; 栄養摂取からみた長時間運動と疲労, *体育の科学*, **40**, 333-338 (1990)