

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700656

研究課題名(和文) 漸増負荷運動中の血糖値とホルモンの動態の関係性 - 競技パフォーマンスに着目して -

研究課題名(英文) The relationship between hormonal responses and blood glucose kinetics during incremental exercise - for assessing endurance running performance -

研究代表者

中村 和照 (NAKAMURA, KAZUTERU)

茨城キリスト教大学・生活科学部・准教授

研究者番号：10613292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円、(間接経費) 570,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、長距離群と対照群の漸増負荷走中のホルモン応答に対する血糖値と血中乳酸値の動態の関係性について検討し、トレーニング状態がホルモン応答に対する血糖値と血中乳酸値の動態に与える違いについて明らかにすることを目的とした。本研究では、カテコラミンと血糖値の相関関係は対照群に比べて長距離群で高くなり、長距離群のみでカテコラミンの上昇に伴い血糖値の上昇が認められた。一方、カテコラミンと血中乳酸値の相関関係は両群ともに高い関係性が認められた。これらのことから、漸増負荷運動中の血糖値は血中乳酸値とは異なるメカニズムで調整され、血糖値の動態には血中乳酸値とは異なる運動能力が反映される可能性が推察された。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to investigate the blood glucose and blood lactate kinetics between the endurance runner group and the control subject group during the incremental running test and examined the hormonal responses effect on blood glucose and blood lactate kinetics in different training states. In this study, the correlation between catecholamine (adrenaline, noradrenaline) responses and the blood glucose kinetics during the incremental running test was higher in the endurance runner group than the control subject group, thus blood glucose increased with high catecholamine stimulation was observed in only endurance runner group. In contrast, blood lactate kinetics was highly correlated with catecholamine responses in both groups. Therefore, during incremental exercise, blood glucose and blood lactate kinetics were maintained by different mechanisms, and blood glucose kinetics may reflect a different physiological parameter than blood lactate kinetics.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：漸増負荷テスト 血糖値の動態 持久性運動能力

1. 研究開始当初の背景

漸増負荷運動中の血中乳酸値の動態には、ある強度に達すると急激に上昇し始める閾値（乳酸性作業閾値）が存在し、持久性運動能力の評価指標の1つとして広く活用されている (Stallknecht et al. 1998, Iwaoka et al. 1988). 近年、漸増負荷運動中の血糖値にも血中乳酸値と同様に運動強度に対する上昇閾値（血糖上昇閾値）があることが報告され、乳酸性作業閾値と同様の指標として活用できる可能性が報告されている (Simões et al. 1999, Simões et al. 2003, Ribeiro et al. 2004, Sotero et al. 2009). しかしながら、これらの先行研究では、血糖上昇閾値と乳酸性作業閾値の運動強度の関係性については検討しているが、漸増負荷運動中の血糖値と血中乳酸値の上昇メカニズムの相違については検討されていない。

我々は、長距離ランナーに貯蔵グリコーゲンが通常の状態と低下させた条件で漸増負荷走を行なわせた結果、乳酸性作業閾値には試技間で差は認められないものの、貯蔵グリコーゲンが低下した条件では、運動強度の上昇に対する血糖値の上昇が鈍くなり、血糖上昇閾値が速い走速度に移行することを明らかにした (中村ら, 2011). さらに、血中乳酸値の動態を一致させるように運動負荷を設定し、長距離ランナーに走運動と自転車運動の漸増負荷テストを行なわせた結果、習慣的にトレーニングを行なっている走運動では漸増負荷テスト時の血中乳酸値と血糖値の動態が一致するのに対し、トレーニング習慣の無い自転車運動では運動強度が上昇しても、血糖値の上昇は認められず、血糖上昇閾値が出現しないことを明らかにした (中村ら, 2011). この要因として、走運動と自転車運動における筋の動員パターンの違いが影響していると考えられ、漸増負荷運動中の血糖値の動態には、血中乳酸値の動態とは異なる専門的なトレーニングへの適応状態が反映される可能性が示唆された。しかしながら、これらの研究では血糖値と血中乳酸値の動態の相違とホルモン応答の関係性については検討していないため、漸増負荷運動中の血糖値と血中乳酸値の上昇メカニズムの相違については明らかにすることが出来なかった。

2. 研究の目的

(1) 研究課題 I

漸増負荷走中のホルモン応答に対する血糖値と血中乳酸値の動態の違いについて明らかにすることを目的とした。

(2) 研究課題 II

長距離走のトレーニングが漸増負荷走中のホルモン応答に対する血糖値の動態に与える影響について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 測定方法

①研究課題 I

週に4日以上持続的トレーニング習慣があり、最高酸素摂取量 (VO_{2peak}) が $60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 以上の男性12名 (長距離ランナー8名、トライアスリート4名; 平均値±標準誤差, 年齢 23.1 ± 1.4 歳, 身長 170.7 ± 1.6 cm, 体重 59.8 ± 1.4 kg, VO_{2peak} $66.3 \pm 1.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) を対象に、 VO_{2peak} および $60 \sim 95 \%VO_{2peak}$ の走速度を求めるための漸増負荷走を行ない、その後3~14日の間隔を空けて、 $60 \sim 95 \%VO_{2peak}$ の走速度に設定した漸増負荷走を8ステージ実施した。走速度は1ステージ毎に5%漸増させ、1ステージは3分間とした。測定前には、上腕静脈に留置針を留置し、安静時、各ステージ走行直後に採血を行ない、血糖値、血中乳酸値、アドレナリン、ノルアドレナリンおよびグルカゴンの分析を行なった。漸増負荷走中には、呼気の実験を行ない、各ステージの酸素摂取量、二酸化炭素産生量、呼吸交換比の分析を行なった。

②研究課題 II

対照群8名に研究課題 I と同様の測定を行ない、研究課題 I の長距離ランナー8名 (ランナー群) の測定結果と比較を行なった。ランナー群は4年間以上継続的にトレーニングを行なっており、過去3ヶ月の長距離走のトレーニングが週に4日以上あり、 VO_{2peak} が $60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 以上の男性 (年齢 25.0 ± 1.8 歳, 身長 169.6 ± 2.1 cm, 体重 58.9 ± 1.8 kg, VO_{2peak} $67.9 \pm 1.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) とし、対照群は現在専門的なトレーニングを行なっておらず、過去3ヶ月のランニング回数が週に3日未満、 VO_{2peak} が $60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 未満の男性 (年齢 26.4 ± 1.6 歳, 身長 172.9 ± 1.9 cm, 体重 64.2 ± 2.2 kg, VO_{2peak} $50.8 \pm 1.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) とした。

(2) 分析方法

①研究課題 I

漸増負荷走中の血糖値、血中乳酸値、アドレナリン、ノルアドレナリン、グルカゴンの動態について、走速度を要因とした一元配置の分散分析を行ない、走速度の上昇に対する変化について測定項目間の相違について検討した。また、被験者毎に漸増負荷走中の血糖値とアドレナリン、ノルアドレナリンおよびグルカゴンの相関係数を算出した後、FisherのZ変換を行ないZ値の算出を行なった。血中乳酸値についても同様の分析を行なった。各ホルモンと血糖値、血中乳酸値の平均相関については、各被験者のZ値から重みづけされたZ値を算出し、重みづけされたZ値の平均値を逆変換し算出した。各ホルモンと血糖値、血中乳酸値のZ値の差および平均相関から漸増負荷走中のホルモン応答に対する血糖値および血中乳酸値の動態の関連性の相違について検討した。

②研究課題Ⅱ

漸増負荷走中の血糖値、血中乳酸値、アドレナリン、ノルアドレナリン、グルカゴンの動態について、走速度とグループを要因とした二元配置の分散分析を行ない、各測定項目の走速度の上昇に対する変化の相違についてグループ間で比較した。また、研究課題Ⅰと同様の方法でZ値を算出し、長距離群と対照群に分類し平均相関を算出した。グループ間の各ホルモンと血糖値、血中乳酸値のZ値の差および平均相関から長距離走のトレーニングが、漸増負荷走中のホルモン応答に対する血糖値および血中乳酸値の動態に与える影響について検討した。

なお、結果は全て平均値±標準誤差で示した。

4. 研究成果

(1) 研究課題Ⅰ

走速度の上昇に対し、血糖値、血中乳酸値、アドレナリン、ノルアドレナリンには、有意な上昇が認められるが ($p < 0.05$)、アドレナリン、ノルアドレナリン、血中乳酸値に比べて血糖値が上昇し始める運動強度は高くなった。グルカゴンは他の測定項目と異なり、走速度の上昇に対する有意な変化は認められなかった。

各ホルモンと血糖値、血中乳酸値のZ値について表1に示した。アドレナリン、ノルアドレナリンは、血糖値に比べて血中乳酸値のZ値が有意に高くなったが ($p < 0.01$)、グルカゴンには差は認められなかった。

表1 漸増負荷走中のホルモンと血糖値、血中乳酸値の動態の関連性(Z値)

	血糖値	血中乳酸値	ρ
アドレナリン	1.1±0.2	2.0±0.1	**
ノルアドレナリン	1.2±0.2	2.6±0.2	**
グルカゴン	-0.1±0.2	-0.1±0.1	ns

** $p < 0.01$

各ホルモンと血糖値、血中乳酸値の動態の平均相関を比較すると、血中乳酸値はアドレナリン ($r = 0.96$)、ノルアドレナリン ($r = 0.99$) と非常に高い関係性が認められ、血糖値はアドレナリン ($r = 0.80$)、ノルアドレナリン ($r = 0.83$) と高い関係性が認められた(図1, 2)。グルカゴンとの間には、血糖値 ($r = -0.09$)、血中乳酸値 ($r = -0.13$) ともに関係性は認められなかった。

運動中の血糖値は、中強度の運動まではインスリンとグルカゴンによって一定の濃度に保つように調整されるのに対し(Jenkins et al. 1986)、高強度の運動ではカテコラミン(アドレナリン、ノルアドレナリン)の上昇に伴い、急激に上昇することが明らかにされている(Kjaer et al. 1986, Sigal et al. 1994)。本研究の漸増負荷走においても、血糖値の動態にグルカゴンが与える影響は小さく、カテコラミンの上昇に伴い血糖値が上

昇した。このことから、漸増負荷運動中の血糖値は、高強度運動中の血糖値の上昇と同じメカニズムで上昇すると考えられた。一方、本研究では血中乳酸値に比べると血糖値とカテコラミンの関係性は低くなっており、漸増負荷運動中の血糖値の上昇は、血中乳酸値と異なりカテコラミンの上昇以外の要因が存在すると推察された。先行研究では(Coggan et al. 1995)、高強度運動中の血糖値の上昇がトレーニング者に特異的に出現することが報告されている。また、我々は長距離ランナーがトレーニング習慣の無い自転車運動を行なっても、運動強度の上昇に対する血糖値の上昇が認められないことを明らかにした(中村ら, 2011)。これらのことから、漸増負荷運動中のカテコラミンの上昇に対する血糖値と血中乳酸値の動態は、トレーニング状態によって異なる変化をすると推察され、研究課題Ⅱではこの点について検討した。

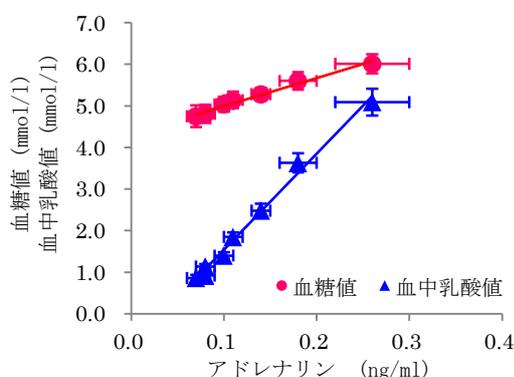


図1 漸増負荷走中のアドレナリンと血糖値、血中乳酸値の動態の関係性

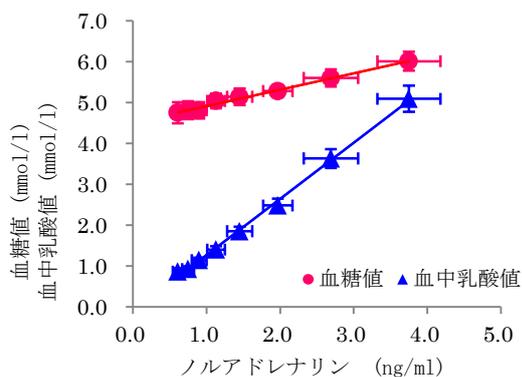


図2 漸増負荷走中のノルアドレナリンと血糖値、血中乳酸値の動態の関係性

(2) 研究課題Ⅱ

漸増負荷走中の血中乳酸値、アドレナリン、ノルアドレナリンは、ランナー群および対照群ともに走速度の上昇に伴い、有意な上昇が認められるが ($p < 0.05$)、血糖値はランナー群のみで有意な上昇が認められ ($p < 0.05$)、対照群では有意な変化は認められなかった。グルカゴンは、両群ともに有意な変化は認められなかった。

各ホルモンと血糖値、血中乳酸値のZ値について表2, 3に示した。血糖値については、ノルアドレナリンおよびアドレナリンのZ値が対照群に比べてランナー群で有意に高くなったが ($p < 0.05$)、グルカゴンには群間に有意差は認められなかった。一方、血中乳酸値については、いずれの項目も群間に有意差は認められなかった。

表2 トレーニング状態の違いと漸増負荷走中のホルモンと血糖値の動態の関連性(Z値)

	ランナー群	対照群	p
アドレナリン	1.1±0.2	0.3±0.2	*
ノルアドレナリン	1.2±0.2	0.3±0.2	*
グルカゴン	-0.1±0.2	0.0±0.1	ns

* $p < 0.05$

表3 トレーニング状態の違いと漸増負荷走中のホルモンと血中乳酸値の動態の関連性(Z値)

	ランナー群	対照群	p
アドレナリン	1.8±0.1	1.7±0.2	ns
ノルアドレナリン	2.6±0.2	2.4±0.2	ns
グルカゴン	0.0±0.2	0.2±0.2	ns

各ホルモンと血糖値の平均相関は、長距離群ではアドレナリン ($r = 0.80$)、ノルアドレナリン ($r = 0.82$) と高い関係性が認められるが、対照群ではアドレナリン ($r = 0.32$)、ノルアドレナリン ($r = 0.26$) とともに低い関係性となった (図3, 4)。

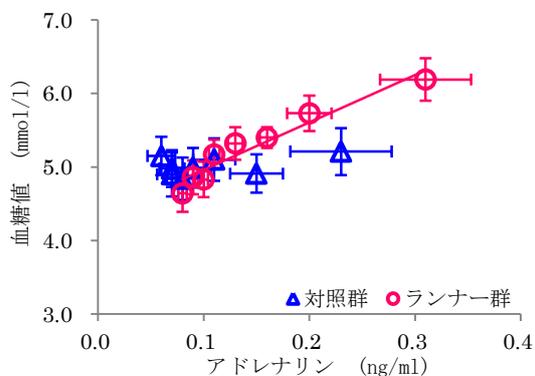


図3 トレーニング状態の違いと漸増負荷走中のアドレナリンと血糖値の動態の関係性

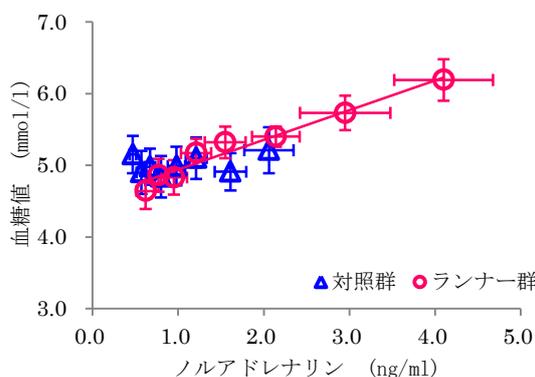


図4 トレーニング状態の違いと漸増負荷走中のノルアドレナリンと血糖値の動態の関係性

一方、各ホルモンと血中乳酸値の平均相関は、両群ともにアドレナリン (長距離群 $r = 0.95$, 対照群 $r = 0.94$)、ノルアドレナリン (長距離群 $r = 0.99$, 対照群 $r = 0.98$) と非常に高い関係性が認められた (図5, 6)。

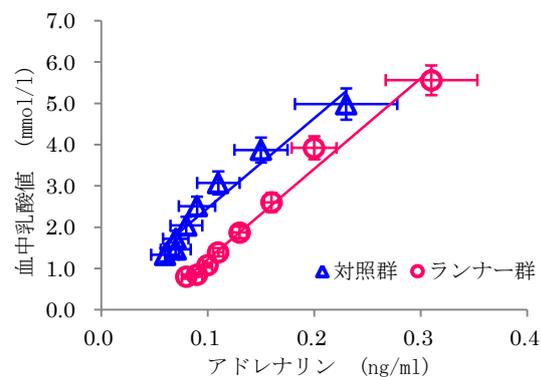


図5 トレーニング状態の違いと漸増負荷走中のアドレナリンと血中乳酸値の動態の関係性

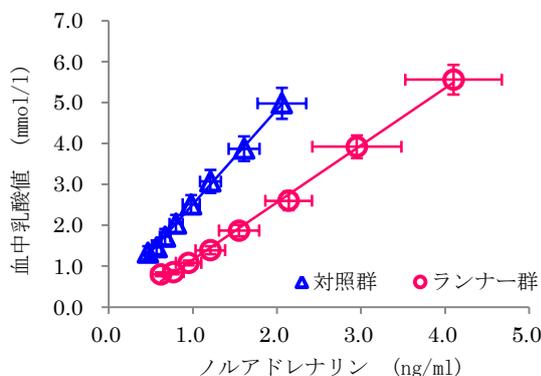


図6 トレーニング状態の違いと漸増負荷走中のノルアドレナリンと血中乳酸値の動態の関係性

グルカゴンについては、トレーニング状態に関わらず血糖値 (長距離群 $r = -0.09$, 対照群 $r = 0.00$)、血中乳酸値 (長距離群 $r = -0.04$, 対照群 $r = 0.16$) とともに関係性は認められなかった。

本研究結果から、漸増負荷運動中のカテコラミン上昇に対する血糖値の上昇は、トレーニング者のみに特異的に出現することが明らかとなった。このことから、漸増負荷走中の血糖値の動態は、カテコラミンの動態の影響だけではなく、トレーニング状態によって変化すると考えられ、血中乳酸値の動態とは異なるメカニズムによって調整されているといえる。

以上のことから、漸増負荷運動中の血糖値の動態は、専門的なトレーニングを行なうことによって、カテコラミンに対する反応が血中乳酸値の動態に近くなると考えられ、血中乳酸値とは異なる持久性運動能力の評価指標になると考えられた。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計4件)

1. 中村和照, 仙石泰雄, 鍋倉賢治: フルマラソンの走速度と漸増負荷テスト時の血糖値および血中乳酸値の動態との関係性. 第63回日本体育学会大会, 東海大学湘南キャンパス, 2012.8.24
2. 中村和照, 白井祐介, 仙石泰雄, 鍋倉賢治: フルマラソンレースの相対的運動強度と漸増負荷テスト時の血糖値および血中乳酸値の動態の関係性. 第67回日本体力医学会大会, 長良川国際会議場, 2012.9.15
3. 中村和照, 仙石泰雄, 渡部厚一, 白井祐介, 鍋倉賢治: 漸増負荷走時のホルモン応答に対する血糖値と血中乳酸値の動態の違いについて. 第64回日本体育学会大会, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 2013.8.30
4. 中村和照, 仙石泰雄, 渡部厚一, 緒形ひとみ, 白井祐介, 鍋倉賢治: トレーニングが漸増負荷走時のホルモンと血糖値の動態に与える影響. 第68回日本体力医学会大会, 日本教育会館, 2013.9.21

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 和照 (NAKAMURA, KAZUTERU)
茨城キリスト教大学・生活科学部・准教授
研究者番号: 10613292

(2) 研究分担者

(3) 研究連携者

(4) 研究協力者

鍋倉 賢治 (NABEKURA, YOSHIHARU)
筑波大学・体育系・教授
研究者番号: 60237584

渡部 厚一 (WATANABE, KOUICHI)
筑波大学・体育系・准教授
研究者番号: 30447247

仙石 泰雄 (SENGOKU, YASUO)
筑波大学・体育系・助教
研究者番号: 30375365

緒形 ひとみ (OGATA, HITOMI)
筑波大学・体育系・特別研究員 (RPD)
研究者番号: 80455930

白井 祐介 (SHIRAI, YUSUKE)
筑波大学大学院・人間総合科学研究科・体育科学専攻