

機関番号：34315

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700661

研究課題名（和文）セントラルコマンドがレジスタンス運動時の内分泌応答に及ぼす影響

研究課題名（英文）Influences of central command on endocrine responses to resistance exercise

研究代表者

後藤 一成（GOTO KAZUSHIGE）

立命館大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：60508258

研究成果の概要（和文）：

本研究では、レジスタンス運動時における同化ホルモンと異化ホルモンの分泌亢進に対する中枢性（セントラルコマンド）と末梢性（筋代謝物の蓄積に伴う活動筋からのフィードバック）の要因の関与を比較した。その結果、成長ホルモンやコルチゾールの分泌には末梢性の要因の関与が大きい一方で、テストステロンの分泌には中性性の要因の関与の大きいことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The present study has examined influences of neural factor (central command) and peripheral factor (feedback from working muscle with accumulation of metabolites) on anabolic and catabolic hormone responses to resistance exercise. The findings suggest that peripheral factor plays an important role in stimulating growth hormone and cortisol secretions, whereas testosterone secretion appears to be mainly regulated by neural factor.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：運動生理学、トレーニング科学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 / スポーツ科学

キーワード：レジスタンス運動、同化ホルモン、異化ホルモン、血中乳酸、フィードバック

## 1. 研究開始当初の背景

高齢化と同時に省力化が進む現代社会において、加齢や活動量の減少に伴う筋量の低下を防ぐことは、健康で自立した生活を送るために重要である。そのため、習慣的なレジスタンストレーニング（筋力トレーニング）の実施が対象や年代を問わずに推奨されている。一方、チャンピオンを目指すアスリートにおいて、最大筋力や筋パワーは筋断面積と関連することから、トレーニングにより筋断面積（筋量）を増加させることは競技力向

上を目指す上で重要な要因となる。

レジスタンストレーニングによる筋肥大に影響する要因の一つとして、成長ホルモンやテストステロンといった筋タンパク合成促進作用をもつホルモン（同化ホルモン）の分泌亢進が挙げられている。申請者はこの点に着目して、これまで一過性のレジスタンス運動に対する同化ホルモンの分泌応答を検討してきた。その結果、筋肥大に有効な負荷方法によりレジスタンス運動を実施した際には、運動後約1時間にわたり血中成長ホ

ルモンやテストステロン濃度が顕著に上昇すること（後藤、2004；Goto et al. 2005a, 2007ab, 2008） 運動後におけるこれらのホルモン（特に成長ホルモン）濃度の上昇はトレーニングによる筋肥大の程度とよく関連すること（Goto et al. 2004, 2005b）などを明らかにしてきた。しかし、上述のような同化ホルモンの分泌増大を惹起する主要因は明確にされていない。仮に、このことを明らかにすることができれば、レジスタンストレーニングを構成する数ある要因の中から必要なものを抽出し、最小限の労力で最大の効果を得ることが可能になると考えられる。

さて、運動時の代謝（酸素摂取量など）・循環（血流量、血圧など）調節には、脳からの運動指令（セントラルコマンド）および活動筋の代謝受容器からのフィードバック（求心性）刺激が相互に関与することが知られている（Kjaer et al. 1999）。なお、上述のような代謝・循環系に加えて、運動時には内分泌系が活性化し（各種ホルモンの分泌亢進）これらのホルモンは活動筋でのグルコースの取り込み（糖代謝）やタンパク合成の増加（タンパク代謝）脂質分解（脂質代謝）などを引き起こす。この際、運動による内分泌応答の亢進に対する「セントラルコマンド」と「活動筋由来のフィードバック」の貢献度は興味のあるところである。一方、エアロビック（有酸素）運動時に、硬膜外麻酔により活動筋由来のフィードバック刺激を遮断した場合でも、運動時の成長ホルモンやインスリンの分泌亢進に影響はみられない（Kjaer et al. 1987） 神経伝達物質の部分遮断により運動時のセントラルコマンドを増加させた場合には、成長ホルモンやカテコールアミンの一層の分泌亢進が生じる（Kjaer et al. 1987）ことを考慮すると、エアロビック運動時の同化ホルモンの分泌亢進にはセントラルコマンドがより重要であると考えられる。これらに対して、「レジスタンス運動による内分泌系の活性化には、筋代謝受容器からのフィードバック刺激が主要因である」という仮説が近年、注目されている。たとえば、運動時に血液循環を適度に制限し活動筋での代謝物の蓄積を助長することによって、きわめて低負荷のレジスタンス運動であっても成長ホルモン（Pierce et al. 2006）やカテコールアミン（Takarada et al. 2000a）の分泌が強く刺激され、長期トレーニングにより顕著な筋肥大が生じる（Takarada et al. 2000b, 2002）。これら一連の知見は、レジスタンス運動時の同化ホルモンの分泌亢進には活動筋からのフィードバック刺激（筋代謝受容器反射）がより重要である可能性を強く示唆している。しかし、レジスタンス運動時の内分泌応答に対する

「セントラルコマンド」と「活動筋由来のフィードバック刺激」の貢献度を体系的に検討した研究はほとんどない。

## 2. 研究の目的

レジスタンス運動時における各種ホルモン、特に、タンパク合成に関連した同化ホルモンや異化ホルモンの分泌動態に対する「セントラルコマンド」の影響を明らかにすること。

## 3. 研究の方法

（1）成人男性9名を対象に、一過性のレジスタンス運動を負荷した。運動はスクワットおよびレッグエクステンションの2種目とし、最大挙上重量の約70%の負荷に対し、各セット10回の反復を5セット実施した。セット間の休息時間は1分とした。運動前、運動終了直後～120分後まで前腕静脈より連続的に採血し、血中乳酸および各種ホルモン濃度（成長ホルモン、フローテストステロン、インスリン、コルチゾールなど）血中逸脱酵素など（クレアチンキナーゼ、ミオグロビン）を測定した。また、運動前後に等尺性最大膝伸展筋力（最大筋力）を測定し、運動前後での最大筋力の低下率（fatigue index）を算出した。

なお、fatigue indexの算出には以下の計算式を用いた。

Fatigue index (%) = ((運動後の測定値 - 運動前の測定) / 運動前の測定) × 100

（2）健康な男性10名を対象に、全身への9種目（チェストプレス、ラットプルダウン、シーテッドローイング、レッグプレス、ニーエクステンション、ショルダープレス、アームカール、トライセプスプレスダウン、カープレイズ）のレジスタンス運動を負荷し、各種ホルモンの分泌動態（運動終了8時間後まで）や最大筋力の変化を検討した。負荷には最大挙上重量の約70%を用い、10回の反復を各種目ともに3～5セット実施した。セット間の休息時間はすべて90秒とした。運動前、運動終了8時間後まで前腕静脈より連続的に採血をし、各種ホルモン濃度の変化を検討した。なお本研究では、1日の中での分泌量の変動が大きい「ストレスホルモン」ではなく、分泌量の変動（日内変動）の小さい、テストステロンやインスリン様性成長因子1の変化に焦点をあてた。また、筋損傷の間接指標であるクレアチンキナーゼやミオグロビン濃度の変化についても検討した。運動前、運動終了後8時間まで経時的に上肢および下肢の最大筋力を測定した。下肢の最大筋力については、Biodex system4を用いて、等尺性最大膝伸展筋力を測定した。また、レッグプレス時の最大発揮パワーも併せて測定した。

#### 4. 研究成果

(1) 運動後には血中乳酸、グルコース濃度および各種ホルモン(成長ホルモン、フリーテストステロン、インスリン、コルチゾール)濃度の顕著な上昇が認められた。なお、成長ホルモン、フリーテストステロン、コルチゾールの各血中濃度は、それぞれ運動終了後20分(成長ホルモン)、運動終了後5分(フリーテストステロン)、運動終了後20分(コルチゾール)に最高値を示し、これらのタイムコースはこれまでに報告された多くの先行研究と同様であった。次に、血中乳酸濃度の濃度曲線下面積(Area under curve; AUC)と各種ホルモンの濃度のAUCの関係を検討したところ、成長ホルモンとコルチゾールにおいていずれも有意な正の相関関係が認められた。一方、fatigue indexと各種ホルモンのAUCとの関係を検討したところ、いずれの項目についても有意な相関関係は認められなかった。レジスタンス運動時には活動筋におけるグリコーゲンの分解に伴い乳酸が産生される。したがって、血中乳酸濃度のAUCは運動に伴う筋代謝物の蓄積を反映し、「末梢性の要因」と位置づけられる。一方、fatigue indexには中枢性の要因(セントラルコマンド)と末梢性の要因(筋代謝物の蓄積)の双方が関与していると考えられる。したがって、本研究の結果は、レジスタンス運動に伴う成長ホルモンとコルチゾールの分泌には、特に「末梢性の要因」の影響が大きいことを示唆するものである。

なお、本研究で対象とした成長ホルモンやコルチゾールは各種ストレスに対して分泌量が大きく変化する「ストレスホルモン」として知られ、1日の中での濃度変化も比較的大きい。したがって今後は、1日の中での濃度変化の小さいホルモンにおいても、同様の検討を加えることが必要であると考えられる。また、今回確認をした一過性の運動に対する各種ホルモンの分泌動態の多寡が、運動後における筋機能の回復や長期のトレーニング効果と関連するか否かも検討する必要がある。

(2) レジスタンス運動に伴い血中乳酸濃度は顕著に増加したが、その増加の程度に個人差がみられた。一方、運動に伴う血中乳酸濃度の増加とフリーテストステロンおよびインスリン様成長因子1濃度の変化の間に有意な相関関係はみられなかった。フリーテストステロンやインスリン様成長因子1は成長ホルモンと並ぶ代表的な同化ホルモンであるが、レジスタンス運動に伴う分泌増大に対する「末梢性の要因」の影響は小さく、「中枢性の要因」の関与が大きいものと考えられる。

本研究の結果を踏まえると、レジスタンス

運動に伴う各種ホルモンの分泌増大に対する「中枢性の要因」と「末梢性の要因」の貢献は、ホルモンの種類により異なると考えられる。したがって、今後は、これら両要因を個別に、あるいは、双方を同時に刺激することのできる負荷方法を提案することが必要であろう。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

Nielsen R, Doessing S, Goto K, Holm L, Agergaard J, Schjerling P, Flyvbjerg A, Kjaer M. GH receptor blocker administration and muscle-tendon collagen synthesis in humans. Growth hormone and IGF research, 2011 (印刷中・掲載確定) 査読有

Goto K, Tanaka K, Ishii N, Uchida S, Takamatsu K. A single versus multiple bouts of moderate-intensity exercise for fat metabolism. Clinical Physiology and Functional Imaging, 31(3):215-220, 2011. 査読有

Goto K, Maemura H, Takamatsu K, Ishii N. Hormonal responses to resistance exercise after ingestion of carnosine and anserine. Journal of Strength and Conditioning Research, 25 (2):398-405, 2011. 査読有

Goto K, Ishii N, Kizuka T, Kraemer RR, Hoday Y, Takamatsu K. Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. European Journal of Applied Physiology, 105:731-739, 2009. 査読有

Goto K, Doessing S, Nielsen R, Flyvbjerg A, Kjaer M. Growth hormone receptor antagonist treatment reduces exercise performance in young males. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 94: 3265-3272, 2009. 査読有

[学会発表](計6件)

後藤 一成: 1日2回のトレーニングによるオーバーリーチングが内分泌応答に及ぼす影響、日本体育学会第61回大会、平成22年9月10日、中京大学(愛知県)。

Goto K: Effects of growth hormone receptor antagonist on inflammatory responses to exercise. 57<sup>th</sup> American College of Sports Medicine, 平成22年6月4日、アメリカ ボルチモア。

後藤 一成: 運動時の代謝・内分泌応答

を手がかりにしたトレーニング科学.日本女子体育大学付属基礎体力研究所開所 20周年記念公開研究フォーラム、平成 21 年 11 月 28 日、日本女子大学(東京都).

後藤 一成：競技力向上と健康維持増進をねらいとしたトレーニングの科学.早稲田大学総合研究機構スポーツ科学未来研究所設立記念シンポジウム、平成 21 年 11 月 14 日、早稲田大学(東京都).

後藤 一成：レジスタンス運動とエアロビック運動の至適な実施順序・代謝・内分泌応答からみた検討.第 64 回日本体力医学会、平成 21 年 9 月 19 日、朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター(新潟県).

後藤 一成：レジスタンス運動に対する内分泌応答亢進の要因・筋代謝物蓄積の影響.第 64 回日本体力医学会、平成 21 年 9 月 18 日、朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター(新潟県).

〔図書〕(計 2 件)

後藤 一成：第 6 章筋力トレーニングの実際「スポーツサイエンス入門」、丸善、2010、総ページ数 254 (担当ページ：66-76)。

Goto K: Optimal physiological stress for strength adaptation. 「Advance in neuromuscular physiology of motor skills and muscle fatigue」編 Shinohara M, research Signpost: 437-457, 2009.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 一成 (GOTO KAZUSHIGE)  
立命館大学・スポーツ健康科学部・准教授  
研究者番号：60508258

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：