

手指のタッピングのタイミングと力の制御に与える加齢の影響

乾 信之*, 佐々木 寛和**, 升本 絢也**

(キーワード: タップ間隔, 自己ペース動作, 大脳基底核)

I. 緒言

刺激音に手指のタッピングを同期させる運動課題(刺激始動性タッピング)において, パーキンソン氏病と脳血管障害の患者による見越反応の頻発が見出された(Nakamura et al., 1978; Nagasaki and Nakamura, 1982; Nagasaki et al., 1981)。このようなタッピングの見越反応はパーキンソン氏病患者ほど顕著ではないが, 健常な高齢者にも観察され, 加齢に伴ってその出現率が増加すると報告された(橋詰ら, 1994; Nagasaki et al., 1989)。

タイミング制御を考える際, 刺激始動性の動作と自己ペースの動作という分類があり(Billon and Semjen, 1995), 前者は大脳-小脳系, 後者は皮質-基底核系がそれぞれの制御系として想定されている(乾, 2007)。パーキンソン氏病患者に類似したタイミング制御の異常を検出するためには, 刺激始動性のタッピング運動よりも自己ペースのタッピング運動の方が有効であると考えられる。したがって, 本研究は目標タップ間隔500msと250msのタッピング課題を刺激始動性運動と自己ペース運動で行い, 加齢に伴うタイミング制御の異常を検討した。さらに, タッピング課題には目標筋力を設定し, 加齢に伴う力の制御の変化も検討した。

II. 方法

被験者:

被験者は健康な男女40名であり, 20-30歳代(男性10名, 平均値:26.3歳, レンジ:22-33歳), 60歳代(男性6名, 女性4名, 平均値:65.1歳, レンジ:62-67歳), 70歳代(男性2名, 女性8名, 平均値:75.7歳, レンジ:71-79歳), 80歳代(男性2名, 女性8名, 平均値:83.5歳, レンジ:80-88歳)の4群からなり, 各群は10名で構成されている。

実験を行うにあたり, 医療法人久仁会鳴門山上病院の倫理委員会に実験の趣旨を説明し, 審議された後に承認を得た。また, すべての被験者に対してもインフォームド・コンセントを行い, 同意書に署名を得た。

手続き:

被験者はロードセルに向かって椅座位をとり, 手掌を机から高さ6cmの支持台の上に置いた(図1)。被験者は中手指節関節を支点に右手の示指でロードセルをタップし, 2つのタッピング課題を行った。一つは目標タップ間隔(ITI)500msの課題(ITI500ms課題)であり, もう一つは目標ITI250msの課題(ITI250ms課題)である。いずれの課題も目標筋力は2Nである。半数の被験者は目標ITI500msの課題を先に行い, 残りの被験者は目標ITI250msの課題を先に実施して交互作用を避けた。

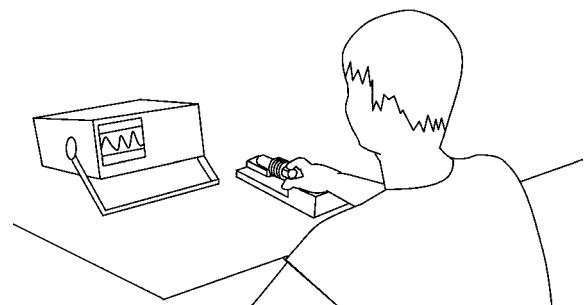


Fig.1 Experimental setup.

*鳴門教育大学生生活・健康系コース(保健体育)

**鳴門教育大学大学院教科・領域教育専攻生活・健康系コース(保健体育)

練習試行では、30秒間を3回練習し、目標筋力と目標 ITI を習得するように教示した。ITI に関するフィードバック情報はメトロノームによって音刺激を与えた。力に関するフィードバック情報は増幅器からの出力をオシロスコープ上に掃引し、目標値との差異を視覚化した。練習直後の再生試行ではフィードバック情報を与えず、習得した力とタップ間隔を再現することを要求した。

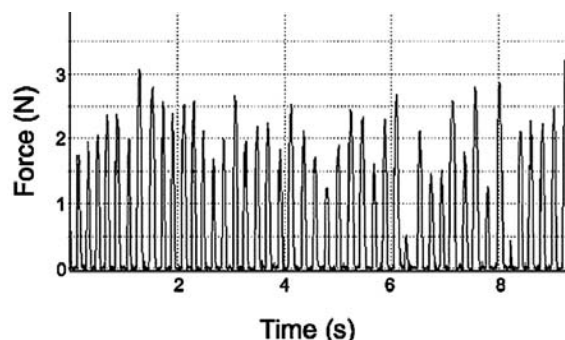


Fig.2 A data sample from the motor task for the 2-N target force and the 250-ms target intertap interval for a participant of 80 s.

装置と測定：

実験に用いたロードセル（共和電業，LUB-5 KB，定格出力 5 kg）の出力は増幅器（共和電業，MCC-8 A）および A/D 変換機（PowerLab/8 sp，AD Instruments）を介してパーソナル・コンピュータ（PowerBook G4，Apple）によって記録された。ロードセルの出力は増幅の後に 100Hz 以上の周波数を切り捨て、12ビットの A/D 変換機によって 1000Hz の周波数でサンプリングされてデジタル化された（図 2）。各タップの力はロードセルからの最高出力電圧として測定された。ITI はタップの開始時点から次のタップのそれまでである。

データ解析：

練習試行と再生試行における従属変数の分析には筋力と ITI の平均値と変動係数（標準偏差／平均値 $\times 100$ ）を用い、練習試行のデータは 3 回目のものを用いた。その平均値と変動係数は各被験者による各試行の 60 変数からなる。統計的分析は力と ITI に関する年齢と課題の主効果を検討するために、4（年齢） \times 2（課題）の二要因の分散分析を行った。さらに、主効果があった時には Scheffe の検定によって、多重比較を行った。

Ⅲ. 結果

図 3 A は ITI250ms 課題における練習試行と再生試行の ITI の平均値である。練習試行・再生試行共に 20-30 歳代は目標値に近い値を示した。60 歳代の練習試行は若干目標値に達しなかったが、その再生試行は目標値をわずかに越えた。70 歳代と 80 歳代は目標値より遅延した ($F(3, 72) = 4.63, p < 0.01$)。多重比較検定の結果から、70 歳代は 20-30 歳代と 60 歳代より有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

図 3 C は ITI250ms 課題における練習試行と再生試行の ITI の変動係数である。統計的分析から、再生試行が練習試行より大きな変動係数を示した ($F(1, 72) = 16.54, p < 0.01$)。また、年齢間の主効果が認められた ($F(3, 72) = 3.57, p < 0.05$)。多重比較検定の結果から、80 歳代は 20-30 歳代より有意に高い変動を示した ($p < 0.05$)。これらの結果は刺激始動性の動作である練習試行よりも自己ペースの動作である再生試行に加齢の影響を示唆し、本研究の中で最も重要な結果であった。

図 3 B は ITI250ms 課題における練習試行と再生試行の力の平均値である。60 歳代は練習試行・再生試行共に目標値に達しなかったが、70 歳代の練習試行は目標値をわずかに凌駕した。しかしながら、いかなる主効果と交互作用も認められなかった。

図 3 D は ITI250ms 課題における練習試行と再生試行の力の変動係数である。練習試行では加齢に伴い変動が増大し、年齢間に主効果が認められた ($F(3, 72) = 3.20, p < 0.05$)。しかし、多重比較検定においては有意な年齢間の差異がみられなかった。

図 4 A は ITI500ms 課題における練習試行と再生試行の ITI の平均値である。練習試行の 70 歳代はわずかに遅延反応を示し、再生試行の 80 歳代は少しの見越反応を呈したが、いかなる主効果と交互作用も認められなかった。

図 4 C は ITI500ms 課題における練習試行と再生試行の ITI の変動係数である。加齢に伴い変動が大きくなり、年齢間に有意差が認められた ($F(3, 72) = 3.24, p < 0.05$)。多重比較検定の結果から、70 歳代は 20-30 歳代より大きな変動を示した ($p < 0.05$)。

図 4 B は ITI500ms 課題における練習試行と再生試行の力の平均値である。20-30 歳代と 60 代は目標値に達しなかったが、70 歳代、80 歳代は目標値を凌駕した ($F(3, 72) = 5.09, p < 0.01$)。多重比較検定の結果から、80 歳代は 20-30・60 歳代より大きな値を示した。 ($p < 0.05$)。

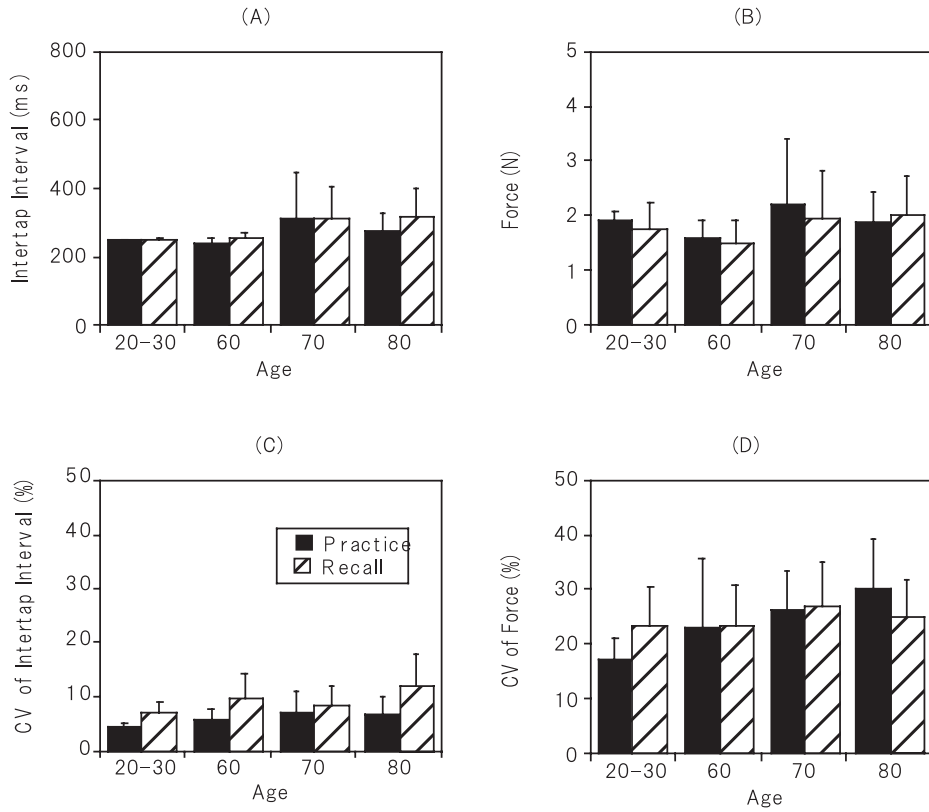


Fig.3 Means and standard deviations of intertap interval (A), those of coefficient of variation of intertap interval (C), those of force (B) and those of coefficient of variation of force (D) in the motor task for the 2-N target force and the 250-ms target intertap interval. Abbreviation. CV : coefficient of variation.

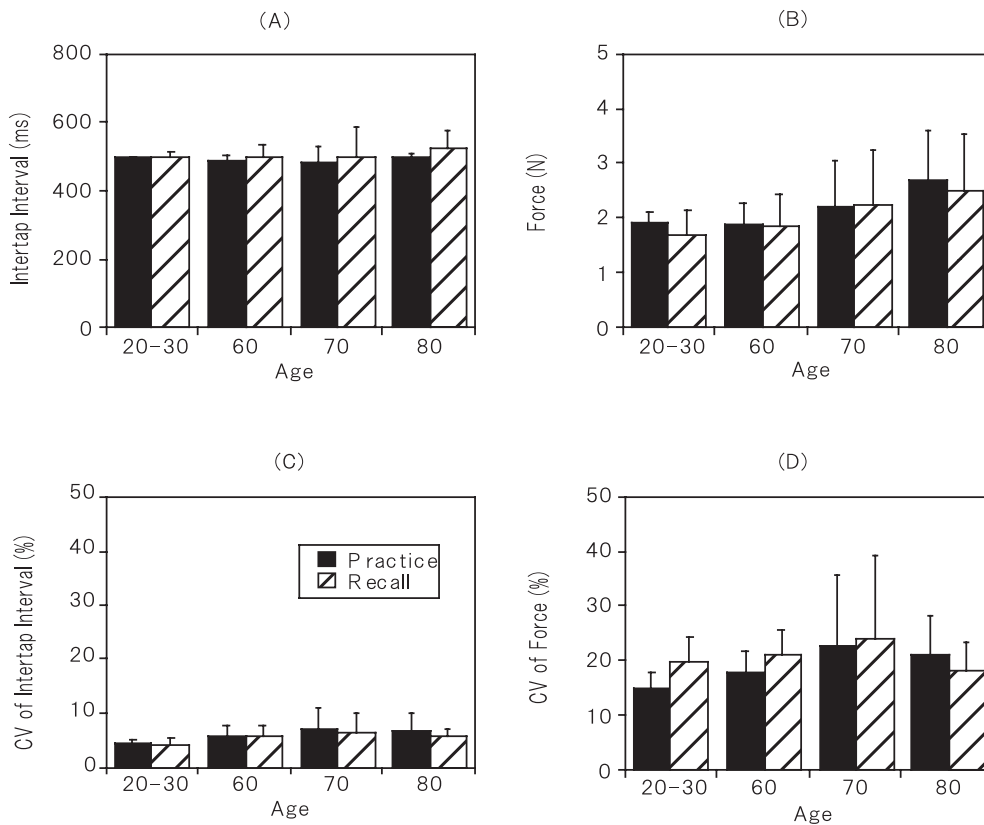


Fig.4 Means and standard deviations of intertap interval (A), those of coefficient of variation of intertap interval (C), those of force (B) and those of coefficient of variation of force (D) in the motor task for the 2-N target force and the 500-ms target intertap interval. The abbreviation is as Figure 2.

図4DはITI500ms課題における練習試行と再生試行の力の変動係数である。70歳代は最も高い変動係数を示したが、いかなる主効果と交互作用も認められなかった。

IV. 考察

本研究は練習試行で刺激始動性のタッピングを行い、再生試行で自己ペースのタッピングを遂行し、ITI500ms課題とITI250ms課題共に、遅延反応と見越反応が70歳代と80歳代にみられた。また、両課題のITIの変動係数に年齢間の主効果が認められ、70・80歳代は20-30歳代よりも大きな変動を示した。さらに、ITI250ms課題の変動係数では練習試行よりも再生試行の方が大きな変動を示し、刺激始動性の動作である練習試行よりも自己ペースの動作である再生試行に加齢の影響を示唆し、本研究の中で最も重要な結果であった。

長崎らのグループ（橋詰ら, 1994; Nagasaki et al., 1989）は18歳から85歳までの健康な被験者に目標ITI1000ms, 500ms, 333ms, 250ms, 200msの刺激始動性のタッピングを課し、リズム運動の加齢変化を検討した。その結果、加齢に伴って見越反応と遅延反応が増加し、特に見越反応は80歳代で30%まで達した。また、ITI250ms課題のITIの変動係数が加齢に伴って最も増大した。これらの結果から、長崎らはタッピングにおける見越反応の出現とITIの変動係数の増加が加齢によるリズム運動能力の低下の特徴であり、運動制御における老化の重要な指標であると指摘している。

したがって、本研究の結果は長崎らの結果を支持するものであったが、長崎らの主張は彼らが用いた刺激始動性のタッピング課題よりも本研究の自己ペースのタッピング課題の方がよく当てはまる結果となった。

パーキンソン病患者は2Hzまたは3Hzのタッピングが突然5Hzないし6Hzのタッピングに飛躍し、顕著な見越反応を呈すると報告されている（Nakamura et al., 1978）。長崎らの結果（橋詰ら, 1994; Nagasaki et al., 1989）と同様に、本研究の結果はパーキンソン氏病ほど顕著な見越反応を示していないが、パーキンソン氏病の見越反応に関して類似した現象と言える。従来、健康な高齢者の脳とパーキンソン氏病患者の脳は神経解剖学的、神経化学的に共通の変化がみられると言われている（McGeer et al., 1977; Mortimer and Webster, 1982）。したがって、高齢者で観察されたタッピングの見越反応はパーキンソン氏病患者で観察されている動作の加速現象の一種であると考えられる。

一方、力の制御に関して、ITI500ms課題の平均値では年齢間に有意差があり、20-30歳代と60歳代は目標値よりも小さかったが、70歳代と80歳代は目標値を凌駕していた。このことは70歳代と80歳代の力の微調節が困難なことを示唆している。また、ITI250ms課題の力の変動係数は年齢間に主効果がみられたが、年齢間に有意な結果が得られず、力の制御はタイミング制御よりも明確な加齢の影響を検出できなかった。

V. 要約

本研究は刺激始動性の練習試行と自己ペースの再生試行からなる目標タップ間隔500msと250msのタッピング課題を行い、加齢に伴うタイミング制御の異常を検討した。さらに、タッピング課題には目標筋力を設定し、加齢に伴う力の制御を検討した。その結果、ITI500ms課題とITI250ms課題共に、遅延反応と見越反応が70歳代と80歳代にみられた。また、両課題のITIの変動係数に年齢間の有意差が認められ、70・80歳代は20-30歳代よりも大きな変動を示した。さらに、ITI250ms課題のITIの変動係数では刺激始動性の動作よりも自己ペースの動作の方が大きな変動を示した。高齢者で観察されたタッピングの見越反応とITIの変動はパーキンソン氏病患者で観察されているタイミング制御の異常の一種であると考えられる。一方、力の制御に関して、ITI500ms課題の平均値では年齢間に有意差があり、20-30歳代と60歳代は目標値よりも小さかったが、70歳代と80歳代は目標値を凌駕していた。このことは70歳代と80歳代の力の微調節が困難なことを示唆している。

文献

- Billon, M. and Semjen, A. (1995) The timing effects of accent production in synchronization and continuation tasks performed by musicians and nonmusicians. *Psychological Research*, 58, 206-217.
- 橋詰 謙, 長崎 浩, 伊東 元, 古名丈人, 杉浦美穂, 衣笠 隆, 丸山仁司 (1994) 加齢にともなうリズム運動の異常. *日本老年医学雑誌*, 31, 360-365.

- 乾 信之 (2007) 手指運動のタイミングと力の制御における独立性と相互作用. 体力科学, 56, 385-400.
- McGeer, P. L., McGeer, E. G. and Suzuki, J. S. (1977) Aging and extrapyramidal function. *Archives of Neurology*, 34, 33-35.
- Mortimer, J. A. and Webster, D. D. (1982) Comparison of extrapyramidal motor function in normal aging and Parkinson's disease. In J. A. Mortimer, F. J. Pirozzolo and G. J. Maletta (Eds.) *The aging motor system*. Praeger Publishers, New York, pp. 217-241.
- Nagasaki, H., Itoh, H., Maruyama, H. and Hashizume, K. (1989) Characteristic difficulty in rhythmic movement with aging and its relation to Parkinson's disease. *Experimental Aging Research*, 14, 171-176.
- Nagasaki, H., Kosaka, K. and Nakamura, R. (1981) Disturbances of rhythm formation in patients with hemispheric lesion. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 135, 231-236.
- Nagasaki, H. and Nakamura, R. (1982) Rhythmic formation and its disturbances: a study based upon periodic response of a motor output system. *Journal of Human Ergology*, 11, 127-142.
- Nakamura, R., Nagasaki, H. and Narabayashi, H. (1978) Disturbances of rhythm formation in patients with Parkinson's disease: part 1. Characteristics of tapping response to the periodic signals. *Perceptual and Motor Skills*, 46, 63-75.

Effects of Aging on the Control of Timing and Force in Finger Tapping Movements

INUI Nobuyuki*, SASAKI Hirokazu** and MASUMOTO Junya**

(Key words : intertap interval, self-paced action, basal ganglia)

The authors examined effects of aging on the control of timing and force in the finger tapping task for the 250-ms (250-ms task) or 500-ms (500-ms task) target intertap interval and the 2-N target force. The analysis showed that 70s and 80s made both anticipatory and delayed responses for both the 250-ms and 500-ms tasks. There were also significant differences among age groups for intertap interval variability, showing that both 70s and 80s were more variable for the interval than 20s. The self-paced (recall) task was further more variable for the interval of the 250-ms task than the stimulus-initiated (practice) task. The anticipatory response and variable interval in the elders appear similar to those which are typically observed in patients with Parkinson's disease and may be associated with a dysfunction of the basal ganglia. On the other hand, whereas 20s and 60s slightly undershot the force target, 70s and 80s overshot the target, indicating that it is difficult for the elders to finely control their force to the target force.

*School of Arts and Health Education, Naruto University of Education

**Graduate School of Education, Naruto University of Education