

研究報告

スピーカーによる客観的振動感覚検査の試み 第二報

戸田 香¹⁾、保黒政大²⁾、長谷川大佑³⁾、安田伊吹⁴⁾、佐相ひより¹⁾

¹⁾中部大学生命健康科学部理学療法学科、²⁾中部大学理工学部宇宙航空学科

³⁾中部大学生命健康科学部、⁴⁾医療法人社団喜峰会東海記念病院

要 旨

一般的な振動覚検査には 128Hz あるいは 64Hz の音叉が使用される。しかし、音叉を叩打する力により振動強度に差を生じ、機能低下を客観的に評価することは難しい。また、振動感覚に関わる受容器は複数存在し、各々に感受性の高い周波数帯が異なる。我々は小型スピーカーを用い 63Hz、125Hz、250Hz の三つの周波数で振動覚検査を試みた。振動強度を電氣的に制御可能であり、知覚閾値を測定するために振動強度を段階的に増加させた。スピーカーは音叉よりも強い刺激での検査が可能であり、感覚機能が低下した高齢者の振動覚閾値も客観的に検査することができる。高齢者の振動覚閾値は若年者に比べ有意に高い値を示した。振動覚は深部感覚の一種であり、転倒リスクとの関係性が報告されているが、表在感覚については統一した見解は存在しない。そこで、本研究では振動覚と表在感覚である触圧覚との関係性についても確認した。拇趾指腹の触圧覚と 125Hz の振動覚との間には若年者で有意な強い相関を確認したが、高齢者では弱い相関しか確認できなかった。加齢に伴う感覚機能の低下は振動覚と触圧覚では異なることが示唆された。

1. はじめに

振動覚は糖尿病多発神経障害の簡易診断基準にも含まれ、脳外科用 C 調 128Hz の音叉で内果での知覚が 10 秒以下の場合を振動覚低下としている¹⁾。しかし、振動覚は加齢変化の影響が強い神経機構であり、高齢者では健常者でも 7~8 秒くらいまで低下する場合もある²⁾。しかし、音叉を用いた検査は検査者が音叉を叩打する強さによって振幅にばらつきを生じる。振動覚の低下を客観的に評価するためには、受容器の特異性に配慮し、複数の周波数帯で制御された十分な強度の刺激を与えることが重要である。そこで、我々は電氣的に刺激強度を制御可能な小型スピーカーを用いて振動覚検査を試み、過年度に第一報を本紀要に投稿した³⁾。本研究では改良した検査機器を用い、若年者と高齢者の結果について比較検討を行った。また、振動覚については転倒リスクとの関係性が複数報告されているが⁴⁾⁵⁾、表在感覚については転倒リスクとの明確な関係性は報告

されていない。本研究では振動感覚と触圧覚の関係性についても検討することとした。

2. 対象と方法

対象は 2022 年に中部大学で開催した体力測定会に参加した地域在住高齢者 36 名（男性 17 名、女性 19 名、平均年齢 77.4 ± 5.3 歳）、本学学生 29 名（男性 13 名、女性 16 名、年齢 21 歳）であった。本研究は中部大学の倫理審査委員会の承認を得て、対象者に研究の方法および内容を十分に説明し、書面及び口頭により同意を得て実施した（300057, 20220047, 20230035）。

振動覚検査は椅子座位で実施した。振動覚検査機器はスピーカーには直径 5cm の市販のスピーカーユニットを用い、振動部位には高野製作所製の音叉から、皮膚接触部位のパーツとして使用されているアルミ製の円盤を転用して接着した上で、3D プリンターにより作成したカバーを付け

た (図 1)。DA コンバーターを介して正弦波信号を生成し、アンプにより信号を増幅してスピーカーを振動させた (図 1)。本研究に先立つ第一報で使用したアンプを 12V の基盤に変え、刺激強度の増大と安定性を改善した。刺激周波数は 63Hz、125Hz、250Hz に設定した。刺激強度は、0dB が最大強度であり、高齢者は-30dB から開始、若年者は-60 dB から開始し、2 秒毎に 5dB ずつ刺激を増大させた。-30dB 以降は-25dB、-20dB、-18dB、-16dB、-15dB、-10dB、-6dB、-3dB、0dB の順に刺激を増大させた。対象者には刺激を感知したら「はい」と答えるよう指示した。その時点の刺激強度 (dB 値) を閾値として採用した。測定回数は体力測定会という制限時間の中で完了する必要がある、1 回のみの測定とした。振動覚検査の測定部位はボールを蹴る側の拇趾指腹とした。感覚検査における検査肢位は背もたれのある椅子で椅座位とした。

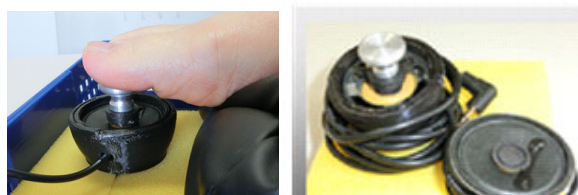


図 1 スピーカー型振動覚検査器具

写真左：拇趾指腹における検査

写真右：市販のスピーカーユニット原型 (手前)
アルミ製円板を接着したスピーカー
にカバーを装着した振動子 (奥)

触圧覚の検査には酒井医療製セメスワインスタインモノフィラメント (SOT-DM06A) を使用した。線径の異なる 4 本のフィラメント 2.83、3.61、4.31、4.56 (0.07g、0.4g、2.0g、4.0g) を細い物から順次用いた。検査前に対象者の手指にて模擬テストを実施し、検査姿勢は背臥位、検査部位は母趾指腹とした。フィラメントは母趾の指腹に対して垂直に 1.5 秒押し当て、1.5 秒保持し、1.5 秒かけて離すように統一した。対象者には刺

激を感知したら「はい」と答えるよう指示した。3 回測定して 2 回以上知覚可能なフィラメントのターゲットフォース (g) を測定値とした。

統計学的解析には統計ソフト JSTAT を用い、F 検定の後、対応のない t 検定あるいは Welch's t 検定を用いて、高齢者と若年者のデータを比較検定した。周波数間の閾値については Freedman 検定を用いた。また、振動覚と触圧覚との相関関係については Spearman の順位相関係数により検定した。いずれも有意水準は危険率 5% とした。

ターゲット フォース (grams)	色	フィラメント NO.	SOT- DM06A 6本セット
0.008		1.65	
0.02	グリーン (触覚正常)	2.36	
0.04		2.44	
0.07		2.83	○
0.16	ブルー (触覚低下)	3.22	
0.40		3.61	○
0.60		3.84	
1.00	パープル (防御知覚低下)	4.08	
1.4		4.17	
2.0		4.31	○
4.0	レッド (防御知覚脱失)	4.56	○
6.0		4.74	
8.0		4.93	
10.0		5.07	○
15.0		5.18	
26		5.46	
60		5.88	
100		6.10	
180		6.45	
300		6.65	○



図 2 触圧覚検査 酒井医療 HP より引用

3. 結果

高齢者の振動覚は 63Hz が -11.6 ± 8.2 (dB)、250 Hz が -12.7 ± 6.7 (dB)、125 Hz が -13.6 ± 6.7 (dB) であった。触圧覚は 0.90 ± 1.04 (g) であった。若年者の振動覚は 63Hz (n=11) が -31.8 ± 10.3 (dB)、250 Hz (n = 11) が -33.6 ± 11.0 (dB)、125 Hz (n = 29) が -41.8 ± 7.2 (dB) であった。触圧覚 (n = 11) は 0.16 ± 0.15 (g) であった。

高齢者と若年者との比較において、振動覚については全ての周波数において高齢者の振動覚閾値は有意に高かった。(63Hz ; $p < 0.0001$ 、250 Hz ; $p < 0.0001$ 、125 Hz ; $p < 0.0001$)。触圧覚についても、高齢者の閾値は有意に高かった ($p = 0.002$)。

周波数間の比較においては高齢者では有意差をみとめなかったが ($p = 0.50$)、若年者においては 125Hz

が他の周波数よりも有意に低い閾値であった ($p = 0.008$)。

振動覚と触圧覚の有意な相関関係は 125Hz の振動覚においてのみ確認した。高齢者では $r = 0.35$ ($p = 0.04$)、若年者では $r = 0.79$ ($p = 0.01$)であった。

4. 考察

振動覚閾値検査は皮膚の数種類の受容器とそれらを介する A 線維の有髄神経線維機能を検査していると言われている⁶⁾。主に関与する受容器としてはパチニ小体とマイスナー小体が挙げられるが、受容器により閾値が異なる。パチニ小体は約 200Hz の振動刺激で閾値が最低となり、マイスナー小体は粗振動感覚に関与し、30～40Hz の振動刺激で閾値が最低となる⁷⁾。本研究において、若年者では 125Hz の閾値が他の周波数に比べ有意に低値であった。パチニ小体に加えてマイスナー小体の興奮を検出したものと思われる。今回対象とした高齢者の振動覚閾値には周波数間で有意差を確認できなかったが、測定回数が1回であることや、周囲の環境が測定結果に影響したことが考えられる。しかしながら、それらを考慮しても、若年者の振動覚閾値に比べ高齢者では明らかな機能低下を有する事に疑う余地はない。

加齢に伴い骨格筋量や筋力、バランス機能など運動機能が低下することは周知の事実である。高齢者におけるバランス制御には下肢の体性感覚機能に関与することが知られ⁷⁾、その機能低下は 100Hz や 120Hz の振動感覚閾値の上昇に関連していることが報告されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。また、足底の皮膚に存在する機械受容器は足関節に作用する骨格筋を支配する運動神経の活動の調節に関与し、足底の皮膚感覚が姿勢制御に関与することも示唆されている¹¹⁾。本研究において触圧覚と振動覚との関連性について確認したところ、125Hz でのみ有意な相関を確認した。特に若年者では強い相関であった ($r = 0.79$)。触圧覚は若年者でも 3.61 のフィラメントがターゲットフォースとなる者が 11 名中 4 名存

在した。そのため 4.31 以上を機能低下と定義した場合、高齢者では 36 名中の 27 名は知覚機能が維持されていた。加齢に伴う感覚機能の低下は振動覚と触圧覚では異なることが示唆され、振動覚に比べ、触圧覚は機能低下が緩やかな可能性が考えられる。振動覚閾値の上昇と筋力低下には関連があり¹²⁾、我々は内果で測定した 128Hz の振動覚が握力に影響すること¹⁰⁾、さらには、250Hz の振動覚閾値が静的バランス機能の指標である片脚起立時間に強く影響することを報告している¹⁰⁾。振動覚は筋力やバランス機能との関連から、転倒リスク評価の有用性が確認されているが、触圧覚についての詳細な知見は見当たらない。本研究は横断的研究であるため、今後においては触圧覚の経年的な変化を追跡するとともに、皮膚感覚と姿勢制御や運動機能との関係性について検討する必要があると考える。

引用文献

- 1) 糖尿病性神経障害を考える会: 糖尿病性多発神経障害 (disal symmetric polyneuropathy) の簡易診断基準. 末梢神経. 12; 225 - 227, 2001.
- 2) 佐々木秀行: 糖尿病に合併する神経障害の診断. Modern Physician 35 (1): 19 - 22, 2015.
- 3) 戸田香, 保黒政大, 長谷川大祐・他: スピーカーによる客観的振動感覚検査の試み 第一報. 中部大学生命健康科学研究所紀要 14, 69 - 72, 2018.
- 4) 吉川義之, 福林秀幸, 高尾 篤・他: 音叉を用いた振動覚検査による転倒予測の有用性. 理学療法学 37 (7): 470 - 476, 2010.
- 5) 吉川 義之, 松田 一浩, 竹内 真・他: 転倒リスク評価における振動覚検査の重要性. 理学療法科学 27 (1): 55 - 59, 2012.
- 6) 藤原豊, 黒沢洋一, 那須吉郎・他: 振動障害の末梢

神経障害に対する客観的検査法としての振動覚閾値, 電流知覚閾値, FSBP%値測定の有効性に関する研究. 日職災医誌. 62 (2): 80 - 93, 2014.

- 7) 岩村吉晃: 標準生理学 本郷利憲・他 (編) . 体性感覚 医学書院 198 - 202, 1985.
- 8) Hafström A. Perceived and functional balance control is negatively affected by diminished touch and vibration sensitivity in relatively healthy older adults and elderly. Gerontol Geriatr Med 4: 2333721418775551, 2018.
- 9) Jung J, Kim M, Kang Y, Min K, Han K & Choi H. Vibration perception threshold and related factors for balance assessment in patients with type 2 diabetes mellitus. Int J Environ Res Public Health 18: 6046. 2021.
- 10) 長谷川 大祐, 堀田 典生, 水田 喬士, 他: 地域在住の健常高齢者における運動機能と関連する振動感覚には周波数特性がある. 体力科 72 (4): 305 - 313, 2023.
- 11) Fallon JB, Bent LR, McNulty PA & Macefield VG. Evidence for strong synaptic coupling between single tactile afferents from the sole of the foot and motoneurons supplying leg muscles. J Neurophysiol 94: 3795 - 3804, 2005.
- 12) Ward RE, Boudreau RM, Caserotti P, Harris TB, Zivkovic S, Goodpaster BH, Satterfield S, Kritchevsky S, Schwartz AV, Vinik AI, Cauley JA, Newman AB & Strotmeyer ES. Sensory and motor

peripheral nerve function and longitudinal changes in quadriceps strength. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 70: 464 - 470. 2015.

Title: The trial to evaluate vibration sense by loudspeaker Ver.2.

Author(s): Kaoru Toda¹⁾, Masahiro Hoguro²⁾, Daisuke Hasegawa³⁾, Ibuki Yasuda⁴⁾, Hiyori Sasou¹⁾

Address(es): ¹⁾ Department of Physical Therapy, College of Life and Health Sciences, Chubu University, 1200 Matsumoto-cho, Kasugai、Aichi 487-8501, Japan; ²⁾ Department of Astronautics and Aeronautics, College of Science and Engineering, Chubu University, 1200 Matsumoto-cho, Kasugai, Aichi 487-8501, Japan ; ³⁾ College of Life and Health Sciences, Chubu University, 1200 Matsumoto-cho, Kasugai, Aichi 487-8501, Japan; ⁴⁾ Tokai Memorial Hospital, 681-47, Oodo, Mawarimachi, Kasugai Aichi 487-8501, Japan

Keywords: Elderly, Vibration Sense, Tactile sense, Speaker

Abstract: Vibration sensation was tested using a device that utilizes a speaker. The threshold for vibration sensation was clearly higher in the elderly than in the young. Correlation with tactile sensation was confirmed only for vibration sensation, which was tested at 125 Hz. It is known that 125Hz vibration sense is related to muscle strength, and 250Hz vibration sense is related to static balance function. However, detailed findings regarding tactile sensation have not been found. Because this study was a cross-sectional study, it is necessary to follow up on changes in tactile sensation over time and to examine the relationship between cutaneous sensation and postural control and motor function.