



指の姿勢制御を用いた握力調節

浅津秀行¹⁾, 宮上昌大²⁾, 梶本裕之²⁾

1) 電気通信大学総合情報学科 2)電気通信大学大学院情報学専攻
(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, asazu, miyakami, kajimoto}@kaji-lab.jp)

概要: 握力の発揮には複数の指が関与し, 相互作用することが知られている. この指の相互作用を制御することにより握力を調節することが出来れば, 主観的な対象物体の重さ改変による重力感提示, 運動中の適切な握力の教示等に利用できる可能性がある. 本研究では特定の指の姿勢を制御することで握力が変化するという現象について報告する.

キーワード: 握力調節, 姿勢制御, 力覚, 教示, バーチャルリアリティ

1. はじめに

多くの物体操作には握力が必要であるが, 握力の発揮には複数の指が関与し, 相互作用することが知られている. もしこの握力を外部から制御することができれば, 次のような運動教示やバーチャルリアリティ (VR) への応用ができる可能性がある. 例えば野球やテニス, バドミントンなどの道具を使用するスポーツではより精密な動きをするために適切な握力を適切なタイミングで発揮することが大切である. 例えばバドミントンではスマッシュの直前に力強くグリップを握ることでスマッシュ速度が大きく向上する. こうしたタイミングを初学者に教示するために, 外部からの握力操作は有効である可能性がある. また例えば VR 空間中での力の提示には一般に大掛かりな力覚提示装置が必要とされている. もし外部からの握力制御が可能であれば, 例えばコントローラを把持している手先の皮膚変形が減少し, 結果として (皮膚変形が力覚に関与しているという多くの知見[1]から) 対象物の重量を主観的に錯誤させることができる可能性がある.

スポーツの分野では特定の指の使用/不使用が握力に影響を与えることが知られている. 我々はこれをヒントに, 特定の指の姿勢を制御することで握力を多段階制御できるのではないかと考えた. 本稿では, その予備的検討として特定の指の姿勢を一定の角度に固定することによる指

全体の握力への影響について報告する.

2. 関連研究

Richards ら[2]は前腕の姿勢と握力の関係について, Kuzala ら[3]は腕節の姿勢と握力の関係についての研究を行っている. これらは腕節, 前腕の姿勢が限定されるため握力調節の応用には向かない. Ohtsuki ら[4]は人の握力に最も影響を及ぼす指は中指だと報告しており, Olatsdottir ら[5]や Danion ら[6]は指同士の相互作用について, Duinen ら[7]は指の機能について報告しているが指の姿勢と握力についての詳細な検討は行っていない.

3. 予備実験

3.1 実験概要

予備実験として, 特定の指を伸展状態で固定した時の指全体の握力変化について測定を行った.

3.2 被験者・実験手続き

被験者は男性 6 名 (21~36 歳) で行った. 被験者は指と手背が一直線になるように固定し, 直立した状態で握力を測定した. 特定の指を固定した状態ではその指で握ることが困難であるため, 握力の低下が特定の指を固定したために起こっているのか, もしくは指の固定は握力低下に関係せず, 指を使用しないために起こっているのかを検証するため, 固定器具非装着状態で対象の指を使用しないという条件を設定して握った時の握力も測定した. 握力測定には握力計(N-FORCE, B01J569PLY)を用いた.

3.3 実験結果

実験結果を図 1 に示す。各折れ線は被験者ごとの結果である。薬指を固定した場合に最も握力低下を引き起こし、中指と小指が同程度の握力低下を引き起こした。固定器具を用いない場合の結果を図 2 に示す。固定具装着時と非装着時を比較すると固定具装着時は非装着時に比べて全体的に握力が低下し、特に人差し指と中指、薬指固定時に指全体の握力が低下したが、薬指で最も顕著な握力低下が見られるという結果は変わらなかった。

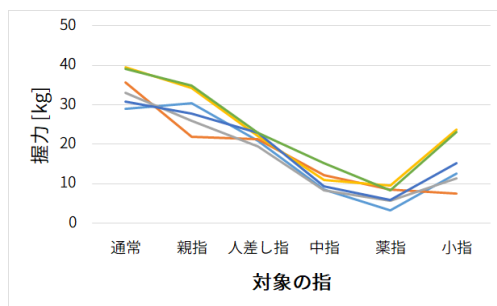


図 1 固定器具装着時の各指の握力

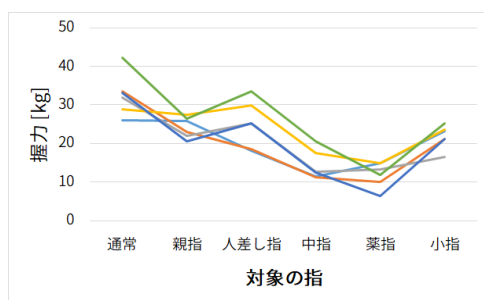


図 2 固定器具非装着時の各指の握力

4. 実験

4.1 実験概要

予備実験より特定の指を伸展状態で固定すると握力が低下することが判明した。また予備実験では指の腱の動きが制限されることによって握力が低下しているという感想が多く見られた。予備実験では手背と指が一直線になるように固定した。すべての指は指同士が腱で繋がっているため手背と指の角度を甲側方向に大きくすることによって、指同士の角度差が大きくなり、より握力低下が引き起こされると予想される。この仮説を検証するため、今回は予備実験の際に握力低下に大きく寄与した人差し指、中指、薬指を対象として、指の角度と握力、さらに違和感の関係を検証した。

4.2 実験装置

本実験では予備実験で用いた握力計の他に、一片を 10° ,

25° , 40° に切断した三角形の亚克力板(厚さ 15mm)を用意し、指をこれらの角度に固定した。

4.3 実験条件

被験者は男性 5 名、女性 1 名 (21~23 歳、全員右利き) で握力測定は利き手でを行った。被験者は実験中握力計の数値を確認せず、実験担当者がその数値を記録した。刺激条件は指の固定角度 3 種類(10° , 25° , 40°)×指の三種類 (人差し指、中指、薬指) の計 9 種類で、ランダム順に行った。

4.4 実験手続き

実験手続きは以下の通りであった。

(1) 被験者は固定具非装着状態で握力計を用いて握力を測定した。

(2) 2 分間の休憩をはさみ (筋力トレーニング時の疲労回復時間の知見[8]から) 固定具非装着状態で握力計を用いて握力を測定し、続いて握力計に貼り付けられた亚克力板の固定具に特定の指が固定されるように握って握力を測定した。

(3) 被験者は固定具装着状態と非装着状態を比較して感じた違和感について 7 段階リッカートスケール (1: 違和感が少ない, 7: 違和感が大きい) で回答し、主観的な握力をマグニチュード推定法 (固定具非装着状態の主観的な握力を 100 とした時の固定具装着状態の主観的な握力) で回答した。

9 個の条件に対してランダム順で (2) (3) を行った。



図 3 実験の様子

4.5 実験結果

条件ごとの握力を図 4 に、違和感を図 5 に、主観的な握力を図 6 に示す。固定具装着状態の握力値は平均すると常に人差し指が一番強く、角度によって中指と薬指の握力値が前後した。固定具装着状態で握ることに対する違和感は 25° 条件を除き、すべての角度で人差し指、中指、薬指の順で違和感が少なかった。主観的な握力評価は人差し

指が常に高く、中指と薬指には大きな差がなかった。しかし 10°, 25° 条件では中指が低い傾向にあり、40° 条件では薬指が低い傾向にあった。

握力計で実際に計測した握力値と主観的な握力評価との相関分析を行った結果を図 7 に示す。(a) では人差し指と薬指に弱い相関があり、中指には相関がなかった。(b) では 10° のときに弱い相関があり、25° のときに中程度の相関、40° のときに強い相関があった。

握力計で実際に計測した握力値に関して、指ごと、また角度ごとに 2 要因分散分析を行った。角度条件×指条件の交互作用は(F=(4,45)=0.068, n.s.)有意でなかった。下位検定として Tukey 法による多重検定を行った結果を図 8 に示す。

違和感に関して、指ごと、また角度ごとにまとめてクラスカル・ウォリスの検定を行ったところ 5% 水準で有意であった。また、Tukey 法による多重検定を行ったところ図 9 のような結果が得られた。

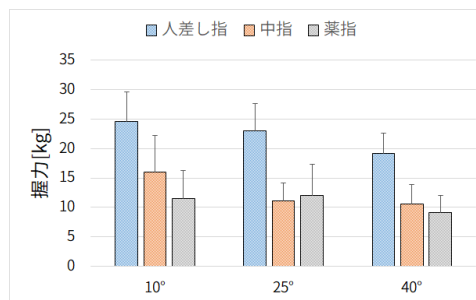


図 4 指の固定角度と各指の握力

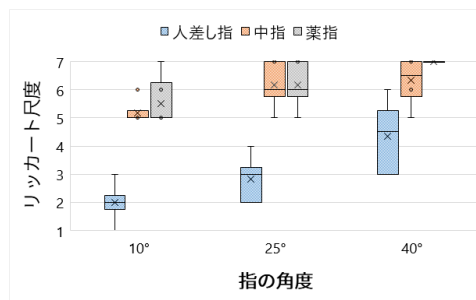


図 5 指の固定角度と各指の握り動作時の違和感

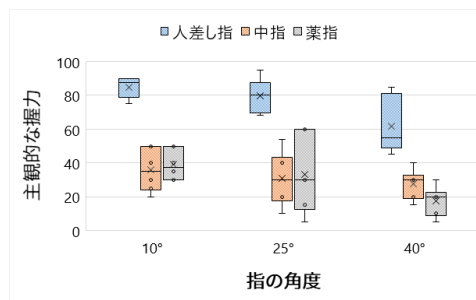


図 6 指固定の角度と各指の主観的な握力

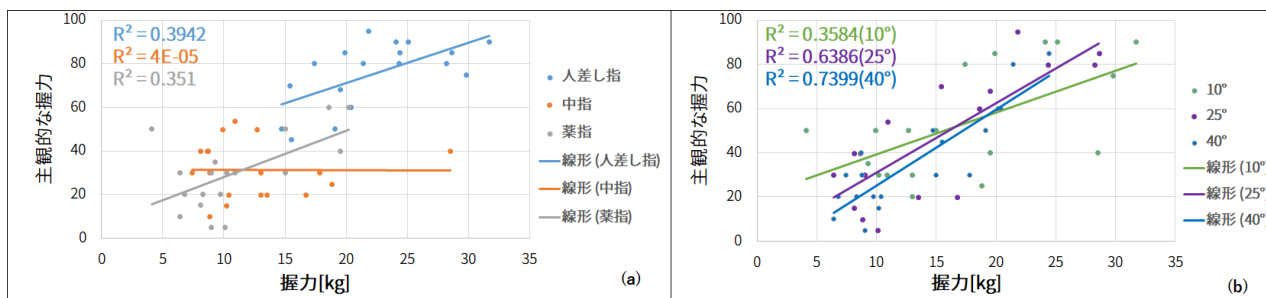


図 7 計測した握力と主観的な握力の関係：(a) 指ごと (b) 角度間の比較

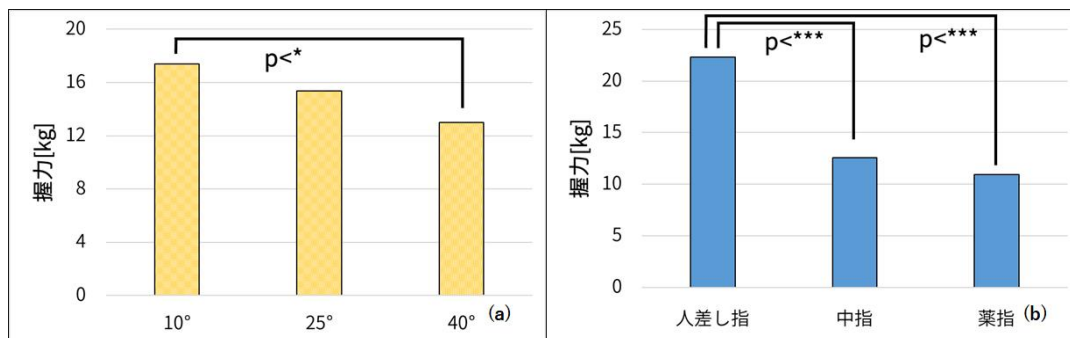


図 8 計測した握力値の比較：(a) 指ごと (b) 角度間の比較 (* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001)

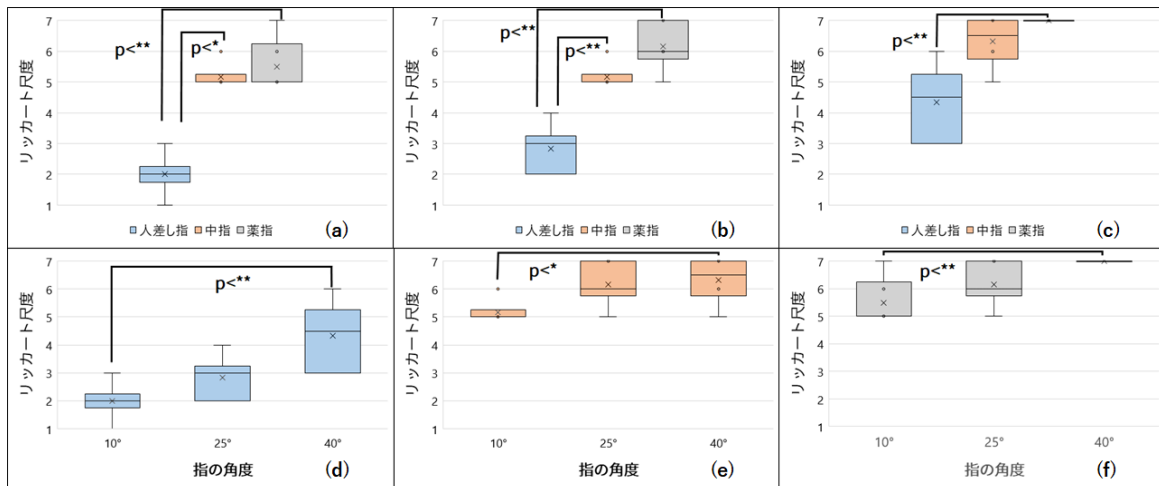


図 9 握るときの違和感とその比較：(a) 10° (b) 25° (c) 40° の際の指ごとの比較. (d) 人差し指 (e) 中指 (f) 薬指
 固定時の角度間の比較 (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

5. 考察

結果をもとに少ない違和感で、より大きな握力低下が生起する指を考える。人差し指は違和感は小さかったが、中指、薬指と比較して握力低下が少ないため今回の目的には適していないと考えられる。中指、薬指について考えると、固定具の角度が 10° のときの握力値は薬指固定条件が大きく低いが、違和感については中指固定条件と薬指固定条件の間に有意差が見られなかった。固定具の角度が 25° のときの握力値は中指固定条件がやや低いが、違和感については中指固定条件と薬指固定条件の間に有意差が見られなかった。固定具の角度が 40° のときの握力値は薬指固定条件が少し低いが、違和感については中指固定条件と薬指固定条件の間に有意差が見られなかった。これらの結果から、固定具の角度が 10° 程度では薬指が違和感の少ない握力低下に最も適しているが、25° から 40° 付近では中指と薬指の間に大きな差はないと考えられる。

6. おわりに

本稿では特定の指の姿勢を一定の角度に固定することで指全体の握力にどのような影響が及ぼされるかを検証した。その結果中指または薬指を手の甲側に 25° から 40° 程度で固定すると握力低下を強く生じることが分かった。今後は指の角度を定常的ではなく動的に変化させることによって握り動作にどのような影響が及ぼされるかを検証し、教示等の応用につなげる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP18H04110 の助成を受けた。

参考文献

[1] 南澤孝太, 深町聡一郎, 梶本裕之, 川上直樹, 舘暲:

バーチャルな物体の質量および内部ダイナミクスを提示する装着型触力覚ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 13, No. 1, pp15-23, 2008.

- [2] L. G. Richards, B. Olson, P. P. Thomas: How forearm position affects grip strength, *Am J Occup Ther*, 50, pp.133-138, 1996.
- [3] E. A. Kuzala, M. C. Vargo: The relationship between elbow position and grip strength, *Am J Occup Ther*, 46, pp.509-512, 1992.
- [4] T. Ohtsuki: Inhibition of individual fingers during grip strength exertion, *Ergonomics*, 24, pp.21-36, 1981.
- [5] H. Olatsdottir, V. M. Zatsiorsky, M. L. Latash: Is the thumb a fifth finger? A study of digit interaction during force production tasks, *Exp Brain Res*, 160, pp.203-213, 2005.
- [6] F. Danion, G. Schöner, M. L. Latash, S. Li, J. P. Scholz, V. M. Zatsiorsky: A force mode hypothesis for finger interaction during multifinger force production tasks, *Biol Cybern* 88, pp.91-98, 2003.
- [7] H. van Duinen, S. C. Gandevia: Constraints for control of the human hand, *J Physiol* 589, pp.5583-5593, 2011.
- [8] S. Seiler, K. J. Hetlelid: The Impact of Rest Duration on Work Intensity and RPE during Interval Training, *Med Sci Sports Exerc*, 37, pp.1601-1607, 2005.