

# 自体重スクワット運動時のホルモン応答に対する 発揮張力維持法と全身性振動刺激の影響

76787 小笠原 理紀  
指導教員 安部 孝 特任教授

The purpose of this study was to investigate the effects of slow movement (LST) and whole body vibration (WBV) on hormonal responses, especially growth hormone response to unloaded squat exercise. 8 healthy males participated in this study. Each subject performed 4 conditions: CON trial (concentric contraction (CC): 1sec, eccentric contraction (EC): 1sec), LST trial (CC: 3sec, EC: 3sec), WBV trial and WBV+LST trial. Blood samples were collected at baseline, immediately after, 20 and 60 min after exercise. No differences in hormonal responses were observed between CON and LST trials. In WBV+LST trials, plasma adrenaline concentration was higher than other trials at 20 min after exercise. But, the responses of other hormones were not different between trials. These results indicate that unloaded squat exercise may not create enough exercise stimulus to induce significant hormonal responses even if it is combined with LST and WBV.

Key words: Unloaded resistance exercise, Whole body vibration, Slow movement, Hormone

## 1. 緒言

レジスタンス運動(筋力トレーニング)は、筋機能の維持・向上のための有効な手段であることが知られている。また、筋肥大を目的にレジスタンス運動を行う場合には、運動の強度が重要であり、最大挙上重量(1RM)の65%以上の負荷を用いなければ、明らかな効果は見られないと考えられている<sup>1)</sup>。このような高い強度のレジスタンス運動を行うと、運動後に成長ホルモン(GH)濃度が顕著に増加することが知られている。GHはタンパク同化作用を有することから、GH濃度の増加が筋肥大に貢献することが期待され、筋肥大を目的とした運動の重要な評価指標のひとつと考えられている。しかし、運動によるGHの分泌も運動強度依存的であると考えられていることから、GH濃度を顕著に高めるためにも高い強度が求められる<sup>2)</sup>。このような高強度のトレーニングを行うことは身体的な負担が大きく、高齢者や関節などに疾患を抱えるものでは実施が困難である。また、多くの一般健常者にとっても高いモチベーションが求められることから、実施が困難であるのが現実である。さらに、強い負荷をかけるためには、バーベルやダンベルなどの重量物を持つ必要があり、簡便性や安全面での課題もある。

一方、レジスタンス運動にはバーベルやダンベルなどの重量物を用いて負荷をかける方法の他に、腕立て伏せやスクワットのように自体重を利用して行う方法がある。自体重を用いたレジスタンス運動は、負荷の大きさを調節しにくいなどの欠点がある一方で、重量物を持たなくてよいなど簡便性や安全性の面で優れているため、一般に取り組みやすいレジスタンス運動であると考えられる。しかし、たとえば自体重を用いてスクワット運動を行った場合の運動強度は、一般健常者において最大筋力の30%程度であると考えられるため、GHの反応も小さく、従来の運動強度を参考にした基準からすると筋肥大効果は得られにくいと考えられる。

しかし近年は、筋肥大の指標であるGHの反応に運動の動作速度も関係しているという報告がある。たとえば、筋の発揮張力を維持するようにゆっくりと動作を行うこと(発揮張力維持法: LST)で、最大筋力の40~50%程度の負荷においても最大筋力の70~80%程度の負荷でレジスタンス運動を行った後に見られるGH濃度に匹敵する顕

著な増加が見られたことが報告されている<sup>3)</sup>。したがって、自体重スクワット運動でも、動作をゆっくりと行うことでGHの反応が高まる可能性が考えられた。

一方、全身性振動刺激(WBV)と呼ばれる、対象者が足底部の振動板から振動刺激を受ける方法が、筋紡錘を刺激し、反射的な筋収縮を引き起こすことで、スクワット運動の主動筋である外側広筋の活動量を増加させることが報告されている<sup>4)</sup>。また、WBVは筋紡錘を介した求心性の入力の増加によって下垂体を刺激し、運動による経路とは無関係にGH応答を増加させる可能性が示唆されている<sup>5)</sup>。

したがって、本来ホルモン応答が期待できない自体重スクワット運動においても、動作をゆっくりと行うこと(LST)でホルモン応答が高まる可能性が考えられた。さらに、WBVを組み合わせることで、より顕著なホルモン応答が見られる可能性が考えられた。

そこで本研究では、自体重スクワット運動をLST法で行った時のホルモン応答に及ぼす影響、さらにはWBV単独の影響およびWBVと自体重LSTスクワット運動の組み合わせがホルモン応答に及ぼす影響について検討することを目的とした。

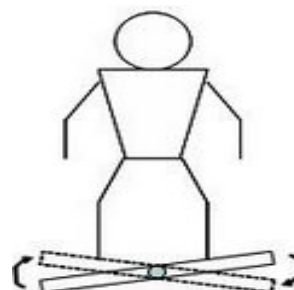


Fig.1 The outline of WBV

## 2. 方法

### 2.1 被験者

健康な男性 8 名(年齢:  $25.9 \pm 3.4$  歳、身長:  $172.8 \pm 5.1$ cm、体重:  $67.8 \pm 9.1$ kg)を被験者とした。被験者には、事前に本研究の目的、意義、方法及び実験に伴う危険性について十分な説明を行い、書面で参加に対する同意を得た。

### 2.2 実験条件

被験者は以下の 4 条件の試行を、それぞれ一週間以上の間隔を空けて実施した。

#### 1)コントロール(CON)条件:

自体重スクワット: 20 回×3 セット、  
セット間休憩 1 分、1 回の動作 2 秒

#### 2)発揮張力維持法(LST)条件:

自体重スクワット: 20 回×3 セット、  
セット間休憩 1 分、1 回の動作 6 秒

#### 3)全身性振動刺激(WBV)条件:

振動数: 31Hz、振幅: 2.5mm、2 分×3 セット  
セット間 1 分

#### 4)LST+WBV 条件

LST 条件でのスクワット運動を WBV 装置上で行う、その時に WBV 条件と同じ振動刺激をあたえた。

### 2.3 実験手順

実験の手順を Fig.2 に示した。

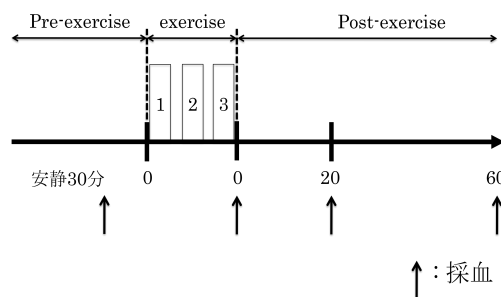


Fig.2 Experimental design

被験者は早朝に 12 時間絶食の状態では実験室に到着し、30 分間安静状態を保った後、看護師が採血を行った。その後各試行を行い、運動直後、運動 20 分後、運動 60 分後に再度採血を行った。

### 2.4 採血および検査項目

採血は肘正中静脈より行い、以下の項目について測定を行った。

- ・運動強度指標: 血中乳酸
- ・ストレス指標:  
アドレナリン、ノルアドレナリン、コルチゾール
- ・タンパク質合成指標:  
成長ホルモン(GH)、テストステロン
- ・タンパク質分解指標: コルチゾール

### 2.5 データ処理

測定値はすべて平均値と標準偏差で示した。

解析は、以下の 2 つの観点から行った。

- (1) 自体重スクワット運動によるホルモン応答に対する

LST の影響を検討するため、CON 条件と LST 条件を比較した。

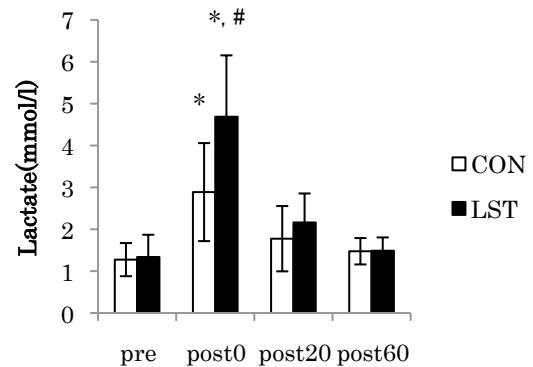
- (2) LST を用いた自体重スクワット運動によるホルモン応答に対する WBV の影響を検討するため、WBV 条件、LST 条件および WBV+LST 条件を比較した。統計解析における有意水準は 5% とした。

## 3 結果

### 3.1 自体重スクワット運動によるホルモン応答に対する LST の影響

#### 3.1.1 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、CON 条件において運動前に比べ、運動直後では有意に高い値を示し、LST 条件ではさらに有意に高い値を示した(Fig.3)。



\* :  $p < 0.01$  VS pre # :  $p < 0.01$  VS CON

Fig.3 Blood lactate concentration

#### 3.1.2 血清 GH 濃度

両条件ともに運動前に比べ運動 20 分後に GH 濃度が増加した。しかし、有意な差は見られなかった(Fig.4)。

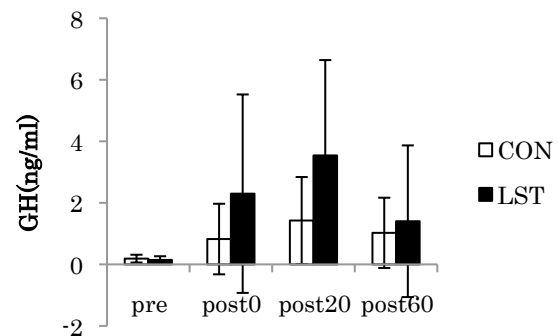


Fig.4 Serum GH concentration

#### 3.1.3 その他のホルモン濃度

血漿アドレナリン濃度と血漿ノルアドレナリン濃度は、LST 条件の方が CON 条件より平均値の変化は大きかったが、有意差は見られなかった(アドレナリン: LST;  $24.8 \pm 9.8$ , CON;  $13.6 \pm 15.8$ , ノルアドレナリン: LST;  $293.4 \pm 166.1$ , CON;  $178.5 \pm 110.4$  単位は  $\mu\text{g/ml}$ )。

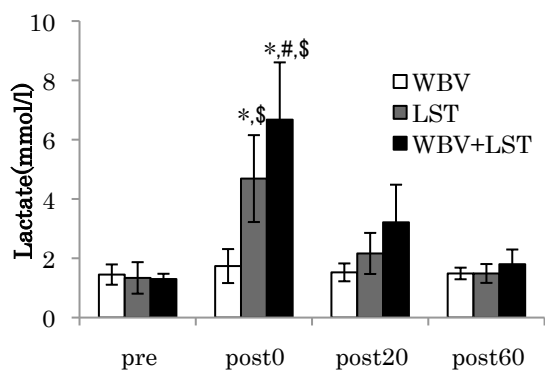
血清コルチゾール濃度は、両条件とも運動開始から運動 60 分後にかけて低下したが、有意差は見られなかった(CON:  $14.8 \pm 3.4$  から  $9.4 \pm 2.8$ , LST:  $13.4 \pm 3.8$  から  $8.4 \pm 1.5$  単位は  $\mu\text{g/dl}$ )。

一方、血清テストステロン濃度は、両条件ともに変化は見られなかった。

### 3.2 LST を用いた自体重スクワット運動によるホルモン応答に対する WBV の影響

#### 3.2.1 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、WBV 条件では明らかな変化を示さなかったが、LST 条件では運動前と比べて運動直後に有意に増加し、WBV+LST 条件ではさらに増加が見られた (Fig.5)。



\* :  $p < 0.01$  VS pre # :  $p < 0.01$  VS LST  
\$ :  $p < 0.01$  VS WBV

Fig.5 Blood lactate concentration

#### 3.2.2 血中 GH 濃度

運動前の GH 濃度に比べ、WBV 条件、LST 条件、WBV+LST 条件の順に運動後の GH 濃度の平均値は高い値を示す傾向を示したが、個人によるバラツキが大きく、運動による有意な変化は見られなかった (Fig.6)。

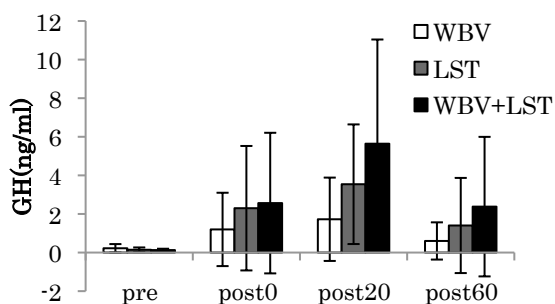


Fig.6 Serum GH concentration

#### 3.2.3 その他のホルモン

血漿アドレナリン濃度は、WBV+LST 条件においてのみ運動前と比べて運動直後有意に上昇した。WBV 条件と LST 条件では、運動前と比べて運動直後に平均値は上昇したものの、有意な変化は見られなかった。

血漿ノルアドレナリン濃度は、LST 条件と WBV+LST 条件において運動前と比べて運動直後有意に上昇した。しかし、WBV 条件では平均値は上昇したものの、有意な変化は見られなかった。

血清コルチゾール濃度は、WBV 条件では明らかな変化は見られず、LST 条件では時間とともに低下し、WBV+LST 条件では運動 20 分後に平均値は上昇したが、条件間に有意な差は見られなかった。

血清テストステロン濃度は、すべての条件で明らかな変化は見られず、有意な変化は見られなかった。

#### 3.2.3 GH 応答の個体差

WBV 条件において、血清 GH 濃度の変化が 2 つのパターンに分かれる傾向を示した。WBV 条件において GH の変化量に増加が見られた 3 名 (被験者 B,C,F) では、LST 条件と組み合わせることで、WBV+LST 条件において、加算的もしくは相乗的な GH 濃度の増加が見られた。一方、WBV 条件において血清 GH 濃度が変化しなかった 5 名 (被験者 A,D,E,G,H) では、LST 条件で血清 GH 濃度が増加していた者でも、WBV+LST 条件において明らかな変化が見られなくなった (Fig.7)。

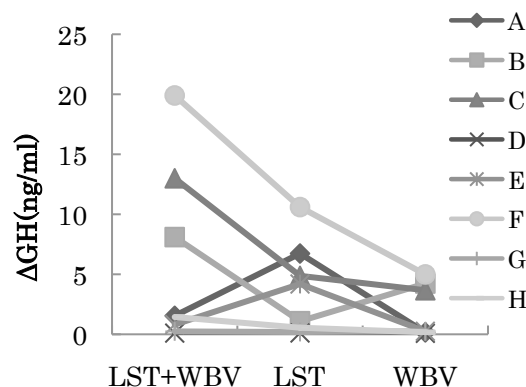


Fig.7 Individual GH responses

#### 3.2.4 GH 濃度とコルチゾール濃度の変化量の関係

LST+WBV、WBV 両条件において血中コルチゾール濃度と血中 GH 濃度の変化量に有意な負の相関関係が見られた (Fig.8)。

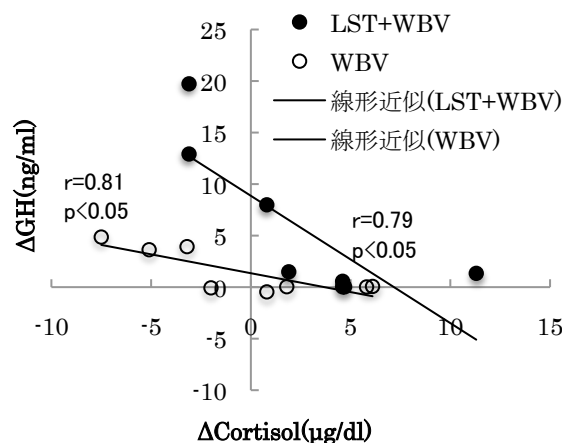


Fig.8 Relationship between  $\Delta$ GH and  $\Delta$ cortisol

## 4 考察

本研究では、自体重でのスクワット運動を発揮張力維持法 (LST) で行った時のホルモン応答、さらには自体重 LST スクワット運動に全身性振動刺激 (WBV) を組み合わせた時のホルモン応答について検討した。最も注目していた血中 GH レベルの変化は、LST を用いた自体重スクワット運動によって上昇傾向は見られたものの、平均値に有意な変化は見られなかった。一方、運動後の GH 濃度のピーク値は、LST 単独条件よりも、LST に WBV を組み合わせることでさらに高まった。しかし、反応に

大きなバラツキが見られ、統計上の有意な変化は見られなかった。

発揮張力維持法(LST)を用いることで顕著な GH の上昇が見られた先行研究では、運動後の血中乳酸濃度にも著しい増加がみられ、その値は高強度レジスタンス運動後に観察されるレベルに匹敵していたことが報告されている<sup>3)</sup>。したがって、LST を用いることで、運動の物理的な負荷は同じでも、運動動作がスローになった分、活動筋に対する負担が高まることで GH 応答は上昇するものと考えられる。本研究では、血中乳酸濃度が自体重スクワット運動(2.9mmol/l)、LST 自体重スクワット運動(4.7mmol/l)、WBV を組み合わせた自体重スクワット運動(6.7mmol/l)の順に有意に増加し、高強度レジスタンス運動の値(8~10mmol/l 程度)に近づいた。したがって、GH の上昇に有意な増加は見られなかったものの、LST を用いること、さらに WBV を用いることで運動ストレスは順に高まり、その順番に GH 濃度の平均値が上昇したものと考えられる。

しかし本研究では、GH 濃度の平均値は上昇したものの、GH 応答に大きな個人差が見られ、統計上有意味な変化は見られなかった。本研究は自体重負荷を用いたため、相対的な負荷に違いがあった可能性が考えられる。また、同一相対強度の運動に対しても、GH 応答には個人差があることが古くから知られている。しかしその一方で、GH 応答は一般的に個人内において運動の強度が上がり、生体へのストレスが高まることで増加すると考えられている<sup>6)</sup>。本研究では、すべての被験者で WBV を組み合わせることで血中乳酸濃度が上昇していたことから、筋の活動量が増加していたと考えられ、生体へのストレスも高まっていたものと推測される。しかし、実際には LST 条件に WBV を組み合わせることで、加算的もしくは相乗的に血清 GH 濃度が増加する者がいた一方で、反対にほとんど増加しない者、さらに LST 単独の条件において血清 GH 濃度が増加していたにもかかわらず反応が全く見られなくなる被験者がいた (Fig.7)。したがって、従来の運動強度依存的な GH 応答とは違う因子が関与した可能性が考えられた。

この反応性の違いの要因として、WBV に対するストレス応答の差異が考えられた。本研究では WBV と LST を組み合わせた条件と WBV 単独の条件において各個人の血清コルチゾール濃度と血清 GH 濃度の変化量の間に有意な負の相関関係が見られた (Fig.8)。過度なストレスは視床下部・下垂体・副腎皮質(HPA)軸を興奮させ、副腎皮質から HPA 軸の最終産物であるコルチゾールを分泌する。コルチゾールの過剰な分泌は GH の分泌を抑制すると考えられている<sup>7)</sup>。さらに、HPA 軸においてコルチゾール分泌の上位にある視床下部から分泌される副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモン(CRH)もソマトスタチンの合成と分泌を刺激し、直接もしくは間接的に成長ホルモン放出ホルモンの分泌を抑制することで GH の分泌を抑制することが報告されている<sup>8)</sup>。したがって、WBV によって HPA 軸の興奮性が高まったものでは GH の分泌が抑制された可能性が考えられる。一方、WBV によって血清コルチゾール濃度が増加しない者は、LST と WBV を組み合わせることで GH の分泌が促進される可能性が示唆された。しかし、これらの関連性に関する詳細なメカニズムについては今後の検討が必要である。

## 5 まとめ

- ・自体重スクワット運動に発揮張力維持法を用いても、GH の反応に有意な変化は見られなかった。
- ・自体重スクワット運動に発揮張力維持法と全身性振動刺激を組み合わせても、GH の反応に大きな個人差が見られ、結果として有意な変化は認められなかった。
- ・全身性振動刺激による HPA 軸の興奮性の個人差が GH 応答の個人差に関与している可能性が示唆された。

## 6 今後の課題と展望

今後は中枢での反応の個人差の検討、さらに反応の個人差が運動を継続した時のトレーニング効果に影響するか否か検討していく必要があるものと考えられた。また、多くの人に取り組みやすいトレーニング方法を提供するために、新たな運動プロトコルの検討が必要であると考えられた。

## 文献

- 1) Kraemer WJ, Ratamess NA: Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 36: 674-688, 2004
- 2) Pritzlaff CJ, Wideman L, Weltman JY, Abbott RD, Gutgesell ME, Hartman ML, Veldhuis JD, Weltman A: Impact of acute exercise intensity on pulsatile growth hormone release in men. *J Appl Physiol* 87: 498-504, 1999
- 3) Tanimoto M, Madarame H, Ishii N: Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between "KAATSU" and other types of regimen. *Int J KAATSU Training Res* 1: 51-56, 2005
- 4) Cardinale M, Lim J: Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res* 17: 621-624, 2003
- 5) Cardinale M, Bosco C: The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev* 31: 3-7, 2003
- 6) Wideman L, Weltman JY, Hartman ML, Veldhuis JD, Weltman A: Growth hormone release during acute and chronic aerobic and resistance exercise: recent findings. *Sports Med* 32: 987-1004, 2002
- 7) Mastorakos G, Pavlatou M, Diamanti-Kandarakis E, Chrousos GP: Exercise and the stress system. *Hormones (Athens)* 4: 73-89, 2005
- 8) Raza J, Massoud AF, Hindmarsh PC, Robinson IC, Brook CG: Direct effects of corticotrophin-releasing hormone on stimulated growth hormone secretion. *Clin Endocrinol (Oxf)* 48: 217-222, 1998