

## 振動工具作業者における労働災害防止対策等に関わる研究

研究代表者 大神 明

産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 教授

### 研究要旨：

振動工具取扱い者における振動障害の早期スクリーニングに対する NCV 検査の有用性、非侵襲的かつ客観的な測定が簡便といった特徴をもつレーザー血流画像化装置 (LSFG) による血流検査の有効性について、主に北九州市内の事業場数社の協力を基に、業務で振動工具を使用したことのある 42 名の男性 (振動工具取扱い群) および業務においてこれまで一度も振動工具を取り扱ったことのない 29 名の男性 (振動工具非取扱い群) 合計 72 名の男性を対象とした調査を 3 年間に渡って継続し、振動ばく露量と振動障害の病態の相関を解明し、特殊健康診断での早期発見・早期治療に活用することについて検討を行った。

振動工具の使用実態調査では、振動工具取扱い者のほとんどは複数の振動工具を使用し、多種多様な作業への従事経験があることがわかった。また、使用している工具はグラインダーやインパクトレンチといった片手で保持する小型振動工具が 8 割以上を占めていた。自覚症状に関する質問項目について、手指の自覚症状、頸肩腕の自覚症状、精神面の自覚症状および不眠のカテゴリーで、振動工具使用者は自覚症状保有割合が高い傾向が認められた。振動障害に関連する症状の有無に関しては、積極的に自覚症状を訴える参加者はいなかったものの、詳細な問診では疼痛やしびれ感を自覚している被験者が高暴露群で認められた。

振動工具ごとに算出される周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値と使用時間の 2 つの要因を用いて、過去の累積ばく露量を推算することを試みた。LSFG で得られた血流値は、Mean Blur Rate (MBR) という相対値で示されるが、過去の振動曝露量と MBR 相対値との間に有意差は認められず、その関係性は LSFG 検査では明らかではなかった。一方で、非曝露群と日振動ばく露量の対策値を上回った高濃度取扱い群の間には冷水浸漬中 MBR 相対値に有意差を認め、高濃度取扱い群において末梢血流の低下を認めた。このことは指動脈血圧 (FSBP%) を用いた過去の研究結果と同様の傾向となる可能性が示唆された。

神経伝導検査は、正中、尺骨神経の運動神経・感覚神経で施行し、両側正中感覚神経では、振幅・伝導速度ともに高濃度取扱い群において非取扱い群と比べて研究開始当初より有意に低下していた。さらに、利き手に対象群を絞ると低濃度被曝群においても非取扱い群に比べて、正中感覚神経の振幅が有意に低下していた。尺骨感覚神経においては右で振幅にのみ高濃度取扱い群で有意な低下がみられた。これらの障害は、3 年間の経時的な解析でも障害の進行が明らかになった。正中・尺骨神経の両方で運動神経よりも感覚神経の

異常が目立った。

LSFG を用いた末梢血流の定量的評価は、振動工具取扱い作業者の日振動ばく露による循環障害の検出に有用であると考えられた。また、神経伝導検査は、振動工具取扱者の神経学的障害を早期からスクリーニングに有用と思われ、なかでも、正中感覚神経の神経伝導速度の変化は、振動工具を取り扱う労働者の特殊健診において早期障害の最も重要なマーカーになると考えられた。

主任研究者・分担研究者

大神 明 (主任研究者) 産業医科大学・  
産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学  
教授

池上和範 (分担研究者) 産業医科大学・  
産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学  
講師

安藤 肇 (分担研究者) 産業医科大学・  
産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学  
助教

足立弘明 (分担研究者) 産業医科大学・  
神経内科学 教授

大成圭子 (分担研究者) 産業医科大学・  
神経内科学 講師

研究協力者

野澤弘樹 産業医科大学・産業生態科学研  
究所・作業関連疾患予防学

道井聡史 産業医科大学・産業生態科学  
研究所・作業関連疾患予防学

菅野良介 産業医科大学・産業生態科学  
研究所・作業関連疾患予防学

白坂泰樹 産業医科大学・産業生態科学研  
究所・作業関連疾患予防学

#### A. 研究の目的

振動障害とは、振動工具を使用することで生じる健康障害であり、末梢循環障害や末梢神経障害、筋骨格系障害の3系統への影響が良く知られている。振動障害の歴史としては、Loriga が 1911 年に、振動ばく

露に伴う主たる症状としてのレイノー現象、しびれ、感覚の鈍麻を報告した。我が国ではチェーンソーが普及しはじめた 1950 年頃より林業従事者の間で確認され、1960 年代には手指が蒼白した特徴的な所見から「白ろう病」として社会的な問題となった。1975 年に、労働省（現厚生労働省）から振動工具の連続作業時間規制の通達が出されたことや、チェーンソーの改良がなされたことなどもあり、林業での新規発症は減少傾向にある。一方、グラインダーなどの振動工具が現在でも多くの産業現場で使用されており、近年でも年間 300 件近くの労災認定新規発症が認められ、そのおよそ 6 割は建設業における発生となっている。

振動障害の発生予防のために、我が国では振動工具の取扱い業務に係る特殊健康診断（以下、振動業務健康診断）が実施されているが、いくつかの課題がある。第一に、本邦で 100 万人を超えると推定される振動工具取扱い作業者のうち、振動業務健康診断の受診者数は約 62,000 人（平成 28 年業務上疾病発生状況等調査）と非常に低い。第二に一次健診として利用されている爪圧迫検査、指尖振動感覚閾値検査は、検査者による視診による評価や被験者の検査協力が必要となる主観的評価によって実施されており客観性や再現性に乏しいことがある。振動業務健康診断の一次健診から二次健診に至る統一した判定基準は明確ではなく、健診機関や診療施設によって検査項目や判定基準も異なっている。我々は、振

動障害の程度を簡便かつ客観的に定量評価できる新たな検査手法が必要であると考えた。

我が国では厚生労働省により 2009 年 7 月 10 日に「チェーンソー以外の振動工具の取扱い業務に係る振動障害予防対策指針について」が示された。本指針により、振動ばく露の管理として周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値を用いる方法が導入された。そして、日振動ばく露量の管理基準として対策値および限界値が示されている。振動障害の発症は、振動工具取扱い期間、振動の強さおよびばく露時間などが影響すると考えられるが、明確な用量反応関係を示した疫学研究は少ない。この点も含めた振動工具のばく露量と振動障害の発症リスクを明らかにする必要がある。

我々は、振動工具取扱いによる健康影響を多面的に評価するため、複数の調査を実施した。具体的には、

振動工具取扱い者を取り巻く労働衛生管理に関する調査、  
累積の振動ばく露量の評価、  
振動工具取扱い者の自覚症状、  
神経学的診察所見、  
手指末梢循環、  
神経伝導速度

を実施した。

本研究の目的は、累積の振動ばく露量による末梢循環や神経伝導速度の他覚的指標を分析することで、振動工具取扱いの程度と振動障害の発症リスクを明らかにすることである。さらに振動障害の早期発見のための評価方法を考案し、効果的な振動障害予防策検討するための一助になる事を目的とした。

## B 研究の方法・内容

### <対象となる被験者の募集>

福岡県内の振動工具取り扱い業務がある複数の製造事業所で本研究被験者の募集を行い、業務で振動工具を使用したことのある 42 名の男性（振動工具取扱い群）および業務においてこれまで一度も振動工具を取り扱ったことのない 29 名の男性（振動工具非取扱い群）合計 72 名の男性から参加の申し込みが得られた。糖尿病・高血圧や外傷・整形外科疾患等の末梢神経障害・末梢循環障害を生じさせる基礎疾患がない成人を募り参加者を選定した。募集方法としては、(□)「産業医科大学病院を受診し、振動工具の取扱いが一定以上ある患者」、(□)「健康診断を実施する労働衛生機関、或いは製造業など振動工具を取り扱っている事業所の協力のもと特殊健康診断の対象者となりうる労働者」を対象とした。被験者には事前に本研究の目的や意義について実施者より十分に説明を行い、本研究への参加同意書が得られた者のみをエントリーとした。本研究は前向きコホート研究で、調査期間は 2016 年 6 月から 2019 年 2 月に実施された。各年夏期(7-9 月)と冬期(12-2 月)の年 2 回の調査を実施した。最終的には、2 年 6 カ月間で全 6 回の調査を実施した。

### <問診票による調査>

本研究においては、振動障害の既往歴がない者と設定した。研究開始前に質問紙による手指の自覚症状の調査、医師によるインタビュー調査を実施し、振動障害の国際的な振動障害症度分類であるストックホルムスケールにおいて循環障害の stage0（レイノー現象が存在しない）に該当する 71 名

の参加者をコホートに登録した。

#### 手順

我々は、各調査の前に参加者に生活歴や現病歴、職業歴、自覚症状に関する質問紙と振動工具の取り扱い状況に関する質問紙を送付し、回答を収集した。調査日には、各参加者の質問紙の回答について、医師によるインタビュー調査を実施した。

#### 生活歴および職業歴に関する質問紙

本研究では質問紙を被験者の自宅に郵送し、調査前に記入の上、調査当日に持参するように指示した。持参した質問紙の全設問について、産業医資格を有する医師が確認し、内容の不備や不明点があれば本人に聴取し、記載内容について最終的な確認を実施した。

用いた質問紙は振動障害の診断ガイドライン 2013 の参考資料として用いられている二次健診用の自覚症状・業務問診票を用い、問診項目は、年齢、現病歴、既往歴、現在の喫煙状況などの生活習慣、職業歴、飲酒量、趣味(日曜大工での工具取り扱いやオートバイなどの乗用車による振動ばく露の有無)、家族歴とした。

#### 振動工具取り扱いに関する質問紙(資料 8)

日振動ばく露量の定義を用い、被験者の累積振動ばく露量を算出するための質問紙を作成した。質問紙調査開始前に、振動工具の過去および現在の取り扱いの有無を全参加者に確認した。初回の質問紙調査では、振動工具取扱いがある参加者の調査開始前

までの振動工具の取扱い歴を把握した。初めて振動工具を使用した年から初回調査までの、1年毎の振動工具の取扱い状況、具体的には、振動工具取扱い作業の内容、使用した振動工具の種類、振動工具の種類別の1日当たりの合計作業時間、使用頻度(ほぼ毎日、週に3~4回、週に1~2回、月に1~2回、数か月に1回、全くなしの六件法)を確認した。2回目以降の質問紙調査では、現状の振動工具の取扱い歴を把握した。前回の調査から今回の調査期間の振動工具取扱い状況、具体的には、振動工具の種類とモデル、使用する日の平均作業時間、月平均使用日数、最近半年で使用した月数について確認した。その他、振動工具取扱い作業の内容、作業・休憩時間、保護具の使用状況、振動工具作業の記録、振動業務健康診断の受診の有無、振動工具に係る教育受講の有無を確認した。

累積振動ばく露量の定義 (Cumulative exposure level of vibration)

「チェーンソー以外の振動工具の取扱い業務に係る振動障害予防対策指針について」では、1日当たりの振動ばく露を制限する考えにより日振動ばく露量  $A(8)[\text{unit: m/s}^2] = a \times \sqrt{(T/8)}$  が定義されている。

振動工具の周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値は、2009年の厚生労働省指針に準拠した値を各工具メーカーがホームページ上で公開している。本研究では、質問紙調査により各振動工具のモデルを確認し、周波数補正振動加速度実効値の3軸合

成値を取得することを試みた。しかし、質問紙調査で型番に関する情報はほとんど得られなかった。そこで、各工具メーカーがホームページ上で公開している振動工具の周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値から振動工具の種類別に中央値を求め、換算表を作成した。

使用頻度は、週あたりの労働日を5日として、振動工具を「ほぼ毎日」使用した場合の使用頻度係数を1.00とした。更に、週に3~4回使用した場合の使用頻度係数は0.60、週に1~2回は0.20、月に1~2回は0.04、数か月に1回は0.01、全くなしは0とした。作業者が使用した全ての工具類に対して日振動ばく露量と使用頻度による相対値を用いた振動ばく露量を年ごとに積算し、その総和を累積振動ばく露量と定義し解析に使用した(資料2 式1)。

#### < 理学的所見及び神経学的所見 >

被験者に対し、神経内科医による診察を行い振動障害に関する所見を取り記録した。神経学的な所見としては、具体的に筋力、筋萎縮、深部腱反射、感覚障害、運動失調症状等に関し所見を得た。筋力に関しては徒手筋力テスト0~5段階で評価し、握力も測定した。筋萎縮に関しても部位と程度を記載した。感覚に関しては、異常感覚や冷感の部位、表在感覚(触覚・痛覚)、深部感覚(振動覚・位置覚)を調べた。神経伝導検査は産業医科大学病院内で日本光電社のニューロパック X1 を用いて実施した。

検査方法は通常神経伝導検査に準じ、両側の正中神経及び尺骨神経をそれぞれ運

動神経伝導速度と感覚神経伝導速度について神経線維に沿って2箇所以上で皮膚上に電極を設置し電氣的刺激を行い、画面上で活動電位を確認し活動電位の波形の潜時から、それぞれの神経伝導速度を計算した。また、運動神経と感覚神経の活動電位の振幅も測定した。なお、検査時の室温・皮膚温・測定部位については一定の基準を設け、測定誤差を少なくするよう努めた。(資料10)

< レーザー血流画像化装置(LSFG)による皮膚血流検査(冷水浸漬負荷試験) >  
末梢循環障害の病態を把握するためにレーザー血流画像化装置(LSFG)による皮膚血流検査を実施した。末梢血流測定検査への影響を可能な限り避けるため、被験者には検査前12時間以降は禁酒、検査前3時間以降は禁煙、カフェインなどの刺激物の摂取も避けるよう調査開始前に指示した。

測定回数は季節による変動を考慮して一年間に2回(夏期、冬期)測定することとした。検査用機材の購入および製作が遅れたため、本検査は2016年12月から、全5回の調査を実施した。

産業医科大学人工気候室において室温を $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ に設定し、部屋で10分以上安静にさせた後、 $15\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に調整した水の中に手指から手関節まで浸し5分間の冷水負荷を行った。測定する手は、「振動障害の検査指針検討会報告書(平成18年3月 厚生労働省)」において「原則として利き手側」を用いており、本研究でも利き手側を測定とした。

我が国では冷水浸漬検査は10 $\times$ 10分法

が使用されているが ISO 14835-1:2016 において冷水浸漬検査（水温・時間）は、 $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}\cdot 5$ 分、 $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}\cdot 2$ 分、 $15\pm 0.5^{\circ}\text{C}\cdot 5$ 分、 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}\cdot 10$ 分の4種類の条件から選択することが推奨されている。水温が低下するほど被験者の苦痛が大きく、検査への忍容性が低くなるため本研究では水温が最も高い条件にて実施した。

水温維持のため、本調査では内寸  $600\text{mm}\times 300\text{mm}\times 190\text{mm}$  の発泡スチロールの水槽を用意し、冷却器にはチラー式の ZC- $\alpha 200$ （Zensui co. ltd, 日本）、循環ポンプには、エーハイム水陸両用ポンプ 1250（EHEIM GmbH & Co. KG, ドイツ）を使用した。なお、予備実験にて冷却装置の稼働性能を評価し、本試験中に水温は設定温度を上回らないことを確認している。

LSFG を用いて、示指、中指、環指全体を含む手掌全体を撮像した。血流測定後は LSFG Analyzer ver.3（ソフトケア社製、日本）を用いて、各指の MP 関節から手指先端の各指全体の皮膚面を選択し、選択範囲内の各測定点の値を平均した血流パラメータを算出した。

LSFG で得られた血流値は、Mean Blur Rate (MBR) という相対値で示される。MBR は、平均ブレ率を数値化したもので、血球の移動速度に比例する。各参加者の基準値を算出するために、人工気候室内で安静後に3回の連続測定を行った。その後は冷水浸漬検査開始のタイミングを0分とし、冷水浸漬中の5分間と冷水から室温に戻した10分間の計15分間に亘り、1分ごとに4秒間の撮像時間で計15回測定

した（資料5 図5a）。

安静時に3回測定した値の平均 MBR 値を基準値（100）とし、各測定点の実測 MBR 値を MBR 相対値に変換した（資料5式2）。

#### グループ化

過去累積振動ばく露量によるグループ化  
振動工具取扱い群の振動ばく露による末梢血流障害の長期的影響を評価するため、初回調査で得られた過去の振動工具取扱いによる累積振動ばく露量（過去累積振動ばく露量）を用いて、グループ化を行った。過去累積振動ばく露量の中央値で振動工具取扱い群を2群に分け、Past high exposure group と Past low exposure group に分類した。振動工具取扱い歴がないものを Non-exposure group\_1 とした。

現累積振動ばく露量によるグループ化  
振動工具取扱い群の振動ばく露による末梢血流障害の短期的影響を評価するため、研究期間（2.5年間）中の振動工具取扱いによる累積振動ばく露量（現累積振動ばく露量）を用いて、グループ化を行った。振動工具取扱い群において3回以上調査に参加したもののうち、調査期間内で累積振動ばく露量が6.25以上増加したものを Current high-exposure group とした。なお、6.25は、日振動ばく露量の対策値である  $2.5\text{m/s}^2$  に相当する振動工具を調査期間の2.5年間にわたり毎日使用した場合に得られる累積振動ばく露量である。振動工具取扱い歴がなく、本調査に3回以上参加したものを Non-exposure group\_2 とした。

## 倫理的配慮

本調査は、産業医科大学倫理委員会での承認を得て実施した。調査参加者には本調査の概要を説明し調査協力への承諾ならびに同意書を取得した上で実施した。本調査へ不参加を希望する場合には自由意志に基づき中止可能であることや、被験者自身が検査中に体調不良を認められた時は、即時検査を中止することを説明した。

## C 研究結果

### 1) 取扱い群の振動工具取扱い作業歴および生涯振動ばく露量

振動工具の使用実態調査では、振動工具取扱い者のほとんどは複数の振動工具を使用し、多種多様な作業への従事経験があることがわかった。また、使用している工具はグラインダーやインパクトレンチといった片手で保持する小型振動工具が8割以上を占めていた。

過去累積振動ばく露量の中央値は27.2、最小値は0.01、最大値は605.9であった。

### 3) 神経学的診察所見

自覚症状に関する質問項目について、手指の自覚症状、頸肩腕の自覚症状、精神面の自覚症状および不眠のカテゴリーで自覚症状保有割合が高い傾向が認められた。

振動障害に関連する症状の有無に関しては、積極的に自覚症状を訴える参加者はいなかったものの、詳細な問診では疼痛やしびれ感を自覚している被験者が高暴露群で認められた。

### 4) レーザー血流画像化装置(LSFG)による皮膚血流検査による血流変化

平成28年度のLSFGによる皮膚血流検査における結果では、浸水後の最低血流値、5分回復率、10分回復率、10分値の各々に対してStudent's t-testによる比較したところ、最低血流値及び5分回復率、10分回復率は全ての測定領域で取扱い群と対照群の間で有意差を認め、対照群の方が高値を示した。平成29年度の2回の測定結果では、LSFG単独の結果からは、取扱い群に有意な所見は認められなかった。

平成30年度の2回の測定結果からも、曝露群と非曝露群との単純比較では有意な所見が認められなかった。振動工具ごとに算出される周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値と使用時間の2つの要因を用いて、過去の累積ばく露量を推算することを試みた。LSFGで得られた血流値は、Mean Blur Rate (MBR)という相対値で示されるが、過去の振動曝露量とMBR相対値との間に有意差は認められず、その関係性はLSFG検査では明らかではなかった。一方で、非曝露群と日振動ばく露量の対策値を上回った高濃度取扱い群の間には冷水浸漬中MBR相対値に有意差を認め、高濃度取扱い群において末梢血流の低下を認めた。

### 5) 神経伝導検査

2016年夏、2016年冬、2017年夏、2017年冬、2018年夏、2018年冬と半年間のインターバルで神経伝導検査(Nerve Conduction Study)を行った結果では、左右正中神経の感覚神経振幅は曝露群で有意に低下し、また右手の正中神経の感覚神経NCVは曝露

群で有意に低下し、遠位潜時は遅延する傾向が見られた。

#### D 考察

LSFG による血流測定による単純比較では、取扱い群と対照群との有意差を認められなかった。しかしながら曝露群を現在取扱いと過去取扱いとを鑑みて、高濃度曝露群と低濃度曝露群とに際グループ分けしたところ、非曝露群と日振動ばく露量の対策値を上回った高濃度取扱い群の間には冷水浸漬中 MBR 相対値に有意差を認め、高濃度取扱い群において末梢血流の低下を認めた。このことは指動脈血圧(FSBP%)を用いた過去の研究結果と同様の傾向となる可能性が示唆され、LSFG を用いた末梢血流の定量的評価は、振動工具取扱い作業者の日振動ばく露による循環障害の検出に有用であると考えられた。

神経伝導検査結果では、振動工具曝露群について、生涯振動暴露量と相関がみられた右正中神経 MCV および左正中神経 SCV と、生涯振動暴露量、年齢、喫煙の有無、自覚症状の有無等の項目とで重回帰分析を行ったところ、どちらも年齢の項目で負相関がみられた。3 年間の通年で見ても、正中神経の感覚神経ではいずれの期間でも 2 群間に有意差がみられた。神経伝導検査による振動障害の評価は早期スクリーニング検査として有用である可能性が示され、特に正中神経の感覚神経をスクリーニングすることにより、神経学的な早期変化を評価できる可能性が高いことが示唆された。

#### E 結論

LSFG を用いた検査による早期スクリーニングの有用性は、急性期曝露のスクリーニングに有用であることが示唆された。また、神経伝導検査は、振動曝露量による神経伝導速度への影響について有用性が高いことが示され、特に正中神経の伝導速度検査が新たな早期神経障害スクリーニングに活用できる可能性が示唆された。

#### F 健康危険情報

特記事項無し。

#### G 学会発表

1 .野澤弘樹, 道井聡史, 菅野良介, 安藤肇, 池上和範, 大成圭子, 足立弘明, 大神明. 振動工具の取り扱いによる神経伝達速度への影響

第 90 回日本産業衛生学会(東京), 2017.5

2 .道井聡史, 菅野良介, 安藤肇, 野澤弘樹, 長谷川将之, 池上和範, 大成圭子, 足立弘明, 大神明. 振動工具取扱いによるレーザースペckルフローグラフィを用いた血流評価

第 90 回日本産業衛生学会(東京), 2017.5

3 .池上和範, 道井聡史, 白坂泰樹, 安藤肇, 菅野良介, 野澤弘樹, 大成圭子, 足立弘明, 大神明. 製造業における振動工具取扱い作業者の労働衛生管理と自覚症状に関する調査

第 27 回日本産業衛生学会全国協議会(高



知) 2017.11

4. 大神明, 白坂泰樹, 道井聡史, 野澤弘樹, 菅野良介, 安藤肇, 池上和範, 大成圭子, 足立弘明. 振動工具の取り扱いによる末梢神経への影響(第2報)第91回 日本産業衛生学会 熊本 2018.5

5. 安藤肇, 道井聡史, 池上和範, 白坂泰樹, 野澤弘樹, 菅野良介, 大神明. 冷水浸漬試験用冷却装置の製作 第28回日本産業衛生学会全国協議会 東京 2018.9

6. 大成圭子, 白坂泰樹, 野澤弘樹, 道井聡史, 菅野良介, 安藤肇, 池上和範, 大神明, 足立弘明. 振動工具の取り扱いによる末梢神経への影響 第29回日本末梢神経学会 下関 2018.9