

原 著

## 健常学齢児における母指－示指タッピングの外部音の 速さの違いによる特徴と運筆課題能力との関連

吉田彩華<sup>1)</sup>, 中島そのみ<sup>2)</sup>, 池田千紗<sup>3)</sup>, 仙石泰仁<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 札幌医科大学大学院

<sup>2)</sup> 札幌医科大学保健医療学部作業療法学科

<sup>3)</sup> 北海道教育大学札幌校特別支援教育専攻

本研究では、母指－示指タッピング検査が不器用さの評価としての有用性を明らかにするための基礎的研究として、健常学齢児を対象に、母指－示指タッピングの外部音の速さの違いによる特徴を明らかにし、運筆課題の能力との関連を検討した。

タッピング評価は、1, 2, 3Hzの外部音に合わせて母指－示指タッピングを行った。分析指標は音－タイミングのずれ率、タッピング速度のずれ率、距離のずれ率とした。運筆課題は、2本の線で描かれた正三角形の罫線間に線を引く線引き課題で、はみ出し距離 (cm) 運筆時間 (秒)、運筆速度 (cm/s) を算出した。これらの分析指標を用い、タッピング評価と運筆課題の指標間について関連を検討したところ、タッピング評価の2Hzの音－タイミングのずれ率が大きくなると運筆時間が短くなるという有意な関連がみられた。このことから、2Hzの音－タイミングのずれ率は、運筆動作などの外部環境に運動を合わせる能力の有用な指標となる可能性が示唆された。

キーワード：運筆、協調運動、健常児、タッピング

### Relationship between characteristics of thumb-index finger tapping due to the difference in external sound speed and writing ability in healthy school-aged children

Ayaka YOSHIDA<sup>1)</sup>, Sonomi NAKAJIMA<sup>2)</sup>, Chisa IKEDA<sup>3)</sup>, Yasuhito SENGOKU<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Sapporo Medical University Graduate School

<sup>2)</sup> Department of Occupational Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University

<sup>3)</sup> Special Education Course, Hokkaido University of Education

To assess the usefulness of the thumb-index finger tapping test in assessing clumsiness, we determined the characteristics of difference in the speed of external sounds of thumb-index finger tapping and the relationship between thumb-index finger tapping and writing ability in healthy school-aged children.

The thumb-index finger tapping test was performed using external sounds of 1, 2, and 3 Hz, and the tapping interval time was noted. Analytical indexes were the deviation rate in the interval between the external sound and tapping timing, deviation rate of tapping interval time, and deviation rate of distance. The writing task was a line drawing task wherein a line was drawn between the ruled lines of an equilateral triangle drawn by two lines. Protrusion distance, writing time, and writing speed were calculated. We examined the relationship between finger tapping and writing task using the analytical indexes and found a significant relationship between writing time and deviation rate. Moreover, writing time became shorter with a 2-Hz deviation rate between external sound and tapping interval time. Our results suggest that the deviation rate of the external sound and tapping interval time at 2 Hz may be a useful index to assess the ability to adjust movement to the external environment, such as movement in stroke.

Key words : writing, motor coordination, healthy children, tapping

Sapporo J. Health Sci. 10:33-39(2021)

DOI: 10.15114/sjhs.10.33

## I. はじめに

自閉症スペクトラム障害 (ASD) や発達性協調運動障害 (DCD) などの発達障害児が示す日常生活上の問題として、文字や絵を上手にかけない、箸やハサミを上手に使用できない、うまく運動が行えないなどの不器用さが現れることがある<sup>1)</sup>。そういった困難を抱えている児は、運動のぎこちなさや遅さ、正確性の欠如など協調性の問題がみられ、学齢期以降では、それらの不器用さによって運動面での問題だけではなく、二次的に学業成績の低下や授業への拒否が見られることや、登校意欲の低下などにつながりやすいことがいわれている。さらに、いじめや自尊心の低下、うつ症状などの心理的・社会的問題に発展する可能性が示唆されており、早期発見・早期介入の重要性が指摘されている<sup>2)3)4)</sup>。

これまで発達性協調運動障害における協調運動の問題の一因として、次の運動を予測して制御を行う機能に関連のある内部モデル障害が特に大きく関わっていることが指摘されている<sup>5)</sup>。この内部モデルの障害は、主にタッピングなどリズムとの同期課題で評価され<sup>6)7)</sup>、母指と示指の2指で行うタッピング (以下、母指-示指タッピング) が研究では用いられてきた<sup>8)9)</sup>。母指-示指タッピングは、母指と示指の2指を開いた状態と、指先を合わせた状態を繰り返すことで構成されるタッピングであり臨床でも簡便に行える可能性があることから、現在、様々な測定機器の開発が行われている<sup>10)11)</sup>。

これまで母指-示指タッピングを用いた研究では、自閉症スペクトラム児に対してリズムカルなタッピング評価を行うことにより、健常者と異なった協調の特徴があることの報告や、健常成人と成人の ADHD を持つ者に対してリズムの評価を行った報告がなされている<sup>8)9)</sup>。さらに筆者は20代~70代の健常成人において、母指-示指タッピングを用いた協調運動評価は時間的な予期能力を評価できる可能性を示し、提示条件によっては上肢機能検査との関連も明らかとなり、再現性の高い評価である事を示した<sup>12)</sup>。このように、母指-示指タッピング評価は発達性協調運動障害などの発達障害が示す協調運動の問題を客観的に評価できる可能性はあるが、これまでの研究では自作のプログラムでの解析や<sup>10)</sup>、磁気センサを用いた機器<sup>9)</sup>、画像解析による分析<sup>12)</sup>など多様な方法が採用されており方法が統一されていないことや、基準値となる健常成人や定型発達児の特徴が明らかとなっていない。また、母指-示指タッピング検査の指標が示した値と日常生活上の活動との関連も明らかになっていないといった問題も残されている。

先にも述べたように、学齢期において不器用さから問題となる日常生活上の活動は様々あるが、なかでも線引き課題といった運筆活動は、はみ出さずに線を引くという正確性と、動作に要する時間を調節するといった要素を含んで

いる。はみ出さず正確に描くには、フィードフォワード制御にて適切な運動を予測して運動を行う必要があり、先行研究では運筆の正確性を維持するためには視-運動系のフィードバック制御がより必要であることが報告されている<sup>13)</sup>。運筆がうまくいかない場合、適切な運動の予測ができず目標の運動とフィードバックされた誤差情報をもとに運動を修正できていない可能性が考えられる。そのため運筆課題は、適切に運筆を行うため内部モデルを生成することが重要となる協調的な活動であると考えられる。

そこで、本研究では、不器用さの評価としての母指-示指タッピング検査の有用性を明らかにするための基礎的研究として、健常学齢児を対象にタッピング評価を実施し、母指-示指タッピングの健常学齢児における母指-示指タッピングの外部音の速さの違いによる特徴を明らかにし、学齢児が日常的に行う協調運動の一つである運筆課題の能力との関連を明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 対象

対象は、口頭および書面にて説明のもと、書面により研究に参加する同意が得られた健常学齢児20名(3年生5名, 4年生6名, 5年生5名, 6年生4名)である。対象児は全員右利きであった。今回用いる指タッピング測定装置であるタブレットトラッカー TT-Zや運筆課題に用いる液晶タブレット (以下、タブレット PC) の使用に支障をきたすような整形外科的・眼科的・耳鼻科的・神経学的な問題を認めない者で、運動課題の内容が理解できる者を取り込み基準とした。

### 2. 方法

対象者は椅子座位にて、タブレットトラッカー TT-Zによる母指-示指タッピングとタブレット PC による運筆課題を実施した。

#### ①母指-示指タッピング

タッピング評価は、外部音に合わせて母指と示指を対立させる母指-示指タッピングを行った。母指-示指タッピングの評価には、指タッピング運動測定装置タブレットトラッカー TT-Z (株式会社 Library 製, サンプリング周波数 30Hz) を用いた。タブレットトラッカー TT-Z はタブレット PC (Sony XPERIA) のアプリケーションであり、内蔵されたカメラによって自動で母指と示指に貼付したマーカーを認識し追跡を行う (図1)。この機器は、マーカーのシールを貼付するだけで簡便に指タッピング運動を記録することができ、より自然な状態でタッピングを行うことができる。計測の前に、あらかじめキャリブレーションを行い、外光や不要反射物などのノイズを除去した。タブレットを固定して上から撮影を行い、手指の対立運動を前腕橈側より撮影した。その際、手とタブレットトラッカー TT-Z の



図1 母指-示指タッピングの様子

間の距離は25cmとした。また、タッピングのポジションは、手関節を機能的肢位である20度に固定し、前腕の回内外の動きを抑制するため、机上に記載されたガイドラインに前腕を置き、中指と環指、小指の3指は机に固定した棒を軽く握ってもらった。対象者には「ガイドラインから腕がずれないようにすること、音が鳴ったときに示指と母指を閉じ、開く時は示指の長さと同じ距離（基準の距離）で示指と母指を開くよう」教示した。前腕中間位で母指-示指タッピングを行い、1, 2, 3Hzの外部音に合わせて40回実施してもらった。母指-示指タッピングの施行前には十分な練習を行った。

母指-示指タッピングの分析対象は、実施した40回の

タッピングのうちタッピング開始時と終了時5回ずつを除外し、タッピングが安定した間30回分とした。タッピング評価の指標は、外部音が提示された時間と母指と示指が接した瞬間の時間的なずれ（以下、音-タイミングのずれ率）、対象者のタッピングの間隔時間が外部音によって提示される音の間隔時間からどの程度ずれているのか（以下、タッピングの間隔時間のずれ率）、タッピング時の母指と示指を開く指間距離のずれ（以下、距離のずれ率）とした（図2）。それぞれのずれ率は、音-タイミングのずれ率 = |母指と示指が接した瞬間の時間 - 外部音が提示された時間| ÷ 外部音の間隔時間 × 100、タッピングの間隔時間のずれ率 = |母指と示指が接してから次に母指と示指が接するまでの時間 - 外部音によって提示される間隔時間| ÷ 外部音の間隔時間 × 100、距離のずれ率 = |測定距離 - 基準の距離| ÷ 基準の距離（示指の長さ） × 100の計算方法で算出した。

## ② 運筆課題

運筆課題は、タブレット PC (Sony VAIO Duo) とタブレット上に直接入力できるペン型マウス、および大柳ら<sup>14)</sup>が開発した上肢機能評価ソフトウェアを使用し、運筆課題実施中の液晶タブレット上のペン型マウスの位置座標の変化をサンプリング周波数133Hzで記録した（図3）。タブレットPCは机上前方から12.5cmの位置に設置し、利き手で運筆し、非利き手は液晶タブレットの左下方に接地させた。課題の内容は、2本の線で描かれた正三角形の罫線内に線を引く課題（以下、線引き課題）で、外側の正三角形の1辺は10cm、罫線間は3mmであった。対象児には「なるべ

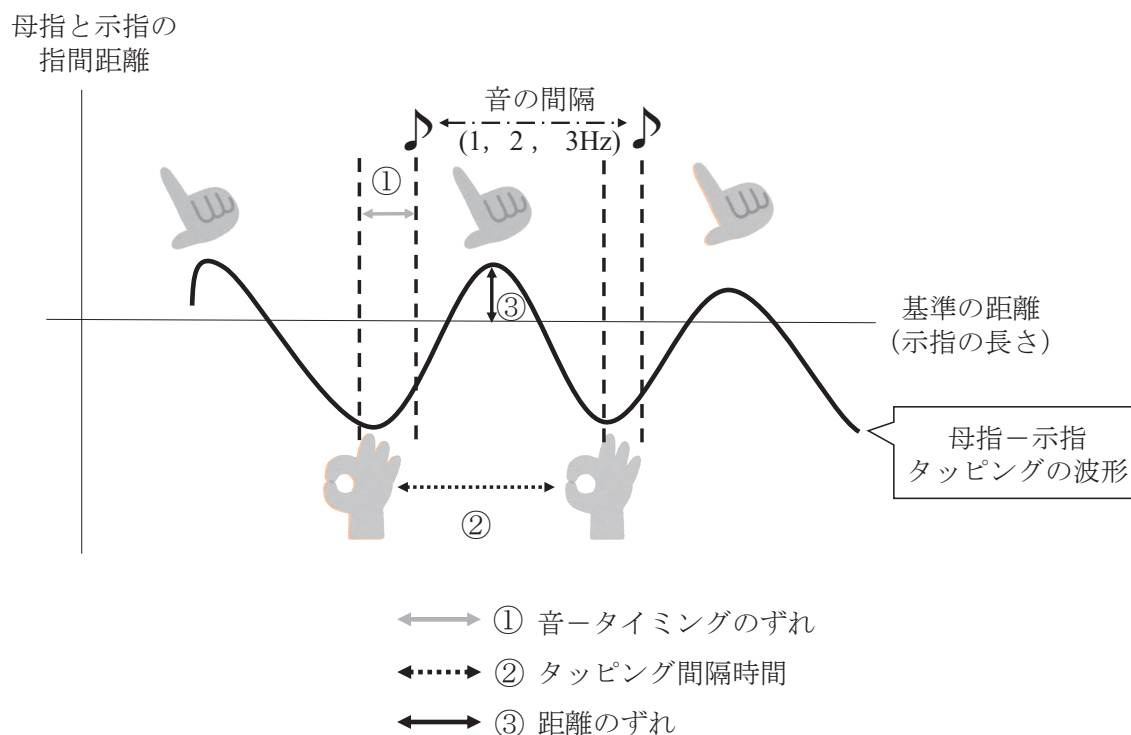


図2 母指-示指タッピングの評価指標

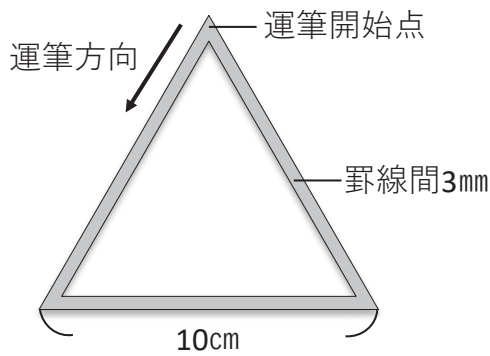


図3 運筆課題

く線からはみ出さないように、正確に描いてください。描いている途中でペンを画面から離さないでください」と教示し、数回練習の後、本人の運筆しやすい肢位で3回実施した。

運筆課題の指標は、はみ出し距離 (cm) と運筆時間 (秒)、運筆速度 (cm/s) について3試行の平均値を算出した。

### 3. 分析方法

これらの分析指標を用い、母指-示指タッピングの Hz ごとの検討は一元配置分散分析を、母指-示指タッピング評価の指標と運筆課題の指標間についてピアソンの相関係数を用いて関連を検討した。

## III. 倫理的配慮

対象児とその保護者に対して、研究前に本研究の目的および方法、予期される危険性について紙面にて説明し同意を得た上で行った。説明では同意しない場合でも不利益を受けないこと、同意をいつでも撤回できること、プライバシーの保護など被検者の人権に関わる事項は保障されることについても紙面にて伝達した。なお、本研究は札幌医科大学倫理委員会での倫理審査後、承認を受けて実施した (平成30年10月2日付承認)。

本研究に関して開示すべき利益相反はない。

## IV. 結果

今回の結果では、すべての項目に対して学年間での有意な差はなかった。

結果を出すにあたって、母指-示指タッピングと運筆課題の評価指標毎にスミルノフ・グラブス検定を実施し、指標ごとに外れ値を除外してから分析を行った。母指-示指タッピングでは音-タイミングのずれ率の1Hzと2Hzで各1名ずつ、タッピング速度のずれ率では1Hzと2Hzで各1名ずつ、距離のずれ率では1Hzと2Hzと3Hzで各1名ずつ除外を行った。運筆課題では外れ値はなかった。

表1 母指-示指タッピングと運筆課題の結果

		mean ± SD
音-タイミングのずれ率 (%) *	1Hz	9.8 ± 5.0
	2Hz	17.2 ± 9.8
	3Hz	25.5 ± 17.4
タッピング速度のずれ率 (%)	1Hz	1.9 ± 1.1
	2Hz	1.7 ± 0.8
	3Hz	1.5 ± 1.4
距離のずれ率 (%)	1Hz	13.3 ± 6.0
	2Hz	13.3 ± 5.2
	3Hz	14.6 ± 5.7
はみ出し距離 (cm)		0.2 ± 0.6
運筆時間 (s)		18.8 ± 6.9
運筆速度 (cm/s)		2.0 ± 0.8

\* 1Hzと2Hz、2Hzと3Hz、1Hzと3Hzで有意差あり (p<0.05)

### 1. 母指-示指タッピングの結果

母指-示指タッピングにおける音-タイミングのずれ率は、1Hzでは9.8 ± 5.0 (%), 2Hzで17.2 ± 9.8 (%), 3Hzで25.5 ± 17.4 (%)であり、外部音が速くなるにつれて有意にずれ率が大きくなっていった (表1)。タッピング速度のずれ率では1Hzでは1.9 ± 1.1 (%), 2Hzで1.7 ± 0.8 (%), 3Hzで1.5 ± 1.4 (%)となり、外部音の速さによって差はない結果となった。距離のずれ率では、1Hzでは13.3 ± 6.0cm, 2Hzは13.3 ± 5.2cm, 3Hzは14.6 ± 5.7cmであり外部音の速さによる違いは見られなかった。

### 2. 運筆課題の結果

運筆課題におけるはみ出し距離の平均値は0.2 ± 0.6cm, 運筆時間の平均値は18.8 ± 6.9秒, 運筆速度の平均値は2.0 ± 0.8cm/sであった (表1)。また、はみ出し距離と運筆時間の関連は  $r = -0.37$ , と有意ではないがはみ出し距離が長くなると運筆時間が短くなる傾向にあった。はみ出し距離と運筆速度の関連は  $r = 0.36$  と有意ではないがはみ出し距離が長くなると運筆時間が速くなる傾向にあった。運筆時間と運筆速度の関連は、 $r = -0.91$  で有意に高い相関が見られた ( $p < 0.01$ )。

### 3. 母指-示指タッピングと運筆課題の関連

タッピング評価とはみ出し距離との関連では、音-タイミングのずれ率においては1Hzで  $r = -0.07$ , 2Hzで  $r = 0.41$ , 3Hzで  $r = 0.38$ , タッピング速度のずれ率において

表2 タッピング課題と運筆課題の関連

	音-タイミングのずれ率 (%) *			タッピング速度のずれ率 (%)			距離のずれ率 (%)		
	1Hz	2Hz	3Hz	1Hz	2Hz	3Hz	1Hz	2Hz	3Hz
はみ出し距離 (cm)	-0.07	0.41	0.38	-0.32	-0.18	-0.16	0.44	-0.14	-0.19
運筆時間 (s)	0.08	-0.47 *	-0.33	0.10	0.03	0.34	-0.10	0.10	-0.14
運筆速度 (cm/s)	0.01	0.32	0.23	0.05	-0.14	-0.35	0.37	0.03	0.12

\*p<0.05

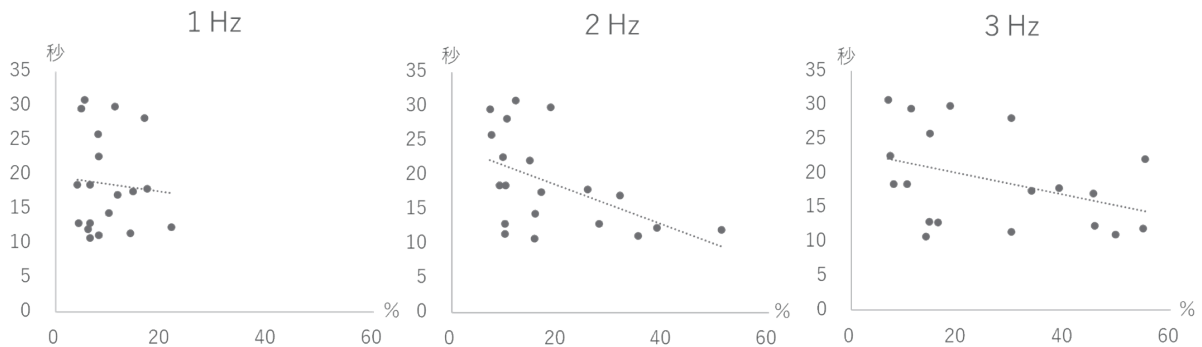


図4 音-タイミングのずれ率と運筆時間の関連図

は1Hzで $r = -0.32$ , 2Hzで $r = -0.18$ , 3Hzで $r = -0.16$ , 距離のずれ率においては1Hzで $r = 0.44$ , 2Hzで $r = -0.14$ , 3Hzで $r = -0.19$ と有意な相関は見られなかった(表2).

タッピング評価と運筆時間との関連では音-タイミングのずれ率において, 1Hzで $r = -0.08$ , 2Hzで $r = -0.47$ , 3Hzで $r = -0.33$ となり, 2Hzにおいて音-タイミングのずれ率において中等度の負相関が認められた( $p < 0.05$ )(図4). タッピング速度のずれ率, 距離のずれ率と運筆時間との間では, タッピング速度のずれ率においては1Hzで $r = 0.10$ , 2Hzで $r = 0.03$ , 3Hzで $r = 0.34$ , 距離のずれ率においては1Hzで $r = -0.10$ , 2Hzで $r = 0.10$ , 3Hzで $r = -0.14$ と有意な相関は見られなかった.

タッピング評価と運筆速度との関連では音-タイミングのずれ率において, 1Hzで $r = 0.01$ , 2Hzで $r = 0.32$ , 3Hzで $r = 0.23$ となった. タッピング速度のずれ率, 距離のずれ率と運筆速度との間では, タッピング速度のずれ率においては1Hzで $r = 0.05$ , 2Hzで $r = -0.14$ , 3Hzで $r = -0.35$ , 距離のずれ率においては1Hzで $r = 0.37$ , 2Hzで $r = 0.03$ , 3Hzで $r = 0.12$ と有意な相関は見られなかった.

## V. 考察

本研究では, 発達性協調運動障害などの発達障害児が示す協調運動の問題を客観的に評価する可能性のある母指-示指タッピング評価について, 健常学齢児を対象に, その外部音の速さの違いによる特徴を明らかにし, 学齢期に日常生活で行う活動の一つである運筆活動との関連について

検討した.

母指-示指タッピング評価では, すべての項目において学年間での有意な差が認められず本研究で対象とした3年生以降の学齢期においては, 母指-示指タッピングでは発達的な影響が少ないことが予測された.

また, 音-タイミングのずれ率においては, 外部音が速くなるほどずれ率が有意に増加していた. 一般的に周期的な音刺激に対応する協調運動には, 筋骨格系のフィードバック制御とフィードフォワード制御の組み合わせによる誤差学習を行う内部モデルの関与が推定されている<sup>15)16)</sup>. フィードバック制御機構には階層性があり, 体性感覚で30~50ms, 視覚では100ms以上のフィードバックの時間遅れが生じると言われている<sup>17)18)</sup>. そのため, 1秒よりも早い動きではフィードバック制御に遅れが生じやすくなる. よって, 音-タイミングのずれ率において, 外部音が速くなるほど有意にずれ率が増加していたことは, この指標が適切に内部モデルを反映した指標となっていたことが推察される. しかし, 3Hzの指標は1秒間に3回タッピングを行うため, 距離を一定に保とうとするとタッピング運動が遅れてしまうと考えられる結果が得られた. このことから, 3Hzは今回の外部音に合わせた母指-示指タッピングにおいては, 適切に内部モデルを反映した課題ではない可能性がある. また, 本来ヒトが生理的に合わせやすいテンポとして, 2Hzのテンポが報告されている<sup>19)20)</sup>. 1Hzのテンポは1秒に1回タッピングを行うテンポとなり, 2Hzのちょうど倍の長さであるため, 2Hz同様学習が進みやすいとの報告もされている<sup>21)22)</sup>. しかし, 1Hzと2Hzの間でも有意

に2Hzの方が音-タイミングのずれが大きくなっていった。これは先ほども述べたように、フィードバックに要する時間の遅れが影響していると考えられる。滑らかに素早い運動を行う際に、内部モデルに基づいてフィードフォワード制御が正しく働いた事を評価するにあたって、1秒を切り、学習が進みやすい2Hzの評価が適切であると推測された。

一方、タッピング速度のずれ率と距離のずれ率は外部音の速さによらず一定のずれ率であった。母指-示指タッピングは、外部音と2指を開く距離の2つの指標に合わせながら一定の間隔でタッピングを行う必要がある課題である。よって、タッピング運動中、タッピング速度と距離を一定に保つことにより意識を向けている可能性と、予測的タッピングである外部音にタッピングを合わせることの方が、タッピング速度と距離を一定に保つことよりも難易度が高いことが影響している可能性が考えられる。

母指-示指タッピングの指標と運筆課題の能力との関連では、2Hzの音-タイミングのずれ率と運筆時間との間に中等度の有意な負の相関が認められた。これは、音-タイミングのずれ率が大きく(小さく)なれば、運筆時間が短く(長く)なることを示している。

本研究で得られた運筆課題のはみだし距離と速度のデータは、はみ出し距離の平均値は $0.2 \pm 0.6\text{cm}$ 、運筆速度の平均値は $2.0 \pm 0.8\text{cm/s}$ であり、先行研究による健常な小学1~6年生の定型発達児の結果であるはみ出し距離の平均値 $0.01 \sim 0.64\text{cm}$ 、運筆速度の平均値 $1.70 \sim 2.33\text{cm/s}$ と大きく変わらなかった<sup>23)</sup>。そのため、本研究のデータは、一般的な定型発達児のデータであったと言える。線引き課題のような運筆課題では、はみ出さずかつ素早く描くことが求められるが、まず、はみ出さないように描いているかどうかは運筆能力の重要な指標となる。

今回の被験児では運筆課題において有意ではないが、はみ出し距離が長くなると運筆時間が短くなる傾向にあった。このことから、運筆時間が短い被験児は正確に運筆を行う能力が未成熟と言えるのかもしれない。本研究と同様の課題を用いた線引き課題の発達的特徴を調べた研究では、成人と同様のはみ出し距離になるのは6年生以降であるが運筆速度は年齢的な変化がなかったことを報告している<sup>13)</sup>。また、道具操作における速度と正確性トレードオフの発達変化を分析した研究では、速さと正確性はそれぞれ独立して制御される変数として発達しながら、やがて一つの変数で制御すると述べている<sup>24)</sup>。これらの先行研究から、本研究結果である運筆時間が短く正確な運筆が未成熟と考えられる被験児では、速度と正確性の二つの変数を統合する段階にあると考える事もできるかもしれない。被験児がこの段階にあることは、母指-示指タッピングの2Hzの音-タイミングのずれ率と運筆時間との間に中等度の有意な負の相関が認められたことから推測できる。結果では外部刺激に関係なく行うタッピング速度には指標速度による差はなく被験児の年齢ではすでに成熟し、それぞれのテン

ポでの運動に関する内部モデルは出来上がっていると考えられる。一方で、提示する音とのずれは指標速度が速くなるほどずれが大きくなる傾向にあり、感覚刺激に対して内部モデルを適応させる段階での未成熟さを示している。つまり、母指-示指タッピングの評価指標は、内部モデルに当てはめると、目標に対して運動の予測を行い運動指令の計算を行い、さらに、正しい運動を実現するために運動軌道を修正していく能力を反映している。そのため、音-タイミングのずれが大きくなるということは、音が鳴るはずのタイミングを予測して母指-示指タッピング運動を出力する事、実際に母指-示指タッピングを行いフィードバックされてきた情報に合わせて修正した正しい運動指令を出力することができていないことが考えられる。特に本研究ではリズムを生成しやすく合わせやすいとされている2Hzのみが運筆時間と関連が出ていることから、音-タイミングのずれ率の2Hzには、運動の速度と正確性をフィードバック制御していく際の詳細な段階づけを行える可能性があると考えている。

以上のことから、母指-示指タッピング課題は小学校3年生以上の児童では発達の影響を受けずに、運動の速度と正確性の制御過程を反映した指標となり得ること、更に、発達性協調運動障害児等に見られる運筆動作の不器用さなどの、外部環境に運動を合わせる能力を反映する有用な指標となる可能性が示唆された。

## VI. 研究限界

本研究では3年生から6年生の小学性を対象としているが、健常学齢児の基本データを収集するためには今後幅広い年齢層の児童のデータが必要である。今回の対象年齢ではタッピング評価による協調運動と運筆課題の能力が一定の成熟水準に達しているために、多くの関連性が見られなかった可能性がある。今後は、実際に不器用さに困難を抱える発達障害児を対象に母指-示指タッピングと運筆動作の検討を行う必要がある。

本研究で使用したタブレットトラッカー TT-Zは母指-示指タッピングを2次元上で簡便に評価する機器であり、3次元的な手指の動作を評価することができず、本研究で用いた方法における結果にとどまる可能性がある。また、本研究で用いた評価で明らかにできない協調性については、関連性を分析することができないため、今後更に実験設定を検討し分析を進める必要がある。本研究では十分に練習を行ったうえで課題を行っているが、順序効果について考慮せず実験を実施しているため、今後は検討が必要である。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、ご協力いただいたお子様、保護者の方に心から感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 戸次佳子ら: 協調運動の発達と子どものQOLおよび精神的健康との関連性の検討. 小児保健研究75 (1) : 69-77, 2016
- 2) 辻井正次監, 明蕪光宜, 松本かおり他: 発達障害児者支援とアセスメントのガイドライン. 290-296, 金子書房, 東京, 2014
- 3) Cantell, Marja H. Smyth, Mary M. Ahonen et al. : Clumsiness in adolescence: Educational, motor, and social outcomes of motor delay detected at 5 years. *Adapted Rhythmic Activity Quarterly*11: 115-129, 1994
- 4) Mary M. Smyth, Heather I. Anderson: Coring with clumsiness in the school playground: Social and physical play in children with coordination impairments. *British Journal of Developmental Psychology*18 (3) : 389-413, 2010
- 5) Bubic A: Prediction, cognition and the brain. *HUMAN NEUROSCIENCE* 22: 1-15, 2010
- 6) 小松知章, 三宅美博: 同期タッピング課題における予測的挙動の時系列データ解析. 計測自動制御学会論文集39 (10) : 952-960, 2003
- 7) 嘉戸直樹, 伊藤正憲: 運動学習はここまでわかった. 関西理学療法8: 49-52, 2008
- 8) Michael J. Hove, Nickolas Gravel, Rebecca M. C. Spencer et al.: Finger tapping and pre-attentive sensorimotor timing in adults with ADHD. *Exp Brain Res.* 235 (12) : 3663-3672, 2017
- 9) Chie Morimoto, Eisuke Hida, Keisuke Shima et al. : Temporal Processing Instability with Millisecond Accuracy is a Cardinal Feature of Sensorimotor Impairments in Autism Spectrum Disorder. *Analysis Using the Synchronized Finger Tapping Task. Journal of Autism and Developmental Disorders*48 (2) : 351-360, 2018
- 10) 奥野竜平, 濱田健太郎, 横江勝他: 指タップ加速度計測システムの開発とパーキンソン病診断支援への応用. 生体医工学43 (4) : 752-761, 2005
- 11) 島圭介, 閑絵里子, 辻敏夫他: 磁気センサを利用した指タップ運動機能評価システム. 医療機器学78 (12) : 909-918, 2008
- 12) 吉田彩華, 久保勝幸, 山田恭平他: 外部音に合わせた母指-示指タッピングの四肢協調運動評価としての有用性. 作業療法の実践と科学2 (4) : 68-76, 2020
- 13) 大柳俊夫, 中島そのみ, 中村裕二他: 運筆課題を用いた四肢機能評価のためのソフトウェアの研究開発. 札幌医科大学保健医療学部紀要12: 1-8, 2010
- 14) M. Kawato, K. Furukawa, R. Suzuki: A hierarchical neural-network model for control and learning of voluntary movement. *Biological Cybernetics*57 (3) : 169-185, 1987
- 15) M. Kawato: Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*9 (6) : 718-727, 1999
- 16) 大須理恵子: 運動の制御と学習-リハビリテーションの視点から-. *認知神経科学*7 (3) : 217-222, 2005
- 17) 川人光男: 小脳の内部モデルと運動学習. 計測と制御33 (4) : 296-303, 1994
- 18) McAuley JD, Jones MR, Holub S et al. : The time of our lives: life span development of timing and event tracking. *J Exp Psychol Gen*135 (3) : 348-67, 2006
- 19) Sasaki R: Developmental characteristics of temporal control of movement in preschool and school children of different ages. *Perceptual and Motor Skills*85: 1455-1467, 1997.
- 20) 中園嘉巳, 田中久弥, 井出英人: タッピング法による予測動作時間精度の検出. *バイオメカニズム学会誌*27 (1) : 23-28, 2003
- 21) 伊藤正憲, 嘉戸直樹, 鈴木俊明他: 周期的な聴覚刺激を手がかりとして遂行する運動におけるタイミングの検討-In-phase運動およびAnti-phase運動による比較-. *関西理学療法*9: 47-56, 2009
- 22) 池田千紗, 中島そのみ, 大柳俊夫他: 描画特徴と運筆動作の発達の傾向. *日本発達系作業療法学会誌*4 (1) : 39-47, 2006
- 23) 中島そのみ, 大柳俊夫, 中村裕二他: 健常児・者における描画中の運筆遂行能力の発達特徴. *日本発達系作業療法学会誌*3 (1) : 46-52, 2015
- 24) 奥住秀之, 國分充, 島田恭子: 児童の道具操作における速度・正確性トレードオフの発達変化-なぞり書き, 折り紙, シール貼りの3つの課題から-. *Anthropological Science*115 (1) : 37-40, 2007