

新指標 VPTW と繰り返し振動ばく露に対する残留 TTS を組み合わせた高年齢労働者の手腕振動障害リスク評価の検討

柴田延幸*1

手腕振動障害が呈する複合的症状を構成するものの一つに末梢神経系障害がある。これに対して、手腕振動障害が呈する最も象徴的かつ有名な主徴としては手指の白ろう化があるが、これは末梢循環系障害の典型である。近年、末梢神経系障害は、同じ手腕振動ばく露量で手指の白ろう化より3倍短い潜伏期間で起こり得るとの報告があった。これにもとづけば、末梢神経系障害の発現の有無とその程度を把握することにより、長期にわたって手腕振動ばく露作業に従事する高年齢作業員に対する蓄積性影響を評価し、振動障害予備群の高年齢労働者の早期発見が可能になると考えられる。本プロジェクト研究では、先行する形で末梢神経障害の診断手法の一つである指先振動感覚閾値測定をもとに新しい指標 VPTW を考案した。本研究では、高年齢労働者の手腕振動障害リスクを評価する際の手法として、新指標 VPTW と繰り返し手腕振動ばく露後の指先振動感覚閾値 (VPT) の残留閾値移動を組み合わせることで、高年齢労働者の長期的な手腕振動ばく露による蓄積性リスクの評価および潜在的な手腕振動障害予備群のスクリーニング手法への有効性の検討を行った。

キーワード: 振動障害, 手腕振動, 指先振動感覚閾値, 閾値幅, 末梢神経症状。

1. はじめに

手持ち振動工具等の操作により断続的に長い期間にわたって手腕振動にばく露することにより、手腕振動障害が発症することが知られている¹⁾。一般に手腕振動障害は末梢循環系障害、末梢神経系障害および筋骨格系障害などの障害が複合的にあらわれることが知られており^{2,3)}、特にレイノー現象（もしくは白指 (VWF)）は、末梢循環系障害の一つであり、手腕振動障害の典型的な症状である。VWF は指の毛細血管における血管攣縮の増加によって引き起こされる。国際規格 ISO 5349-1⁴⁾は、その付属書の中で手腕振動障害のリスクアセスメントを規定しており、振動の大きさと総振動ばく露時間を VWF の有病率と関連付けている。また、VWF の出現は手腕振動障害を労災認定する際の重要な判断材料の一つとなっている。

近年、比較的振動の小さい手持ち振動工具の振動に数十年間ばく露した労働者など、レイノー現象を伴わない手腕振動障害発症者が注目されつつある。これらの患者は、VWF のような末梢循環系症状を呈さず、主に手指の感覚低下、しびれ、痛みなどに代表される末梢神経系症状の有訴が特徴である。手腕振動と血管・神経疾患のリスクに関する系統的レビューとメタアナリシスに関する最近の研究では、末梢神経系障害は、同じ手腕振動ばく露量で VWF より3倍短い潜伏期間で起こり得ることが示された⁵⁾。この点から、振動感覚や温冷覚に代表される手腕振動障害の末梢神経系のスクリーニングパラメータが、潜在的な手腕振動障害予備群の発見に有効であることが示唆される。

本プロジェクト研究では、指先の個々の神経感覚特性を反映する一種の物理量であり、振動感覚閾値の測定を行う際の環境条件や個人の健康状態に影響されない新しい指標 VPTW を開発した⁶⁾。VPTW は、指先振動感覚における上昇閾値と下降閾値の差で定義されるが、手腕振動ばく露による急性影響はないことが明らかにされている。さらに、VPTW は、手持ち式振動工具使用による職業ばく露のような蓄積性影響に左右されることも明らかになっている。したがって、VPTW は、作業員の手腕振動ばく露量および手腕振動障害の潜在的な個人リスクを評価可能であることが示唆された。一方、従来手腕振動障害の健診でも採用されている振動感覚閾値 (VPT) は、VPT 測定時の環境や個人の健康状態に敏感に影響されることが知られており、健常者の VPT よりはるかに大きな値を呈する手腕振動障害発症者の検出に VPT が用いられてきた。これに対して、VPTW は手腕振動障害の初期症状として認められる末梢神経系障害を呈する潜在的な予備群を見出すスクリーニングパラメータとして有力な候補となりうる。

本報では、手腕振動障害における末梢神経系症状が手腕振動の反復ばく露によって増加するリスクの評価における新 VPTW の適用性を検証することを目的として、反復手腕振動ばく露後の回復過程に観察される VPTW と VPT の残留一時的閾値移動 (TTS) に注目した。

2. 方法

1) 被験者

本実験では、30 人の健康な男性が被験者として参加した。被験者は3つの被験者群すなわち、高齢者ばく露群 (G1):職業的に手腕振動ばく露している60歳以上の男性10名(平均年齢:65.8歳,平均身長:170.0cm,平均体重:76.0kg)、高齢者非ばく露群 (G2):職業的な手腕振動ばく露経験がない60歳以上の男性10名(平均年齢:70.8歳,平均身長:164.1cm,平均体重:59.8kg)、

† 本報は、Vibration 6(3), pp.599-609, 2023 の記述の一部を加筆・修正し、まとめ直したものである。

*1 労働安全衛生総合研究所研究推進・国際センター
連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾 6-21-1
労働安全衛生総合研究所 研究推進・国際センター 柴田延幸
E-mail: shibata@h.jniosh.johas.go.jp

若年者非ばく露群 (G3) : 手腕振動ばく露経験がない 20～30 歳の男性 10 名 (平均年齢 : 21.8 歳, 平均身長 : 174.1cm, 平均体重 : 64.1kg) からなる。被験者はいずれも非喫煙者かつ手腕に循環系および神経系障害がない者であった。被験者は, 実験開始 4 時間前から実験終了までの間カフェインの摂取を控えるよう求められた。

被験者は全員, 検査手順の説明を受け, この研究に参加することに同意した。実験プロトコルは, 労働安全衛生研究所研究倫理審査委員会の承認を得ている (申請番号 2020N-1-17)。

2) 実験装置

本研究では, 国際規格 ISO 13091-1 (2001) ⁷⁾ に規定された要件を満たす振動感覚計 (AU-06, リオン株式会社製) を使用した。この振動感覚計で使用したプローブは, 直径 4.0mm, 指先の接触面積は直径 4.0 ± 2.0 mm である。プローブとその周囲の隙間は 1.5 ± 0.6 mm であった。プローブと指先の接触状態は, ISO 13091-1 で規定されている方法 B に分類される。

振動感覚閾値 (VPT) 測定は, 振動ばく露直後の影響が顕著に誘発される可能性が高いことを示した過去の実験結果 ⁸⁻¹⁰⁾ に基づいて 125Hz と 31.5Hz の 2 つの試験周波数で行った。125Hz と 31.5Hz の試験周波数は, それぞれ FA II および FA I 機械受容器の反応範囲に属する。

VPT 測定は, 右手の人差し指遠位指骨の位置で行った。被験者は, 右手の人差し指の先端を遠位指骨の中心とプローブの中心が一致するように, 右手の人差し指の先端を置くように指示された。さらに被験者は左手に反応ボタンを持ち, 振動を感じ始めたらすぐに反応ボタンを押し, 振動を感じなくなったら即座に反応ボタンを離すように指示された。試験刺激の提示は, von Békésy アルゴリズムにもとづいて試験刺激の大きさを自動的 (刺激の強弱の変化速度は 2.5dB/s) に上昇または下降させた。

3) 模擬振動ばく露作業

周波数範囲 6.3～1,250Hz でパワースペクトル密度 (PSD) が $1.0(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ で一定となるように擬似ランダム振動信号セグメントを設計した。この振動信号セグメントの周波数補正加速度実効値は 5.9 m/s^2 である。もう一つの振動信号セグメントとして, 元の信号セグメントの周波数成分に 1.0 未満のゲインを乗じることによって, 周波数補正加速度実効値 5.3 m/s^2 の信号セグメントを作成した。模擬手腕振動ばく露作業で使用する振動加速度の大きさは, 以前実施した国内市場で入手可能な一般的な手持ち振動工具 (空気式インパクト・レンチ, グライNDER, ハンマー・ドリル, チェンソー等) の周波数補正振動加速度実効値の調査の結果, それらの大半が $5.0 \sim 6.0 \text{ m/s}^2$ の範囲に含まれていたという報告にもとづいて決定した。

同じ振動の大きさ (5.9 m/s^2 または 5.3 m/s^2) の振動信号セグメントを直列に接続し, 2 組の模擬手腕振動試験信号シーケンス (高 HAV および低 HAV) を構成した。

信号シーケンスは, 生産ライン等で一般的に使用される手持ち式振動工具の操作を模擬した。1 つの振動信号シーケンスは 6 つの振動信号セグメントで構成され, 各セグメント (30 秒) の間に 5 秒のインターバルを置いた。被験者は 10 分間の休憩を挟んで 3 回の手腕振動シーケンスに断続的にばく露された。結果として, 被験者は一つの実験条件で合計 9 分間手腕振動をばく露することになる。

各被験者は, VPT 測定の実験に先立って単軸手腕振動試験装置 ¹²⁾ に固定された実験用ハンドルを把持することにより, 模擬手腕振動ばく露タスクを行った。試験装置は, 水平加振用に設置した静電型加振装置 (VE-100S; IMV 社製) に円筒形の実験用ハンドル (直径 40mm, 長さ 100mm, グリップ長さ 100mm) を取り付けてある。ハンドルは, ハンドルベースと測定用キャップで構成され, 両者の間に握力測定用の 2 つの圧電式力センサー (Type 9212; Kistler 社製) と振動測定用加速度センサー (356A12; PCB 社製) がハンドルの中心線上に対称な位置に固定された構造をしている。ハンドルの共振周波数は 1250Hz 以上である。床上にフォースプレートを固定して, 被験者はフォースプレートの上に立位姿勢をとった。被験者の足とプレート表面の間に水平方向に働く反力は, 被験者が手のひらを介してハンドルを押し込む力と釣り合うことから, 被験者の足とプレートとの間に水平方向に働く反力を測定することによりハンドルの押し込み力を算出した。

4) 実験手順

振動試験装置の信号処理装置の騒音と室内のエアコンの騒音を主な原因とする実験室内の暗騒音を遮断するため, 被験者には, 騒音低減率 (NRR) 31dB の耳栓を装着してもらった。実験前に被験者の襟もとで測定した実験室内の暗騒音レベルは 80dBA であったため, 耳栓を装着した被験者が経験する騒音レベルは 70dBA 以下であると予想された。尚, 実験室は室温 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ に保たれていた。

模擬手腕振動ばく露タスクでは, 被験者は加振器の前に直立し, 加振器のシャフトに水平に接続された実験用ハンドルを右手で握り, 右前腕を水平に保ち, 肘の角度を $90 \pm 10^\circ$ 以内, 手首の角度は $0 \sim 40^\circ$ の間に保つように指示された。さらに, 被験者は上腕が体側に触れないように姿勢を維持した。この姿勢条件の設定は, ISO 10819 テストプロトコル ¹³⁾ にもとづいている。1 セグメント分 (30 秒間) の手腕振動ばく露タスクの間, 被験者は目の前のモニタを見ながら, ハンドル把持力を $30 \pm 5 \text{ N}$, 押し込み力を $50 \pm 8 \text{ N}$ の範囲に制御するように求められた。

模擬手腕振動ばく露タスクの終了直後, 被験者はハンドルから手を放して背もたれのある椅子に座り, 右前腕と右腕をリラックスさせた。その後, 右前腕をアーム固定具の上に置いてリラックスしてもらい, プローブの中心が指紋の渦の中心と爪の遠位角の間に位置するように

右手の人差し指を置くように指示された。VPT 測定は、試験周波数 125Hz, 31.5Hz の順に行った。図 1 に示すように、この VPT 測定は、模擬手腕振動ばく露タスク実施直後の最初の 90 秒間を皮切りに、その後 5 分間隔で 10 分間隔まで測定した。この作業は模擬手腕振動ばく露タスクが 3 回終了するまで繰り返し行われた。

すべての単変量一般線形モデル分散分析 (ANOVA) は、統計ソフト SPSS (バージョン 14.0) を用いて実施した。分析結果は、 $p < 0.05$ の水準で有意とみなした。異なる経過時間で測定された VPTW データ間の多重比較は、Tukey の方法を用いて行った。被験者の身長、体重、および手の大きさに関連するその他の人体測定データと分

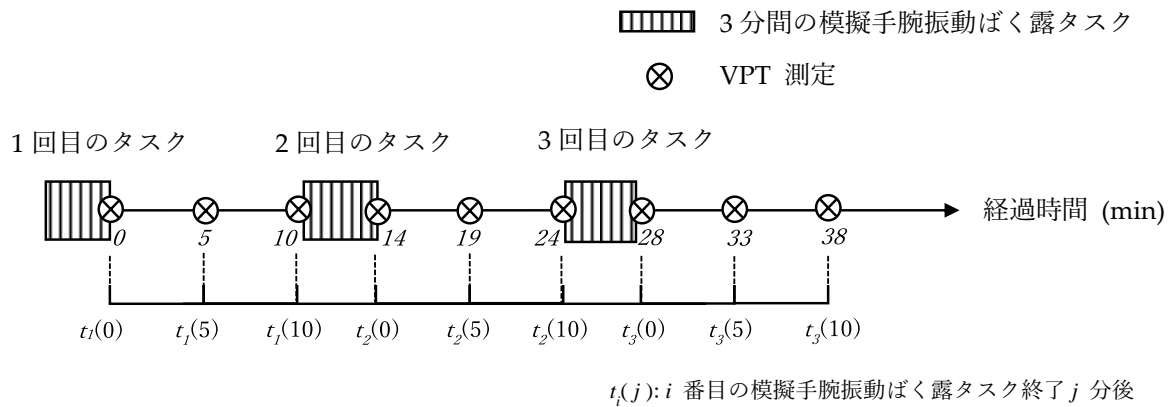


図 1 繰り返し振動ばく露タスクにおける VPT 測定のタイムスケジュール

5) モデリングとデータ解析

本研究では、著者が以前の研究で提案したヒステリシスモデルを使用する⁶⁾。このヒステリシスモデルは、振動刺激と振動感覚の知覚との間にループ状の関係を確立するものである。同モデルの詳細については、文献 6) で詳しく説明されているので、本稿ではヒステリシスモデルの概略のみ説明する。振動感覚の知覚に代表される主観的反応は、刺激を印加する際の接触面における力学的条件が異なるため、増加する振動刺激に対するものと減少する振動刺激に対するものと異なる。その結果、上昇過程と下降過程とで指先振動感覚閾値が異なる。上昇閾値と下降閾値は、周囲温度などの環境条件や指先の生理的・生体力学的条件の急性影響によって影響を受けると考えられるが¹⁴⁻¹⁶⁾、上昇法による閾値から下降法による閾値を差し引いた振動感覚閾値幅 (VPTW) は、上記の条件によって大きな影響を受けないというものである。本研究では、手腕振動ばく露後の VPT の回復過程を文献 6) のように 1 次系でモデル化し、各振動ばく露終了後 10 分経過後の VPT の一時的閾値移動 (TTS) 量を残留 TTS と定義した。

VPT は、ISO 13091-1 に準拠して上昇法による指先振動感覚閾値と下降法による指先振動感覚閾値の組み合わせ 3 組の平均値として定義した。VPT と VPTW を算出する際、最初の上昇閾値と下降閾値の組み合わせを計算の対象から除外した。手腕振動ばく露タスク終了後の時間経過とともに生じる VPT の TTS は、実験開始前に測定した VPT (ベースライン VPT と呼ぶ) からの移動量として定義し、経過時間 t は最初の模擬手腕振動ばく露タスク終了時を基準とした。

析結果は、 $p < 0.05$ の水準で有意であるとみなした。ANOVA の結果にしたがい、異なる経過時間で測定された VPTW データ間の多重比較は Tukey 法を用いて行った。

3. 実験結果

模擬手腕振動ばく露タスク実施前に測定したベースライン VPT の 3 つの被験者群ごとの平均値を表 1 に示す。3 群のベースライン VPT の測定値について予備的な ANOVA を実施した結果、被験者の身長、体重、その他の手の大きさ (手のひらの長さ、幅、周囲長) 等の身体測定データは、ベースライン VPT に有意な影響を及ぼさないことが示された。試験周波数 125Hz における VPT では、年齢とばく露経験の主効果が認められた ($p < 0.05$)。試験周波数 125Hz における高齢者ばく露群 (G1) のベースライン VPT の平均値は、高齢者非ばく露群 (G2) のベースライン VPT 平均値および若年者非ばく露群 (G3) のベースライン VPT の平均値よりも有意に大きな値を示した (いずれも $p < 0.05$)。試験周波数 31.5Hz におけるベースライン VPT では、ばく露経験の主効果が認められた ($p < 0.01$) が、年齢の主効果は認められなかった ($p = 0.13$)。試験周波数 31.5Hz におけるベースライン

表 1 各被験者群のベースライン VPT の平均値

被験者群	平均 VPT ± SD dB	
	125 Hz	31.5 Hz
高齢者ばく露群 (G1)	116.1 ± 2.7	107.9 ± 2.1
高齢者非ばく露群 (G2)	111.1 ± 6.5	103.7 ± 4.1
若年者非ばく露群 (G3)	104.2 ± 4.0	101.3 ± 3.1

VPT の平均値は、G1 では G2 ($p<0.01$) および G3 ($p<0.001$) より有意に大きな値を示した。試験周波数 31.5Hz における G2 のベースライン VPT の平均値と G3 のベースライン VPT の平均値の間に有意差は認められなかった ($p=0.20$)。

試験周波数 125Hz の VPT 測定において、高 HAV および低 HAV ばく露後に測定した、振動感覚の一時的閾値移動 (TTS) の被験者群ごとの平均値と SD を図 2a および図 2b に示す。被験者群の違いに関係なく、どちらのばく露条件においても TTS の回復過程が認められた。残留 TTS は、模擬手腕振動ばく露タスクの反復回数が増えるにつれて増加する傾向が認められた。試験周波数 125Hz における TTS について実施した混合デザイン ANOVA の結果によると、経過時間の主効果のみが有意であった ($p<0.001$)。振動強度とばく露経験の間にのみ、有意な交互作用効果が認められた ($p<0.001$)。

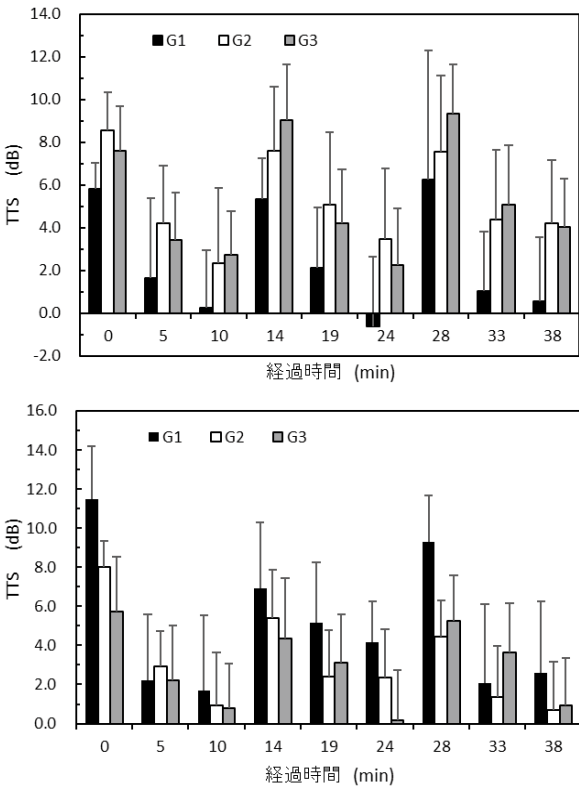


図 2 試験周波数 125Hz における高 HAV 時の TTS (a: 上段) および低 HAV 時の TTS 回復過程 (b: 下段)

試験周波数 125Hz における繰り返し手腕振動ばく露終了 10 分後の残留 TTS の変化を表 2 に示す。高 HAV ばく露条件の時、繰り返しばく露回数にかかわらず、繰

り返しばく露終了 10 分後の高齢者ばく露群 (G1) の残留 TTS は、高齢者非ばく露群 (G2) および若年者非ばく露群 (G3) の残留 TTS よりも小さな値を示した。しかし、G1 の残留 TTS は、高 HAV ばく露の反復回数が増加しても有意に増加しなかった。一方、G2 と G3 の残留 TTS は、高 HAV ばく露の繰り返し回数が増加するにつれて有意に増加した。低 HAV ばく露では、低 HAV 繰り返しばく露終了 10 分後の残留 TTS と低 HAV 繰り返しばく露回数との間に有意な相関は認められなかった。

試験周波数 31.5Hz における高 HAV ばく露後、5 分間隔で測定した VPT の平均 TTS と SD を図 3a に、低 HAV ばく露後の VPT の平均 TTS と SD を図 3b に示す。模擬手腕振動ばく露を 3 回繰り返した後、いずれの被験者群でも TTS の回復は認められなかった。高齢者ばく露群 (G1) では、ベースライン VPT より低い VPT を示す負の TTS 値が時折認められた。試験周波数 31.5Hz における VPT の TTS に対して実施した混合デザイン ANOVA の結果によれば、年齢以外の主効果はすべて有意であっ

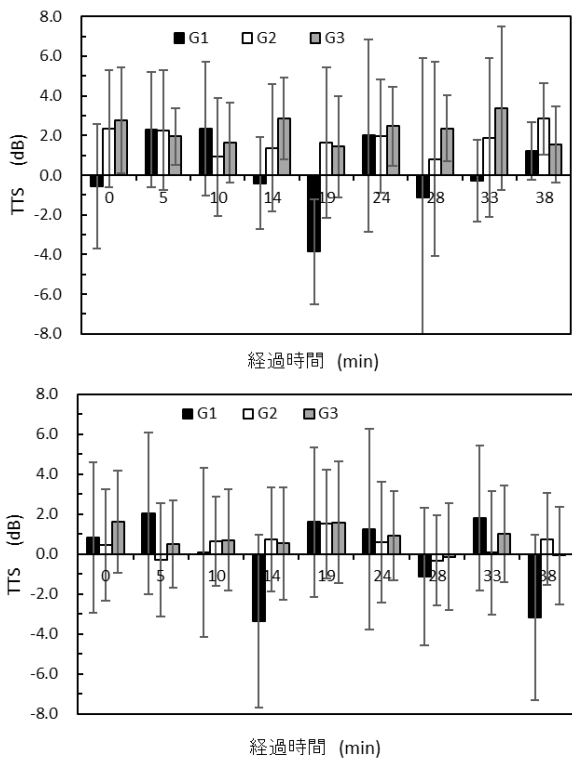


図 3 試験周波数 31.5Hz における高 HAV 時の TTS (a: 上段) および低 HAV 時の TTS 回復過程 (b: 下段)

表 2 繰り返し手腕振動ばく露終了 10 分後の残留 TTS の変化 (試験周波数: 125Hz)

被験者群	$TTS_i(10)$: i 番目の手腕振動ばく露後の残留 TTS					
	高 HAV			低 HAV		
	$TTS_1(10)$	$TTS_2(10)$	$TTS_3(10)$	$TTS_1(10)$	$TTS_2(10)$	$TTS_3(10)$
高齢者ばく露群 (G1)	0.3 ± 2.4	-0.6 ± 1.9	0.5 ± 2.0	1.7 ± 4.5	4.2 ± 5.1	2.6 ± 5.4
高齢者非ばく露群 (G2)	2.3 ± 3.3	3.4 ± 2.7	4.2 ± 3.0	0.9 ± 8.2	2.4 ± 4.6	0.7 ± 6.4
若年者非ばく露群 (G3)	2.8 ± 2.2	2.6 ± 2.9	4.0 ± 2.6	0.8 ± 3.1	0.2 ± 3.6	0.9 ± 5.6

た ($p < 0.05$)。また、振動強度と経過時間の間および経過時間とばく露経験の間に有意な相互作用効果が観察された (いずれも $p < 0.05$)。手腕振動の強度にかかわらず、繰り返し手腕振動ばく露終了 10 分後の残留 TTS と手腕振動ばく露の反復回数との間には有意な相関は認められなかった。

高 HAV に 3 回繰り返しばく露する過程において、各ばく露後に 5 分間隔で行った VPT 測定 (試験周波数 125Hz) から算出された VPTW の平均値と SD および低 HAV に繰り返しばく露した後に測定された VPT から算出された VPTW の平均値と SD を図 4a および図 4b にそれぞれ示す。高齢者非ばく露群 (G2) と若年者非ばく露群 (G3) の平均 VPTW は、3 分間の HAV ばく露のたびに経時的に有意な変化はなかった。対照的に、高齢者ばく露群 (G1) の平均 VPTW は時間経過とともに変動した。G1 の平均 VPTW は G2 および G3 の平均 VPTW よりも常に大きな値を示した。図 5 に示すように、高 HAV もしくは低 HAV に 3 回繰り返しばく露後、5 分間隔で測定した VPT (試験周波数 31.5Hz) から算出された VPTW の平均値についても、同じような傾向が認められた。

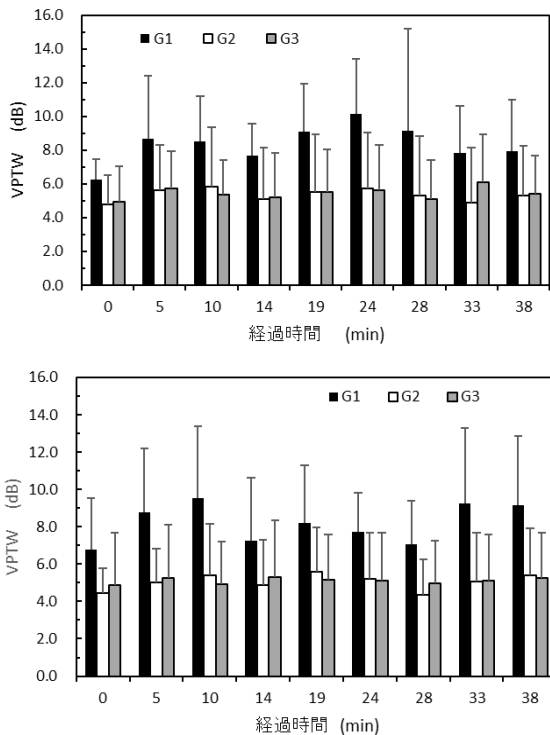


図 4 試験周波数 125Hz の時の高 HAV ばく露後の VPTW (a:上段)および低 HAV ばく露後の VPTW (b:下段)

VPTW について、年齢 (若年者, 高齢者), ばく露経験 (ばく露経験あり, 非ばく露), 振動強度 (強, 弱) を変数とし、経過時間 (各回のばく露直後から 10 分まで 5 分間隔) を繰り返し因子とした混合デザイン ANOVA を行った結果によれば、ばく露経験の主効果は、試験周波数 125Hz の時の VPTW で有意であった ($p < 0.001$)。一方、試験周波数 31.5Hz の時の VPTW では、ばく露経験

の主効果 ($p < 0.001$) と振動強度の主効果 ($p < 0.05$) が有意であった。一方、どの変数の組み合わせにおいても、有意な交互作用は認められなかった。

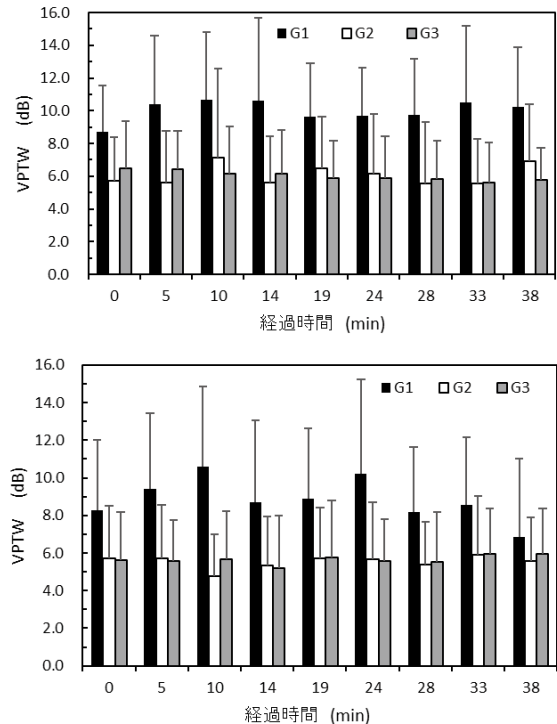


図 5 試験周波数 31.5Hz の時の高 HAV ばく露後の VPTW (a:上段) および低 HAV ばく露後の VPTW (b:下段)

4. 考 察

本研究では、指先における下降法による振動感覚閾値と上昇法による振動感覚閾値の差から算出される VPTW は、過去に振動ばく露履歴がない場合、手腕振動の繰り返しばく露の影響を受けないことが示された。また、非ばく露群から得られた VPTW は、被験者の年齢や模擬繰り返し振動ばく露後の経過時間にかかわらず、有意な変化は認められなかった。これらの結果を踏まえると、過去に振動ばく露履歴がない場合の VPTW は、本来指先の個々人の神経感覚特性の影響をきわめて受けにくい量であることがわかる。さらに、職業的に手腕振動ばく露された高年齢被験者群の VPTW は、ばく露されていない高年齢被験者群の VPTW よりも一貫して大きな値を示したことから、VPTW は職業的腕振動ばく露による長期的影響を反映することが示唆された。以上のことから、VPTW は、手腕振動障害の初期症状もしくは手腕振動障害予備群の典型的な症状として認められる末梢神経障害のみを呈する潜在的な患者を発見する指標として極めて有効である。

これまでの研究と同様に、本研究で得られた結果は、指先振動感覚測定には、31.5Hz よりも 125Hz の検査周波数が優れていることを示している。31.5Hz の VPT では TTS の回復は認められなかったが、125Hz の VPT で

は TTS の回復が認められた。以前の報告によると、125Hz における指先 VPT は最も感度が高いもののひとつである。振動感覚の周波数応答の違いは、機械受容器 FAI と FA II の感度の違いに関連しており、FAI は 31.5 Hz を、FA II は 125 Hz をそれぞれ応答周波数範囲の中に含んでいる。

TTS の経時変化から得られる残留 TTS は、個人の健康状態やベースラインの VPT によって大きく異なるが、手腕振動にばく露された 10 分後に 125Hz の残留 TTS が繰り返し数が増すごとに徐々に増加する傾向は、非ばく露群に特徴的であることが認められた。このことから、手腕振動への繰り返しばく露後短期間の 125 Hz における残留 TTS は、新しい指標である VPTW と組み合わせることにより、手腕振動障害の末梢神経障害のみを呈する潜在的な患者予備群を同定するためのスクリーニングパラメータとして使用できる可能性が高い。以前の研究⁶⁾で示したように、繰り返し手腕振動ばく露後の試験周波数 125Hz における残留 TTS は、一次モデル¹⁷⁾にしたがった回復挙動を示す。また、試験周波数 125 Hz の残留 TTS で観察される回復過程は、31.5 Hz の回復過程よりも感度が高く、より顕著な回復過程を示し、これは以前の研究¹²⁾で報告された知見と一致する。ばく露した手腕振動の強度が弱い場合、手腕振動ばく露後に観察される振動感覚の TTS は小さく、測定誤差や反応の個人差のため、時には負の値を示す。今後、HAV に対する末梢神経系の急性影響を検知するのに有効でかつ生体への悪影響の極力少ない繰り返し手腕振動ばく露の強度をスクリーニングの条件として検討していく必要がある。

5. まとめ

本研究により、繰り返し手腕振動ばく露後の VPT 測定値から算出した振動感覚閾値幅 (VPTW) は不変であり、指先の個々人の神経感覚特性に依存しないことが示された。この知見は、VPTW は手腕振動障害の初期症状として認められる末梢神経系障害のみを呈する潜在的な患者予備群を見出すのに有効であるという仮説をさらに補強するものであった。著者が以前の研究で提案した新しい指標 VPTW は、手腕振動ばく露後の一時的な VPT の閾値移動 (TTS) の回復過程において測定された下降法による閾値と上昇法による閾値の差にもとづいている。手腕振動障害診断のスクリーニングパラメータとしてしばしば用いられるベースライン VPT は、指先の神経感覚特性や周囲温度などの環境条件に依存するが、VPTW はこのような指先の特性や環境条件に依存しない。今後、手腕振動障害予備群の末梢神経系障害の初期症状の指標として、VPTW と残留 TTS を併用することにより、高年齢労働者の長期的な手腕振動ばく露による蓄積性リスクの評価および潜在的な手腕振動障害予備群のスクリーニング精度が向上することが期待される。

謝 辞

振動感覚閾値測定実験における被験者日程調整およびデータ取得の補助にご協力いただいた山口さち子氏 (当時、労働安全衛生総合研究所 環境計測研究グループ上席研究員) に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Taylor, W.F., Hand-arm vibration syndrome - Diagnosis, assessment and objective tests: A review. *Journal of Royal Society of Medicine*, 1993. 86(2): p. 101-103.
- 2) Bovenzi, M., Medical aspects of the hand-arm vibration syndrome. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1990. 6(1): p. 61-73.
- 3) Pelmeur, P.L. and Wasserman, D.E., Hand-arm Vibration: A Comprehensive Guide for Occupational Health Professionals 2nd edition ed. 1998, Beverly Farms, MA: OEM Press.
- 4) ISO5349-1, Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements. 2001, International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- 5) Nilsson, T., Wahlström, J. and Burström, L., Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases -A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 2017. 12(7): p. e0180795.
- 6) Shibata, N., Vibrotactile perception thresholds following short-term exposure to hand-arm vibration: application for identifying potential workers at risk of neurosensory disorders. *Vibration*, 2022. 5(4): p. 803-816.
- 7) ISO13091-1, Mechanical vibration - Vibrotactile perception thresholds for the assessment of nerve dysfunction - Part 1: Methods of measurement at the fingertips. 2001, International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- 8) Bovenzi, M., et al., Changes over a workshift in aesthesiometric and vibrotactile perception thresholds of workers exposed to intermittent hand transmitted vibration from impact wrenches. *Occup Environ Med*, 1997. 54(8): p. 577-87.
- 9) Burström, L., et al., Vibrotactile perception and effects of short-term exposure to hand-arm vibration. *Ann Occup Hyg*, 2009. 53(5): p. 539-47.
- 10) Harada, N. and Griffin, M.J., Factors influencing vibration sense thresholds used to assess occupational exposures to hand transmitted vibration. *British Journal of Industrial Medicine*, 1991. 48(3): p. 185-92.
- 11) Malchaire, J., et al., Neurological and functional effects of short-term exposure to hand-arm vibration. *Int Arch Occup Environ Health*, 1998. 71(4): p. 270-6.

- 12) Shibata, N., Hosoya, N. and Maeda, S., Establishment of one-axis vibration test system for measurement of biodynamic response of human hand-arm system. *Ind Health*, 2008. 46(6): p. 629-34.
- 13) ISO10819, Mechanical vibration and shock - Hand-arm vibration - Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand. 2013, International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- 14) Lundström, R., Strömberg, T. and Lundborg, G., Vibrotactile perception threshold measurements for diagnosis of sensory neuropathy. Description of a reference population. *Int Arch Occup Environ Health*, 1992. 64(3): p. 201-7.
- 15) Ahrend, K.D., Hartung, E. and Dupuis, H., The vibrotactile threshold (VT) at the fingertips of chain saw operators. *Cent Eur J Public Health*, 1995. 3 Suppl: p. 85-7.
- 16) Lundström, R., et al., Exposure-response relationship between hand-arm vibration and vibrotactile perception sensitivity. *Am J Ind Med*, 1999. 35(5): p. 456-64.
- 17) Malchaire, J., Piette, A. and Rodriguez Diaz, L.S., Temporary threshold shift of the vibration perception threshold following a short duration exposure to vibration. *Ann Occup Hyg*, 1998. 42(2): p. 121-7.