

令和元年6月16日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K16461

研究課題名(和文) 競技力向上の為にトレーニング革命：スラストバックとハイパーベンチレーションの導入

研究課題名(英文) Thrust-back and hyperventilation: new strategies for augmenting training effectiveness

研究代表者

坂本 彰宏 (Sakamoto, Akihiro)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：70615434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、パワートレーニング時に発揮される挙上速度や筋放電などのkinetic要素を最大に引き出すことの重要性や、これを達するための手法(ballistic actions、thrust-back、ハイパーベンチレーション)の効果について検証した。本研究結果により、ballistic actionsやthrust-backがトレーニング中の挙上速度や筋放電を増大させ、トレーニング後のスポーツ競技力、パワー、パワー持久力の向上も実際に増大させることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

競技力の向上を目的とするパワートレーニングを指導する際、一般的に負荷、レップ数、セット数、休憩時間、トレーニング期間などが着目される。またフォームなどのkinematic要素を基にフィードバックが与えられる。これらはマニュアル化され科学的知識を豊富に持たない者が指導に携わり、競技力の向上が満足に得られないケースが多い。本研究により、トレーニング時の速度や力発揮(kinetic要素)に対するフィードバックが重要であることや、これらを最大化することで実際の競技力向上に有効となることが明らかとなった。また、kinetic情報を可視化する為の新たな測定機材やトレーニング器機の開発の必要性を明白にした。

研究成果の概要(英文)：The present study examined the importance of eliciting maximal velocity and muscle activation (kinetic factors) during power training that was designed to improve competitive performance. Strategies for deriving maximal velocity and muscle activation included ballistic actions, thrust-back and hyperventilation-aided recovery. The latter two techniques were originally developed by the investigator. The results showed that the concentric velocity was augmented by ballistic actions and thrust-back, which was successfully translated into improved sport performance, power and power endurance after a long-term training program.

The findings of this study suggests that athletes undergoing power training to improve competitive performance be advised of kinetic outputs (velocity and force outputs), rather than just kinematic figures (e.g., lifting forms or smooth repetitiveness). Development of measurement devices or training equipment may be necessary to disseminate the kinetic strategies.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：パワートレーニング パワー パワー持久力 パフォーマンス 速度 筋放電 トレーニング効果

## 1. 研究開始当初の背景

レジスタンストレーニングの研究や指導では、トレーニング負荷、レップ数、セット数、休息時間が着目され、それらの変化が最大筋力や筋肥大に及ぼす影響が数多く報告されてきた。また現場では kinematic 指導(フォームや姿勢)のみが主に行われている。しかしスポーツ競技においては、様々な慣性負荷に対してより速く(もしくは強く)筋を収縮させる“パワー要素”の向上や、高パワー出力を維持する“パワー持久力の向上”が重要となる。つまりレジスタンストレーニングでは、如何なる負荷に対しても、各レップで最大の力と速度(最大エフォート)を発揮するという kinetic 要素が重視されるべきである。しかしこれらのポイントを厳密に押さえた指導やその方法の周知は従来のレジスタンストレーニング方法において殆どなされていない。

昨今の研究では、高負荷レジスタンストレーニングの際、コンセントリック収縮局面で最大速度を出し切ることでトレーニング後の最大筋力やパワーの向上が、速度を抑えた条件より増大することが明らかとなっている(Padulo et al. 2012; González-Badillo et al. 2014; Pareja-Blanco et al. 2014)。しかし、低～中負荷を使用するスピード系パワートレーニング時に速度を最大化すると、concentric 収縮局面開始時では大きな加速が得られるものの、concentric 収縮終盤で大きな減速が余儀なくされてしまい、可動域全域に渡って筋力を発揮することができない。これによりトレーニング効果の度合いに制限が掛かる。これを解消する為に、バーがレールに沿って上下に可動するスミスマシンを用いて ballistic actions(ベンチプレス投げやスクワットジャンプ)をする事が提案され、通常の挙上動作よりも、加速度や速度、更には筋活動を大幅に増大出来る事が先行研究(Newton et al. 1996)や我々の研究(Sakamoto and Sinclair 2012)で明らかになっている。しかし、以下の3点については未だ明らかとなっておらず、本研究での検証課題となった。

(1) スミスマシンを使用した ballistic training の効果は、最大筋力や単純なパワータスクのみで評価をされており、実際のスポーツパフォーマンスが有意に向上するかについては明らかとなっていない。

(2)我々は、セット間インターバルにハイパーベンチレーション(過呼吸: HV)を行うことで pH 低下からの回復を促進させ、繰り返し最大ペダリング運動のパワー出力低下(疲労)を軽減することに成功した (Sakamoto et al. 2014)。しかし HV による疲労回復促進効果が、どの運動様式で再現されるかについては未だ明らかとなっていない。特に、ballistic training 時の挙上速度に対して、HV が挙上速度低下を軽減できるかについては検証が成されていない。

(3) スミスマシンで ballistic actions を行う場合、垂直方向の pushing 運動に限定される。そこで、ballistic actions の代替策として我々は thrust-back というテクニックを考案した。これは、例えばボクシングのミット撃ちの様に、本人が動作を止めようとするのではなく、パートナーがバーや体部位を静止させる・押し返すことで、ballistic actions をせずとも本人に課せられる減速需要を大幅に軽減できることが期待される手法である。この新たな thrust-back テクニックを用いることで、挙上速度や筋放電を増加できるか、また長期トレーニングプログラムに thrust-back テクニックを採用することでトレーニング効果が増大するかについては明らかとなっていない。

## 2. 研究の目的

本研究は、主に3つの目的から構成される。

**【検証1目的】** Ballistic ベンチプレスをスミスマシン上で行い、通常の高速度ベンチプレスと比べてトレーニング後(24セッション)の1RMと砲丸投げ距離の向上が増大するかについて検証する。

**【検証2目的】** Ballistic training(ベンチプレス投げ & スクワットジャンプ)のセット間リカバリー時にハイパーベンチレーションを行い、セット内で生じる関節角速度の低下を軽減できるか、またセット間リカバリーを促進できるかについて検証する。

**【検証3目的】** Thrust-back テクニックの使用が、レジスタンストレーニング時の関節角速度や筋放電が増大させるか、またトレーニング後(16セッション)の1RM、パワー、パワー持久力の向上を増大させるかについて検証する。

### 3. 研究の方法

#### 【検証1方法】

9名の学生砲丸投げ選手が50、40、30%1RMの負荷で高速ベンチプレス（BP<sub>throw</sub>）を5レップスずつ行った。この際にバーを投げないコントロール条件（BP<sub>non-throw</sub>）とスミスマシン上でバーを全力で投げるBP<sub>throw</sub>条件の2条件を設け、無線型エルゴメータから算出された肘の伸展角速度（ピーク値）を条件間で比較した。また砲丸投げ時の肘伸展角速度を算出し、BP<sub>throw</sub>によって肘の伸展角速度が競技時の角速度にどの程度近づけるかを調査した。その後対象者を2群に分け、BP<sub>non-throw</sub>またはBP<sub>throw</sub>のテクニックを用いて計24セッション（12週間）のトレーニングを処方した。両群ともトレーニング負荷は50、40、30%1RMとして、それぞれの負荷にて20秒×2セット行った（6セット/セッション）。トレーニング効果の評価は1RM重量と砲丸投げ記録とし、24セッション後の変化を両群間で比較した。

#### 【検証2方法】

13名のパワー系学生アスリートが40%1RMの負荷でベンチプレス投げ（BP<sub>throw</sub>）とスクワットジャンプ（SQ<sub>jump</sub>）を全力で12レップス×5セット行った。セット間インターバルはBP<sub>throw</sub>では3分、SQ<sub>jump</sub>では5分とした。この際に、セット間インターバルを通常呼吸にて回復する条件（CON）とインターバルラスト30秒間でハイパーベンチレーションをする条件（HV、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> = 15-25 mmHg）の2条件を設け、無線型ゴニオメータにて算出されたピーク関節伸展角速度（BP<sub>throw</sub>では肘関節、SQ<sub>jump</sub>では膝関節）を条件間で比較した。また、インターバル時に測定された血中 lactate 濃度、pH、PCO<sub>2</sub>においても条件間で比較した。

#### 【検証3方法】

レジスタンストレーニングを日常的に行う19名の学生アスリートがbench press（BP）、seated row（SR）、knee extension（KE）を50、40、30%1RMの負荷で5レップスずつ行った。この際に、thrust-back なし（CON）とあり（TB）の2条件を設け、無線型ゴニオメータで算出されたピーク関節角速度（BPとSRは肘関節、KEは膝関節）と筋電計で計測された放電振幅（BPは大胸筋と上腕三頭筋、SRは三角筋後部と広背筋、KEは外側広筋と内側広筋）を条件間で比較した。

また、レジスタンストレーニング経験者16名をthrust-back なし（CON）とあり（TB）の2群に分け、30%1RMでの高速ベンチプレストレーニングを16セッション（8週間）実施させた。プロトコルは前半8セッションでは15レップス×4セット、後半8セッションでは15レップス×6セットとした。トレーニング効果の評価は1RM、パワー（30%1RMベンチプレス投げを行った際のバー飛距離）、パワー持久力（30%1RMベンチプレス投げを20レップス行った時のバー飛距離低下率）として、条件間で変化の比較をした。

### 4. 研究成果

#### 【検証1成果】

50、40、30%1RM全ての負荷において、BP<sub>throw</sub>は肘のピーク伸展角速度を1.7倍増加させた（vs. BP<sub>non-throw</sub>）。30%1RMでの肘伸展角速度はBP<sub>non-throw</sub>とBP<sub>throw</sub>でそれぞれ502.8°/s vs. 854.7°/sであった。一方で砲丸投げ時の角速度は1539.1°/sであった。24セッションのトレーニング後、BP<sub>non-throw</sub>群では1RMと砲丸投げの距離に変化は観られなかった。しかし、BP<sub>throw</sub>群は1RM（+10.0%）と砲丸投げの距離（+3.8%）に有意な向上が観られ、ballistic actionsは実際のスポーツ競技力の向上に有効なテクニックであることが示された。また、同じトレーニングを行ったとしても、力や速度を最大に発揮できたか否かでトレーニング効果が大きく変化することを支持する結果が得られた。

#### 【検証2成果】

BP<sub>throw</sub>とSQ<sub>jump</sub>共に、ピーク関節角速度はレップ数やセット数の経過に伴って有意に低下した（疲労）。ハイパーベンチレーション条件（HV）はCONと比べてPCO<sub>2</sub>が低くpHは高かったが、関節角速度低下に対する呼吸条件（CON vs. HV）の影響は認められなかった。無酸素性エネルギー供給チャレンジの指標となる血中 lactate 濃度においても呼吸条件間で差が観られなかった。Ballistic trainingは高速度・高出力の筋収縮を経験することが目的である為、一般的にはセット間インターバルが長く、各セットで疲労困憊（lifting failure）まで継続することはしない。本実

験においても、3 - 5 分のインターバルが与えられ、各セット 12 レップスという固定回数が処方された。その為、アスリート被験者は通常の呼吸でも回復が出来た可能性がある。本研究により、ハイパーベンチレーションを利用したリカバリーの促進効果は運動様式に応じて異なることが示唆された。

### 【検証 3 成果】

全ての対象運動(Bench press(BP)、seated row(SR)、knee extension(KE))において関節角速度が thrust-back(TB)により 1.07 - 1.17 倍増加することが分かった(vs. CON)。また全ての運動と対象筋群で、TB による筋放電振幅の増加が観られた(vs. CON)。筋放電振幅の増加は特にコンセンリック局面の中盤から終盤で観測された。

16 セッションに渡る 30%1RM 高速ベンチプレストレーニングの効果について、1RM は CON 群(+6.4%)と TB 群(+12.9%)共に向上が観られたが、向上の度合いに群間で有意な差は認められなかった。しかし、パワー(+7.2 vs. +17.0%)とパワー持久力(-2.8% vs. +18.2%)の向上は CON 群よりも TB 群の方が大きかった。本研究により、thrust-back で得られる速度や筋放電振幅の増加は、トレーニング効果の増大(特にパワーやパワー持久力向上の増大)として反映されることや、スミスマシンを必要とする ballistic action の代わりに thrust-back を新たなテクニックとして活用できることが明らかとなった。

### References

- González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, Pareja-Blanco F (2014) Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *European Journal of Sport Science* 14 (8):772-781.
- Newton RU, Kraemer WJ, Hakkinen K, Humphries BJ, Murphy AJ (1996) Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *Journal of Applied Biomechanics* 12 (1):31-43.
- Padulo J, Mignogna P, Mignardi S, Tonni F, D'Ottavio S (2012) Effect of different pushing speeds on bench press. *International Journal of Sports Medicine* 33 (5):376-380.
- Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, González-Badillo JJ (2014) Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International Journal of Sports Medicine* 35 (11):916-924.
- Sakamoto A, Naito H, Chow CM (2014) Hyperventilation as a strategy for improved repeated sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (4):1119-1126.
- Sakamoto A, Sinclair PJ (2012) Muscle activations under varying lifting speeds and intensities during bench press. *European Journal of Applied Physiology* 112 (3):1015-1025.

### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Sakamoto A, Kuroda A, Sinclair PJ, Naito H, Sakuma K. “The effectiveness of bench press training with or without throws on strength and shot put distance of competitive university athletes” *European Journal of Applied Physiology* 118(9): 1821-1830, 2018. (査読有り)

DOI: 10.1007/s00421-018-3917-9.

Sakamoto A, Naito H, Chow CM. “Effects of hyperventilation on repeated pedaling sprint performance: short vs. long intervention duration” *Journal of Strength and Conditioning Research* 32(1): 170-180, 2018. (査読有り)

DOI: 10.1519/JSC.0000000000001789

Sakamoto A, Naito H, Chow CM. “Hyperventilation-induced respiratory alkalosis has little effect in attenuating the reduction of lifting velocity during repeated maximum bench press throws and squat jumps” *Juntendo Medical Journal* 64(Suppl.1): 118, 2018. (査読無し)

DOI: 10.14789/jmj.2018.64.JMJ18-P413

Sakamoto A, Sinclair PJ, Naito H. “Strategies for maximizing power and strength gains in isoinertial resistance training: implications for competitive athletes” *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 5(2): 153-166, 2016. (査読有り)

DOI: 10.7600/jpfsm.5.153

Sakamoto A, Naito H, Chow CM. “Hyperventilation-induced respiratory alkalosis falls short of countering fatigue during repeated maximal isokinetic contractions” *European Journal of Applied Physiology* 115(7): 1453-1465, 2016. (査読有り)

DOI: 10.1007/s00421-015-3134-8

〔学会発表〕(計 14 件)

Sakamoto A, Naito H, Chow CM. “Hyperventilation-induced respiratory alkalosis did not attenuate the reduction of velocity during repeated maximum bench press throws and squat jumps” *Sports Medicine Australia Conference, Perth, Australia, 2018.* (国際学会)

坂本彰宏、内藤久士 “ハイパーベンチレーションはベンチプレス投げとスクワットジャンプ時の最大挙上速度低下を軽減できるか？” 第 72 回日本体力医学会大会、愛媛、2017. (国内学会)

坂本彰宏、内藤久士 “スラストバックによるパワートレーニング効果の増大化” 第 71 回日本体力医学会大会、岩手、2016. (国内学会)

Sakamoto A, Sinclair PJ, Naito H. “Thrust-back: a new strategy for reducing concentric deceleration during power training” *Sports Medicine Australia Conference, Melbourne, Australia, 2016.* (国際学会)

Sakamoto A, Kuroda A, Sakuma K. “Ballistic projectile motion is essential during power training to enhance shot-put performance” *Sports Medicine Australia Conference, Melbourne, Australia, 2016.* (国際学会)

〔その他〕

ホームページ等

順天堂大学 研究者情報データベース

<https://www.juntendo.ac.jp/graduate/kenkyudb/search/researcher.php?MID=6020>

## 6 . 研究組織

(1)研究分担者 (無し)

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）:

(2)研究協力者

研究協力者氏名：Chin-Moi Chow

ローマ字氏名：

研究協力者氏名：Peter James Sinclair

ローマ字氏名：

研究協力者氏名：内藤 久士

ローマ字氏名：(NAITO HISASHI)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。