

11. Unloading法を用いた外乱に対する柔道選手の立位バランス能力の特徴

神戸大学 岡田 修一
京都教育大学 籾根 敏和
甲南大学 山崎 俊輔
龍谷大学短期大学部 徳田 眞三
広島国際大学 瀬川 洋

11. Characteristics of Postural Control in Response to Unloading by Postural Disturbance in Judoists

Shuichi Okada (Kobe University)
Toshikazu Yabune (Kyoto University of Education)
Shunsuke Yamasaki (Konan University)
Shinzo Tokuda (Ryukoku University Junior College)
Hiroshi Segawa (Hiroshima International University)

Abstract

The purpose of this study was to compare the postural control in response to unloading by postural disturbance between Judoists and controls. The subjects were male 10 Judoists and 10 students (controls) in Kobe University. Changes in the center of foot pressure (CFP) were measured, and the response time and CFP displacement were evaluated. In addition, the electromyogram (EMG) onset in tibialis anterior muscle, rectus femoris muscle and abdominal muscle in response to unloading.

The response time in Judoists was significantly shorter, and CFP displacement in Judoists was smaller than controls. The EMG onset in rectus abdominal muscle in Judoists was shorter than controls.

These results suggest that Judoists performed a better postural control than controls, and Judo learning and training might improve the postural control in response to unloading by postural disturbance.

1 緒言

柔道では、いかに相手のバランスを崩すか、いかに自己のバランスを保持するかが、その勝敗を大きく左右する。また、相手の瞬間的な「崩し」によって生じるバランスの乱れをできるだ

け速く復元する能力は、競技力向上ばかりでなく、日常生活や労働場面における転倒防止のために重要な身体的能力でもある。

これらの観点から、これまで、バランス保持に対する外乱として、つまずきや滑りの状態を模擬した加速的外乱に対する柔道選手のバランス能力について検討を行った。この加速度外乱法は、立位時に床面が不意に前後方向に急速移動・停止する方法により、瞬間的に外乱を与えることができる方法である^{5) 6)}。この外乱法を用いて、柔道選手と一般若年者のバランス能力を比較したところ、柔道選手は前後方向ともに一般若年者に比べ復元時間が短く、動揺距離が小さい値を示し、柔道選手の優れたバランス能力が明らかになった^{3) 4)}。

ところが、加速度外乱法は被験者に床面の移動により加速度を加えるものであり、柔道の練習や試合の場面を考えると、柔道選手のバランス能力を詳細に分析するためには、被験者が相手の予期しない瞬間的な力に抵抗しながら自分の安定姿勢を保持している状態で、被験者の身体に直接的に外乱を加える方法がより適当と考えられる。

本研究では、不意に発揮していた力が解放された状態となる荷重負荷解放 (unloading) 法を用い、瞬間的にバランスを崩すことによって、その際の足圧中心と筋電図の分析から、柔道選手の立位バランス能力について検討を行った。

II 方法

1. 被験者

被験者は、大学柔道部所属の男子学生10名 (柔道群) および陸上部、ハンドボール部、水泳部に所属する男子学生10名 (対照群) であった。両群の年齢、身長、体重、重心高および足長を表1に示した。重心高の測定は、テコの原理を応用した直接法²⁾により行った。両群間の年齢、身長、体重、重心高および足長には有意差は認められなかった。なお、被験者には、予め実験の目的、方法を口頭で説明し理解と承諾を得た。

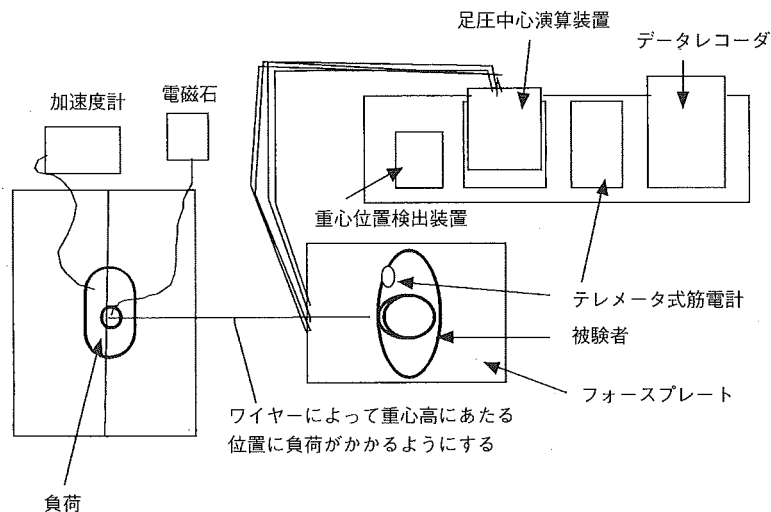


図1 実験構成図

2. 実験方法

1) 荷重負荷解放 (unloading) 外乱法

重心動揺計上 (パテラ社製 K40) に直立させた被験者の重心高に、荷重負荷をかけるためのワイヤー付きのベルトを装着し、負荷がかかった状態で立位姿勢をとらせた。その後、荷重負

荷 (体重の4%、6%、8%) を電磁石によって不意に切り離す (解放する) ことによって、瞬間的なunloading外乱を与えた。外乱後は両足を動かさずに、できるだけ速く外乱前の姿勢に戻るよう指示した。負荷設定は予備実験の結果、個人差はあるものの負荷解放による外乱によってバランスが崩れるのを実感するのが体重の約4%で、8%が足底を移動させずに立位姿勢を保てる最大値として適切と考えられたため、4%、6%、8%の荷重負荷を決定した。そして、それぞれの負荷のunloadingによる外乱を与えた後の足圧中心および下肢・体幹の筋の筋電図を測定した (図1)。

2) 実験手順

まず体重の4%、6%、8%にあたる負荷がかかった状態で安定した立位姿勢をとらせた。立位姿勢については左右の足の幅を20cm開き、重心位置検出装置 (ヤガミ社製 YGS20) を用いて、重心位置が踵から45%の位置にくるようにした。また、この重心位置検出装置によって重心幅は±1.5cm (直径3cm) に規定され、それ以上重心が移動するとブザーが鳴る仕組にした。そしてブザーが鳴らない状態、すなわち規定した立位姿勢がとられている状態の時に、負荷解放を行った。負荷解放のタイミングは、予測されないよう配慮した。

表1 被験者の特性

	人数	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	重心高* (cm)	足長 (cm)
柔道群*1	10	22.3 ±1.8	173.6 ±2.9	73.6 ±4.2	96.7 ±2.3	26.8 ±1.3
対照群*2	10	22.1 ±1.9	172.5 ±3.2	72.9 ±3.6	95.5 ±2.5	26.5 ±1.3

* :直接法によって踵からの重心高を測定

*1:柔道経験年数9.1±2.2年

*2:陸上部3名、ハンドボール部3名、水泳部4名の計10名

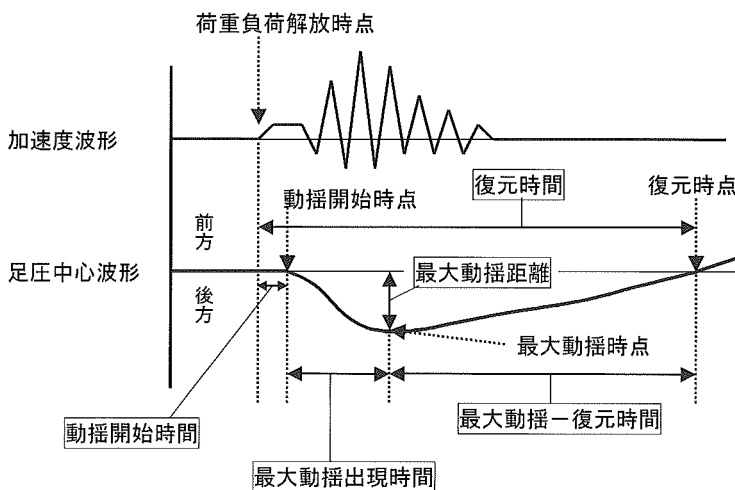


図2 足圧中心波形の分析方法

筋電図の測定は、テレメータ式筋電計（日本電気三栄社製 511）を用い、Woollacott et al. の方法¹⁰⁾に従って、電極を前脛骨筋、大腿直筋および腹直筋の3ヶ所に貼付した。また、負荷に連結されているワイヤーに加速度計を取り付け、荷重負荷の解放時点を決定した。

測定は、体重の4%、6%、8%の負荷をランダムに各10回ずつ合計30回実施した。各試技の間には十分な休息を取った。実験記録はデータレコーダ（TEAC社製 XR5000）に収録し、足圧中心は200Hz、筋電図は1000Hzのサンプリング周波数によりAD変換した後、コンピュータを用いて分析を行った。

3. 分析方法

足圧中心波形からは、外乱に対する応答時間と動揺距離を計測した。すなわち、荷重負荷解放時点から足圧中心が動揺し始めるまでの時間（動揺開始時間）、動揺開始時点から最大動揺が出現するまでの時間（最大動揺出現時間）、最大動揺出現時点から再び定位に戻るまでの時間（最大動揺一復元時間）、荷重負荷解放時点から足圧中心が再び定位に戻るまでの時間（復元時間）および最大動揺距離を計測した（図2）。さらに、前脛骨筋、大腿直筋および腹直筋の筋電図からは、荷重負荷解放時点から各筋の筋放電が開始するまでの時間（筋放電潜時）を分析した。

柔道群と対照群における分析値の差異の検定には、分散分析法を用いた。有意水準は5%未満とした。

III 結果

1. 柔道群と対照群の足圧中心からみた応答時間および動揺距離の比較

柔道群と対照群の4%、6%および8%荷重負荷unloading時の動揺開始時間、最大動揺出現時間、

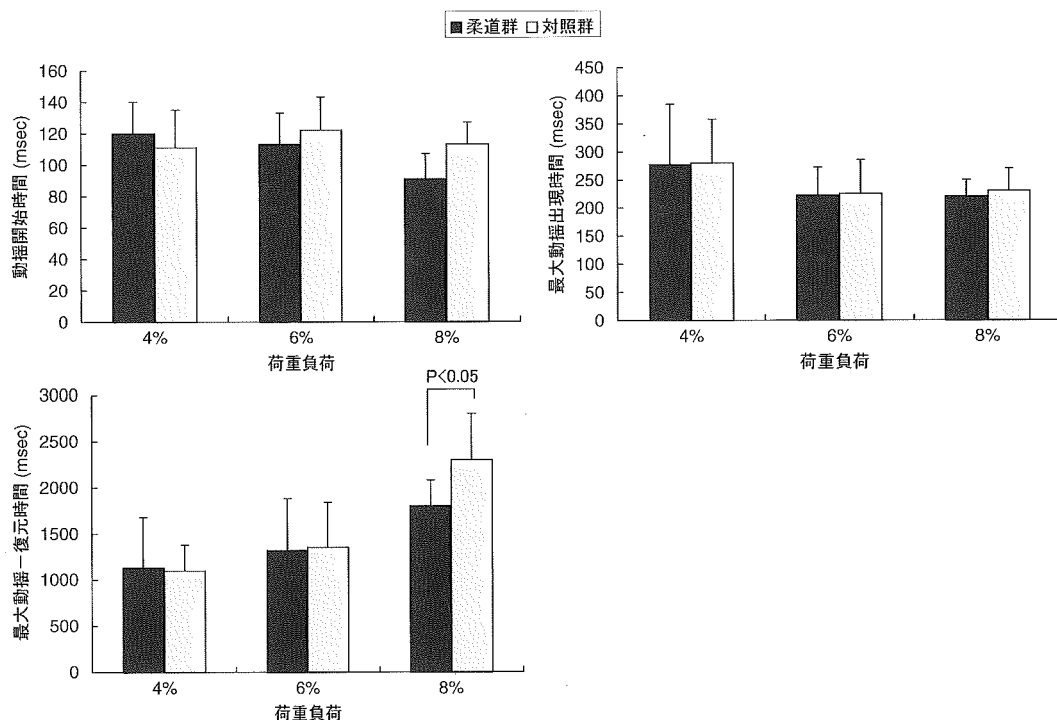


図3 柔道群と対照群の動揺開始時間、最大動揺出現時間および最大動揺一復元時間の比較

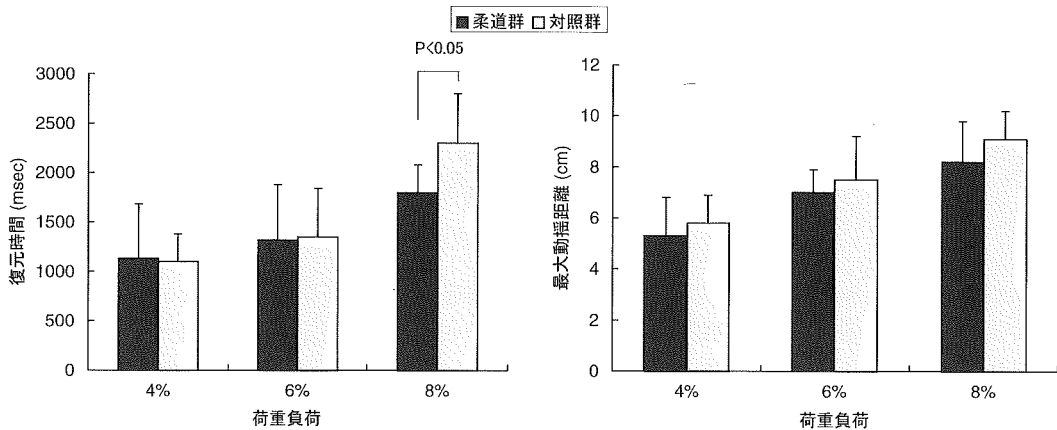


図4 柔道群と対照群の復元時間および最大動揺距離の比較

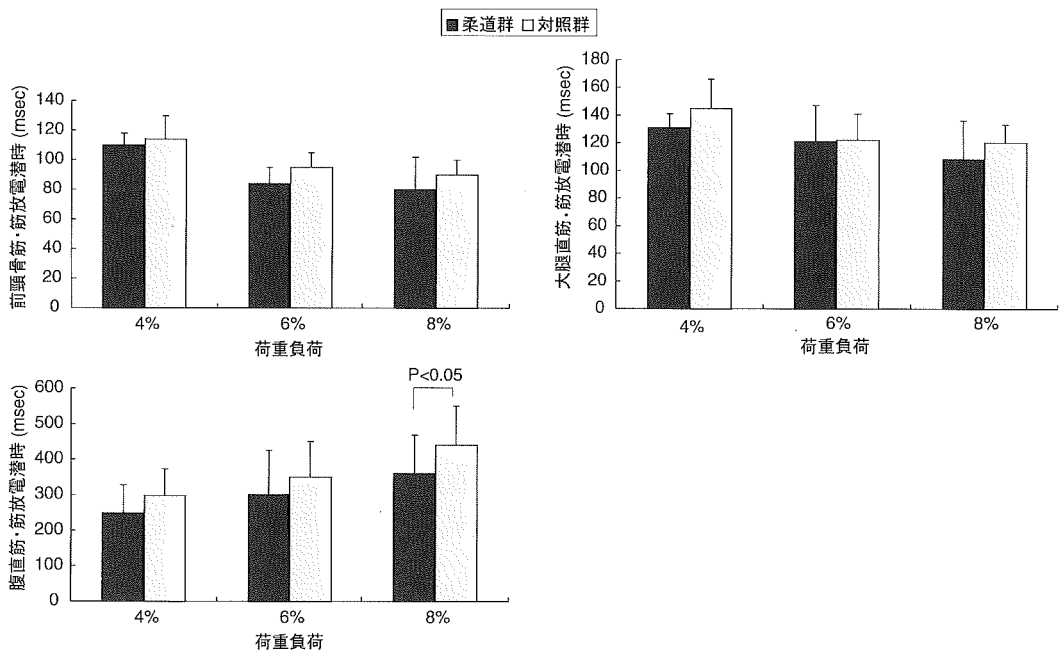


図5 柔道群と対照群の前脛骨筋、大腿直筋および腹直筋の筋放電潜時の比較

最大動揺—復元時間、復元時間および最大動揺距離の結果を図3および図4に示した。

4%および6%荷重負荷では、いずれの分析値においても両群間に有意な差異は認められなかった。8%負荷では、柔道群の最大動揺—復元時間および復元時間が対照群に比べ、有意に小さな値 ($P < 0.05$) を示したが、動揺開始時間、最大動揺出現時間および最大動揺距離には両群間に差異は認められなかった。

2. 柔道群と対照群の筋放電潜時の比較

柔道群と対照群の4%、6%および8%荷重負荷unloading時の前脛骨筋、大腿直筋および腹直筋の筋放電潜時の結果を図5に示した。

4%および6%荷重負荷では、いずれの分析値においても両群間に有意な差異は認められなかった。8%負荷では、柔道群の腹直筋の筋放電潜時が対照群に比べ有意に早い値 ($P < 0.05$) を示したが、前脛骨筋、大腿直筋の筋放電潜時には両群間に差異は認められなかった。

IV 考察

本研究で用いたunloadingによる外乱法は、柔道の練習や試合場面を想定すると、相手の強い引きによって自分の身体が前方向に崩れるのを防ぎながら姿勢を安定した状態に保っている時、突然、相手が力を抜いた時の状況を模擬したものである。本結果から、荷重負荷が4%および6%の場合には、柔道群と対照群の足圧中心からみた応答時間には差異はみられず、8%の負荷において柔道群の足圧中心の動揺が対照群に比べ小さく、定位に戻る時間が早かった。この結果は、柔道群はより不安定な状況を引き起こすような高強度の外乱刺激に対するバランス復元能力が高いことを示している。加速度外乱ばかりでなく^{3) 4)}、unloading外乱に対しても柔道選手のバランス能力が優れている結果となったことは、日頃の柔道の練習や試合によって動的バランス能力が改善されることを示唆している。

荷重負荷が解放されてから定位に戻るまでの時間（復元時間）は、動揺開始時間、最大動揺時間および最大動揺－復元時間の3つの時間的要素から構成されている（図2）。今回、すべての荷重負荷で両群間の動揺開始時間、最大動揺時間および最大動揺距離に差異は認められず、8%荷重負荷での最大動揺－復元時間において柔道群が有意に短かった。このことから、柔道群の短い復元時間は、最大動揺－復元時間の短縮によるものと考えられる。すなわち、柔道選手は最大動揺が出現してから定位に戻すというバランス能力に優れていることにより、外乱に対する復元時間が短くなったものといえる。

本結果の足圧中心および筋活動からみた応答時間をみると、柔道群、対照群ともに、荷重負荷解放時から最大動揺が出現するまでの時間は負荷に関係なく約220ミリ秒であり、前脛骨筋、大腿直筋の筋放電潜時が負荷に関係なく、それぞれ約95ミリ秒、130ミリ秒であった。さらに、両群の腹直筋の筋放電前潜時が300～400ミリ秒の範囲にあったことを考え合わせると、unloading外乱によってバランスが崩れた場合には、伸張反射や機能的伸張反射などの不随意的な姿勢応答は両群ともにほとんど差異はないが、随意的な姿勢調節能力においては柔道群が優れていることが推察される。

Perrin et al.⁸⁾ および Perrot et al.⁹⁾ は、国内トップレベルの柔道選手、プロのダンサー、一般成人を対象に安静立位時の重心動揺測定から静的バランス能力を、また振動台起立時の重心動揺測定から動的バランス能力を評価・比較したところ、閉眼時において柔道選手がダンサーおよび一般成人に比べ、両バランス能力ともに優れていたと述べ、その理由として、柔道のもつ格闘技的運動特性の影響をあげている。すなわち、柔道は相手が投げようとする力に抵抗しながら姿勢の安定性を保たねばならない競技であることから、特に体性感覚系機能が改善されたことによりバランス能力が向上したものと考察している。

立位姿勢は感覚入力系、中枢処理系（中枢神経系）、効果器（筋・骨・関節）の3つのシステムによって調節されている。すなわち、視覚系、前庭系および体性感覚系からの感覚入力は環境に対する身体の適切な定位に関する情報を提供し、中枢処理機能はそれらの感覚入力を統合・評価

し、効果器への適切な感覚運動性の反応を選択し、感覚入力に応じて適時かつ効果的な姿勢調節を行っている⁷⁾。この姿勢調節システムについて、本結果から言及できることは、次のとおりである。前述したように本結果の筋放電潜時において、潜時が約200ミリ秒以下の下肢筋の筋活動潜時には柔道群と対照群の間には差異がみられず、潜時が約300ミリ秒以上の体幹筋の筋活動潜時は柔道群が対照群に比べ短かったことは、柔道群と対照群の感覚入力系機能には差異はなく、中枢処理系、効果器の機能において柔道群が優れている可能性を示唆しているものと思われる。今後、視覚系・前庭系・体性感覚系機能および筋力、柔軟性などの機能測定を行う必要があるものと思われる。

V まとめ

本研究は、不意に発揮していた力が解放された状態となる、荷重負荷解放 (unloading) 法を用いた外乱に対する柔道選手の立位バランス能力の特徴を明らかにするために、柔道群と対照群を対象に、unloading外乱時の足圧中心および下肢・体幹筋の筋放電潜時を分析し、比較検討した。結果を以下にまとめる。

1. 4%および6%負荷では、いずれの足圧中心からみた応答時間においても両群間に有意な差異は認められなかったが、8%負荷では、柔道群の復元時間の方が有意に短かく、外乱からの立ち直りが早かった。また、これは、最大動揺-復元時間の短縮に起因するものであった。
2. 下肢筋と体幹筋の放電潜時をみると、4%および6%負荷では、どの筋の放電潜時にも両群間に差異は認められなかったが、8%負荷では柔道群の腹直筋の放電潜時が対照群に比較し有意に小さな値を示した。

これらの結果から、unloading外乱に対する柔道選手のバランス能力は対照群に比べ、外乱刺激が大きい場合に優れており、なかでも随意的な姿勢調節能力が優れていることが推察された。

参考文献

- 1) 嘉納行光, 竹内善徳, 醍醐敏郎, 中村良三, 川村禎三, 佐藤直踐: 柔道大辞典, アテネ書房, 東京, 1999.
- 2) 中村隆一, 斎藤 宏: 基礎運動学 第4版, 医歯薬出版, 東京, 1994.
- 3) 岡田修一: 加速度外乱に対する柔道選手の立位バランス能力の特徴, 柔道 64: 80-83, 1993.
- 4) 岡田修一: 加速度外乱に対する柔道選手の立位バランス能力の特徴 (II) - 視覚情報の有無による影響について -, 柔道 65: 73-77, 1994.
- 5) Okada Shuichi, Kazufumi Hirakawa, Yoshihiro Takada, Hiroshi Kinoshita: Age-related differences in postural control in humans in response to a sudden deceleration generated by postural disturbance, *European Journal of Applied Physiology* 85: 10-18, 2001.
- 6) Okada Shuichi, Kazufumi Hirakawa, Yoshihiro Takada, Hiroshi Kinoshita: Relationship between fear of falling and balancing ability during abrupt deceleration in aged women having similar habitual physical activities, *European Journal of Applied Physiology* 85: 501-506, 2001.
- 7) Patla A., Frank J.S. and Winter D. A.: Balance control in the elderly: implications for clinical assessment and rehabilitation, *Can J Public Health* 83: 529-533, 1992.
- 8) Perrin P., Deviterne D., Hugel F. and Perrot C.: Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control, *Gait and Posture* 15: 187-194, 2002.

-
- 9) Perrot C., Deviterne D. and Perrin P.: Influence of training on postural and motor control in combative sport, *J Hum Mov Studies* 35:119-136,1998.
 - 10) Woollacott M. H., Keshner E. A. and Debe B.: Neck, trunk and limb muscle responses during postural perturbations in humans, *Experimental Brain Research* 71:455-466,1989.