

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282191

研究課題名(和文)次世代型筋力・パワートレーニングアセスメントの開発

研究課題名(英文)Development of the innovative assessment method for strength and power training

研究代表者

図子 浩二 (ZUSHI, Koji)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：70284924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スポーツ選手の筋力・パワーに関する特性を客観的に評価診断するための総合検診システムの開発を目的とした。まず、リバウンドジャンプを対象にして、これまでのパフォーマンス指数だけでなく3次元での関節トルク、パワー、仕事などをリアルタイムに算出・提示できるシステム(QMAS)を開発した。また、下肢筋力の立ち上がりをリアルタイムで計測・提示できるマルチストレングステスターも開発した。これらの新システムを用いて、一流スポーツ選手を含む多人数のデータを収集することで、評価法の作成、また、1年間に渡る継続的な計測により、選手のトレーニングと測定データの変動関係を検討した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a system for the objective assessment and diagnosis of the parameters of strength and power in athletes. First, we developed the Quick Motion Analysis System, which can calculate and provide feedback on not only performance variables, but also the lower-limb joint mechanical variables in a rebound jump test in real time. Second, we developed the Multi Strength Tester, which can calculate and provide feedback on the lower limb strength (rate of force development) in real time. Using these systems, we developed assessment methods by collecting data on athletes, including those at the elite level. Moreover, we investigated the relationship between these data and the training content by performing longitudinal data collection for a year.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：筋力・パワー 新アセスメント法 リアルタイム 下肢関節の3次元力学量 下肢多関節系の伸展力
立ち上がり筋力 総合検診

1. 研究開始当初の背景

筋力・パワートレーニングを行う場合には、各種スポーツパフォーマンスの構造モデル（設計図）に則りながら、各選手の問題点と課題を判断し、それに対応するための手段や方法を選択し実践するとともに、トレーニングの成果を評価診断することが必要とされる。しかし、これまでの評価診断法について再考すると、利便性は高いが精度が低いフィールドテスト、精度は高いが高度な機器や測定技術が必要となり、診断に多くの時間が必要となるラボラトリテスト、最大筋力などの量的な指標に偏重し、筋の収縮様式や力の立ち上がり率などの質的な評価診断のないテストが実施されている。そのために、筋力・パワートレーニングの成果は断片的にしか評価診断できず、パフォーマンスの向上に対して筋力・パワートレーニングが役立たないケースも多数存在している。一方では、医療における各種の検診に代表されるように、一回の検診の中で、多数の意味あるパラメータを測定し、相互関連性も加味しながら総合的に評価診断するようなアセスメントはなされていない。

2. 研究の目的

スポーツ選手の筋力・パワーに関する特性を客観的に評価診断するための総合検診システムの開発を目的とした。

【課題1】リバウンドジャンプを対象にして、これまでのパフォーマンス指数だけでなく、3次元での関節トルク、パワー、仕事などをリアルタイムに算出・提示できる新システム(QMAS: Quick Motion Analysis System)を開発し、それを用いた評価診断法を検討する。

【課題2】下肢筋力の立ち上がり筋力(RFD: Rate of Force Development)をリアルタイムで算出・提示できる Multi Strength Testerを開発し、その評価診断法を検討する。

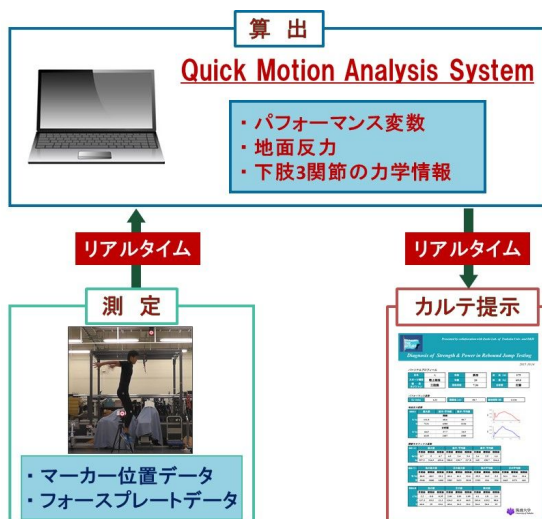


図1. Quick Motion Analysis Systemを用いた評価診断の概念図

なお、リバウンドジャンプは、多くのスポーツ種目における力発揮時の特性が類似した専門性の高いテストであり、これまで多くの研究で用いられていると共に、現在では各種スポーツ実践の場におけるテストとして広く普及している。これらのことから、本研究の課題1ではリバウンドジャンプテストを採用した。

3. 研究の方法

【課題1】Quick Motion Analysis Systemによる評価診断法の開発

赤外線カメラとフォースプレートで身体に貼付した反射マーカの位置情報と地面反力を収集し、下肢3関節の力学量（関節トルク、パワー、仕事など）をリアルタイムに算出し、評価診断が可能なカルテとして提示できる、QMASの開発に取り組んだ（図1）。QMASでは、リバウンドジャンプにおける算出項目を屈曲伸展（底背屈）運動に関する力学量に厳選し、それに必要な最低限の反射マーカーセット（13点）を定義することで、実験手続きの簡略化へ努めた。また、算出項目も厳選し、それらが提示可能なカルテが測定後即座に選手へフィードバックできることを実現した。なお、QMASでは、リバウンドジャンプ以外において3次元的情報（内外転、内外旋など）が必要な運動を対象とする場合には、それに応じた反射マーカーセットを用いることでリアルタイムのデータ算出が可能となっている。

そして、QMASを用いたリバウンドジャンプの測定を実施した。国際的に活躍する日本トップレベルを含む、男子陸上競技跳躍選手を対象に、リバウンドジャンプテストを実施させ、その際のデータを横断的・縦断的に計測した。リバウンドジャンプは、できるだけ踏切時間を短くかつ高く跳ぶことを指示したその場での両脚連続ジャンプ運動である。パフォーマンス変数として、跳躍高、接地時間、RJ指数（跳躍高/接地時間）を、力学量としては下肢3関節の仕事と貢献度（3関節仕事の総和に対する各関節仕事の割合）、ステイフネス（最大鉛直地面反力/身体重心変位）を算出した。また、跳躍選手の競技力をIAAF Scoring Tables of Athleticsを用いて算出した（IAAF Score）。

【課題2】Multi Strength Testerによる評価診断法の開発

簡便な操作でRFDを測定でき、測定結果がリアルタイムに提示されるMulti Strength Testerの開発に取り組んだ（図2）。Multi Strength Testerは、測定機と操作モニターが一体となっているためにPCと測定機との接続が不要であり、スイッチを入れると自動で測定画面が表示されるために、計測開始までの時間や手間が少ない。また、タッチパネルによる対話型での操作とし、選手が一人で操作・測定可能であることへも配慮した。さ

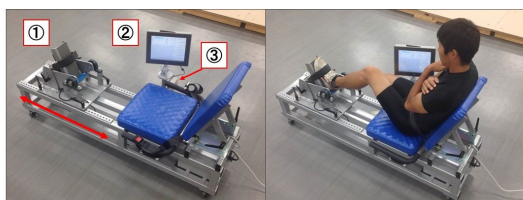


図2. Multi Strength Testerとそれによる測定風景
①力計測部(前後に移動可)、②タッチ式操作パネル、
③フィードバック用プリンタ

らに、計測結果をプリントアウト可能にし、選手へ即座にフィードバックが可能となっている。

そして、Multi Strength Tester を用いた測定法について検討するために、スポーツ選手の下肢の立ち上がり筋力を測定した。男子大学体育専攻学生を対象に、Multi Strength Tester による座位・片脚で行う等尺性脚伸展力を測定した。その際、試技開始の合図とともに、できるだけ短時間に大きな力を発揮し、それを3秒間維持することを指示した。膝関節の角度を90°、115°、140°変化させた姿勢で行わせた。測定された力を元に、最大筋力(測定データの最大値)、RFD(50, 100, 150, 200 ms 時点の力の大きさ)を算出した。

4. 研究成果

(1) Quick Motion Analysis System による評価診断法の開発【課題1】

横断的観点

これまでのリバウンドジャンプを対象とした研究の多くは、ビデオ映像撮影に基づいた、手動での2次元デジタル処理を施すものであった。そのために、これらの知見を、本システムによる光学式3次元自動動作分析システムによる高精度で誤差が少なく信頼性の高いデータにより再検討した。また、これまでのパフォーマンス変数による評価診断法に加えて、下肢各関節の仕事からみた働きに関する評価や競技特性を考慮したタイプ分類による評価について検討した。得られた結果は以下の通りであった。

- 1) リバウンドジャンプテストにおけるパフォーマンス変数である RJ 指数と跳躍高および接地時間との間にはそれぞれ有意な正および負の相関関係があり、跳躍高と接地時間の間には有意な相関関係は認められなかった。したがって、リバウンドジャンプを新しい3次元光学システムで計測した場合にも、これまで行われてきた2次元動作分析システムのものと同様に、RJ 指数は2つの独立した構成要因によって成り立っていることが認められた。
- 2) IAAF Score に変換した競技力と RJ 指数との間には有意な正の相関関係が認められた。したがって、優れた跳躍選手ほど下肢のリバウンドジャンプ能力が高いことが認められた。

- 3) IAAF Score と足関節および股関節の仕事との間には有意な相関関係があるとともに、日本トップレベルの跳躍選手4名の値が回帰直線の右端に位置づいていることが認められた。したがって、競技力の高い選手ほどリバウンドジャンプにおいて足関節および股関節が大きな仕事をしていることが認められた。
- 4) リバウンドジャンプにおける下肢各関節の貢献度については、足関節と膝関節および股関節の間で有意な負の相関関係が認められた。したがって、足関節と膝関節および股関節に関する働きには相反する関係が存在していることが認められた。
- 5) 接地時間と跳躍高の2要因から分類したタイプ別に競技力の優劣をみると、日本トップレベルの走高跳選手3名は接地時間が長く跳躍高が高いタイプ (Type A) に、また走幅跳選手1名は接地時間が短く跳躍高が低いタイプ (Type C) に分類されることが認められた。
- 6) Type A の下肢のスティフネスは高い値を示さず、比較的柔らかく大きく変形する特徴を持ち、Type C の下肢のスティフネスは高い値を示し、硬いばねの特徴を持つことから、跳躍種目の競技特性に応じて下肢のスティフネス特性は異なることが認められた。

これらのことからリバウンドジャンプテストを評価する際には、パフォーマンス変数そのものの評価に加えて、下肢各関節相互の働きについて評価すること、跳躍種目の競技特性を考慮してタイプ別に評価することの必要性が示唆された。

縦断的観点

評価診断の際には、トレーニング経過にもなった全体(平均値)傾向を把握しながら、トレーニングの原則である個別性の観点も考慮する必要がある。そのためには、縦断的調査によって、選手の能力がどのように変化したか、その実態を把握しておく必要がある。ここでは、QMAS を用いて約1年間にわたって継続的に計測したリバウンドジャンプデータから、下肢の筋力・パワー発揮特性の変化について検討した。得られた結果は以下の通りであった。

- 1) 平均値から検討した場合、跳躍高の向上により RJ 指数の向上が認められたが、接地時間に変化はみられなかった。しかしながら個別に見た場合では、パフォーマンス変数の変化には大きな個人差がみられた。
- 2) 平均値から検討した場合、膝関節仕事が減少し、股関節の仕事が増加した。しかしながら個別に見た場合では、パフォーマンス変数の変化パターンが同じであ

っても下肢3関節の筋力・パワー発揮特性の変化は個人によって異なっていることが確認された。

これらのことから、選手のリバウンドジャンプ能力の実際の変化を検討した結果から、パフォーマンス変数の変化のみでは、下肢筋力・パワーの発揮特性を適切に評価診断できないことが示された。

以上の横断的・縦断的な結果から、下肢の筋力・パワー発揮特性を適切に評価診断するためには、パフォーマンス変数の測定評価に加えて、下肢3関節の力学データを測定評価することによって、トレーニングの原則の一つである個別性の原則に配慮したトレーニングアセスメントをエビデンスベースに行うことの重要性が示唆された。

これまで、下肢の力学量を算出する過程では、膨大な時間と労力が必要とされトレーニング現場でこれらを用いた評価診断は現実的に不可能であった。しかしながら、リアルタイムに下肢関節力学量が提示可能な QMAS を用いることができれば、その問題点が解決され、スポーツ選手における下肢の筋力・パワー発揮特性が適切に評価診断できることが期待される。

(2) Multi Strength Tester による評価診断法の開発【課題2】

スポーツ選手に必要な筋力・パワー発揮を評価するためには、発揮した最大筋力の大きさだけでなく、それがどれだけの時間で発揮されたか、時間の概念を加味した RFD へ着目する必要がある。本課題ではこの Multi Strength Tester を用いた評価診断法について検討するために、姿勢(膝関節角度)を変化と計測された RFD との関係性について検討した。得られた結果は以下の通りであった。

50, 100, 150, 200 ms での RFD は、それぞれどの膝関節条件間においても有意な相関関係が認められた。

最大筋力との間には、力発揮時間の短い RFD ほど関係性が低くなり、このことは膝関節角度が浅い 140° 試技において顕著であった。

膝関節角度が深い姿勢では、足部が背屈位になるために、柔軟性に問題のある選手は測定が困難になることが確認された。

これらのことから、Multi Strength Tester を膝関節角度 140 度で実施することで、最大筋力とは異なる、多くのスポーツ競技種目に重要な下肢の立ち上がり筋力の測定が可能となることが示された。

これまででは、立ち上がり筋力を測定するためには、実験的な設備と準備、さらに結果のフィードバックまでに多くの労力と時間が

必要とされた。しかしながら、Multi Strength Tester を用いることができれば、準備に手間がかからず、その結果はリアルタイムに測定・提示可能であるために、トレーニング現場における下肢筋力の立ち上がり能力の評価が可能になると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計16件)

苅山靖・図子浩二：バウンディングにおける Stiffness 特性へ影響する踏切脚の力およびパワー発揮：リバウンドジャンプとの比較から . 体育学研究 , 査読有 , 60(1): 137-150, 2015.

Zushi, A., Kariyama, Y., Yoshida, T., Hayashi, R., Takahashi, K. and Zushi, K. Development of a new assessment method for the rebound jump test. Proceedings of the 34th Congress of the International Society of Biomechanics in Sports, 査読有 , 277-280, 2015.

藤林献明・坂口将太・苅山靖・図子浩二：リバウンドロングジャンプ指数の優劣を決定する踏切局面の技術的要因 . 体育学研究 , 査読有 , 59(1): 175-188, 2014.

藤林献明・苅山靖・木野村嘉則・図子浩二：水平片脚跳躍を用いたバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力と各種跳躍パフォーマンスとの関係 . 体育学研究 , 査読有 , 58(1): 61-76, 2013.

苅山靖・図子浩二：陸上競技跳躍種目のパフォーマンス向上に対するバウンディングとリバウンドジャンプの用い方に関するトレーニング学的研究 . トレーニング科学 , 査読有 , 25(1): 41-51, 2013.

[学会発表](計24件)

図子あまね・苅山靖・図子浩二：リバウンドジャンプにおけるパフォーマンス変数および下肢関節キネティクスの縦断的变化とそのアセスメント . 日本体育学会第66回大会、国土館大学(東京都・世田谷区)：2015年8月27日。(若手研究 奨励賞)

Zushi, A., Kariyama, Y., Yoshida, T., Hayashi, R., Takahashi, K. and Zushi, K. Development of a new assessment method for the rebound jump test. 33th Congress of the International Society of Biomechanics in Sports, Poitiers, France. 2015. 6. 30.

Zushi, A., Kariyama, Y., Yoshida, T., Hayashi, R., Takahashi, K. and Zushi, K. A new assessment method using a combination of joint kinetics and performance variables during the rebound jump test. 20th annual

Congress of the European College SPORT
SCIENCE, Malmö, Sweden: 2015. 6. 24.
苅山靖・図子浩二 : Stiffness 特性から
見たバウンディングとリバウンドジャン
プの階層構造関係に関するトレーニ
ング学的研究 . 日本体育学会第 65 回大
会、岩手・アイーナ・マリオス・岩手大
学 (岩手県・盛岡市): 2014 年 8 月 27
日 . (若手研究 優秀賞)
吉田拓矢・丸山敦夫・苅山靖・林陵平・
図子浩二 : ドロップジャンプにおける大
脳皮質運動野皮質内興奮性とパフォー
マンスの関係 . 日本体育学会第 65 回大
会、岩手・アイーナ・マリオス・岩手大
学 (岩手県・盛岡市): 2014 年 8 月 27
日 . (若手研究 大会委員長賞)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

図子 浩二 (ZUSHI, Koji)
筑波大学・体育系・教授
研究者番号 : 70284924

(2)研究分担者

宮西 智久 (MIYANISHI, Tomohisa)
仙台大学・体育学部・教授
研究者番号 : 20285646

岡田 英孝 (OKADA, Hidetaka)
電気通信大学・情報理工学 (系) 研究科・
教授
研究者番号 : 20303018

卞 圭悟 (BEN, Keigo)
筑波大学・体育系・准教授
研究者番号 : 80312833

三浦 健 (MIURA, Ken)
鹿屋体育大学・スポーツ・武道実践科学
系・講師
研究者番号 : 10244279