<原 著>

加齢にともなうリズム運動の異常

橋詰 謙 長崎 浩 伊東 元 古名 丈人
杉浦 美穂 衣笠 隆* 丸山 仁司**

<要 約> リズム運動の加齢変化の特性を詳しく調べるため、一定周期(2, 3, 4 および5Hz)の音刺激に合わせる指タッピング試験を、18歳から85歳までの健康成人ボランティア380名(グループ1)に施行した。また高齢者のリズム運動についての平均像を求めるため、無作為に抽出した65歳から89歳までの在宅高齢者1,134名(グループ2)に4Hzでのタッピングを施行した。両グループともタップ間隔の平均値が刺激間隔より3ms以上短い加速タップの出現が認められた。グループ1では主として4Hzと5Hzタッピングで加速タップが出現し、60~70歳代で35%以上と高齢になるほど出現率が高くなっていた。グループ2の4Hzタッピングにおける加速タップの出現率は、グループ1の65歳以上の4Hzタッピングにおける出現率と同程度であった。加齢により加速タップの出現率は増加し、80歳代では50%以上に達すると推定された。逆にタップ間隔が刺激間隔より3ms以上長い遅延タップも高齢者では高頻度でみられた。加速タップはパーキンソン氏病患者などに見られる加速現象と類似のもので、手指の運動スピードの低下を示す遅延タップとは逆方向のリズム運動の異常と考えられる。この2つのリズム運動の異常が平行して出現することが高齢者の特徴と言える。

Key words: リズム運動, 指タッピング試験, 加速タップ, 加齢

緒 言

人間の多様な動作の中で、リズム運動と名付けるべき一群の運動が区別できる。規則的な反復をともなう連続した運動がこれで、歩行や発話、あるいは書字やタイプライティングなどがその例である。これらはいずれも日常生活の円滑な遂行に欠かせない動作であり、その障害は活動レベルの低下をもたらす。我々はリズム運動の最も単純なモデルとして指タッピングを取り上げ、そのタイミングの構造を調べてきた^{1)~3)}。指タッピング試験はできるだけ早い頻度でのタッピングとメトロノーム音に正確に合わせるタッピングを標準形としている。若年健常者では音周期と平均タップ間隔との差(恒常誤差)は通常1ms以内で、メトロノーム音に合った正確なリズムをタッピングにより刻むことができる(同期応答)。これに対しパーキンソン氏病

患者や脳血管障害患者では、刺激音に指の動きを合わせることができず、指がより速い頻度で動いてしまう「加速タップ」が頻発する^{4)~6)}。

我々は先行研究⁷⁾において、このような加速タップがパーキンソン氏病患者等ほど顕著ではないが健常者にも見られ、加齢とともに出現率が増加することを示した。しかし加速タップと他のタップパラメーターとの関係は十分に検討されていなかった。また対象とした高齢者は老人クラブやシルバー人材センターで活動するボランティアで、活動性の高い者に偏っていた。高齢者の平均像を求めるには、標準的なより大きいサンプルについて検討する必要がある。東京都老人総合研究所の特別プロジェクト「中年からの老化予防総合的長期追跡研究」では、東京都小金井市と秋田県南外村在住の65歳以上の高齢者の集団検診を行っている。そこで本研究では健康成人ボランティアを増やしてリズム運動の加齢変化の特性をより詳しく調べることで、さらに上記2つの地域の在宅高齢者を対象に、加速タップの出現率を確認することを目的とした。

方 法

1. 対象者

本研究ではリズム運動の加齢変化の特性を詳しく調

K. Hashizume(現在 大阪大学健康体育部), H. Nagasaki, H. Ito, T. Furuna, M. Sugiura: 東京都老人総合研究所運動機能部門

* T. Kinugasa: 筑波大学医療技術短期大学部

** H. Maruyama: 埼玉医科大学短期大学理学療法科

受付日: 1993. 12. 27, 採用日: 1994. 3. 3

表1 グループ1およびグループ2の年齢別対象者数

年齢	-29	-39	-49	-59	69	-79	-89	total
グループ1	117	46	43	39	56	70	9	380
グループ2					467	543	124	1,134

べるためのグループ1と、高齢者の平均像を求めるためのグループ2を設定した。表1にそれぞれのグループの各年齢群ごとの対象者数を示した。

グループ1：18歳から85歳までの健康成人ボランティア243名（男性155名、女性88名）を対象とした。これに先行研究⁷⁾における対象者（20歳から79歳までの137名）を加え、総数を380名とした。このうち65歳以上の高齢者は118名（平均年齢±標準偏差は72.1±4.7歳）であった。平均年齢には男性（72.6±4.7歳：73名）と女性（71.3±4.8歳：45名）で有意差はなかった。

グループ2：対象者は小金井市と南外村在住の、65歳から89歳までの在宅高齢者1,134名（71.8±5.4歳）であった。対象者のほぼ全員が独歩（杖歩行を含む）可能で、各地域ごとの検診所で検査を行った。小金井市では市内の65歳以上の高齢者の10%をランダムに選び、その約41%に当たる403名（男性182名、女性221名）を検査した。南外村では村内の65歳以上の全高齢者の約78%に当たる731名（男性292名、女性439名）を検査した。この2つの地域の平均年齢には有意差はなく、また男女の平均年齢にも差はなかった。このグループには脳血管障害の既往歴を有する者（自己申告）が小金井市に38名、南外村に34名含まれていた。

2. 指タッピング試験

椅子座位の被験者の利き手中指に金属ノブを装着し、机上の鉄板を叩かせた。被験者の課題はできるだけ速くタッピングすること（最大タップ）と、一定間隔の音刺激列に合わせて正確にタッピングすることであった。音刺激はデジタルメトロノームからスピーカーを介し与えられた。鉄板と金属ノブで作る回路の通電をコンピュータ（NEC 9800）に入力し、タップ間隔を1ms単位で50個程度計測した。これよりタッピングの平均時間間隔とその変動係数（標準偏差/平均値×100）を求めた。タッピングの平均時間間隔が刺激間隔より3ms以上短い場合を加速タップ、3ms以上長い場合を遅延タップとした。加速または遅延タップを認める者については、数回の試行を繰り返してその出現を確認した。音刺激頻度はグループ1では2、3、4および5Hzとし、最大タップの後にこの順序でタッピン

グ試験を施行した。グループ2では最大タップと4Hzタッピングのみを行った。4Hzタッピングを選んだ理由は、この周波数で加速タップが出現しやすく、またリズムが最も不安定になるためである⁵⁾⁷⁾。

3. 統計学的分析

最大タップ周波数、加速および遅延タップの出現率、さらに各タップ間隔の変動係数につき、それらの加齢変化を年齢群、性別を要因とする分散分析により検定した。グループ1とグループ2など2群の結果の比較には、対応のないt検定を用いた。有意水準は5%とした。

結 果

1) 最大タップ周波数

図1はグループ1の最大タップ周波数の加齢変化を示している。加齢効果は有意 ($F=57.02$, $p<0.001$) であったが、有意な男女差は認められなかった。65歳以上の平均±標準偏差は5.9±0.7Hzであった。

グループ2においても年齢が高いほど最大タップ周波数は低下しており（表3： $F=36.23$, $p<0.001$ ）、4Hzに達しない者が39名（3.4%）含まれていた。男性の最大タップ周波数（5.7±0.8Hz）は女性（5.2±0.7Hz）より有意に高かった（ $F=62.22$, $p<0.001$ ）。2つの地域を比較すると、南外村（5.3±0.8Hz）より小金井市（5.7±0.7Hz）で有意に高かった（ $t=8.76$, $p<0.001$ ）。グループ全体の平均値は5.4±0.8Hzで、グループ1の65歳以上に比べて低い値を示した（ $t=6.68$, $p<0.001$ ）。

2) 遅延タップ

先行研究⁷⁾では恒常誤差5ms以上を遅延または加速

図1 グループ1における最大タップ周波数の加齢変化。加齢による有意な低下が認められた（ $r=0.69$, $p<0.001$ ）。

タップの判定基準としたが、これを3msの基準で見直し以下の結果に含めた。

グループ1では遅延タップは主に5Hz タッピングにみられ、加齢とともに増加していた ($F=5.79$, $p<0.001$)。出現率に男女差は認められなかった。65歳以上で遅延タップを示す者と示さない者の最大タップ周波数には有意差はなかった。4Hz タッピングでは65歳以上の高齢者の5.1%に遅延タップが出現していたが、加齢効果と男女差は有意でなかった。

グループ2の4Hz タッピングにおける遅延タップの出現率は加齢とともに増加し (表3 : $F=4.06$, $p<0.05$)、男性 (11.3%) よりも女性 (15.2%) で有意に高かった ($F=5.35$, $p<0.05$)。グループ全体の出現率は、グループ1の65歳以上に比べて有意に高かった ($t=2.63$, $p<0.01$)。2つの地域を比較すると、小金井市 (8.5%) より南外村 (16.3%) で出現率が有意に高かった ($t=3.72$, $p<0.001$)。また遅延タップを示す者の最大タップ周波数 ($4.7\pm0.8\text{Hz}$) は、これを示さない者の周波数 ($5.5\pm0.7\text{Hz}$) より有意に低かった ($t=12.6$, $p<0.001$)。

3) 加速タップ

図2はグループ1において、2Hzから5Hzまでのタッピングのいずれかで加速タップ (HT) を示した者の比率を示している (白バー)。加速タップの出現率は加齢とともに増加し ($F=8.24$, $p<0.001$)、60歳代、70歳代では35%以上であった。80歳代は低い値を示したが、この場合は対象者数が少なかった。表2は2Hzから5Hzまで刺激周波数を上げていった際に、加速タップが初めて出現する周波数 (臨界周波数) とそれに該当する対象者の比率を年齢別に示している。加速タップは4Hzまたは5Hzから出現する割合が高かった。20歳代から50歳代ではほぼ全例、60歳代、70歳代では約65%が4Hzまたは5Hzから加速タップが出現していた。60歳代、70歳代の約35%は、2または3Hzから加速タップが出現していた。40歳代以上の対象者では一度加速タップが出現すると、以降の周波数でもタップの加速が持続することが多かった。加速タップの恒常誤差は平均13.0ms (範囲3~86ms) であった。65歳以上の高齢者で加速タップを示す者と示さない者の最大タップ周波数には、有意な差は認められなかった。また4Hz タッピングにおける加速タップの出現率 (図2の黒バー) にも有意な加齢効果が認められた ($F=4.53$, $p<0.001$)。60歳代、70歳代では15~20%に加速タップが出現していた。これらは2Hzから5Hzま

表2 グループ1における加速タップの臨界周波数とその出現率 (%)

年齢	2 Hz	3 Hz	4 Hz	5 Hz
18—29	1.7	0.9	0	5.1
30—39	0	0	4.3	4.3
40—49	0	0	9.3	2.3
50—59	0	0	5.1	7.7
60—69	5.4	8.9	12.5	14.3
70—79	8.6	4.3	17.1	5.7
80—89	0	0	11.1	0

図2 加速タップ (HT) の出現率の加齢変化。白バーはグループ1の2Hzから5Hzまでのタッピングにおける出現率、黒バーは4Hz タッピングにおける出現率を示す。80歳代では加速タップはすべて4Hz タッピングで見られた。斜線のバーはグループ2の4Hz タッピングにおける加速タップの出現率を示す。

でのタッピングのいずれかで加速タップを示した者の比率の約1/2であった。65歳以上全体では16.9%に加速タップが認められた。加速タップの出現率には有意な男女差は認められなかった。

グループ2の4Hz タッピングにおける加速タップの出現率にも有意な加齢効果が認められ (図2および表3 : $F=8.73$, $p<0.001$)、特に80歳代では30%近くに急増していた。グループ全体の加速タップの出現率は、グループ1の65歳以上の4Hz タッピングにおける加速タップの出現率と極めて近い値を示した。このグループでは男女間および2つの地域間で加速タップの出現率に有意差は認められなかった。グループ全体の加速タップの恒常誤差は平均15.9ms (範囲3~85ms) で、グループ1の65歳以上の4Hz タッピングにおける恒常誤差 (平均17.2ms, 範囲3~61ms) と有意差はな

表3 グループ2の最大タップ周波数, および4 Hz タッピングにおける遅延タップと加速タップの出現率

年齢 (歳)	65—69	70—79	80—89	平均
最大タップ周波数 (Hz)	5.6	5.3	5.0	5.4
(S.D.)	(0.8)	(0.7)	(0.8)	(0.8)
遅延タップ (%)	10.3	14.8	20.3	13.6
加速タップ (%)	14.6	15.9	29.3	16.8

図3 グループ1におけるタップ間隔の変動係数(CV)の加齢変化. 2～4 Hz タッピングでは有意な加齢効果が認められた. すべての年齢で4 Hz タッピングの変動係数が極大を示した.

かった. このグループでも加速タップを示す者と示さない者(この場合, 最大タップ周波数が4 Hz を越えない者は除く)の最大タップ周波数には有意差は認められなかった. また脳卒中の既往を申告した者とその他とで, 加速タップの出現率には有意差はなかった.

4) 変動係数

図3はグループ1の2 Hz から5 Hz のタッピングにおけるタップ間隔の変動係数(CV)の加齢変化を示している. 変動係数はすべての年齢において4 Hz タッピングで極大を示し, 2, 3, 4 Hz タッピングで加齢効果が有意であった($F=5.7\sim11.9$, $p<0.01$). すべての周波数において, 加速タップを示す者の変動係数はこれを示さない者より有意に高かった($t=4.18\sim7.11$, $p<0.001$). グループ2の4 Hz タッピングの変動係数も, 加速タップを示す者で有意に高かった($t=8.71$, $p<0.001$).

考 察

1) 加速タップの出現とその加齢変化

本研究は信頼できる大きいサンプルを対象に指タッ

ピング試験を実施し, 先行研究⁷⁾が明らかにした高齢者のリズム運動における性格の異なる2つの異常(同期応答からの逸脱)を再確認した. 第1はグループ1, 2の対象者とも, 加齢により遅延タップの出現率が増大していたことである. 遅延タップは指の運動スピードの低下によると考えられる. 運動スピードの低下は運動系の加齢変化の一般的な特徴であり, 運動神経繊維の伝導速度の低下⁸⁾や筋の収縮スピードの低下⁹⁾¹⁰⁾など, 身体の比較的末梢側の加齢変化が強く関与した現象であろう. 第2は加齢にともなう加速タップの出現である. 広範な年齢にわたる対象者(グループ1)では, 加速タップの出現率が先行研究の値にほぼ等しく, 50歳代までは10%前後であるが, 60歳代以降に急速に上昇して35～40%に達していた.

一方, 本研究の特徴の一つはグループ2の対象者にある. このグループは地域在宅高齢者の代表的なサンプルによるもので, 脳卒中などの既往歴を有する者も含まれていた. したがって健康で比較的活動的な者が多く, また女性より男性が多いグループ1に比べ, 高齢者のより平均的な値を示していると考えられる. グループ2においてもグループ1と同様の加速タップの出現率を認めた. 80歳代では出現率が急増し, 30%近くに達していた. グループ1の4 Hz タッピングにおける加速タップの出現率は, 2 Hz から5 Hz までのタッピング全体における出現率の約1/2であった. もしグループ2について2 Hz から5 Hz までのタッピング試験を施行した場合には, 60歳代, 70歳代では30%, 80歳代では50%以上が加速タップを示すと推定される. 一般的な在宅高齢者でも高頻度で加速タップが出現すると言える.

2) 加齢の指標としてのリズム異常

本研究では加速タップと他のタップパラメータとの関係について検討を加えた. グループ2全体の最大タップ周波数の平均値はグループ1の65歳以上の高齢者より有意に低かった. また4 Hz タッピングにおける遅延タップの出現率はグループ2で有意に高かった. グループ2の対象者はグループ1の高齢者に比べ運動スピードが遅いと考えられる. またグループ2では最大タップ周波数および遅延タップの出現率に地域差が認められた. しかし4 Hz タッピングにおける加速タップの出現率および恒常誤差は, グループ1, 2で極めて近い値を示した. グループ2の2つの地域でも加速タップの出現率に差は認められなかった. また加速タップを示す者と示さない者の最大タップ周波数は,

グループ1, 2とも有意差を認めなかった。さらにグループ2の女性の最大タップ周波数は男性より有意に低かったが、加速タップの出現率には男女差は認められなかった。これらの事実は、加速タップが加齢による運動スピードの低下とは独立の現象であることを示唆している。加速タップのようなリズム運動の異常が運動スピードの低下と平行して出現することが高齢者の特徴と言える。

一方、リズム運動における周期の変動係数は、運動の一貫性ないし安定性の一指標である。本研究では4 Hzの刺激音に対する応答において変動係数が極大になり、極大値は加齢とともに増大することを再度確認した。これらの事実は、4Hz近傍でタッピングの制御機構が不安定であり、この不安定性が加齢とともに増大することを示唆している。そして加速タップを示す者の変動係数は、これを示さない者より有意に高かった。加速タップはより高い変動係数をともなうのである。このように加速タップの出現とタッピングのばらつき増加は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独自の指標であると考えられる。

3) 加速タップの出現機序

グループ1では加速タップの恒常誤差は平均13.0 msと小さく、パーキンソン氏病患者のように2または3Hzタッピングにおいて加速タップがいきなり5または6Hzに飛躍し、以降この早いタップが刺激と無関係に持続すること⁴⁾はなかった。しかし加速タップは4Hzタッピングから出現し、5Hzタッピングでも持続することが多かった。2または3Hzタッピングから加速タップが出現する例も見られた。これらはパーキンソン氏病患者と類似した現象である。従来、正常な高齢者の脳とパーキンソン氏病患者の脳には、神経組織学的、神経化学的に共通の変化が指摘されてきた¹²⁾¹³⁾。このような脳の変化と指タッピングの応答異常の類似性から見て、高齢者に認められた加速タップはパーキンソン氏病患者で定義された意味での加速現象の一種であると解釈される⁷⁾。

他方、脳血管障害患者でも約53% (101/191名)の比率で加速タップが出現し、CTスキャンによる検索では加速タップを示す患者の病変は基底核に特異的である⁶⁾。磁気共鳴画像法(MRI)による診断では、健康な高齢者の47%に脳内の小梗塞が認められている¹⁵⁾。梗塞の部位は基底核が54%、白質深部が34%、脳幹部が12%である。本研究では脳卒中の既往を申告した者と

その他とで、加速タップの出現率には有意差はなかったが、基底核の器質的な変化が健常高齢者に見られる加速タップの原因になっている可能性がある。但し、60歳以下の青壮年の10%程度が同じく基底核に器質的な変化を有するものかどうかは確認されていない。また本研究では認知機能に関する検査は実施していないが、知的機能や運動の準備に関与する皮質領域の加齢変化を十分に考慮する必要があると考えられる。指タッピングを用いた行動学的研究と脳の病理学的なアプローチとが共同して、加速タップの出現機序を確かめることが将来に残された課題である。

謝辞：本研究は、東京都老人総合研究所特別プロジェクト「中年からの老化予防総合的長期追跡研究」の一環として行われた。本研究の要旨は第48回日本体力医学会大会において発表した¹⁶⁾。

文 献

- 1) Nagasaki H: Correlations of stress and timing in periodic tapping. *Hum Move Sci* 1987a; 6: 161—180.
- 2) Nagasaki H: Frequency dependence of rhythm in periodic tapping. *Hum Move Sci* 1987b; 6: 247—256.
- 3) Nagasaki H: Rhythm and variability of timing in periodic tapping. *Hum Move Sci* 1990; 9: 177—194.
- 4) Nakamura R, Nagasaki H, Narabayashi H: Disturbances of rhythm formation in patients with Parkinson's disease: Part 1. Characteristics of tapping response to the periodic signals. *Percept Motor Skills* 1978; 46: 63—75.
- 5) Nagasaki H, Nakamura R: Rhythm formation and its disturbances: A study based upon periodic response of a motor output system. *J Hum Ergol* 1982; 11: 127—142.
- 6) Nagasaki H, Kosaka K, Nakamura R: Disturbances of rhythm formation in patients with hemispheric lesion. *Tohoku J Exp Med* 1981; 135: 231—236.
- 7) Nagasaki H, Itoh H, Maruyama H, Hashizume K: Characteristic difficulty in rhythmic movement with aging and its relation to Parkinson's disease. *Exp Aging Res* 1988; 14: 171—176.
- 8) Norris AH, Shock NW, Wagman IH: Age

- changes in the maximum conduction velocity of motor fibers of human ulnar nerves. *J Appl Physiol* 1953 ; 5 : 589—593.
- 9) Larsson L, Karlsson J : Isometric and dynamic endurance as a function of age and skeletal muscle characteristics. *Acta Physiol Scand* 1978 ; 104 : 129—136.
- 10) Mortimer JA, Webster DD : Comparison of extrapyramidal motor function in normal aging and Parkinson's disease. In : *The Aging Motor System*, Mortimer JA, Pirozzolo FJ, Maletta GJ (eds), Praeger Publishers, New York 1982, p217—241.
- 11) 伊東 元, 長崎 浩, 橋詰 謙, 古名丈人, 衣笠 隆, 丸山仁司 : 運動能力の加齢変化の構造. *体力科学* 1993 ; 42 : 735.
- 12) McGeer PL, McGeer EG, Suzuki JS : Aging and extrapyramidal function. *Arch Neurol* 1977 ; 33—35.
- 13) Teravainen H, Calne D : 正常加齢の運動系と Parkinson 病. In : *加齢の神経学*, Katzman R, Terry R (eds), 水谷俊雄 訳, 西村書店, 1986, p79—101.
- 14) Mogan DG, May PC, Finch CE : Dopamine and serotonin systems in human and rodent brain : Effects of age and neurodegenerative disease. *J Am Geriatr Soc* 1987 ; 35 : 334—345.
- 15) Shimada K, Kawamoto A, Matsubayashi K, Ozawa T : Silent cerebrovascular disease in the elderly : Correlation with ambulatory pressure. *Hypertension* 1982 ; 16 : 692—699.
- 16) 橋詰 謙, 長崎 浩, 伊東 元, 古名丈人, 衣笠 隆, 丸山仁司 : 高齢者における指タッピングの応答異常. *体力科学* 1993 ; 42 : 729.

Abstract

Age-Related Difficulty in Rhythmic Movement

Ken Hashizume, Hiroshi Nagasaki¹⁾, Hajime Ito¹⁾, Taketo Furuna¹⁾, Miho Sugiura¹⁾,
Takashi Kinugasa²⁾ and Hitoshi Maruyama³⁾

In order to identify a characteristic difficulty in rhythmic movements with aging, a total of 380 healthy participants aged from 18 to 85 years (group 1), and 1,134 elderly community residents aged from 65 to 89 years (group 2), were examined using a finger-tapping test. The test requested the participant to tap in time to a periodic sound train with frequencies of 2, 3, 4, and 5 Hz (cycles/sec) for group 1, and with 4 Hz for group 2. Tapping deviated towards a faster rate from the stim-

ulus frequency by more than 3 msec at 4 Hz and/or 5 Hz, "hastened tap" (HT), was found to be characteristic of aging. In group 1, the participants who exhibited HT increased with age and reached more than 35% in their 60s and 70s. In group 2, the percentages of participants with HT at 4 Hz were 14.6 (60s), 15.9 (70s) and 29.3 (80s), which were very close to the 16.9% of participants with HT at 4 Hz over 65 years in group 1. This figure suggested that more than 50% of participants over 80 years exhibited HT in tapping test at 2 through 5 Hz. HT in the elderly appears to be similar to hastened tapping observed typically in patients with Parkinson's disease, suggesting a parallel of extrapyramidal motor dysfunction between normal aging and parkinsonism.

Key words: *Rhythmic movement, Finger-tapping test, Hastened tap, Normal aging*
(*Jpn J Geriatr* 1994; 31: 360—365.)

Faculty of Health & Sports Sciences, Osaka University

¹⁾ Department of Kinesiology, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology

²⁾ College of Medical Technology and Nursing, University of Tsukuba

³⁾ Department of Physical Therapy, Junior College, Saitama Medical School