

### 振動工具作業における労働災害防止対策に関わる研究

振動工具取扱い作業に対する神経伝導検査、自記式質問紙及びレーザースペックルフローグラフィによる評価との関連性（第3回調査結果報告）

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、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、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。なかでも、正中感覚神経は、振動工具を取り扱う労働者の健診において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  
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>

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」を対象とし合計 100 名を目標とした。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。

### <問診票による調査>

被験者に対し、健診機関等で主に使用されている特殊健診の問診票に加えて、振動工具使用に関する作業状況を詳細に聴取することを想定し、以下の項目に関する質問票を配布し回答頂いた。

職歴；事業所規模、職種、産業保健体制

取扱い機械の状況：使用している工具の種類・使用年数、振動ばく露時間(連続使用時間・1日合計使用時間等)、保護具使用、作業環境、使用工具の整備状況、

病歴：手指のレイノー現象などの自覚症状についての発症時期や経過を聞く。

生活歴：喫煙歴、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

### <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。

検査方法は通常の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。

### <レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査>

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による皮膚血流検査

を実施した。末梢循環機能は検査室温の影響を受けるため、人工気象室を用いて温度・湿度を一定の環境に調整した上で行った。食事時間や飲酒・喫煙後に一定の時間を設けた。

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。

## C 研究結果

### 1) 対象となる被験者の募集

福岡県内の事業所及び労働衛生機関に調査協力を依頼し、研究への参加同意が得られた成人男性 65 名を対象とした。対象者を、「取扱い群」（振動工具取扱い作業経験がある成人男性 35 名：平均年齢 34.9±11.4 歳）と、「対照群」（過去の業務で振動工具を一度も取り扱ったことがない成人男性 30 名：平均年齢 42.3±11.6 歳）の 2 群に分けた。

### 2) 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。

本調査では、日振動ばく露量の定義  $A(8) [ \text{unit: m/s} ] ^2 = a \times \sqrt{(T/8)}$  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。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 年に

厚生労働省指針（基発 0710 第 2 号）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 軸合成値から中央値を求め、振動工具の種類別の周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値換算表を作成した。

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。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。

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

本年度の LSFG による血流測定では、昨年度の結果で見られたような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。

昨年の神経伝導検査結果では、振動工具曝露群について、生涯振動曝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、生涯振動曝露量、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。今年度の検査結果からも、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

振動工具の取り扱いによる末梢神経への影響（第2報）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 第91回 日本産業衛生学会 熊本 2018.5

冷水浸漬試験用冷却装置の製作 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. 第28回日本産業衛生学会全国協議会 東京 2018.9

振動工具の取り扱いによる末梢神経への影響 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. 第29回日本末梢神経学会 下関 2018.9