

平成 21 年 6 月 30 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006 年度～ 2008 年度

課題番号：18700522

研究課題名（和文）

バリスティックトレーニングは健康の維持増進のためのトレーニングになり得るか

研究課題名（英文）

Can ballistic training become training for the maintenance and improvement of health?

研究代表者

北田 耕司（KITADA KOJI）

石川工業高等専門学校・一般教育科・准教授

研究者番号：70280378

研究成果の概要：

安全で効果的なバリスティックトレーニングプログラムを開発するため、検証を行なった。その結果、①自重がかかるトレーニング種目でバリスティック動作を行なった場合、低負荷でも大きな力発揮が実現できる、②同一仕事量であっても高負荷でゆっくりとした動作の方が生理的負担は大きくなる、③トレーニング負荷が 30%1RM と 50%1RM で 8 週間のバリスティックトレーニングをした場合、その効果に大きな差はみられないことが明らかとなった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	700,000	0	700,000
2007 年度	800,000	0	800,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	150,000	2,150,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：バリスティック，トレーニング，健康，中高年者

1. 研究開始当初の背景

健康の維持・増進を目的としたレジスタンストレーニングでは、比較的軽い負荷でゆっくりとした動作（スロートレーニング）で行なうのが望ましいとされている。急激に大きな力を発揮するバリスティック動作は主にアスリートのパフォーマンスの向上を目的に利用されているが、筋や腱への負担が大きく傷害が発生しやすいため、一般のトレーニングには不適とされている。しかし、バリスティック動作を利用したトレーニング法は①心血管系への負担が小さい、②酸素摂取量

の増大、③関節可動域の増大、④血中脂質、リポ蛋白プロファイルの改善などの可能性が報告されており、健康の維持・増進に適した要素も多い。筆者はこれまで、バリスティックトレーニングにおける安全な負荷重量について検討してきた（独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金 若手研究（B）：課題番号 15700431）。その結果、血圧値の変化が少なく、スムーズに挙上できる負荷の上限が 60%1RM 程度であることが明らかになった。バリスティックトレーニングでは 60%1RM が安全限界と考えられるが、

60%1RM 以下の軽い負荷でどの程度の効果が得られるかは定かではない。安全で効果的なバリスティックトレーニングのプログラムを開発するための検証が必要である。

2. 研究の目的

本研究はバリスティックトレーニングプログラムを開発する基礎資料を得ることを目的とし、以下の3点について検証を行なった。①自重を伴ったバリスティックトレーニングの力発揮機構について、②負荷重量、動作速度、反復回数といったトレーニング条件の違いが身体機能に及ぼす影響について、③異なる負荷重量で実施したバリスティックトレーニングの効果について。

3. 研究の方法

(1)バリスティック動作における自重の影響

課題はスミスマシーンを用いたスクワット (SQ) およびレッグプレス (LP) とした。被験者は健康な男性 8 名 (19.6±1.8 歳) であった。負荷重量は 15%, 30%, 60%1RM とし、反復回数は各条件につき 15 回であった。動作は素早く、かつリズムカルに繰り返すように指導した。動作を側方より撮影した DV 画像より、重量物の重心変位、速度、加速度を求めた。さらに、ばね力 = $-k r$ 、ダンパ力 = $-c v$ 、ジャッキ力 = 床反力 - (ばね力 + ダンパ力) を算出した。(ここで r は床接地点と重量物重心の距離、 v は重量物重心の移動速度、 f は床反力、 c および k は定数であり $c = f(t)/v(t)$ 、 $k = f(t)/r(t)$)。

(2) トレーニング条件の違いが身体機能に及ぼす影響

被験者は健康な男性 8 名 (20.6±7.2 歳) であった。課題はスミスマシーンによるスクワットとした。条件 A (Heavy load and slow movement: HS) は 60%1RM×15 回、5 セットでセット間のインターバルは 2 分とした。動作速度は 2 秒で下げ、2 秒で上げさせた。条件 B (Light load and fast movement: LF) は 15%1RM×30 回、10 セットでセット間のインターバルは 50 秒とした。動作は 1 秒 1 回ペースのバリスティック動作で行わせた。トレーニング前 (Pre)、中、後の心拍数、呼気ガス、血圧、血中乳酸、血糖について観察した。

(3) 異なる負荷重量で実施したバリスティックトレーニングの効果

被験者は健康な男子学生 14 名 (17.1±0.9 歳) であった。30%1RM の負荷でトレーニングを行

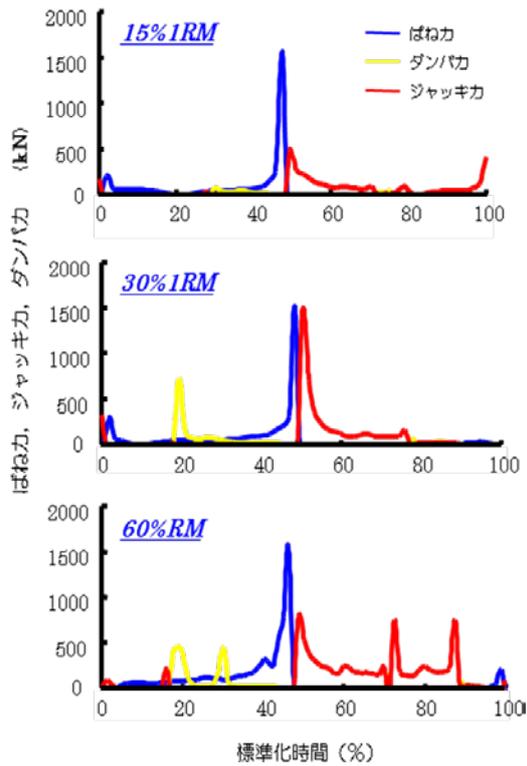
う L 群 (7 名) と 50%1RM の負荷でトレーニングを行う M 群 (7 名) の 2 群とした。トレーニング種目はベンチプレス、プルダウン、スクワット、レッグプレス、ショルダープレスの 5 種目であった。各種目の反復回数は 15 回とし、ジャイアントセットシステムで 5 セット、セット間の休憩は 2 分とした。トレーニング頻度は 3 回/週、期間は 8 週間とした。最大酸素摂取量、最大無酸素パワー、柔軟性、1RM についてトレーニング前、トレーニング開始 4、8 週間後に測定した。

4. 研究成果

(1)バリスティック動作における自重の影響

スクワット (SQ) およびレッグプレス (LP) とともに繰り返し期ではばね力またはジャッキ力の最大値がみられた (図 1-A, B)。LP では、ばね力およびジャッキ力の最大値は負荷の増加に伴って大きな値を示した。しかし、SQ では負荷の大きさに関わらず一定の値 (約 1500kN) を示した。ダンパ力は負荷の下降期にみられたが、SQ の方が LP よりも負荷の増加と伴に顕著に現れた。以上のことから、SQ において各条件下で一定のばね力、ジャッキ力がみられた大きな要因は、低負荷においても床反力が十分に発揮されていたことが挙げられる。バリスティック動作では加速度が大きくなるため、立位である SQ は重量物の負荷だけではなく体重負荷の影響も大きく受ける。たとえ重量物が低負荷であっても、繰り返し期に十分な力発揮ができるだけの質量が得られていた可能性が考えられる。一方、LP は体重による負荷がかからず、十分な力発揮をすることなく重量物が持ち上がる、いわゆる空踏み状態になっている可能性が考えられた。SQ では負荷の増加に伴い、ダンパ力を発揮して下降速度を落とすことにより、繰り返し期の力発揮を一定に調整している可能性が推察された。SQ のような体重負荷がかかるトレーニング種目でバリスティック動作を行なった場合、低負荷でも大きな力発揮が実現できる一方、怪我等に十分注意する必要があると考えられた。

A. スクワット



B. レッグプレス

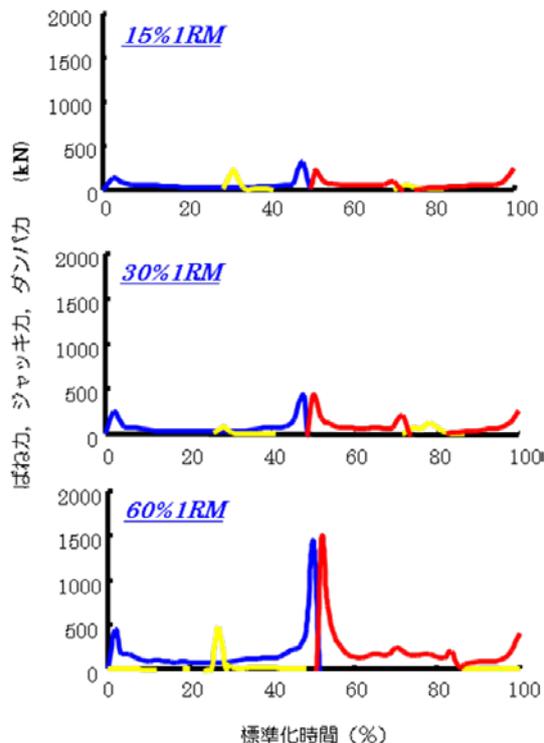


図1 スクワット (A) およびレッグプレス (B) における1動作中の力発揮パターン

(2) トレーニング条件の違いが身体機能に及ぼす影響

トレーニング中の心拍数は終始 HS の方が高い値を示し、トレーニング直後の心拍数は HS で 190.4 ± 11.1 拍/分、LF で 170.0 ± 13.6 拍/分であった。しかし、トレーニング後5分には HS で 113.4 ± 16.0 拍/分、LF で 106.4 ± 12.8 拍/分を示し有意な差はみられなかった。血中乳酸はトレーニング直後、HS で 13.3 ± 2.2 mmol/l、LF で 9.0 ± 3.3 mmol/l を示し、最も高い値を示した。HS は終始 LF よりも有意に高い値を示した。HS の血糖は Pre で 80.1 ± 3.3 mg/dl であったが、トレーニング後5分で 76.6 ± 12.1 mg/dl を示し、一過性に低下する傾向を示した ($p < 0.05$)。しかし、トレーニング後30分以降、Pre に比べて有意に高値を示す傾向がみられた。LF では血糖に大きな変動はみられなかった。HS の血圧は Pre で $112.5 \pm 4.4/71.8 \pm 10.2$ mmHg であったが、トレーニング後5分で $94.1 \pm 17.6/47.6 \pm 8.9$ mmHg を示し、最高血圧、最低血圧ともに低下する傾向がみられた ($p < 0.01$)。LF では最高血圧に変動はみられなかったが、最低血圧で有意に低下する傾向がみられた。トレーニング時の酸素摂取量は LF が高値を示し、二酸化炭素排出量は HS が高値を示す傾向がみられたが有意ではなかった。回復時、二酸化炭素排出量と換気量は HS で有意に高値を示した。同一仕事量であっても高負荷でゆっくりとした動作の方が生理的負担は大きくなるものと考えられた。

(3) 異なる負荷重量で実施したバリスティックトレーニングの効果

最大酸素摂取量は L 群、M 群ともに有意な向上はみられず、両群間にも差はみられなかった。最大無酸素性パワーは L 群、M 群ともにトレーニング前に比べ、4 週間、8 週間で有意な増大がみられた。柔軟性はトレーニング前に比べ 4 週間、8 週間で肩関節の外旋、内旋 (肩関節 90° 外転位)、水平伸展、股関節屈曲等で有意な増大がみられたが、いずれも両群間に有意な差はみられなかった。1RM 測定は、8 週間で各種目 10~25% の増大がみられた。ベンチプレスおよびスクワットにおいては、M 群の方が L 群よりも有意に高い値を示した。これらの結果から、8 週間のバリスティックトレーニングでは 50% 1RM 以下の軽量負荷においても、最大無酸素パワー、1RM 値、柔軟性を向上させるものと考えられた。しかし、有酸素能力の改善はみられなかった。また、50% 1RM の負荷は、30% 1RM の負荷に比して 1RM 値を増大させたが、その他の項目についてはトレーニング効果に大きな違いは

みられなかった。

これらの結果から、

1. 自重がかかるトレーニング種目でバリスティック動作を行なった場合、低負荷でも短時間ではあるが大きな力発揮が実現できるものと考えられた。
2. 同一仕事量であっても高負荷でゆっくりとした動作の方が生理的負担は大きくなるものと考えられた。
3. トレーニング負荷が安全限界である 60% 1RM 以下の負荷でも無酸素性パワー、柔軟性、1RM についてトレーニング効果が期待できる結果となった。今回、有酸素能力の向上がみられなかったが、被験者の身体特性の影響が考えられ、更に検証する必要があると考えられた。

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 11 件)

- ① Kitada, K., Kubota, K., Nagatomi, R., Itoh, M., Tashiro, M., Fukuda, H., Masud, M., Fujimoto, T. : Effect of exercise intensities on free fatty acid uptake in whole-body organs measured with ¹²³I-BMIPP-SPECT, *Eur. J. Appl. Physiol.* Vol.104(5) : 769-775, 2008. 査読有
- ② Sakashita I., Yotani K. Kitada K., Kirimoto H., Tamaki H., Ogita F., Takekura H. : Electromyographic analysis of the upper limb muscles during the baseball batting, *International Council for Health, Physical Education, Recreation, Sport and Dance.* Vol.50 : 585-589, 2008. 査読有
- ③ Yotani K., Tamaki H., Sakashita I., Yuki A., Kitada K., Kirimoto H., Ogita F., Takekura H. : Reaction time and muscle activity patterns in the upper limbs for kendo strikes using an electromyography, *International Council for Health, Physical Education, Recreation, Sport and Dance.* Vol.50 : 578-584, 2008. 査読有
- ④ 岩竹淳, 山本正嘉, 西菌秀嗣, 川原繁樹, 北田耕司, 関子浩二 : 思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジ

ャンプ力および脚筋力との関係, 体育学研究, 第 53 巻 : 1-10, 2008. 査読有

- ⑤ 與谷謙吾, 田巻弘之, 荻田太, 桐本光, 北田耕司, 竹倉宏明 : 剣道の引き面及び小手動作における上肢の反応時間と筋活動様式, *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 第 36 号 : 33-40, 2007. 査読有
- ⑥ 與谷謙吾, 今泉英徳, 桐本光, 北田耕司, 田巻弘之, 荻田太, 竹倉宏明 : 竹刀を用いた光刺激に対する引き技動作の筋電図反応時間及び打撃動作時間の分析, *日本生理人類学会誌*, 12 巻 (3) : 7-14, 2007. 査読有
- ⑦ 桐本光, 北田耕司, 田巻弘之 : 持続筋収縮時の負荷形式の違いが下腿三頭筋の疲労に及ぼす影響, *日本作業療法研究学会雑誌*, 10 巻(1) : 5-11, 2007. 査読有
- ⑧ 岩竹淳, 北田耕司, 川原繁樹 : 高強度の間欠のスプリント走が疾走能力に与える効果, *北陸体育学会紀要*, Vol. 43 : 1-8, 2007. 査読有
- ⑨ 岩竹淳, 北田耕司, 川原繁樹, 永澤健 : ドロップジャンプとスプリント走パフォーマンスに及ぼす足関節テーピングの影響, *高専教育*, 30 巻 : 161-166, 2007. 査読有
- ⑩ 田巻弘之, 北田耕司, 桐本光, 與谷謙吾, 荻田太, 竹倉宏明, 芝山秀太郎 : 筋活動様式の違いが筋疲労と翌日の静的仕事に及ぼす影響, *日本生理人類学会誌*, 第 11 巻 (4) : 19-24, 2006. 査読有
- ⑪ 桐本光, 後藤純信, 小竹直樹, 北田耕司, 荻田太, 田巻弘之 : 静的足関節底屈持続時の筋放電活動様式と活動交代出現時の膝窩動脈血流変化, *体力科学*, 第 55 巻 (4) : 393-402, 2006. 査読有

[学会発表] (計 14 件)

- ① 北田耕司, 岩竹淳, 田巻弘之, 與谷謙吾, 桐本光 : スクワットのバリスティック動作における体重負荷の影響, 第 63 回日本体力医学会大会, 9 月 18-20 日 2008, 大分.
- ② 桐本光, 大山峰生, 大西秀明, 北田耕司, 坂下一平, 與谷謙吾, 田巻弘之 : 静的筋収縮時における負荷形式の違いが脊髄前角細胞及び一時運動野の興奮性に及ぼす影響—肢位制御と筋力制御—, 第 63 回日本体力医学会大会, 9 月 18-20 日 2008, 大分.

- ③坂下一平, 橋本ちさと, 與谷謙吾, 荻田太, 竹倉宏明, 田卷弘之, 桐本光, 北田耕司: 野球の打撃動作における上肢筋の筋放電活動調節様式, 第 63 回日本体力医学会大会, 9月18-20日 2008, 大分.
- ④田卷弘之, 與谷謙吾, 坂下一平, 橋本ちさと, 荻田太, 竹倉宏明, 北田耕司, 桐本光: 疲労誘発性生理的振戦に伴う下腿三頭筋群化放電及びその前後のコヒーレンス変化 第63回日本体力医学会大会, 9月18-20日 2008, 大分.
- ⑤橋本ちさと, 與谷謙吾, 坂下一平, 幸篤武, 荻田太, 竹倉宏明, 田卷弘之, 北田耕司, 桐本光: 生活習慣病自然発症ラットにおける骨組織構造の解析, 第 63 回日本体力医学会大会, 9月18-20日 2008, 大分.
- ⑥與谷謙吾, 坂下一平, 橋本ちさと, 幸篤武, 荻田太, 竹倉宏明, 田卷弘之, 桐本光, 北田耕司: 筋電図反応時間及びMEP潜時を用いた剣道打突動作の検討, 第 63 回日本体力医学会大会, 9月18-20日 2008, 大分.
- ⑦岩竹淳, 山本正嘉, 西菌秀嗣, 川原繁樹, 北田耕司, 関子浩二: 思春期後期の男子生徒における疾走能力の向上をねらいとした体育授業におけるプライオメトリックトレーニングの導入, 第 19 回日本トレーニング科学会, 1月27-28日 2007, 滋賀.
- ⑧北田耕司, 岩竹淳, 田卷弘之, 與谷謙吾, 桐本光, 藤本敏彦: レジスタンストレーニングにおける条件の違いが呼吸循環系応答と血中成分に及ぼす影響, 第 62 回日本体力医学会大会, 9月14-16日 2007, 秋田.
- ⑨桐本光, 大山峰生, 北田耕司, 與谷謙吾, 田卷弘之: 下腿三頭筋の協働筋制御様式に関する相互相関分析, 第 62 回日本体力医学会大会, 9月14-16日 2007, 秋田.
- ⑩田卷弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 竹倉宏明, 北田耕司, 桐本光, 幸篤武: 坐骨神経凍結麻痺法を用いた一過性の下肢不活動によるラット脛骨骨梁の構造的可塑性, 第 62 回日本体力医学会大会, 9月14-16日 2007, 秋田.
- ⑪與谷謙吾, 田卷弘之, 荻田太, 竹倉宏明, 桐本光, 北田耕司: 剣道の引き技動作における反応時間と上肢筋活動パターン, 第 62 回日本体力医学会大会, 9月14-16日 2007, 秋田.
- ⑫北田耕司, 岩竹淳, 田卷弘之, 藤本敏彦,

桐本光: バリステイック動作におけるレッグプレスおよびスクワットの力発揮特性, 第 61 回日本体力医学会大会, 9月24-26日 2006, 兵庫.

- ⑬田卷弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 竹倉宏明, 北田耕司, 桐本光: 筋内埋入微小ワイヤー電極の力学的組織学的検討, 第 61 回日本体力医学会大会, 9月24-26日 2006, 兵庫.
- ⑭桐本光, 後藤純信, 北田耕司, 與谷謙吾, 田卷弘之: 静的筋収縮時の負荷形式による運動持続時間の違い, 第 61 回日本体力医学会大会, 9月24-26日 2006, 兵庫.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北田耕司 (KITADA KOJI)
石川工業高等専門学校・一般教育科・
准教授
研究者番号: 70280378

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

岩竹 淳 (IWATAKE JUN)
石川工業高等専門学校・一般教育科・
准教授
研究者番号: 10342487

田卷弘之 (TAMAKI HIROYUKI)
鹿屋体育大学・体育学部・准教授
研究者番号: 50224134

與谷謙吾 (YOTANI KENGO)
鹿屋体育大学大学院・博士課程

桐本 光 (KIRIMOTO HIKARI)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・講師
研究者番号: 40406260