

筋電図からみた手指動作に関する研究

An Electromyographic Study on Specificity of Handling Tools with Fingers

加藤 友紀子・吉野 宏志・加藤 象二郎*

愛知みずほ大学 *愛知みずほ大学人間科学部

Yukiko Katoh, Hiroshi Yoshino, Zojiro Katoh

Division of Human Sciences, Aichi Mizuho College

There are so many diversities in handling daily used tools such as Japanese chopsticks and scissors among students. In this study an experiment to clarify qualitatively a specificity of handling scissors and computerized game devices was conducted by the use of electromyographic method. Three pairs of electrodes were posted on related tendons of the thumb, index, and middle fingers respectively on the back of handed side to take surface electromyograms which were analyzed by the integration per second. The analysis of variance showed that muscle strengths between the thumb and middle fingers in handling scissors and game device had a significant difference. From this difference it was assumed that those with high finger dexterity display more muscle strength in the middle finger than in the thumb, and those with low finger dexterity display more muscle strength in the thumb.

Key words: finger dexterity, handling specificity, electromyogram

1. はじめに

手指動作は圧排動作と把握動作に分けられ、把握動作は、握り (power grip)、掴み(precision grip)、つまみ(pinch grip)、かぎ型(hook grip)の四つに分けられることが指摘されており¹⁾、その基本的かつ根本的な手指動作の代表例は箸やフォークや手指を使用した食行動であろう。手指動作と大脳皮質の感覚野・運動野との密接な関係の指摘や^{2) 3)}、発達心理学的側面から子どもの箸の持ち方に関する研究が見られるが^{4~11)}、青年期の学生の手指動作に関する研究は少ない。手指動作の巧緻性や技巧性はピアニストに代表されるが、手指動作の巧緻性や技巧性の学習過程と脳との生理学的機序については必ずしも明確になっていない²⁾。本研究では、学生を対象として日常よく使用されるはさみとゲーム機を用いて、指の使い方によどのような個人差が生じているかを実験的かつ定量的に評価することを目的とした。

2. 方法

1)被験者

被験者は健常な大学生 12 名(男 5 名、女 7 名)であった。被験者には実験の目的を事前に説明し、ボランティアレベルで被験者になることに同意を得た上で実験を行った。

2)実験条件

はさみ使用時における主要な指の使い方を筋電図上から測定するために以下の条件を設定した。

(1)はさみ使用時

はさみ(刃渡り 8.5cm)を使用して、A4 版白紙に書いた半径 10cm の円を切り取らせた(円形切り抜き課題)。また、紙を半分に折って切り取った蝶 (左右対称形)の見本を見せ、被験者に蝶の形になるように A4 のコピー用紙 1 枚を自由に切り取らせた(蝶切り抜き課題)。

(2)ゲーム機使用時

ソニー製のゲーム機である Play Station Portable 3000 (以下 PSP と表記) を用いて、「モンスターハンターG」の画面を操作し、細かい動作を研究対象とした。

(3)手指の最大筋力測定時

ネスカフェのクリーマー製品「ブライト」の空瓶 (直径 8cm、高さ 16.3cm、厚さ 3mm) を握らせ、「この

空瓶が割れるくらい力いっぱい指先で握ってください。」と教示し、拇指（親指）、示指（人差し指）、中指の最大筋力を 2 回計測した。

3)筋電図の測定方法

(1)測定機材

AD Instruments 社製 8ch バイオアンプを使用し、ローパスフィルターを 1KHz、ハイパスフィルターを 0.3Hz、ハムフィルター入にて使用し、AD 変換装置は AD Instruments 社製 PowerLab8 を使用し、サンプリングレート 1KHz にてパソコンに取り込んだ。パソコン用の解析ソフトは AD Instruments 社製 Chart Ver.5 を使用した。

(2)測定部位・電極配置

被験者の利き手側手背部の拇指（親指）、示指（人差し指）、中指のそれぞれに、指屈筋腱の繊維鞘（せんいしょう）上部 2 箇所と、前腕部浅指屈筋上部の 1 箇所に電極（双極誘導）を装着した。電極は小型生体用 Ag-AgCl（銀一塩化銀、日本光電製）電極を用いた。拇指、示指、中指を測定対象としたのは、はさみやゲーム機等の道具を用いる複雑な作業では、この 3 本の指を基本として使用していることから、拇指、示指、中指に限定した。

(3)筋電図データ処理要領

パソコンに取り込んだ筋電図波形は、分析ソフト Char V.5 によりオフセット 1 秒で積分し、処理した。分析対象区間（ハサミ 30 秒、PSP50 秒、握力 5 秒）での毎秒最大積分値（単位：mV/s）の平均を算出した結果を当該測定部位の筋力とした。

3. 結果

1)筋電図の測定結果

3 種作業課題（円形と蝶の切り抜きと PSP 操作時）遂行時の筋力の測定結果を図の 3-1 に示した。図から拇指と中指に極めて大きな個人差があると理解できる。すなわち、拇指と中指の使い方が個人差を識別する鍵となっていることを示唆している。3 種作業課題と 3 指についての分散分析を行った結果、作業課題の間には有意差が認められず（ $F=0.13$, $df=2/22$, ns）、また 3 指と作業課題の交互作用にも有意差は認められなかったが（ $F=0.73$, $df=4/44$, ns）、3 指において有意差が認められた（ $F=4.11$, $df=2/22$, $p<.10$ ）。LSD 法を用いて各指の多重比較を行った結果、拇指と示指、示指と中指との間に有意差が認められた（ $MSe=205.4321$, $p<.05$ ）。

図 3-2 は随意最大筋力に比較して 3 種作業課題実施時に 3 指に働く筋力との比率を求めた結果、拇指と中指で発揮される筋力が相対的に大きく、特に蝶の切り抜き課題や PSP 操作時では拇指の筋力発揮が全作業課題で大きいことを示している。

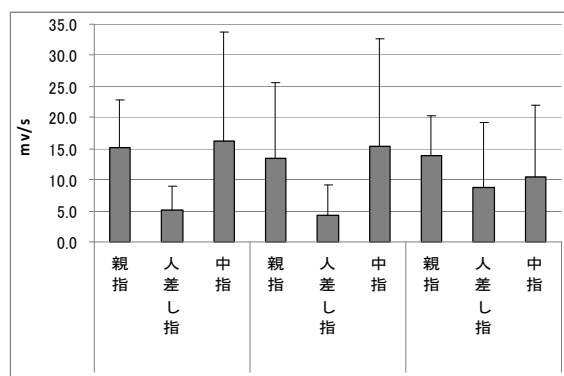


図 3-1 作業課題における各指の平均値と標準偏差

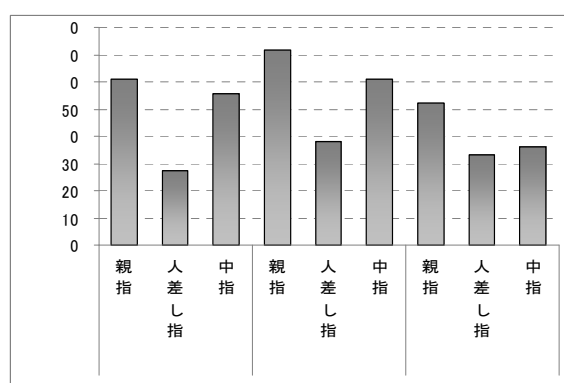


図 3-2 全力握力を基にした最大随意筋収縮比の算出結果

2)手指動作特性のパターン

先行研究において複雑な動作の習熟度が示指・中指に深く関係することが示唆されているが²⁾、分散分析結果からも示指と中指の間に有意差が認められたことから、特に中指の電位が大きい被験者を「中指筋力発揮型」とし、それ以外の被験者を「非中指筋力発揮型」と分類した。中指筋力発揮型と非中指筋力発揮型とを要因として分散分析を行った結果、蝶切り抜き課題、PSP 操作課題および円形切り抜き課題にそれぞれ有意差が認められた（ $F=9.57$, $df=1/10$, $p<0.05$, 図 3-3 ; $F=24.27$, $df=1/10$, $p<.01$, 図 3-4 ; $F=32.62$, $df=1/10$, $p<.01$, 図 3-5）。すなわち、3 種課題いずれにおいても中指筋力発揮型と非中指筋力発揮型との 2 グループに分けられることが判明した。以下に、3 種課題ごとにそれぞれ 3 指の筋力にどのような差異があるのかについて詳細分析結果を記す。

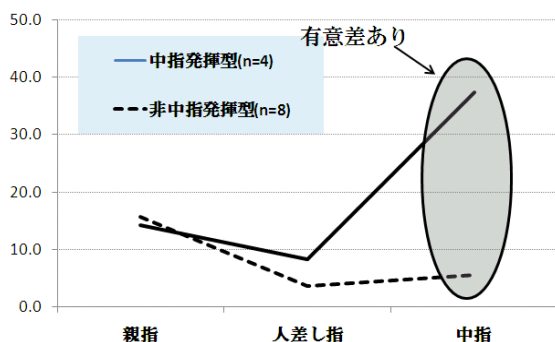


図 3-3 蝶切り抜き課題における発揮型と非発揮型の 3 指の筋力平均値

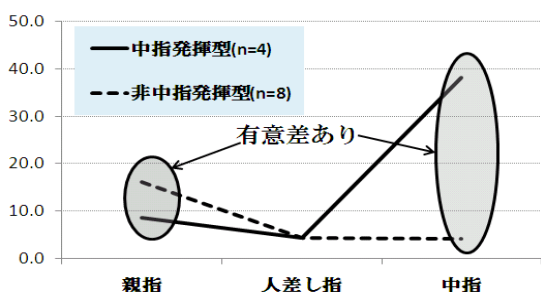


図 3-4 PSP 操作時における発揮型と非発揮型の 3 指の筋力平均値

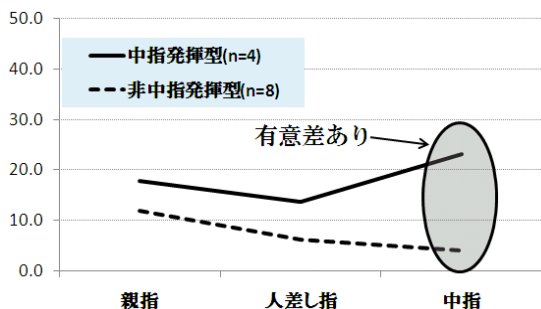


図 3-5 円形切り抜き課題における発揮型と非発揮型の 3 指の筋力平均値

(1)蝶の切り抜きに関する分析結果 (図 3-3)

中指筋力発揮パターンと 3 指との 2 要因分散分析の結果、各要因ともに、また交互作用も有意であった ($F=24.27, df=1/10, p<.01$; $F=13.23, df=2/20, p<.01$; $F=17.27, df=2/20, p<.01$)。LSD 法による多重比較の結果 ($Mse=48.49, p<.05$)、中指筋力発揮型では、拇指、示指と比較して中指に有意に力が入っており、非中指筋力発揮型では、示指と中指に比較し、拇指に有意に力が入っていた。よって、蝶の切り抜き課題において、

中指筋力発揮型は中指に力を入れ、非中指筋力発揮型では拇指に力を入れていることがわかった。

(2)PSP 操作時についての分析結果 (図 3-4)

蝶切り抜き課題と同様に 2 要因分散分析を行った結果、各要因ともに、また交互作用も有意であった ($F=9.57, df=1/10, p<.01$; $F=11.98, df=2/20, p<.01$; $F=20.74, df=2/20, p<.01$)。LSD 法による多重比較の結果 ($Mse=63.38, p<.05$)、中指筋力発揮型では、拇指より中指が、また示指より中指が有意に大きな筋力を発揮しているが、非中指筋力発揮型では逆に示指や中指の筋力より拇指の筋力が有意に大きいことが認められる。よって、PSP 操作時において、中指筋力発揮型では中指を、非中指筋力発揮型では拇指の筋力を主に使用していることが明らかとなった。

(3)円形切り抜きについて分析結果 (図 3-5)

中指筋力発揮パターンと 3 指との 2 要因分散分析の結果、中指筋力発揮型と非中指筋力発揮型との間にのみ有意差が見られた ($F=32.62, df=1/10, p<.01$)。しかし、3 指間や交互作用に有意差は認められなかった。円形切り抜き課題では個人差が大きく、中指筋力発揮型と非中指筋力発揮型で分類できても、3 指との関係が現れにくいことがわかった。

つまり、蝶切り抜きと PSP 操作時の分散分析の結果より、中指筋力発揮型においては中指に力を入れており、非中指筋力発揮型においては拇指に力を入れていることがわかった。

4. 考察

1)蝶切り抜きについて

蝶の切り抜き課題の動作において、中指筋力と拇指筋力の使用に明確な相違が認められた。また、最大随意筋収縮比の平均値から拇指は中指とともによく力が入れていることが判明した(図 3-2)。示指では、最大随意筋収縮比の 30%未満の筋力ではさみを操作していた(図 3-2)。中指筋力発揮型と非中指筋力発揮型において示指の電位にさほど差が見られないことから、はさみ持ち手の隙間を埋める働きやはさみの開閉の補助を担う働きがあるが考えられる(図 3-3)。

また、蝶の切り抜き課題は複雑な図形を下書きしないで切り抜く作業であるため、実験中の被験者の様子から、はさみを慎重に操作し、ゆっくり切り抜こうとする場面が多々見受けられた。上手に切り抜こうとする気持ちから、はさみの刃元を中心に小刻みにはさみを開閉させ、滑らかな動きでゆっくり切り抜く切り方と、刃元より刃先を中心に使用し、刃先の開閉が大きく、大きな動作で切り抜く切り方の 2 種類に分けられる。先行研究では、伝統的な箸の持ち方における拇指、示指、中指の独立した動作の発達過程にある場合、拇

指で箸を固定した状態で示指、中指にて遠箸を操作するという複雑な動作の習熟度が、箸の持ち方に深く関係し、箸の操作法に関して拇指の安定性との関連が指摘されている⁴⁾。はさみの持ち方においても、拇指を安定させてはさみを使用する方法と拇指が不安定な状態ではさみを使用する方法の2つに分けられる。中指筋力発揮型は拇指を安定させてはさみを使用し、また、中指と示指の筋力が発達しており、独立な動作が可能であることから、小刻みにはさみを開閉操作し、複雑な図形を切り抜く場合でもきれいに切り抜くことができると考えられる。また、非中指筋力発揮型では拇指が安定しておらず、中指と示指の独立した動作が発達していないため、3指の中で最も力の入りやすい拇指を使用してはさみを操作することから、微細な動作の調節がしにくいと考えられる。それゆえ、はさみの開閉が大きくなり、刃先を中心に使用する操作になるため、複雑な図形の切り抜きは不得意であることが考えられる。

2)PSP 操作について

PSP 操作では、被験者が拇指、示指を用いてボタン操作を繰り返した。ボタン操作は拇指、示指でしか行えないが、各指の平均値は中指が最も高く、次に拇指、示指の順であった。このことから、拇指と示指を中心にした手指の動作において、電位の大きさから中指の筋力が大きく影響していることが考えられる。

分散分析結果では蝶切り抜き課題と同様に、中指筋力と拇指筋力の使用に明確な相違があった。被験者の中には、実験で使用したゲームソフトまたは PSP の未経験者が含まれていたが、被験者に使用させたゲームソフトの慣れ・不慣れに関わらず、中指の筋力差によって中指筋力発揮型と非中指筋力発揮型とに分類されたことから、複雑な手指動作を要求する道具を使用する場合、その手指動作特性として中指の筋力を使用しているかどうかによって、道具の使用法あるいは持ち方に違いのあることが示唆される。

PSP の操作方法の特徴から、拇指、示指はボタン操作、中指はゲーム機本体を“支える役目”をしており、中指筋力発揮型において、非中指筋力発揮型のゲーム機を支える筋力を上回る力が発揮されていることから、中指筋力発揮型では中指の支える役目とは別の働きをしていることが考えられる。最大随意筋収縮比より、PSP 操作において平均して拇指に力を入れていることから、拇指に力を入れやすい道具であることが考えられるが、PSP のボタン操作はさほど力を入れずに行うことができる。しかし、ゲームソフトの内容から、素早く反応してボタン操作をする必要があり、刻々と変化する画面と音声に集中する必要があるため、拇指の瞬間的なボタン操作に力が入りすぎる傾向が考えら

れる。解剖学において、ヒトは拇指と他の指を対立させて、物をつかむことができ、また拇指と他の指を対立させる動物はヒトだけであるとされている⁵⁾。拇指と中指を対立させた状態でゲーム機本体を支えることで、拇指が瞬間的に大きな力を発揮でき、拇指と中指の最短距離でボタン操作ができることから、より素早くボタンを押せる状態が作られることが考えられる。また、非中指筋力発揮型は左右の手掌部で PSP を挟むように持っていたことから、拇指と中指が対立せず、拇指が瞬間的に大きな力を発揮できないことが考えられ、ボタン操作でより大きな力を発揮し、素早くボタンを押そうとする状態が作られやすいことから、非中指筋力発揮型では拇指を用いた微細かつ瞬間的な動作の連続には疲労が蓄積されやすいことが推察される。

つまり、非中指筋力発揮型の人、ゲーム機のみならず携帯電話などのボタン操作を必要とする機器の使用において、長時間あるいは瞬間的なボタン操作はあまり得意ではないと考えられる。一方、中指筋力発揮型は中指と拇指が対立した持ち方ができるため、拇指を用いた長時間の複雑かつ素早さを求められる手指動作を得意とするのではないだろうか。

3)円形切り抜きについて

円形の切り抜きにおいて、中指の筋力の強弱に有意差が見出されたが、指ごとの違いはみとめられなかった。円形は単純な一方方向の曲線が連続しており、下書きがされていることもあって、蝶の切り抜きよりも簡単に切り抜くことができる様子であった。このように簡単なはさみの操作においては、丁寧に切り抜く気配りは低く、個人が一番切りやすい切り方を選択する傾向があると考えられる。中指を中心の小刻みに切り抜く人は拇指を使用してはさみを大きく開閉して刃先まで使用し、拇指を中心に大きくはさみを開く人は、簡単な図形の切り抜きでは筋力発揮の微調整が必要とされないため、拇指の力を弱めて切り抜いたのではないだろうか。一番切りやすい一般的な切り方は拇指の筋力ではさみの開閉をし、使用することであると推察される。また、単純な図形の切り抜きに関して、個人差が大きく発現することから、日常生活の中での単純なはさみの使い方が円形の切り抜きのデータに反映されていると考えられる。

5. まとめ

今回の実験結果より、中指の筋力発揮において微細な調節ができるのは中指筋力発揮型であり、道具の複雑な使い方や素早さを求められる動作を得意としていることが判明した。また、非中指筋力発揮型においては、拇指を中心を使用するため、微細な手指動作は苦

手であり、丁寧さや繊細さを求められる動作を不得意とすることが理解された。

手指の協応動作を必要とする道具は多種多様であり、道具の複雑な操作において中指と拇指の違いがみられることは共通であることが示唆される。手指動作の器用さにおいて、中指の筋力が発達していることは微細な道具の使い方が得意であることが示唆された。

参考文献

1. 荒井孝和著、人間の手の話、ブルーバックス B-622、講談社、1985
2. 真島英信著、生理学、P260、文光堂、1978
3. 久保田競編著、虫明元・宮井一朗共著、学習と脳—器用さを獲得する脳—、サイエンス社、2007
4. 大岡貴史、板子絵美、飯田光雄、久保田悠、山中麻美、石田光、向井美恵、箸の操作時の手指運動についての三次元的観察—箸の操作方法と手指運動の関連について—、小児保健研究(68) pp.446-453 2009
5. 坂井建雄著、よくわかる解剖学の基本としくみ、メディカルサイエンスシリーズ、株式会社秀和システム、2009
6. 野中壽子、幼児の手指の動作の発達—書字動作を中心として—、日本保育学会大会研究論文集(37)、pp. 154-155、1984
7. 佐藤智朗、器用な手を育てる造形教育(1)—指先の触感覚の発達と器用さとの関連について、日本保育学会大会研究論文集、(47)、66-67、1994
8. 大岡貴史、板子絵美、飯田光雄、久保田悠、山中麻美、石田光、向井美恵、箸の操作時の手指運動についての三次元的観察—箸の操作方法と手指運動の関連について—、小児保健研究(68)、pp.446-453、2009
9. フリードリッヒ ヘリッヒ (Herig, F.)、手と機械、勝見 勝訳、科学振興社、1944
10. 雨宮俊彦、手指技能の枠組みについて、人間工学、24 巻 6 号、353-361、1988
11. 山下美佐子、若林文子、子どもの手指操作について、日本保育学会大会研究論文集、(53)、488-489、2000

ⁱ この論文は平成 21 年度に加藤友紀子と吉野宏志による卒業論文を基礎に作成したものである。