

健常成人における筋収縮様式の違いによる把持力調整能力の比較

— 把持力調整能力測定機器iWakkaを用いた検討 —

佐藤彰紘 金野達也 矢崎潔

(Akihiro SATO Tatsuya KANENO Kiyoshi YASAKI)

【要約】

《目的》本研究の目的は筋収縮様式の違いによって把持力調整の難易度に違いがあるのかを明らかにすることである。

《方法》対象は健常成人27名とし、把持力調整能力の評価には把持力調整能力評価機器であるiWakkaを使用した。

把持力調整能力の指標はiWakkaの目標値（山課題・谷課題）からの平均誤差値とし、平均誤差値が小さいほど、調整能力が優れていると判断した。実験では利き手・非利き手それぞれにおける求心性・遠心性収縮の平均誤差値を比較・検討した。

《結果》求心性・遠心性収縮の平均誤差値に有意な差は認められなかった。また、利き手-非利き手間の求心性収縮、遠心性収縮それぞれについても平均誤差値に有意な差はなかった。

《結論》今回の実験で行った精緻、かつゆっくりとした把持力の調整能力においては、筋収縮様式の違いにおける運動課題としての難易度には差がないことが示唆された。また、利き手-非利き手間でもその調整能力に差はなく、一方の手の運動障害の際、もう一方の手の把持力調整能力レベルが回復の指標となることが示唆された。

キーワード：把持力 筋収縮様式 iWakka

I. はじめに

筋収縮様式の適切な選択は運動トレーニングを実施する際に重要である。筋収縮様式は、筋活動中の筋長の変化に着目した分類が多く用いられる¹⁾。本分類において筋収縮様式は、筋収縮中に筋長が短縮する求心性収縮、筋長が長くなる遠心性収縮、筋長の変化がない静止性収縮の3つに分類される。

運動トレーニングと筋収縮様式との関係については、求心性収縮で角運動速度の増加に伴いピークトルクが減少することや²⁾⁻⁴⁾、筋力向上を目的としたトレーニングでは遠心性収縮を用いたほうが有利であると報告がある⁵⁾⁻⁸⁾。このように、運動トレーニングと筋収縮様式については密接な関係があるものの、これらの報告は下肢を中心としたピークトルクや最大筋力の向上に着目した報告が多く、精緻な運動が要求さ

れる上肢運動と筋収縮様式の関係性についてはあまり知られていない。

ヒトが合目的かつ効率的な運動を行うためには、その動作を素早くあるいはゆっくりと行う「時間性」、目的とする方向に正確に行う「空間性」、適度な強さで行う「強度」が必要とされている⁹⁾。上述のように下肢運動と筋収縮様式についての報告は「強度」の最大値について検討しているものが多い。しかし、上肢のように精緻な運動が要求される場合、求められる能力は「時間性」「空間性」「強度」の最大値ではなく、それらを細かく調整できる能力である。このように、上肢と下肢では求められる役割の違いがあり、下肢で行われている筋収縮様式に関する研究が、精緻な運動を要求される上肢運動にそのまま適用することは難しいと考えられる。

そこで我々は、森田ら¹⁰⁾が開発した把持力調整能

力測定機器（以下、iWakka）を用いて、筋収縮様式の違いにおける把持力調整能力を比較・検討し、筋収縮様式の違いによって把持力調整の難易度に違いがあるのかを明らかにすることを目的に実験を実施した。iWakkaは把持力調整能力を客観的に数値化することができるリハビリテーションの評価機器である。現在までに、筋出力の調整能力を客観的に評価できるデバイスはほとんど開発されておらず、そのため、筋収縮様式の違いが精緻な運動コントロールに与える影響については未知のままであり、本研究により、精緻な運動コントロールを行う上肢運動課題の難易度を筋収縮様式という側面から段階付けできるものと考えられる。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は健常成人27名（男性13名、女性14名、平均年齢 20.5 ± 1.0 歳）である。実験の実施に当たっては、対象者に書面と口頭で研究の内容について十分な説明をし、研究に参加することに同意を得られた者を対象とした。本研究は、目白大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号16-002）。

2. 方法

(1) 利き手の調査

利き手がどちらかを判断するために、Edinburgh Handedness Inventory¹¹⁾を用いてラテラリティ指数を算出し、ラテラリティ指数100から80を右利き、-20から-100を左利きとした¹²⁾。

(2) iWakkaの概要

iWakkaは、把持力調整能力を測定することができ

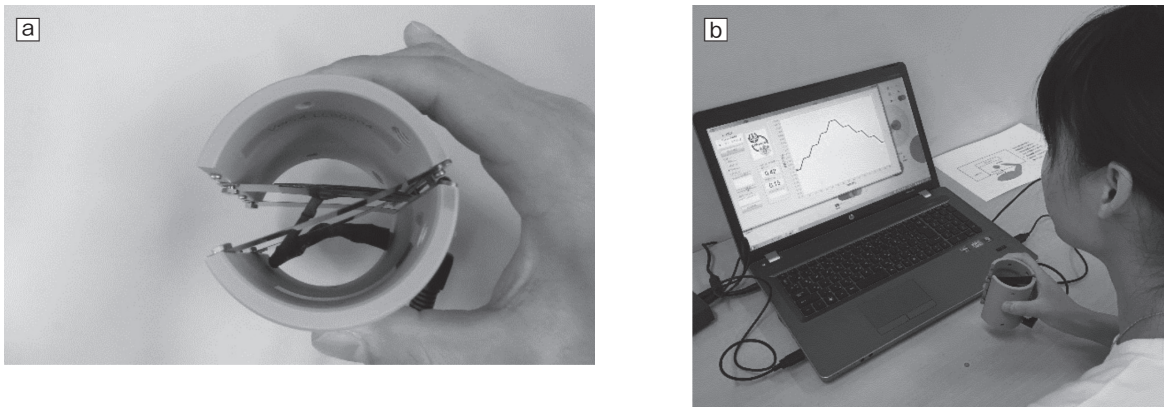


図1 測定デバイスと測定風景

aは測定に用いたC字状のデバイス、bはパソコンのモニターを見ながら実際に測定を行っている風景である。

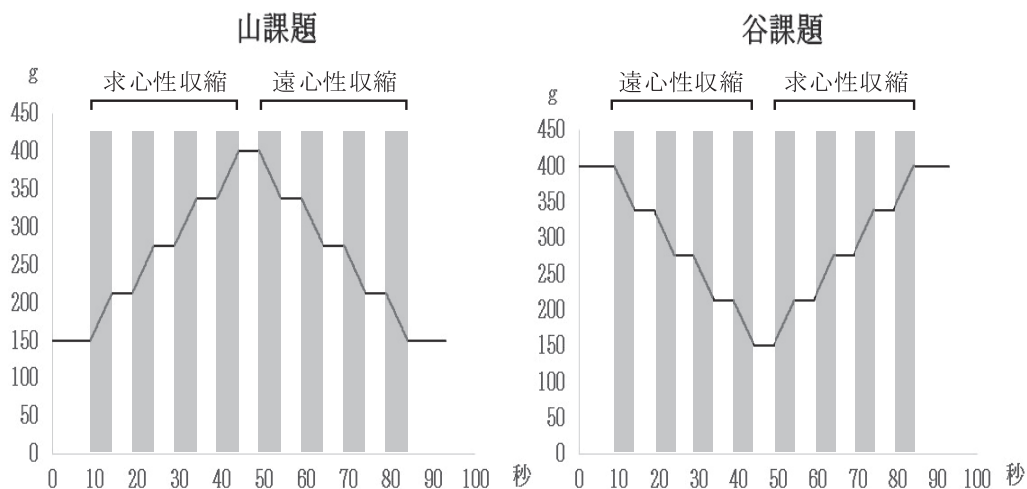


図2 iWakkaの評価課題

x軸が課題開始からの経過時間を示し、y軸が把持力を示しており、図中の実線は目標値である。それぞれ正の傾きの部分を求心性収縮、負の傾きの部分を遠心性収縮区間とし、実際に関節運動の起こる網掛け部分について目標値からの誤差面積を算出し、それを測定時間で除した値を平均誤差値とした。

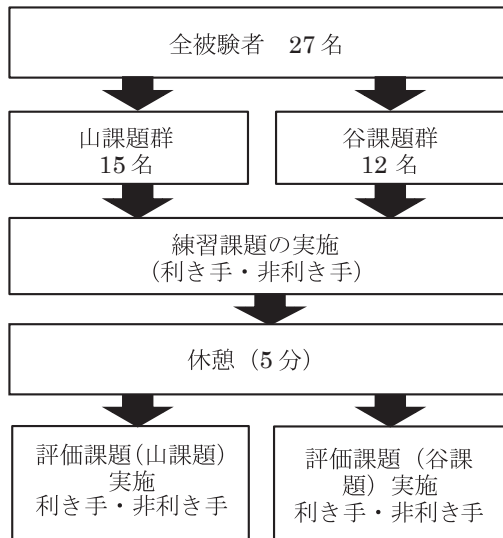


図3 測定の流れ

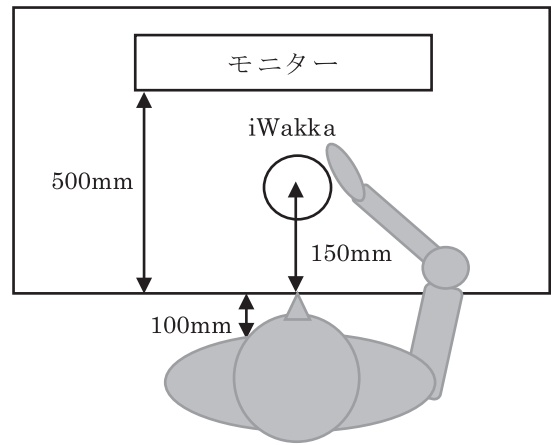


図4 測定環境

る機器である。対象者は開閉の可動性を持つC字状のパイプを把持し（図1a）、パソコンモニターに表示された目標値に合わせてその把持力を調整する（図1b）。パイプの内部には板バネに取り付けられたひずみセンサーがあり、パイプの開閉によって生じる板バネの歪みが計測できる。これをパソコン上で把持力に変換し、それがリアルタイムにグラフ化され、把持力の変化を可視化できるようになっている。iWakkaの評価課題には目標値が山型になっている山課題と谷型の目標値になっている谷課題という2種類の課題を設定した（図2）。目標値の最小値は150g、最大値は400gであり、時間経過に伴ってパイプを握りこむように把持力を徐々に強くする区間を求心性収縮、パイプの握りを徐々に弱めて手を開いていく区間を遠心性収縮として分析を行った。この分析区間で得られた把持力の目標値と対象者が与えた実測値との差の絶対値を評価の時間区間で除した平均誤差値を算出し、これを把持力調整能力の指標とした。すなわち、この平均誤差値が小さいほど把持力調整能力が優れていることを示している。

(3) 測定の流れと環境（図3）

対象者には山課題、谷課題のいずれかをランダムに提示し、利き手・非利き手のそれぞれで課題を実施した。

測定に当たっては、iWakkaを用いる課題内容を理解してもらうために、測定前に練習として評価課題とは異なる目標値の課題を設けた。測定時の環境は、森田ら¹³⁾を参考に、以下のように設定した（図4）。対

象者の座る位置と姿勢を一定にするために、背もたれは使用せず、両脚は肩幅程度に開いた状態で、膝関節は90度屈曲位とし、体幹とテーブルまでの距離を100mmとした。また、テーブルの端からiWakkaまでの距離を150mm、モニターは500mmの位置に設定した。iWakkaは、肘を机にのせた状態で水平に保ち、テーブルから30mm程度持ち上げることとした。テーブルは差尺を基準に、本人が操作しやすい高さにし、静かな環境で実施した。練習課題実施後、5分程度休憩を取り、練習課題と同様の設定で評価課題を実施した。

(4) データの分析

得られたデータから、利き手、非利き手それぞれにおける求心性収縮・遠心性収縮間の把持力調整能力、また、求心性収縮、遠心性収縮それぞれにおける利き手・非利き手間の把持力調整能力の平均誤差値について対応のある2群間のt検定を行った。山課題と谷課題での課題間の差異を検討するために、山課題を提示した群（n=15）と谷課題を提示した群（n=12）における筋収縮様式間については独立した2群間のt検定を行った。すべての統計解析にはSPSS ver.22を使用し、統計学的有意差判定基準は5%未満とした。

III. 結果

対象者のラテラリティ指数より、右利きが24名、左利きが3名であった。

表1に山課題を行った群と谷課題を行った群の求心

表1 山課題－谷課題間におけるiWakkaによる把持力調整能力の平均誤差値 (g)

	山課題群 (n=15)				谷課題群 (n=12)			
	利き手		非利き手		利き手		非利き手	
	求心性 収縮	遠心性 収縮	求心性 収縮	遠心性 収縮	求心性 収縮	遠心性 収縮	求心性 収縮	遠心性 収縮
平均	4.3	4.5	4.6	4.7	5.2	5.0	5.3	5.0
標準偏差	1.0	1.3	0.8	1.2	1.3	1.0	1.8	1.2

※山課題－谷課題間における求心性収縮，遠心性収縮の平均誤差値は利き手，非利き手ともにすべて有意差は認められない。

性収縮、遠心性収縮それぞれの平均誤差値を示す。利き手・求心性収縮における山課題群の平均誤差値は 4.3 ± 1.0 g (平均 \pm 標準偏差)、谷課題群では 5.2 ± 1.3 g であり、有意な差は認められなかった ($p=.051$)。次に利き手・遠心性収縮における山課題群の平均誤差値は 4.5 ± 1.3 g、谷課題群では 5.0 ± 1.0 g でこちらも有意な差はなかった ($p=.030$)。非利き手・求心性収縮における山課題群の平均誤差値は 4.6 ± 0.8 g、谷課題群で 5.3 ± 1.8 g ($p=.171$)、非利き手・遠心性収縮における山課題群の平均誤差値は 4.7 ± 1.2 g、谷課題群で 5.0 ± 1.2 g ($p=.551$) であり、全てにおいて有意な差は認められなかった。山課題群と谷課題群では、求心性収縮区間と遠心性収縮区間のどちらが先に行われるかという点で違いがある。谷課題を行った群で平均誤差値が高い傾向にあったものの、統計学的に平均誤差値に有意な差はなく、課題による差異は認められなかった。

表2に全対象者における利き手－非利き手の平均誤差値の結果を示す。利き手・求心性収縮の平均誤差値は 4.7 ± 1.2 g、遠心性収縮についても 4.7 ± 1.2 g であり、求心性収縮・遠心性収縮間ではほぼ同等の値となり、有意な差は認められなかった ($p=.999$)。非利き手においても同様の傾向が見られ、求心性収縮では 4.9 ± 1.3 g、遠心性収縮では 4.8 ± 1.2 g であり、求心性収縮・遠心性収縮間に有意な差は認められなかった (p

$=.627$)。

利き手－非利き手間における求心性収縮の平均誤差値、同じく遠心性収縮の平均誤差値についても有意な差は認めなかった (求心性収縮： $p=.502$ 、遠心性収縮： $p=.659$)

IV. 考 察

上肢運動能力に関するリハビリテーション評価には、Purdue peg board testや簡易上肢機能検査 (STEF) がよく用いられる。しかし、これらの評価法は、主として運動の要素である「時間性」の量的な最大値を求めることができるが、上肢運動に求められる精緻な運動調整能力を定量化して評価することはできていない。鎌倉ら¹⁴⁾は、手の微調整能力の評価に関して、一般的に使用されている評価法は開発されていないこと指摘している。しかし、今回実験で用いたiWakkaは、精緻な運動調整能力を定量的に評価できるという点で上述の評価の不足を補完できる。

今回の実験より、把持力調整能力については求心性収縮と遠心性収縮の平均誤差値は非常に近似した値であり、有意差も認められなかった。下肢で行われている研究では、筋収縮様式によってピークトルクが異なること等が報告されているが²⁴⁾、我々が今回用いた条件下、即ち、視覚的フィードバックを受けながらの

表2 全対象者の利き手－非利き手におけるiWakkaによる把持力調整能力の平均誤差値 (g)

	利き手 (n=27)		非利き手 (n=27)	
	求心性収縮	遠心性収縮	求心性収縮	遠心性収縮
平均	4.7	4.7	4.9	4.8
標準偏差	1.2	1.2	1.3	1.2

※利き手における求心性収縮と遠心性収縮，非利き手における求心性収縮と遠心性収縮，求心性収縮における利き手と非利き手，遠心性収縮における利き手と非利き手，いずれも有意な差は認められない。

筋力の調整、等速度・低負荷の筋力の調整においては、筋収縮様式間の影響を受けにくく、課題としての純粋な難易度のみが影響するために、同等の負荷量を課した求心性収縮と遠心性収縮間で有意差がでなかったものと考えられる。このことは下肢で行われている筋収縮様式に関する研究にはない視点であり、上肢運動のリハビリテーションで有用な情報となる可能性がある。しかし、継時的にトレーニングを行う場合、求心性収縮と遠心性収縮のどちらの筋収縮様式を用いることが調整能力向上のためにより効率的であるかということは今回言及されておらず、更なる検討が必要である。

また、利き手と非利き手間の求心性収縮、遠心性収縮についてもそれぞれ平均誤差値に有意な差はないという結果となった。利き手・非利き手の運動機能についての研究では、加齢に伴う運動機能の変化は利き手・非利き手でその特徴が類似することや¹⁵⁾、利き手の作業訓練もしくは非利き手の作業訓練がそれぞれ対側肢への作業効率にも良い影響を与えること等が報告されている¹⁶⁾。このように運動学習において、利き手の運動技能は少なからず対側肢の運動に正の影響を与えている。このことから、今回の課題のようにゆっくりとした把持力調整という単純な運動課題では利き手-非利き手間で学習の転移の利得が得やすく、利き手・非利き手間の運動能力に差が少なかったものと考えられる。このことは、どちらか一方の手の運動機能障害が起こった場合、それが利き手か非利き手かによらず、もう一方の手の把持力調整能力レベルが回復の指標となるかもしれないということを示唆している。

V. 研究の限界

今回行った課題はゆっくりとした一定の速度における把持力調整能力を測定したものであり、速度が異なる場合や把握調整能力の負荷量を変更した場合については考慮されておらず、今回の結果が速度や運動の強度を変更しても同様の傾向を示すかについては更なる検討が必要である。また、把持動作以外の動作においても今回の結果と同様になるかについても今後検討が必要である。

また、今回実験で用いたiWakkaについては、精度の高い評価機器であるものの、今後、把持力調整能力

評価として活用するためには、評価機器としての信頼性・妥当性、測定誤差の範囲、年齢による平均等を明らかにすることが望まれる。

謝辞

本研究の実施にあたり、iWakkaの使用法や評価に関する助言・システム構築等、多大なご協力をいただきました名古屋工業大学大学院の森田良文教授に深謝いたします。また、実際のシステム作成をいただきました名古屋工業大学大学院生の柴垣浩明氏にも感謝申し上げます。

【文献】

- 1) 中村隆一 他：基礎運動学 第6版. 78-80, 医歯薬出版 (2003)
- 2) 市橋則昭 他：膝関節屈伸筋における求心性収縮と遠心性収縮の力-速度関係. 理学療法学 19, 388-392 (1992)
- 3) 高柳清美 他：筋力, 筋電図を用いた正常人膝の遠心性収縮と求心性収縮の比較. 理学療法学 19, 30-35 (1992)
- 4) 田澤浩司 他：膝伸展機構に関する筋電図学的研究-等速・等尺運動における大腿直筋と内外側広筋について-. 東北整災紀要 36, 304-307 (1994)
- 5) 小林拓也 他：筋力増強運動における運動速度と収縮様式の違いが骨格筋の微細損傷に及ぼす影響. 理学療法学 41, 275-281 (2014)
- 6) 寺田茂 他：求心性収縮及び遠心性収縮における筋収縮特性-筋酸素動態変化からの検討-. 理学療法科学 24, 715-719 (2009)
- 7) Hortobagyi T, Barrir J, et al.: Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. J Appl Physiol 81, 1677-1682 (1996)
- 8) Higbie EJ, Cureton KJ, et al.: Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. J Appl Physiol 81, 2173-2181 (1996)
- 9) 福井園彦 他：脳卒中最前線 第3版. 169-173, 医歯薬出版 (2003)
- 10) 森田良文, 鶴飼裕之, 佐藤徳孝 他：感覚運動統合機能評価装置及びこれに使用されるグローブ, 特許出願 2012-202994 (2012.9)
- 11) Oldfield RC: The assessment and analysis of handedness. The Edinburgh Inventory 9, 97-113 (1971)
- 12) Sakano N: Latent left-handness: Its relation to hemispheric and psychological functions. VEB Gustav-Fisher Verlag Jena (1982)
- 13) 森田良文, 中嶋慎吾, 佐藤徳孝 他：把握力調整能力の定量的評価システム. 日本福祉工学会誌 (印刷中).

- 14) 鎌倉矩子, 中田真由美: 手を診る力をきたえる. 三輪書店, 12-16 (2013)
- 15) Michimata A, Kondo T, Suzukamo Y, et al. : The manual function test: norms for 20- to 90-year-olds and effects of age, gender, and hand dominance on dexterity. *Tohoku J Exp Med* 214, 257-267 (2008)
- 16) Yoo I : Specialization in interlimb transfer between dominant and non-dominant hand skills. *J Phys Ther Sci* 27, 1731-1733 (2015)

(2016年10月3日受付、2016年11月10日受理)

Comparison between the grip force adjustment capability and muscle contraction pattern in healthy adults:

—A study using iWakka device for the assessment of grip force adjustment capability—

Akihiro SATO¹⁾, Tatsuya KANENO¹⁾, Kiyoshi YASAKI¹⁾

【Abstract】

Objective: This study aimed to clarify whether the difficulty of grip force adjustment is different according to the type of muscle contraction pattern.

Methods: An *iWakka* device was used to assess grip force adjustment capability in 27 healthy adults. Mean error of the standard value of the *iWakka* device was considered to be the index for grip force adjustment capability. It was determined that the smaller the mean error, the better the adjustment capability. In this study, the mean errors of concentric and eccentric contractions in the dominant and non-dominant hands were compared and examined.

Results: No significant difference was observed in the mean error between concentric and eccentric contractions. Furthermore, no significant difference was observed for concentric or eccentric contractions between the dominant and non-dominant hands.

Conclusions: In the assessment of complex and slow grip force adjustment capability, there was no difference observed in the difficulty of a movement task with regard to the type of muscle contraction pattern. In addition, no difference in adjustment capability was observed between the dominant and non-dominant hands. Therefore, when the mobility of one hand is impaired, the grip force adjustment capability of the other hand could serve as an index of recovery.

Keywords : grip force, muscle contraction, iWakka

1) Department of Occupational Therapy, Faculty of Health Science, Mejiro University