手指運動への視覚及び聴覚支援の効果に関する研究
―タッピング課題による検討―

権田美佳[*]・牛山道雄[**]
（[*]京都市立東総合支援学校，[**]京都教育大学発達障害学科）

Effects of visual and auditory support on Manual Movement Stability using Tapping Task

Mika Gonda, Michio Ushiyama

抄　録：本研究は，タッピング課題遂行中の手指運動の安定性に及ぼす視覚支援と聴覚支援の効果を検討することを目的とした。対象は大学生20名とした。手指運動はタッピング課題によって評価された。対象者は1Hz，2Hz，4Hz，5Hzのテンポに合わせてボタンを連続して押す（タップする）ことが求められた。支援条件は，1）支援なし条件，2）音刺激条件，3）音+視覚条件の3条件を設定した。20回分のタッピング間隔（秒）の平均値，標準偏差，変動性係数（標準偏差/平均値）を算出した。変動性係数を従属変数，テンポの周波数（4水準）及び支援の種類（3水準）を独立変数とした2要因分散分析（被験者内計画）を実施したところ，周波数の主効果が有意であった。交互作用は有意ではなかった。多重比較の結果，4Hz>1Hz，4Hz>2Hzの間に有意差が認められた。長崎（1997）は高齢者を対象としたタッピング課題では4Hzにおいて手指運動が不安定になると報告しており，本研究もこの結果に一致した。また，音刺激に視覚刺激を随伴させてテンポを視覚的に知覚できる支援条件を設定したが，支援条件間で安定性に有意差は認められなかった。このことから，連続した手指運動においては，視覚支援の有効性は認められず，テンポ要因の影響が大きいことが示唆された。

キーワード：手指運動，安定性，視覚支援，タッピング課題

Ⅰ．問題と目的

近年，児童生徒の身体面での不器用さに注目が高まっている。麻痺など神経学的原因が明確な場合でなくても，日常生活上，学校生活上の様々な場面において身体運動の不器用さを示す児童生徒が報告されている。DSM-5において，これらの症状は発達性協調運動症（Developmental Coordination Disorder：DCD）としてカテゴリ化されており，この診断基準に沿った身体運動の不器用さの評価方法や支援方法について知見が積み重ねられている。

Hashimoto, Sueda, and Yagyu（2020）は，DCDの不器用さを客観的に評価するためのチェックリストであるDevelopmental Coordination Disorder Checklist（DCDC）を開発した。DCDCでは身体運動の不器用を1）微細運動，2）粗大運動，3）ボールの操作，の3因子構造として捉え，16項目によって評価している。これら16項目の内容は，微細運動では「簡単にほどけないよう，ズボンのひもや靴ひもを結ぶこと」「折り鶴など，紙を使った工作をすること」と手指の不器用さに関連する内容が含まれており，粗大運動では「立った状態で、ふらつかずに長ズボンや靴下をはくこと」「鉄棒やマット運動をすること」，ボールの操作では「本人が思った場所に物を投げること」などが含まれている。因子分析に基づいてこれら不器用3因子は抽出されているが，3因子に共通している内容があるのではないかと考えられる。例えば，「楽器を演奏すること（微細運動項目）」「音（リズム）や合図に合わせて体を動かすこと（粗大運動項目）」「本人に向かって投げられた物を手でキャッチすること（ボールの操作）」の3項目は，「時間や空間の変化を予測し身体を適応させる」という観点では共通しているように感じられる。

ところで，身体運動の不器用さを評価する代表的なツールにMovement Assessment Battery for Children Second Edition（M-ABC2）がある。M-ABC2は実際に運動課題を児童に実施するテスト課題と，保護者などが児童の運動パフォーマンスを評価するチェックリストから構成されている。このM-ABC2チェックリストでは周囲の環境が動いていない静的環境で行われる身体運動と，動いている動的環境で行われる身体運動に分けて評価が行われる。つまり，上述した「時間や空間の変化を予測し身体を適応させる」ことは「動的環境」における身体運動評価と考えられる。

さて，この「時間や空間への適応」という観点において，「時間」への適応を評価する代表的な運動課題の一つにリズムタッピング課題がある。この課題は，特定のテンポ（リズム）の周波数の音刺激に合わせて手指を動かすという課題であり，手指運動の巧緻性を評価する課題として活用されている。タッピング課題における手指運動の特徴として，長崎（1997）は，1Hz，2Hzでは比較的安定しているが，4Hzでは不安定になると報告した。

ここにおいて，どのような支援があれば4Hzのテンポにおいても安定したタッピングを遂行することが可能になるのか，という疑問が生じる。

特別支援教育においては，目に見えない時間の流れをフローチャートとして視覚的に示す，いわゆる視覚支援が行われることが多い。このような視覚支援を運動課題に適用し，その有用性を実証的に検討した研究は少ない。

そこで本研究では，音刺激のテンポに合わせて点滅する視覚刺激を併用することで，タッピング課題遂行時の手指運動の安定性の変化を検討することを目的とする。

Ⅱ．方法

1．対象者

大学生20名（男生10名，女性10名；平均年齢21. 30 ± 0. 80）であった。この中に麻痺などの顕著な神経学的な疾患のある者は含まれていなかった。また，全員が大学において体育会団体に所属し，スポーツ活動を定期的に行っていた。

2．課題と装置

タッピング課題では，対象者は音刺激や視覚刺激の点滅に合わせて，パソコンのスーペースキーを連続してタップすることが求められた。刺激の呈示周波数（1秒間に呈示される刺激数）は1Hz，2Hz，4Hz，5Hzの4水準を設定した。刺激の作成は刺激呈示反応測定ソフトウェアPsychopyを用い，WindowsPC（Microsoft社製，Surface Pro）において呈示し，ボタンを押した時間を記録した。音刺激の要素は，純音440Hz，呈示時間は0. 1秒であった。また，視覚刺激は，PCの画面中央に直径1. 5cmの白い円を点滅させた。視覚刺要素の呈示時間は0. 1秒であった。

条件設定は，支援なし条件，音支援条件，音+視覚支援条件の3条件を設定した。

支援なし条件では，各周波数の音刺激が10回提示され（基準区間），その後音刺激は消音し，その後，各周波数条件において20タッピング間隔分のデータが収集されるまで測定を継続した。音支援条件では，各周波数の音刺激のみが25回提示され，これらに対するタッピングはすべて記録された。音+視覚支援条件では，音刺激と視覚刺激を同時に25回呈示し，記録された。

タッピング課題は各条件とも10回の練習試行のち，上記の本試行を実施した。また，すべての条件において分析にはタッピングが比較的安定してきた最後の20タッピング間隔分のデータを用いた。

3. 手続き

対象者はPC前に座った状態で，筆記する側の手指によって課題を行った。タッピング課題の実施順序は1Hz，2Hz，4Hz，5Hzの順とした。また，支援条件の呈示順は，支援なし条件を行った後，音支援条件と音+視覚支援条件の間で対象者間でカウンターバランスをとった。対象者への教示は，支援なし条件においては，「音が消えても同じテンポでタッピングを行ってください」，音刺激条件にでは「音に合わせてタッピングしてください」，音+視覚支援条件では「音と画面に表示される円に合わせてタッピングしてください」とした。

4. 分析

（1）タッピング課題の指標の算出

タッピング課題の評価指標として，20タッピング間隔分の平均値（ms），標準偏差（ms），変動性係数（標準偏差/平均値）を算出した。平均値の理論値は，1Hz条件であれば1000，2Hz条件では500，4Hz条件では250，5Hz条件では200となる。つまり，これらの理論値に近いと正確性の高いタッピングを行ったと解釈できる。一方，ヒトのタッピング間隔はどうしても一定にならず，ばらつきが生じるため，正確性に加えてタッピングの安定性の指標が必要となる。長崎（1997）は，タッピング間隔の標準偏差を平均値で除した値いを変動性係数として定義し，この値が小さいほどタッピングパフォーマンスが安定していると解釈した。本研究でもこれに倣い，各条件において変動性係数を算出し，タッピング動作への周波数および支援条件の効果の指標とした。

（2）実験計画

タッピング課題の安定性への周波数条件および支援条件の効果を検討するために，変動性係数を従属変数，周波数（4水準：1Hz，2Hz，4Hz，5Hz）と支援条件（3水準：支援なし条件，音刺激条件，音+視覚支援条件）を独立変数とした2要因分散分析（被験者内配置）を実施した。統計解析にはR4. 1. 2を用い，分散分析はR上で作動するanovakun4. 8. 5関数（井関，2020）を利用した。

5. 研究倫理への配慮

本研究は京都教育大学研究倫理委員会の審査において承認を得て実施された（受付番号2003：課題名「感覚―運動機能のメカニズムに基づく簡易版視機能スクリーニングの開発」）。研究への参加に際し，対象者から書面で同意を得てから研究を実施した。

Ⅲ. 結果

1. 周波数別のタッピング課題の平均値・標準偏差・変動性係数の記述統計

（1）支援なし条件

表1に支援なし条件における周波数別のタッピング課題の平均値，標準偏差および変動性係数を示す。

表1　支援なし条件における周波数別のタッピング課題の平均値（ms），標準偏差（ms），および変動性係数

支援なし条件	1Hz	2Hz	4Hz	5Hz
平均値 (ms)	992 ± 49	493 ± 17	245 ± 19	192 ± 18
標準偏差 (ms)	50 ± 38	25 ± 21	20 ± 15	12 ± 5
変動性係数	0.051 ± 0.040	0.0510 ± 0.044	0.081 ± 0.059	0.065 ± 0.032

各周波数条件ともに，平均値± 1標準偏差内に基準となる理論値（1Hzでは1000，2Hzでは500，4Hzでは250，5Hzでは200）が含まれていた。

（2）音刺激支援条件

表2に音刺激支援条件における周波数別のタッピング課題の平均値，標準偏差。および変動性係数を示す。

表2　音刺激支援条件における周波数別のタッピング課題の平均値（ms），標準偏差（ms），および変動性係数

音刺激条件	1Hz	2Hz	4Hz	5Hz
平均値 (ms)	974±111	487 ±58	239±18	191±19
標準偏差 (ms)	46 ±25	23±9	17±7	14±10
変動性係数	0.047 ±0.025	0.046±0.018	0.072±0.031	0.075±0.056

支援なし条件と同様に，平均値±1標準偏差内に基準となる理論値が含まれていた。

（3）音+視覚支援条件

表3に支援なし条件における周波数別のタッピング課題の平均値，標準偏差。および変動性係数を示す。

表3　音+視覚支援条件における周波数別のタッピング課題の平均値（ms），標準偏差（ms），および変動性係数

音刺激 + 視覚刺激条件	1Hz	2Hz	4Hz	5Hz
平均値 (ms)	997±19	501±7	237±16	185±21
標準偏差 (ms)	69±58	30±24	19±7	16±19
変動性係数	0.07±0.059	0.060±0.045	0.083±0.034	0.086±0.080

支援なし条件，音刺激条件同様に，平均値±1標準偏差内に基準となる理論値が含まれていた。

2. タッピング課題の安定性に対する周波数条件と支援条件の効果の検討

変動性係数を従属変数，周波数（4水準：1Hz，2Hz，4Hz，5Hz）と支援条件（3水準：支援なし条件，音刺激条件，音+視覚支援条件）を独立変数とした2要因分散分析（被験者内配置）を実施したところ，周波数条件の主効果が有意であった（$F(3, 57)=4.9748$, $p=.0039$, $\eta^2=0.0587$）。支援条件の主効果は有意傾向であった（$F(2, 38)=2.5582$, $p=.0907$, $\eta^2=0.0181$）。また，交互作用は有意ではなかった（$F(6, 114)=.2773$, $p=.9466$, $\eta^2=0.0060$）。Bonferroni法による調整を用いた修正Shaffer's法による多重比較の結果，4HZは1Hz及び2Hzよりも変動性係数が高いことが示された（図1）。

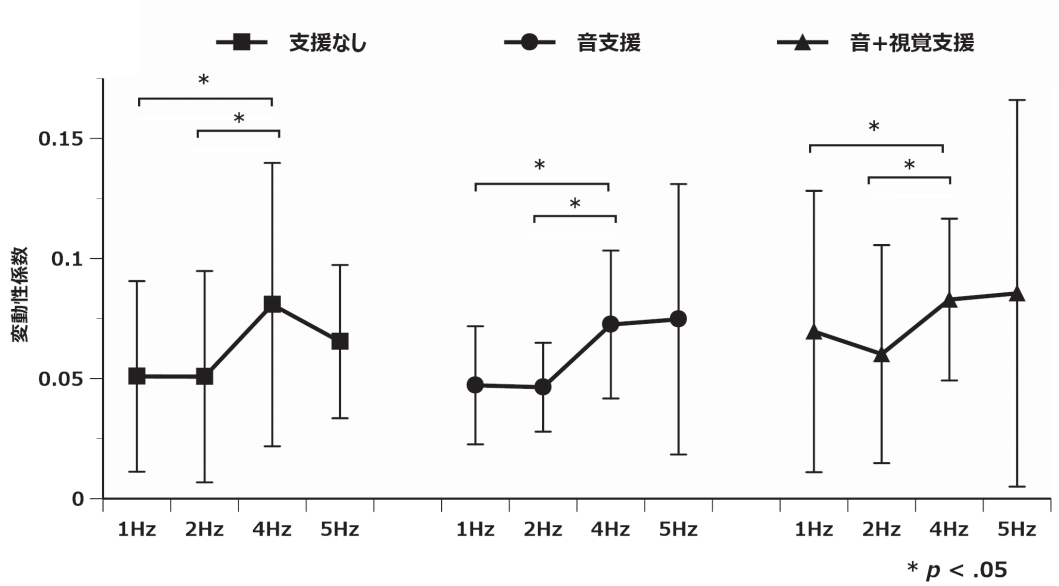

図1　周波数および支援条件毎の変動性係数の変化

Ⅳ．考察

本研究は音刺激に視覚的な点滅を同期させ音刺激の可視化という視覚支援を実施することで，長崎（1997）が報告したタッピング課題における 4Hz 条件の不安定さを解消できるかどうかを検討した。その結果，視覚支援を随伴させても，4Hz 条件の不安定さは改善されなかった。

この結果から，テンポに合わせて身体を動かす際，外的基準となるテンポの速さが手指運動の安定性を強固に規定するという一面が再確認された。

4Hz 条件では一秒間に 4 回の刺激が呈示される。これは想像している以上に速いテンポである。この周波数で視覚刺激を点滅させると聴覚刺激と刺激刺激を区別して認識しにくい。むしろ，音と光の連なりを全体として知覚し，その連鎖に沿って動作を出力するのではないかと考えられた。そのような情報処理過程において，音刺激と視覚刺激が同期して呈示されたとしても，聴覚からの音刺激と視覚からの光刺激の両方に注意を向け，実行中の手指運動の速さを監視し，刺激との時間的な誤差を検出し，再度，手指運動に反映させることが難しかったのかもしれない。つまり，タッピング運動の修正が周回遅れになるような状況になることが 4Hz におけるタッピング運動の変動性係数の上昇，つまりタッピング運動の不安定の要因なのではないかと推察された。

逆に考えると，知覚や感覚の閾値が低く，処理速度が速い場合には，個々の刺激を明確に把握することが可能となるため，今回の結果とは異なる結果となったかもしれない。この点については，感覚機能との関連から身体運動の安定性を捉えていく必要があるだろう。

感覚機能の特性は DSM-5 において自閉スペクトラム症の診断基準にも含まれていることから，感覚機能と不器用さを関連付けることは，自閉スペクトラム症の身体運動の不器用さのメカニズムの解明にも有用であると考えられる。

本研究では，「時間や空間の変化を予測し身体を適応させる」という身体運動観に立脚し，「時間への適応」に注目し，身体運動の中でも手指運動を取り上げ，その安定性の向上を検討した。今後は「空間への適応」や手指運動以外の運動動作についても検討を行う必要があるだろう。特に，眼球運動については注意が必要であると考えられる。一般的に身体運動の不器用さは他者や自己から認知しやすい。DCDC の 16 項目はいずれも観察しやすい内容である。しかしながら，身体運動の中でも「眼球を正確に動かす」という眼球運動については手指運動などの微細運動よりも更に動きが微細となるため，その不器用さを発見することが困難である。DCDC の不器用の 3 因子モデル中の微細運動にも眼球運動に関連した内容は含まれていない。微細運動というカテゴリの中で，眼球運動が手指運動など他の微細運動と関連性があるのかを検討することは，身体運動の不器用さの概念を包括的に理解する上で重要なのではないかと考えられる。そのうえで，身体運動の不器用さや不安定さを改善する介入方法を系統的に構築していく必要があると考えらる。

その一方で，微細神経学的徴候（Soft Neurological Sign：SNS）に起因する身体運動の不器用さも指摘されている。Sueda, Hashimoto, and Ueda（2022）は，DCDC のスコアと微細神経学的徴候との間に有意な相関があると報告していることから，不器用さの評価については，微細神経学的徴候の有無にも留意する必要があるだろう。

謝辞

本研究に参加してくださったすべての方々に御礼申し上げます。本研究は科学研究費補助金（課題番号：20K03045「感覚－運動機能のメカニズムに基づく簡易版視機能スクリーニングの開発」）の一部として行われた。また，2021 年度京都教育大学発達障害教育専攻卒業論文を再分析・再検討したものである。

引用文献

American Psychiatric Association（2013）*Desk reference to the Diagnostic Criteria From DSM-5.* American

Psychiatric Publishing, Arlington. 日本精神神経学会監修（2017）DSM-5 精神疾患の分類と診断の手引（第1版第3刷），医学書院

Hashimoto, R. , Sueda, K. , & Yagyu, K. (2020) Development of a Movement Questionnaire Adapted for Japanese Culture for Elementary School Children. *Brain & Development,* 42, 237-247

Henderson, S. E. , Sugden, D. A. , & Barnett, A. L. (2007) Chapter 4 Guidelines for Using the Checklist. *Movement Assessment Battery for Children-2 Examiner's Manual.* Pearson, London, 89-96

井関龍太（2022）ANOVA君，井関龍太のページ，2022年7月1日，
http://riseki. php. xdomain. jp/index. php?ANOVA%E5%90%9B（2022年11月30日閲覧）

長崎　浩（1997）第3章　時間の尾根道，身体の自由と不自由―身体運動学の展望―，中央公論社, 90-105

Sueda, K. , Hashimoto, R. , & Ueda, T. (2022) Convergent Validity of the Developmental Coordination Disorder Checklist using Soft Neurological Signs. *Brain & Development,* 44, 17-29