

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

**振動工具作業者における
労働災害防止対策等に関する研究**

平成 28 年度 ~ 平成 30 年度 総合研究報告書

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
大神 明

平成 31 (2019) 年 3 月

目 次

I . 総合研究報告	
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-	----- 1
大神 明	
(資料1) 振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教育に関する調査 (p10)	
(資料2) 振動工具取扱い者の累積振動ばく露量の評価 (p12)	
(資料3) 累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の自覚症状の評価 (p20)	
(資料4) 累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の神経学的診察所見の評価 (p27)	
(資料5) 累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の Laser Speckle Flowgraphyを用いた手指末梢循環の評価 (p30)	
(資料6) 累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の 神経伝導速度検査による手指末梢神経の評価 (p47)	
(資料7) 参考文献 (p82)	
(資料8) 質問票 (p84)	
(資料9) LSFによる冷水浸漬試験の風景 (p90)	
(資料10) 神経伝導検査 (p92)	
II . 研究成果の刊行に関する一覧表	----- 94

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 ± 1 ℃に設定し、部屋で10分以上安静にさせた後、 15 ± 0.5 ℃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10×10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 2.5m/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

資料 1

振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教育に関する調査

研究デザインとセッティング

日本国内の振動工具取扱い作業場を有する 6 カ所の事業場に勤務する労働者を対象に調査した。産業医科大学病院の会議室で、半年毎に 1 回面接および質問紙調査を実施した。調査期間は、2016 年 7 月から 2018 年 2 月までであった。

参加者

振動工具取扱う作業員 42 名から本研究への参加への同意が得られた。

振動工具の種類および振動工具取り扱い時の労働衛生管理に関する質問紙

振動工具の過去および現在の取扱いを全参加者に確認した。振動工具取扱いが有る参加者に対しては、今までに取り扱ってきた振動工具の種類、作業・休憩時間、保護手袋の使用の有無と保護手袋の種類、振動工具取扱いの記録の有無、振動障害に係る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。

分析方法

各質問項目について単純集計した。使用した振動工具については、参加者の過去および調査期間中に取り扱った振動工具を全てリストアップし、集計した。振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教

育の実施状況については、調査期間中の振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教育の実施状況を集計した。

結果

振動工具取扱い状況

振動工具取扱い群の振動工具作業歴について、被験者 42 名中、1 種類のみ振動工具を取り扱った者は 42 名中 6 名(14.3%)、それ以外の振動工具取扱いは 2 種類以上の振動工具を使用していた。振動工具取扱い者が最も使用した振動工具は、グラインダーの 42 名中 37 名(88.1%)で、次いでインパクトレンチの 35 名(83.3%)、ピックハンマーの 21 名(50%)であった(表 1-a)。

振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教育の実施状況

振動工具使用時の手袋の使用について、参加者中 41 名(97.6%)の作業員が手袋を着用していた。しかし、ほとんどの作業員は、軍手を使用しており、防振手袋を使用している作業員は 8 名(19.1%)であった。その他、調査期間中に、振動障害に係る健康診断を一回以上受診したことがある作業員は 21.4%であり、毎年受診している作業員は 2.4%であった。調査期間中に、振動障害に関する教育が実施されたのは 47.6%であった(表 1-b)。

表 1a. 使用した振動工具の種類

	N=42
削岩機	5
コンクリートブレーカー	13
ピックハンマー	21
チェーンソー	7
エンジンカッター	7
刈払機	8
コンクリートバイブレータ	11
インパクトレンチ	35
エアドライバー	6
グラインダー	37
ディスクサンダー	13
バイブレーションシャー	1
ジグソー	6
スーパーケレン	11
その他	6

表 1b. 振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教育の実施状況

N=42	
振動工具取扱い時に，手袋は着用していたか？	
常に装着していなかった	2.4%
装着していない時期があった	7.1%
常に装着していた	90.5%
振動工具取扱い時に，主に装着していた保護具の種類は？	
装着なし	2.4%
軍手	69.0%
防振手袋	16.7%
皮手袋	4.8%
軍手または皮手袋	4.8%
防振手袋または皮手袋	2.4%
職場で振動工具の定期メンテナンスをしていましたか？	
していなかった	21.4%
していた時期もあった	45.2%
常にしていた	33.3%
振動工具取扱い中に適切に休憩をとっていましたか？	
休憩が取れない時期もあった	23.8%
常に休憩はとれていた	76.2%
振動工具取扱いの作業記録はしていたか？	
していなかった	100.0%
振動障害に係る健康診断は受診していたか？	
一度も受診しなかった	78.6%
受診した年もあった	19.0%
毎年受診していた	2.4%
振動障害に関する教育は実施されたか？	
一度も実施されなかった	52.4%
実施された年もあった	42.9%
毎年実施された	4.8%

D. 考察

本研究では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。また、これらの工具は、振動工具のモデルも非常に多く存在する。先行研究ではチェーンソーなどの単一の大型工具使用者を対象としている研究が多い。本研究のような製造事業場の作業者の振動障害防止のためには、使用する振動工具の種類やその使用頻度を定期的に調査し、振動ばく露の程度を把握する必要があると考えられる。

本研究においては、振動工具取扱いに関する作業管理について、課題が多く認められた。防振手袋を使用する作業者はほぼ2割程度であった。この点については、防振手袋は小型手持ち振動工具の取扱いに不向きである可能性が考えられる。1回当たり

の使用時間の取り決めや定期メンテナンスを徹底することが、振動ばく露の軽減に繋がると考えられるが、十分な対策が行われているとは言い難い状況である。また、健康管理や衛生教育については、不十分である状況が明らかになった。職場の責任者や衛生管理者などを通じて、振動工具の作業管理に関する教育を行い、作業者の意識向上を図る必要があると考えられる。また、健康管理面では、産業医が中心となって、振動工具取扱い状況を確認し、振動ばく露が大きい作業者に健康診断の受検を促すなどの対応が必要であると考えられる。

E. 結論

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ており、作業者は多種多様な作業への従事経験があると考えられた。

資料 2 : 振動工具取扱い者の累積振動ばく露量の評価

要旨：長期間の振動工具取扱いによる影響の評価のために，振動工具取扱い者のこれまでの累積の振動ばく露量を算出することを試みた。質問紙調査により各振動工具の型番を確認し，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。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。

A. 研究目的

長期間の振動工具取扱いによる影響の評価のために，振動工具取扱い者のこれまでの累積の振動ばく露量を算出することを試みた。

B. 研究方法

研究デザインとセッティング

本研究は，3 年間にわたる縦断研究で，日本国内の振動工具取扱い作業場を有する 6 カ所の事業場に勤務する労働者を対象に調査した。産業医科大学病院の会議室において，半年毎に 1 回面接および質問紙調査を実施した。調査期間は，2016 年 7 月から 2018 年 2 月までであった。

参加者

振動工具取扱う作業員 42 名から本研究への参加への同意が得られた。

振動工具取り扱い状況に関する質問紙

振動工具取扱い状況について，振動工具の種類とモデルについて尋ねた。そして，振動工具の種類別に 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）を尋ねた。初回の質問紙調査では，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（振動工具の種類，1 日当たりの合計作業時間，使用頻度）を尋ねた。

分析方法

各質問項目について単純集計した。使用した振動工具については，参加者の過去および調査期間中に取り扱った振動工具を全てリストアップし，集計した。振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教育の実施状況については，調査期間中の振動工具取扱い者の作業管理，健康管理および衛生教育の実施状況を集計した。

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（基発 0710 第 2 号）」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。

本調査では，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。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。本研究では、質問紙調査により各振動工具の型番を確認し、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。

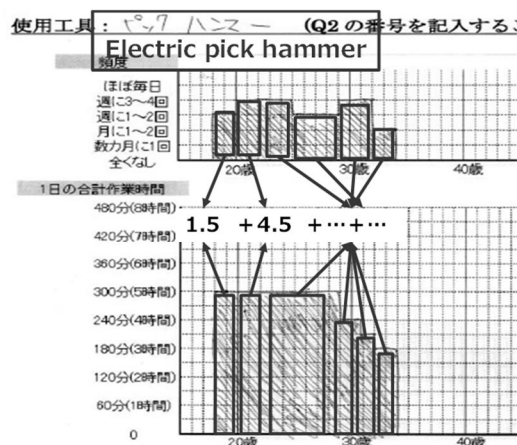
使用頻度は、週あたりの労働日を5日として、振動工具を「ほぼ毎日」使用した場合の使用頻度係数を1.00とした。更に、週に3~4回しようした場合の使用頻度係数は0.60、週に1~2回は0.20、月に1~2回は0.04、数か月に1回は0.01、全くなし：0とした(表2-a)。作業者が使用した全ての工具類に対して日振動ばく露量と使用頻度による相対値を用いた振動ばく露量を年ごとに積算し、その総和を累積振動ばく露量と定義し解析に使用した(式1)。図2-aに、計算例を示す。

$$\sum_{k=0}^n (A(8)[\text{unit: m/s}^2]) \times (\text{Coefficient of use frequency}) \quad \dots \text{式 1}$$

n=vibration tool exposure years

表 2a. 使用頻度係数

Use frequency	Coefficient
Everyday	1
3-4 d/w	0.6
1-2 d/w	0.2
1-2 d/m	0.04
1 d/a few months	0.01
None	0



- Electric pick hammer
- Frequency of use: 1-2day a week
- Operating time per day : 5hr

Electric pick hammer →9.5
 1-2day a week →0.2
 5hr→ 0.79(=√(5/8))

One year exposure level of vibration=1.5

Cumulative exposure level = $\sum_{k=0}^n (X)$

図 2a . 計算例

C.D.結果・考察

図 2-b ,図 2-c は ,全振動工具取扱い者(42 名) の生涯の振動工具取扱い作業期間にわたる累積振動ばく露量 (過去累積振動ばく露量) である (図 2-b ID 順 , 図 2-c 降順) 。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。

図 2-d ,図 2-e は ,調査期間中(2.5 年間) の振動工具取扱い作業期間にわたる累積振動ばく露量 (過去累積振動ばく露量) である (図 2-d ID 順 , 図 2-e 降順) 。この計算結果を用いて、冷水浸漬によるレーザー血流画像化装置と神経伝導速度検査の結果について解析を行うこととした。

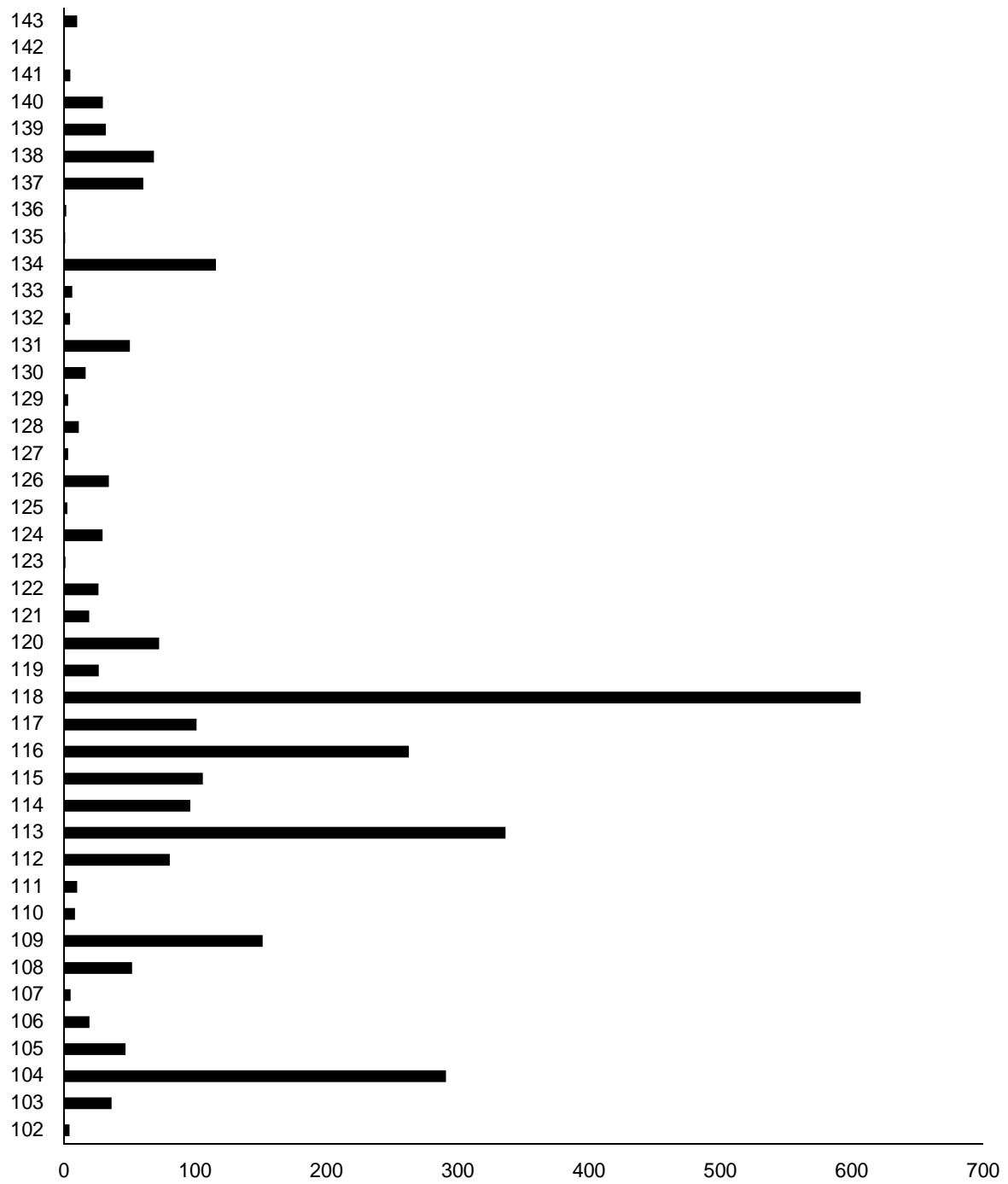


図 2b. 参加者 (42 名) の過去累積振動ばく露量 (ID 順)

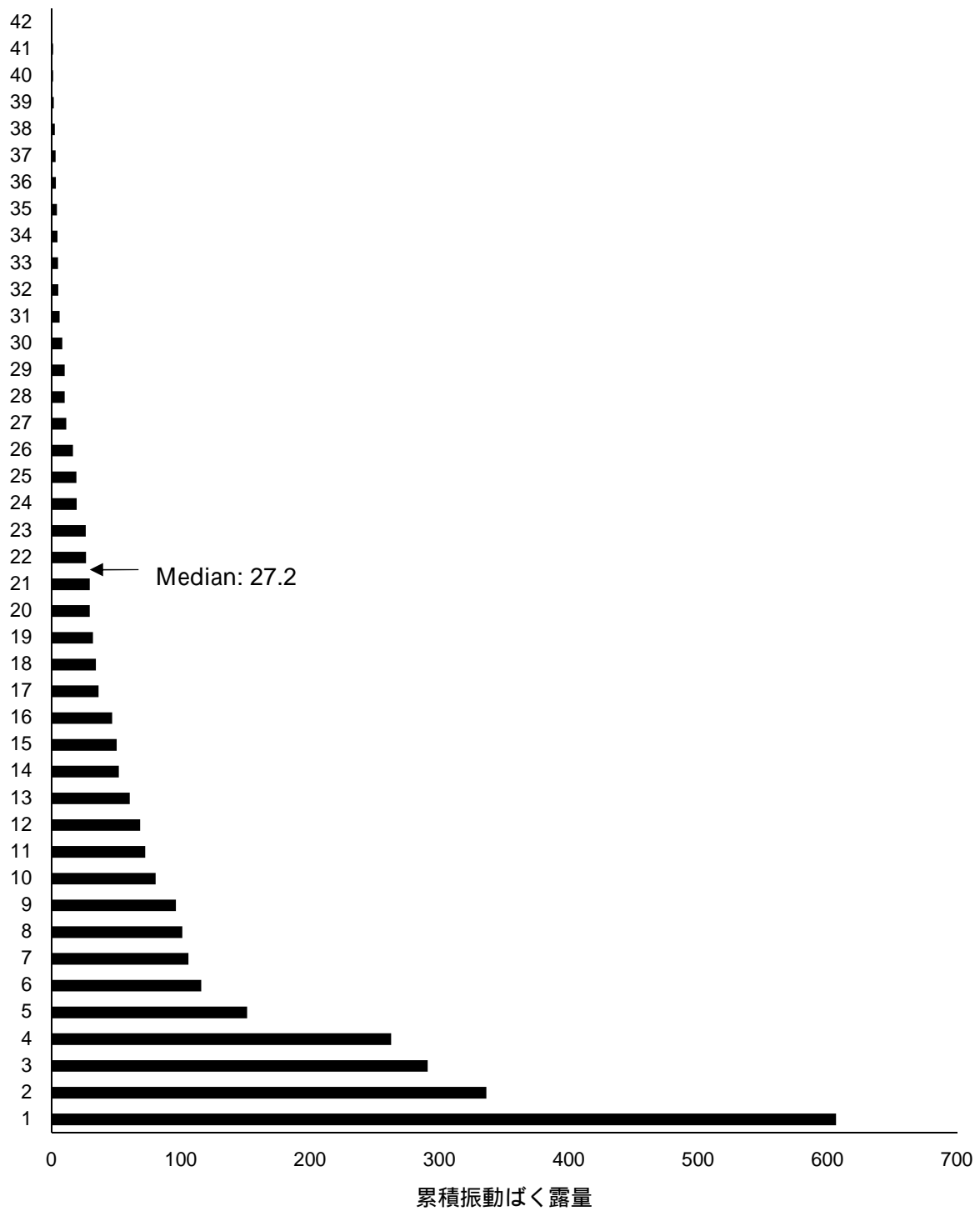


図 2c. 参加者（42 名）の過去累積振動ばく露量（降順並べ替え）

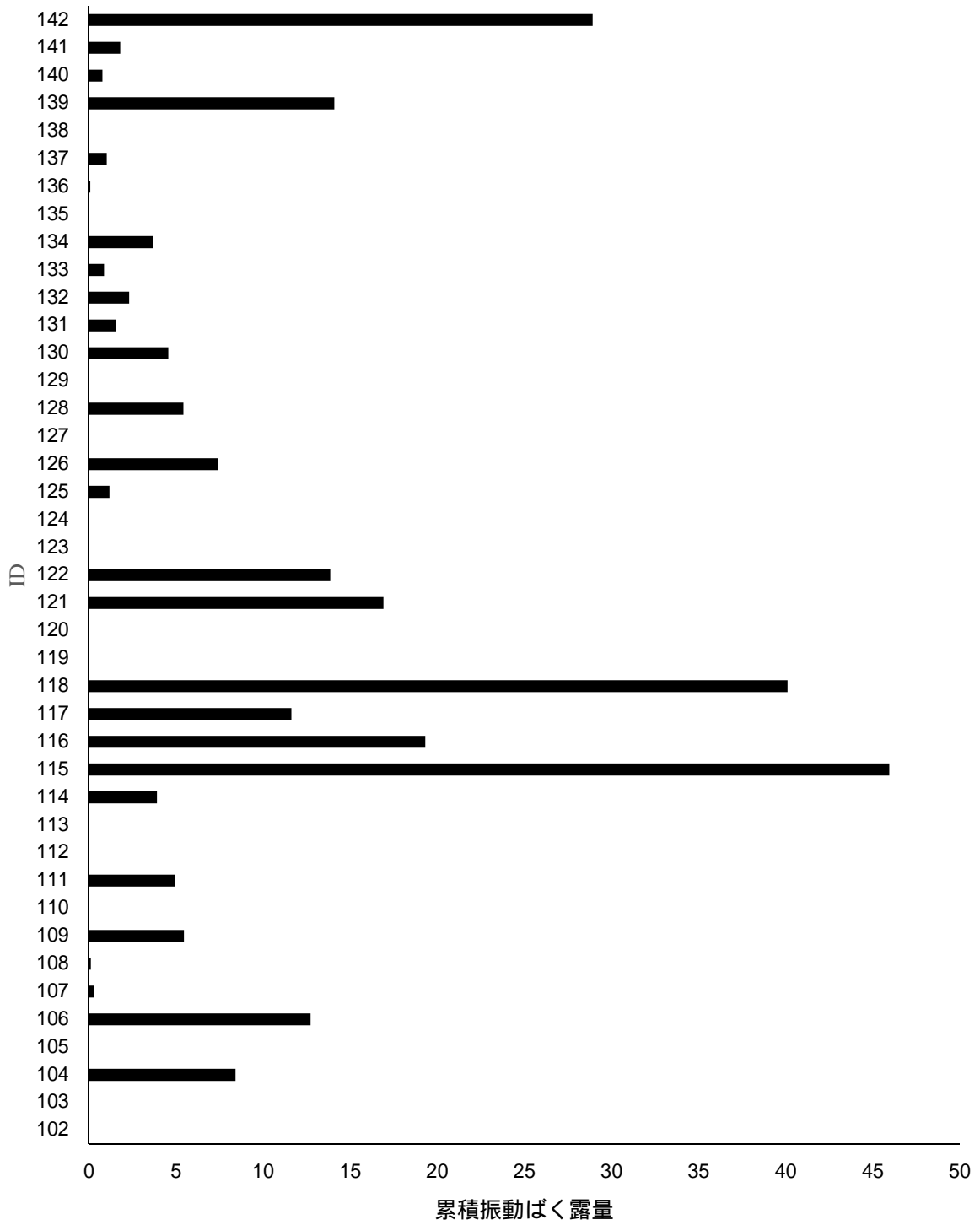


図 2d. 参加者（42 名）の調査期間中（2.5 年間）の過去積振動ばく露量（ID 順）

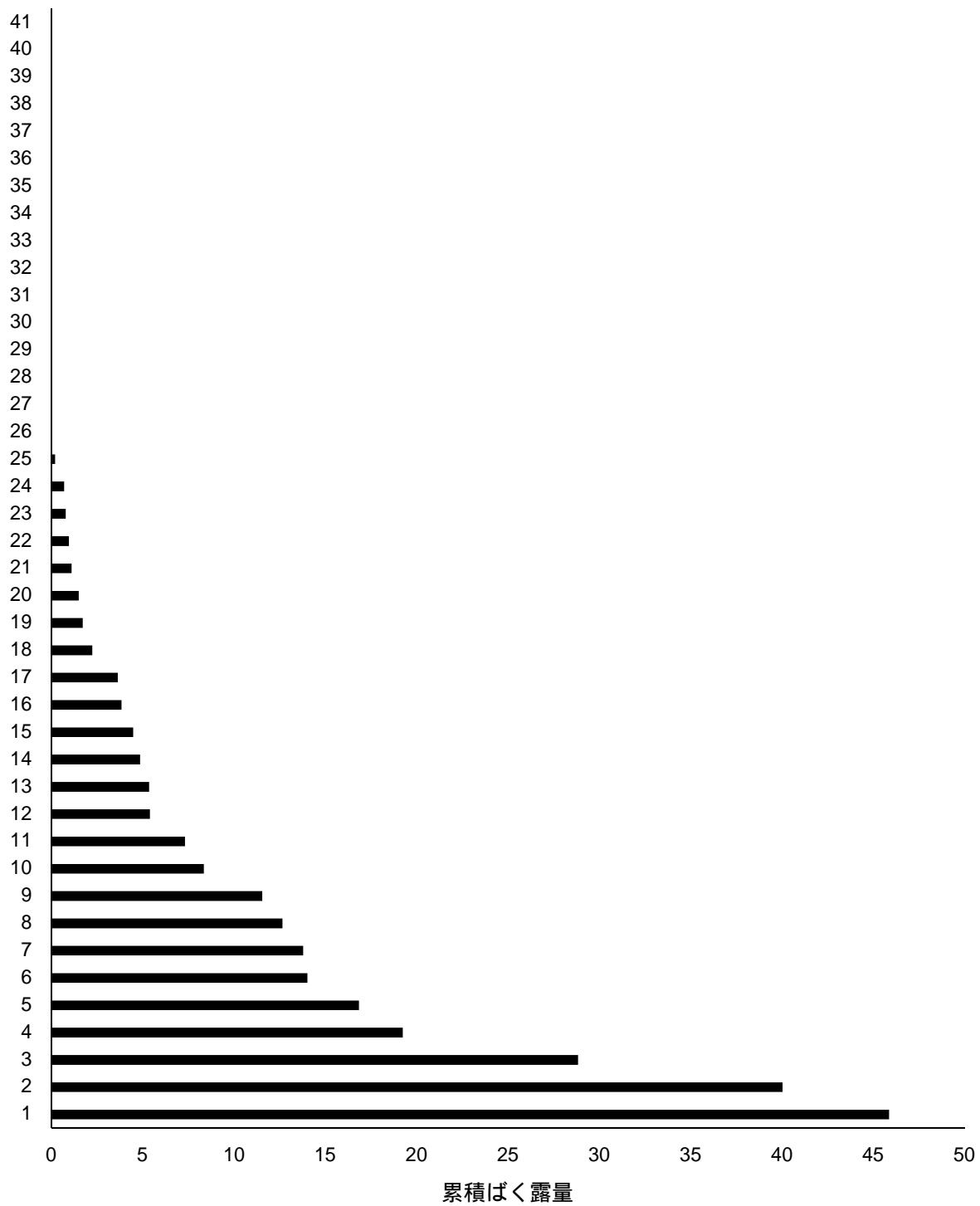


図 2e. 参加者（42 名）の調査期間中（2.5 年間）の積振動ばく露量（降順並べ替え）

資料 3 : 累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の自覚症状の評価

要旨：

累積振動ばく露量に応じた自覚症状の保有割合を明らかにするため、参加者に面接および質問紙による調査を実施した。非取扱い群と比較して、振動工具取扱いは、手指の冷感、手指のしびれ、手指のこわばり、手掌の発汗、手指の震えなど、多くの項目で自覚症状の保有割合が高かった。高振動ばく露群では、手指の冷感や痛み、こわばりなどの自覚症状が多く、低振動ばく露群では、手指のしびれや手掌の発汗などの自覚症状の保有割合が高かった。振動工具非取扱い群にくらべ、振動工具取扱いは、ほとんどの頸肩腕の自覚症状の保有割合が高かった。振動工具取扱いは、イライラ感、起床時の疲労感、全身のだるさ、不眠など、多くの項目で自覚症状の保有割合が高かった。一方、振動工具非取扱い群では集中力の低下の自覚症状の保有割合が高かった。

A. 研究目的

累積振動ばく露量に応じた自覚症状の保有割合を明らかにするため、参加者に面接および質問紙による調査を実施した。

B. 研究方法

i) 研究デザインとセッティング

3 年間にわたる縦断研究で、日本国内の振動工具取扱い作業場を有する 6 カ所の事業場に勤務する労働者を対象に調査した。産業医科大学病院の会議室で、半年毎に 1 回面接および質問紙調査を実施した。調査期間は、2016 年 7 月から 2018 年 2 月までであった。

ii) 参加者

振動工具取扱う作業員 42 名および、これまで振動工具を取り扱ったことがない労働者 29 名から本研究への参加への同意が得られた。最終的な分析対象は、調査期間中の 6 回の面接・質問紙調査中 3 回以上参加した参加者とした。

iii) 過去累積振動ばく露量によるグループ化

全累積振動ばく露量は、研究開始前の累積振動ばく露量と調査期間中の累積振動ばく露量を足した値で、生涯の振動工具取扱い作業期間にわたる累積振動ばく露量（過去累積振動ばく露量）である。振動工具取扱い群の振動ばく露による末

梢血流障害の慢性期の影響を比較するため、全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、High exposure group と 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 とした。

iv) 自覚症状の分類

6 回分の自覚症状の有無を参加者毎に集計し、質問項目ごとに次の3つに分類した。無自覚者：調査期間中一度も当該自覚症状を認めなかった、一過性自覚者：症状を認めたのが2回未満、または3回以上自覚症状を認めたが各参加者が参加した最後2回の調査のいずれも症状を認めなかった、持続性自覚者、3回以上異常症状あり、各参加者が参加した最後2回の調査のいずれかで症状を認めた。

v) 分析方法

本研究においては、質問項目毎に High exposure group, Low exposure group, Non-exposure group の3群間の持続性自覚者の割合を算出した。

C. 結果

i) 基本属性

各群の平均年齢（標準偏差）は、Non-exposure group: 42.1(10.8)歳, Low exposure group: 32.7(11.5)歳, High exposure group: 37.8(7.9)歳であった。振動工具取扱いによる群（Non-exposure group: 27名, Low exposure Group: 15名, High exposure Group: 21名）別の肥満、糖尿病の有無、

喫煙状況および自覚性自覚症状の者の人数割合（%）を図3aに示す。

ii) 手指の自覚症状

非取扱い群と比較して、振動工具取扱い者は、手指の冷感、手指のしびれ、手指のこわばり、手掌の発汗、手指の震えなど、多くの項目で自覚症状の保有割合が高かった。高振動ばく露群では、手指の冷感や痛み、こわばりなどの自覚症状が多く、低振動ばく露群では、手指のしびれや手掌の発汗などの自覚症状の保有割合が高かった（図3b）。

iii) 頸肩腕の自覚症状

振動工具非取扱い群にくらべ、振動工具取扱いは、ほとんどの頸肩腕の自覚症状の保有割合が高かった。とりわけ、高振動ばく露群で、頸肩腕部の全項目で、自覚症状の割合が高かった（図3c）。

iv) 日常生活動作

日常生活動作に関する項目については、自覚症状の保有割合が低かった。振動工具非取扱い群と比較して、振動工具取扱い群では、買い物袋を長く持てないや箸をうまく使えないなどの項目が高い傾向が認められた（図3d）。

v) 頭部の自覚症状

頭部の自覚症状においては、非振動ばく露群と比較して、高振動ばく露群で、難聴や耳鳴りの自覚症状の保有割合が高かった（図3e）。

vi) 下半身の自覚症状

下半身の自覚症状においては、非振動ばく露群と比較して、高振動ばく露群で、腰痛や腰のだるさ、膝の痛みの自覚症状の保有割合が高かった（図3f）。

vii) その他の自覚症状

その他の自覚症状においては、非振動ばく露群と比較して、高振動ばく露群で、胃の痛みの自覚症状の保有割合が高かった（図

3g.)

viii)精神面の自覚症状および不眠

振動工具非取扱い群と比較して、振動工具取扱いは、イライラ感、起床時の疲労感、全身のだるさ、不眠など、多くの項目で自覚症状の保有割合が高かった。一方、振動工具非取扱い群では集中力の低下の自覚症状の保有割合が高かった。とりわけ、起床時の疲労感、全身のだるさの自覚症状が多く、低振動ばく露群では、イライラ感や抑うつ感の自覚症状の保有割合が高かった (図 3h.)

体的な傾向としては、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。また、質問項目によっては、高振動ばく露群よりも、低い振動ばく露群で顕著に高い傾向を認めた項目も複数あり、振動工具取扱いに伴う初期症状として重要である可能性がある。自覚症状に関する項目について、サンプルサイズを拡大し精緻な分析をすれば、主観的指標による健康リスクの評価ができる可能性がある。

D. 考察

自覚症状に関する質問項目について、全

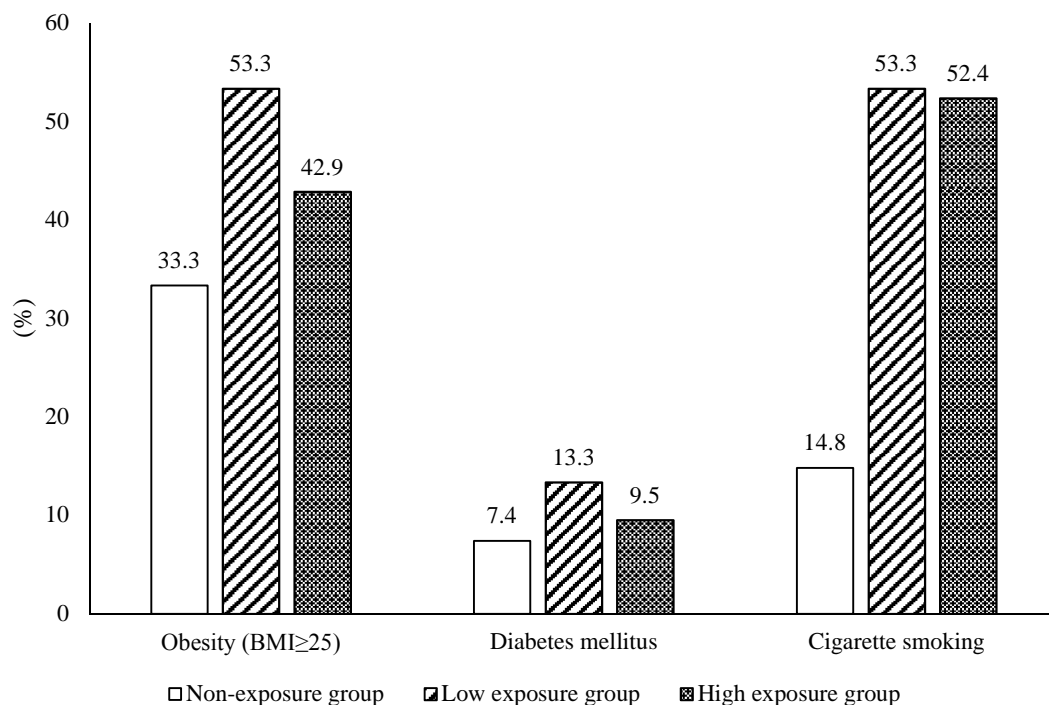


図 3a. 3 群別の肥満の有無，糖尿病の有無，喫煙状況

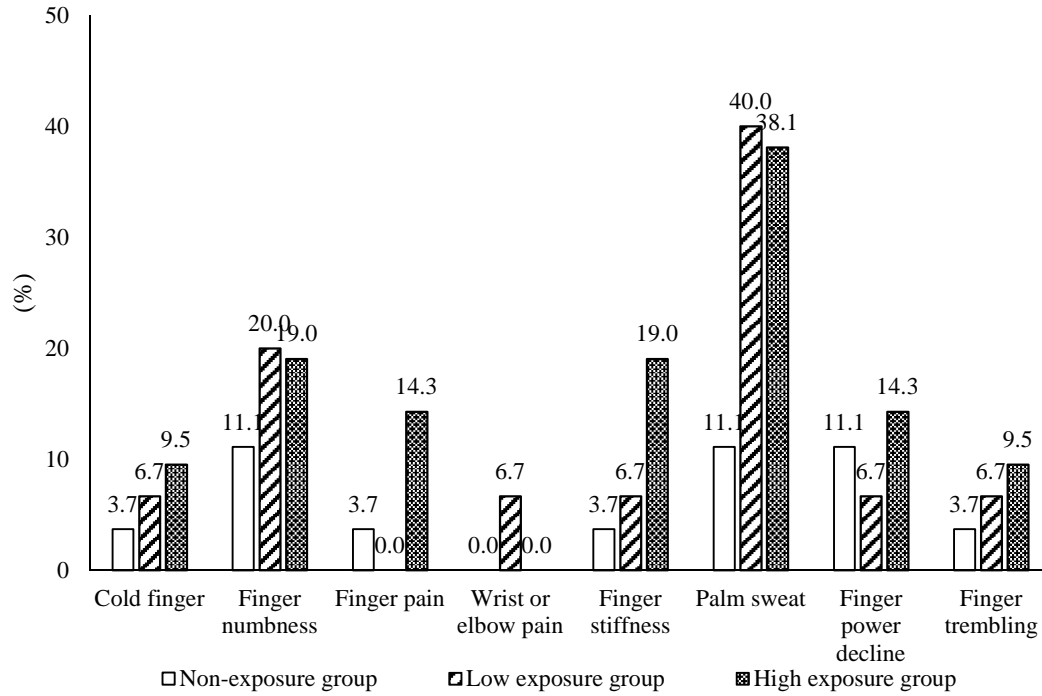


図 3b. 3 群別の手指の自覚症状

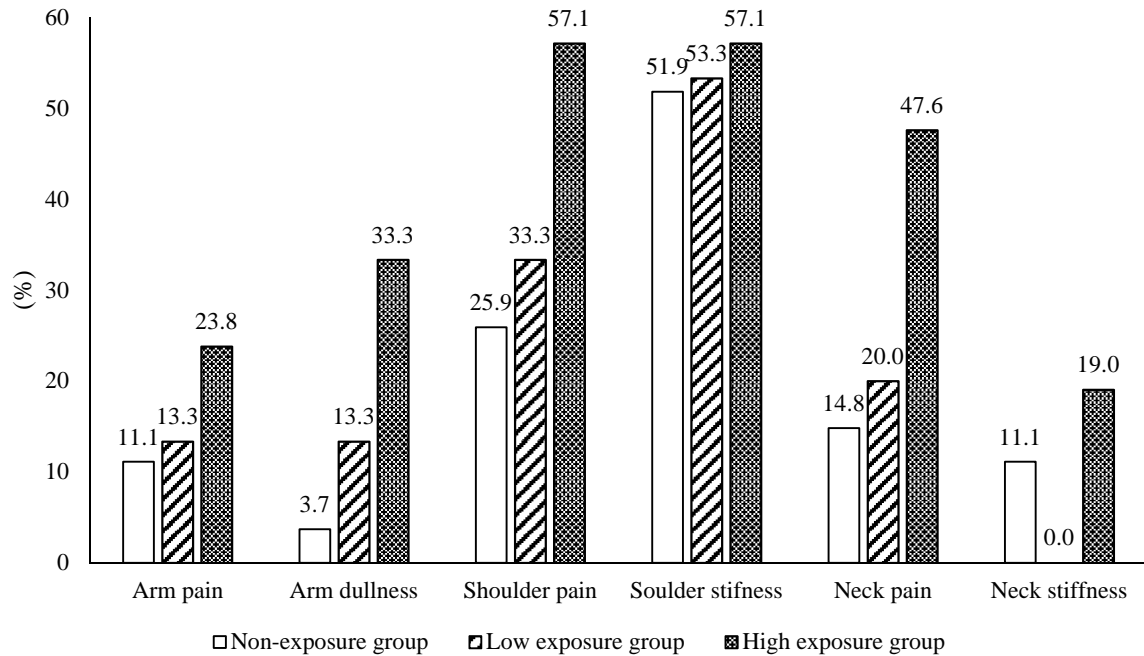


図 3c. 3 群別の頸肩腕の自覚症状

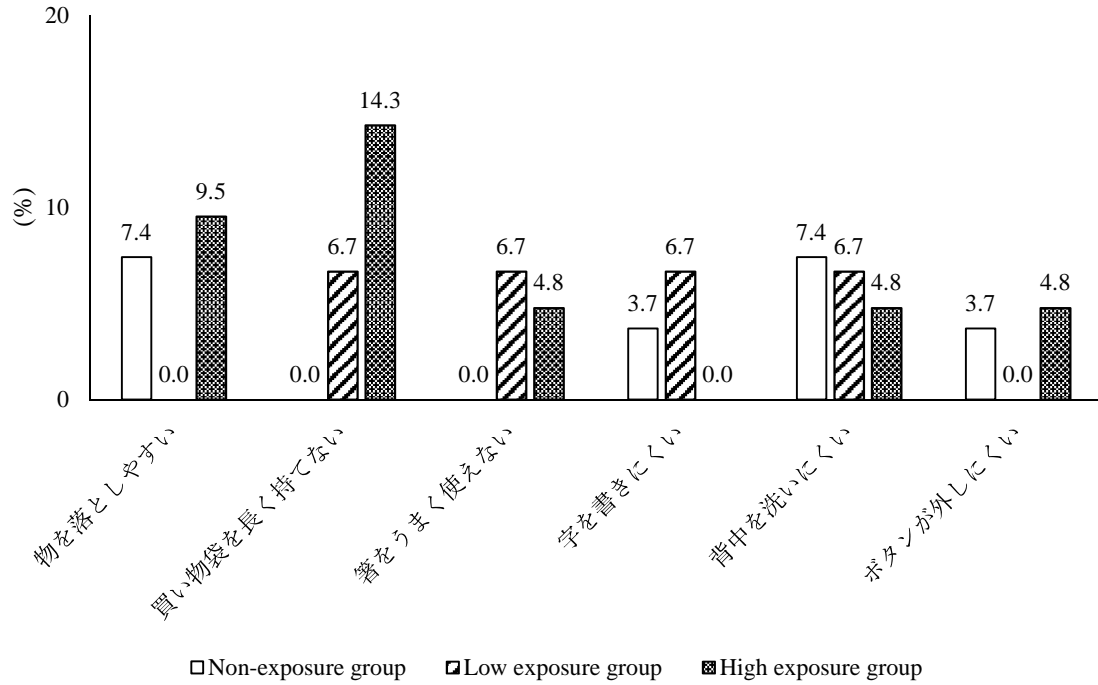


図 3d. 3 群別の手腕に係る日常生活動作に関する自覚症状

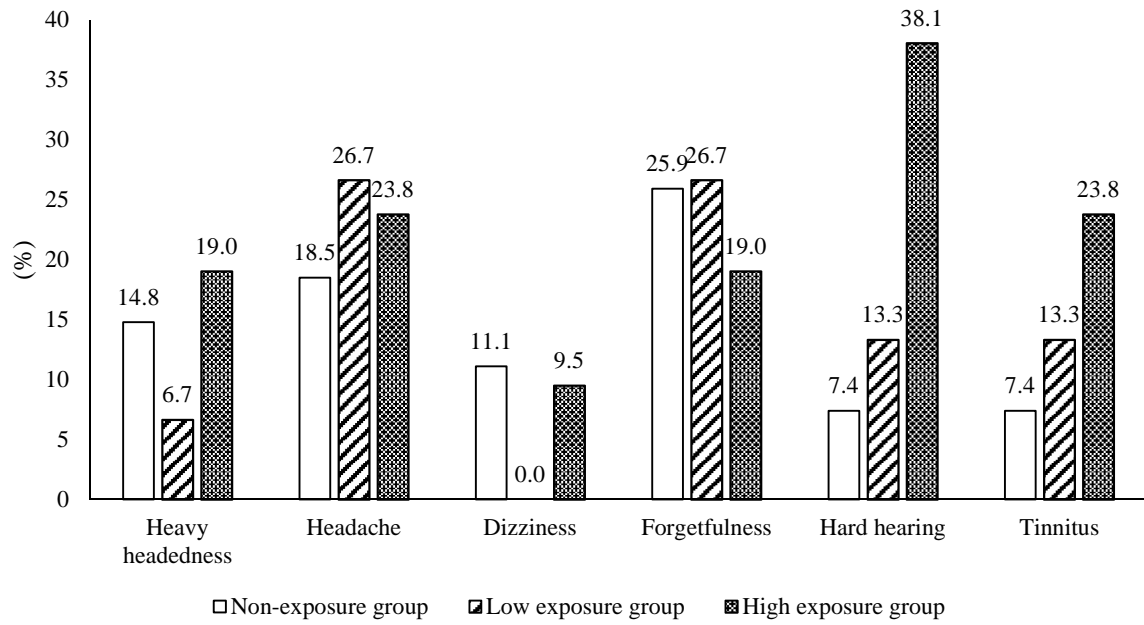


図 3e. 3 群別の頭部の自覚症状

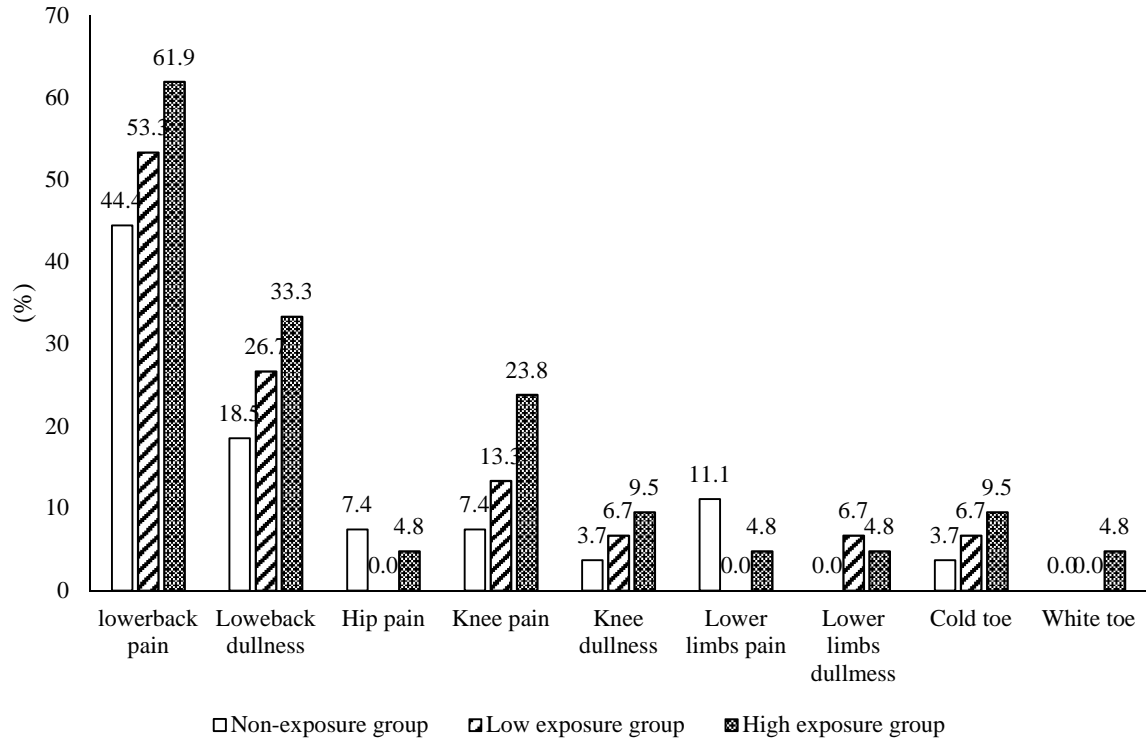


図 3f. 3 群別の腰部・下腿部の自覚症状

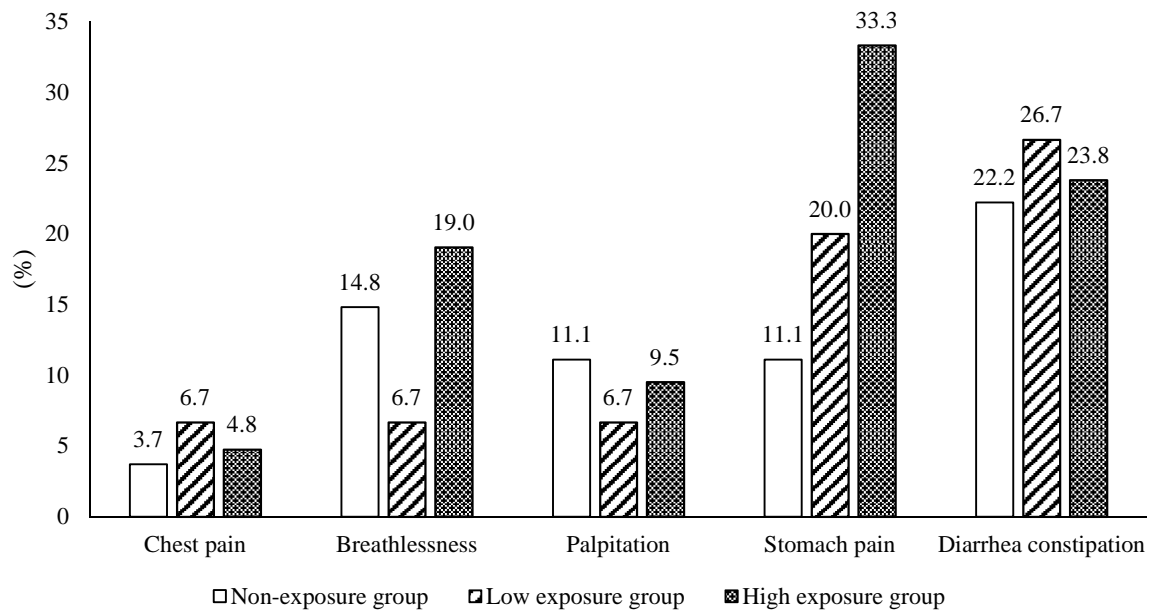


図 3g. 3 群別の胸部・腹部の自覚症状

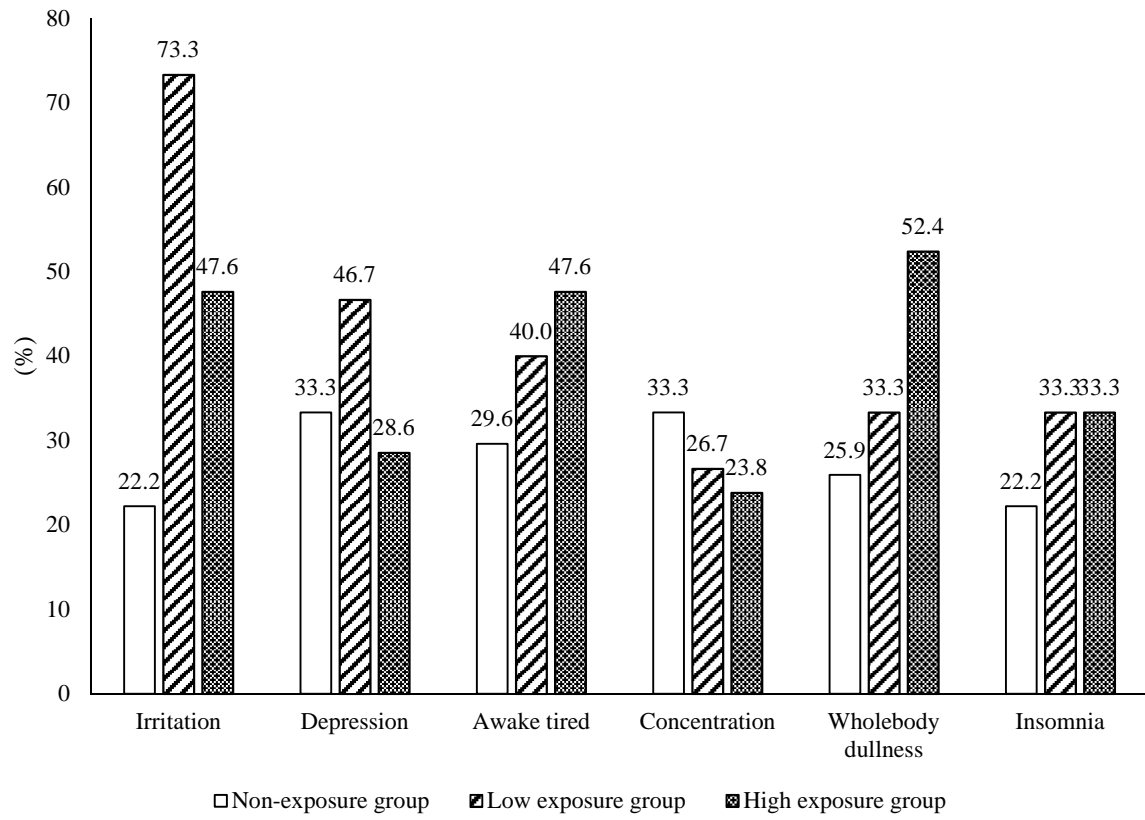


図 3h. 3 群別の精神的自覚症状

資料 4 : 累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の 神経学的診察所見の評価

要旨：累積振動ばく露量に応じた神経学的他覚所見の保有割合を明らかにするため、参加者に神経内科専門医による神経学的診察を実施した。振動工具取扱い作業場を有する 6 力所の事業場に勤務する労働者を対象に調査した。産業医科大学病院の臨床検査室で、半年毎に 1 回の神経内科専門医による神経学的診察を年 2 回、計 6 回実施した。振動障害に関連する症状の有無に関しては、積極的に訴える参加者はいなかったものの、詳細に問診すると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。

A. 研究目的

累積振動ばく露量に応じた神経学的他覚所見の保有割合を明らかにするため、参加者に神経内科専門医による神経学的診察を実施した。

B. 研究方法

i) 研究デザインとセッティング

本研究は、3 年間にわたる縦断研究で、日本国内の振動工具取扱い作業場を有する 6 力所の事業場に勤務する労働者を対象に調査した。産業医科大学病院の臨床検査室で、半年毎に 1 回の神経内科専門医による神経学的診察を年 2 回、計 6 回実施した。平成 30 年度は、2016 年 6 月～7 月と 11 月～12 月に実施した。

ii) 参加者

振動工具取扱う作業員 42 名および、これまで振動工具を取り扱ったことがない労働者 29 名(比較対象)から本研究への参加への同意が得られた。最終的な分析対象は、

調査期間中の 6 回の診察中 3 回以上診察を受けた参加者とした。

iii) 過去累積振動ばく露量によるグループ化

全累積振動ばく露量は、研究開始前の累積振動ばく露量と調査期間中の累積振動ばく露量を足した値で、生涯の振動工具取扱い作業期間にわたる累積振動ばく露量(過去累積振動ばく露量)である。振動工具取扱い群の振動ばく露による末梢血流障害の慢性期の影響を比較するため、全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、High exposure group と 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 とした。

iv) 神経学的診察所見の分類

6 回分の神経学的診察の所見の有無を参加者毎に集計し、診察項目ごとに次の 3 つ

に分類した。

無所見者：調査期間中一度も所見を認めなかった者，

一過性有所見者：症状を認めたのが2回未満，または3回以上自覚症状を認めたが各参加者が参加した最後2回の調査のいずれも症状を認めなかった者，

持続性有所見者：3回以上異常症状あり，各参加者が参加した最後2回の調査のいずれかで症状を認めた者。

v)分析方法

本研究においては，質問項目毎に High exposure group，Low exposure group，Non-exposure group の3群間の持続性有所見者の割合を算出した。

A. 結果

各群の平均年齢（標準偏差）は，Non-exposure group: 42.1(10.8)歳，Low exposure group: 32.7(11.4)歳，High exposure group:

37.8(8.0)歳であった。振動工具取扱いによる群（Non-exposure group: 27名，Low exposure Group: 15名，High exposure Group: 21名）の持続性所見者の割合（ID）を表4に示す。

B. 考察

振動障害に関連する症状の有無に関しては、本研究では自覚症状のない振動工具を扱う従事者を選定して被験者としているため、積極的に訴える参加者はいなかったものの、詳細に問診すると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。一般的に振動工具による障害では、自覚症状の有無や神経学的異常所見の有無が重要とされており、問診は詳細に行うことが重要と考えられる。神経学的所見では、両側の Tinel sign が低暴露群でも認められ、高暴露群では Phalen 徴候も認められている。これらは、手根管症候群の重要な所見であり、後で述べる神経伝導検査の結果と共に考えると、振動工具を扱う従事者の健診では、この2つの所見を取る必要があると考えられる。

表 4.3 群別の握力と神経学的診察の持続性有所見者の割合

	Non-exposure group (n=27)	Low exposure group (n=15)	High exposure group (n=21)
	Mean (SD)/%	Mean (SD)/%	Mean (SD)/%
Rt. grip strength (kg)	42.8(6.0)	47.6(7.1)	48.6(8.8)
Lt. grip strength (kg)	41.3(6.6)	47.0(7.7)	46.8(9.7)
Tinel sign (Rt. hand)	14.8%	20.0%	23.8%
Tinel sign (Lt. hand)	11.1%	20.0%	28.6.3%
Phalen test (Rt. hand)	0.0%	0.0%	4.8%
Phalen test (Lt. hand)	0.0%	0.0%	4.8%
Rt. radial muscle tendon reflex	3.7%	0.0%	0.0%
Lt. radial muscle tendon reflex	3.7%	0.0%	0.0%
Finger algnesia	0.0%	0.0%	14.3%
Finger thermaesthesia	0.0%	0.0%	14.3%
Finger thigmesthesia	0.0%	0.0%	14.3%
Finger pallesthesia	3.7%	0.0%	14.3%

資料 5：累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の Laser Speckle
Flowgraphy を用いた手指末梢循環の評価結果

参加者

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。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。

LSFG を用いた末梢血流評価

手指皮膚血流の測定には LSFG を用い、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（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（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2.5m/s²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た時は、即時検査を中止することを説明した。

統計学的分析

はじめに、カイ二乗検定または一元配置分散分析を用い、振動工具取扱いによる3群あるいは2群の分類で個人要因と職業性要因の比較を行った。続いて、末梢血流に影響を与える要因を評価するため、Linear mixed model (LMM)による分析を行った。LMMは、目的変数としてLSFGの各指標（冷水浸漬中MBR相対値（5分平均）、回復5分MBR相対値、回復10分MBR相対値）とした。従属変数について、参加者はrandom effectとして処理し、振動工具取扱い状況（3群または2群）、調査点、年代（30歳未満、30歳代、40歳代、50歳以上）、肥満（Body mass index≥25）の有無、糖尿病の有無、現在の喫煙の有無はfixed effectsとして処理した。その後の多重比較検定は、Bonferroni法を用いた。統計解析には、IBM SPSS 24.0J（IBM corp., New York）を使用した。有意水準はp<0.05とした。

$$\sum_{k=0}^n (A(8)[\text{unit: m/s}^2]) \times (\text{Coefficient of use frequency}) \quad \dots \text{式 1}$$

n=vibration tool handling years

$$\text{MBR 相対値} = \frac{\text{各測定点における実測 MBR 値}}{\text{冷水浸漬前 3 回連続測定 of 平均 MBR 値}} \times 100 \quad \dots \text{式 2}$$

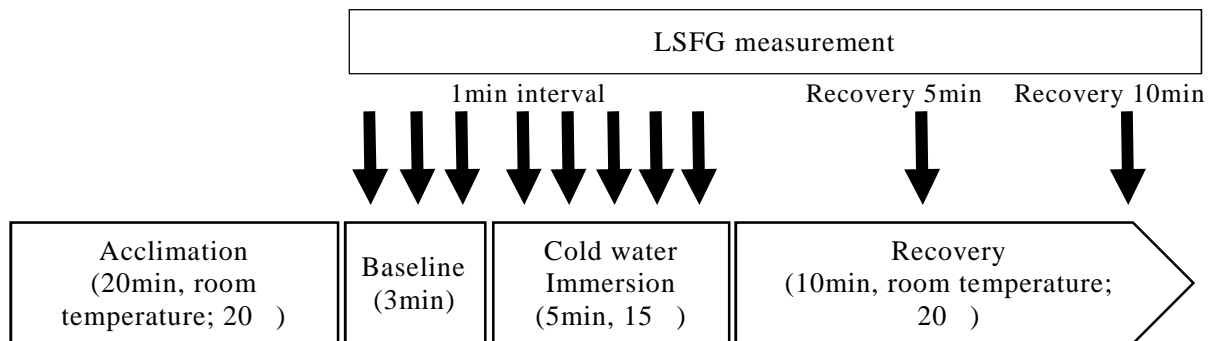


図 5a. LSFG による冷水浸漬検査の手順

A. 結果

参加者の基本属性

初回調査の参加者数は、全 71 名であった。Non-exposure group_1 が 29 名、過去累積振動曝露量の中央値である 27.2 以上となった Past high exposure group が 21 名、27.2 未満であった Past low exposure group が 21 名に分類された。Past low exposure group の 3 名が 2 回目以降の調査に不参加であったため、最終的な参加者は、Non-exposure group_1 が 29 名、Past high exposure group が 21 名、Past low exposure group が 18 名となった。現累積振動ばく露量による分類における各群の参加者数は、Current high-exposure group が 11 名、Non-exposure group_2 が 27 名であった (図 5b)。参加者の基本属性の 3 群間において、年齢について一元配置分散分析を用いて比較したところ、有意差を認められた ($p=0.007$)。その後の検定で、Past low exposure group は、Non-exposure group_1 と比較して、有意に若かった。また、喫煙

者数についてもカイ二乗検定で比較したところ、有意差を認められた ($p=0.017$)。その後の検定で Non-exposure group_1 の喫煙者数が有意に少なかった。参加者の基本属性の 2 群間において、年齢について一元配置分散分析を用いて比較したところ有意差を認められた ($p=0.015$) (表 5a)。

振動工具取扱い状況

振動工具取扱い群の振動工具作業歴について、参加者 39 名中、1 種類だけの振動工具を取り扱った者は 4 名 (10.3%)、2 種類の振動工具を使用した者は 8 名 (20.5%)、3 種類以上の工具を取り扱っている者が 27 名 (69.2%) であった。また取り扱った工具の種類の中で頻出のものはグラインダー 34 名 (87.2%) とインパクトレンチ 32 名 (82.1%) であった (表 5b, 5c)。振動工具使用時の手袋の使用について、参加者 39 名中 38 名 (97.6%) が使用していた。38 名の主に使用する手袋の内訳は、軍手 27 名、防振用手袋 7 名、皮手袋 2 名、ビニール手袋が 2 名であった。

振動工具の定期的なメンテナンスの実施については、26名（66.7%）が実施していた。過去に、振動業務健康診断を1回以上受診したことがある作業者は9名（23.1%）であり、毎年受診している作業者は1名（2.6%）であった。過去に、振動障害に関する教育を受けたことがある参加者は20名（51.3%）であった。

過去累積振動ばく露量

過去累積振動ばく露量分類による分析

Past high exposure group, Past low exposure group, Non-exposure group _1 の3群間で、各手指のMBR相対値を比較した。全測定手指の冷水浸漬中MBR相対値、回復5分MBR相対値および回復10分MBR相対値において、群間の主効果および群間と測定点の交互作用が認められなかった。図5c-5jに、各3指の3群別のMBR相対値の調査点毎の推移を示す。

現累積振動ばく露量分類による分析

Current high exposure group と Non-exposure group _2 の2群間の各手指のMBR相対値を比較した。全ての測定手指の冷水浸漬中MBR相対値において、群間の主効果を認めた（示指； $P=0.015$ ，中指； $P=0.013$ ，環指； $P=0.029$ ）。いずれの手指においても、Current high exposure group は Non-exposure group _2 よりも、冷水浸漬中のMBR相対値が有意に低かった。冷水浸漬中MBR相対値において、群間と測定点の交互作用は認められなかった。回復5分MBR相対値および回復10分MBR相対値において、群間による主効果は認められなかった。図5k-5sに、示指の2群別のLSFGのMBR相対値の調査点毎の推移を示す。また、示指の2群別のMBR相対値の全体推移を図5t-5uに示す。

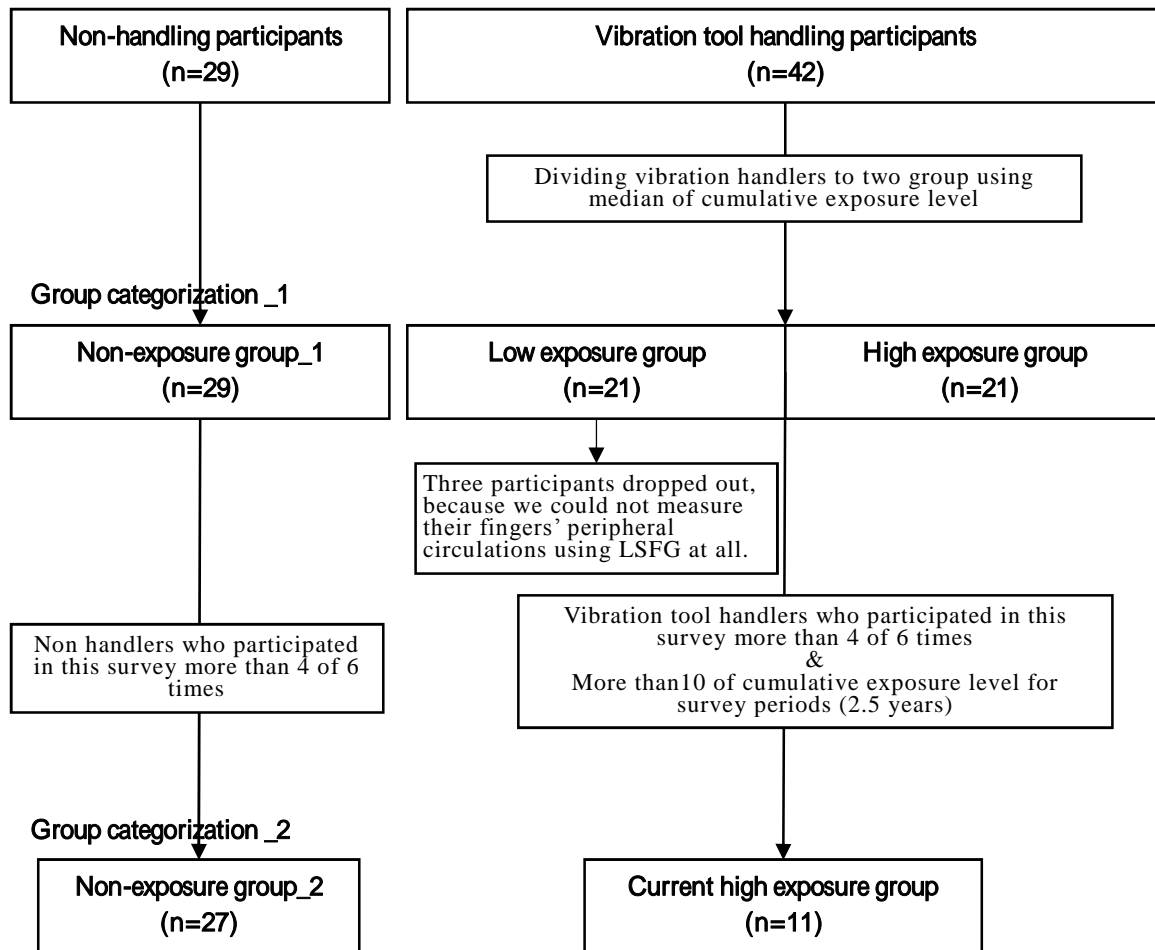


図 5b. 研究フローと参加者人数

表 5a. Participants characteristics in baseline survey

	Vibration tool exposure status					
	Non-exposure group _1 (n=29)		Past low exposure group (n=18)		Past high exposure group (n=21)	
	mean (SD) / %		mean (SD) / %		mean (SD) / %	
Age	41.9	(11.2)	31.9	(10.7)	37.8	(8.0)
Obesity (BMI \geq 25)	10	(34.5)	9	(38.1)	9	(42.9)
Diabetes	2	(6.9)	2	(11.1)	2	(9.5)
Cigarette Smoking	6	(20.7)	9	(50.0)	12	(57.1)
Left handler	2	(6.9)	1	(5.6)	1	(4.8)
	Vibration tool exposure status					
	Non-exposure group _2 (n=27)		Current high exposure group (n=11)			
	mean (SD) / n(%)		mean (SD) / n(%)			
Age	42.1	(10.8)	33.1	(6.3)		
Obesity (BMI \geq 25)	9	(33.3)	5	(45.5)		
Diabetes	2	(7.4)	0	(0.0)		
Cigarette Smoking	4	(14.8)	4	(36.3)		
Left handler	2	(7.4)	0	(0.0)		

表 5b . 使用した振動工具の種類

周波数補正振動加速度実効値 の 3 軸合成値の換算値		
[m/s ²]		
		N=39
削岩機	18.3	5
コンクリートブレーカー	13.6	13
ピックハンマー	8.0	21
チェーンソー	4.7	7
エンジンカッター	7.9	7
刈払機	4.4	8
コンクリートバイブレータ	2.5	11
インパクトレンチ	6.0	32
エアドライバー	2.5	5
グラインダー	4.0	34
ディスクサンダー	3.0	12
バイブレーションシャー	10.8	1
ジグソー	7.0	6
スーパーケレン	50.0	11
その他	-	5

表 5c. 参加者が使用した工具の種類数

種類数	N=39
1 種類	4
2 種類	8
3 種類	7
4 種類	3
5 種類	1
6 種類	3
7 種類	7
8 種類	1
9 種類	5

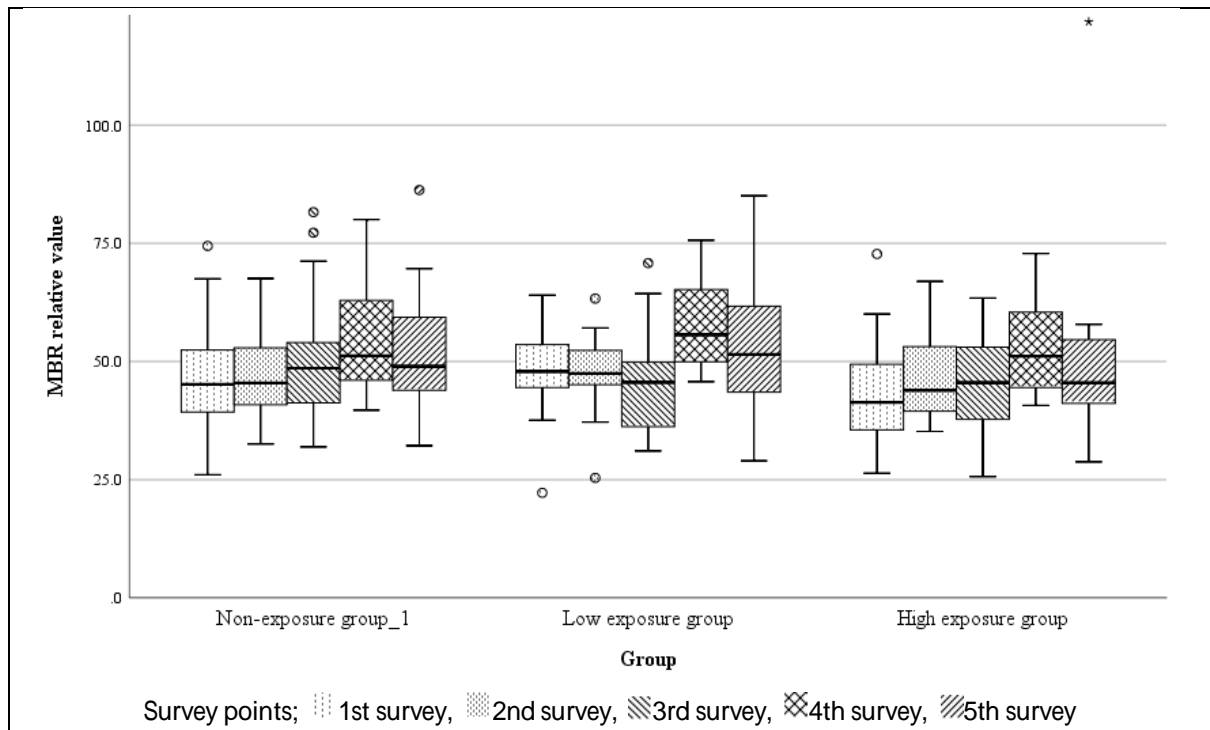


図5c. 示指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.341

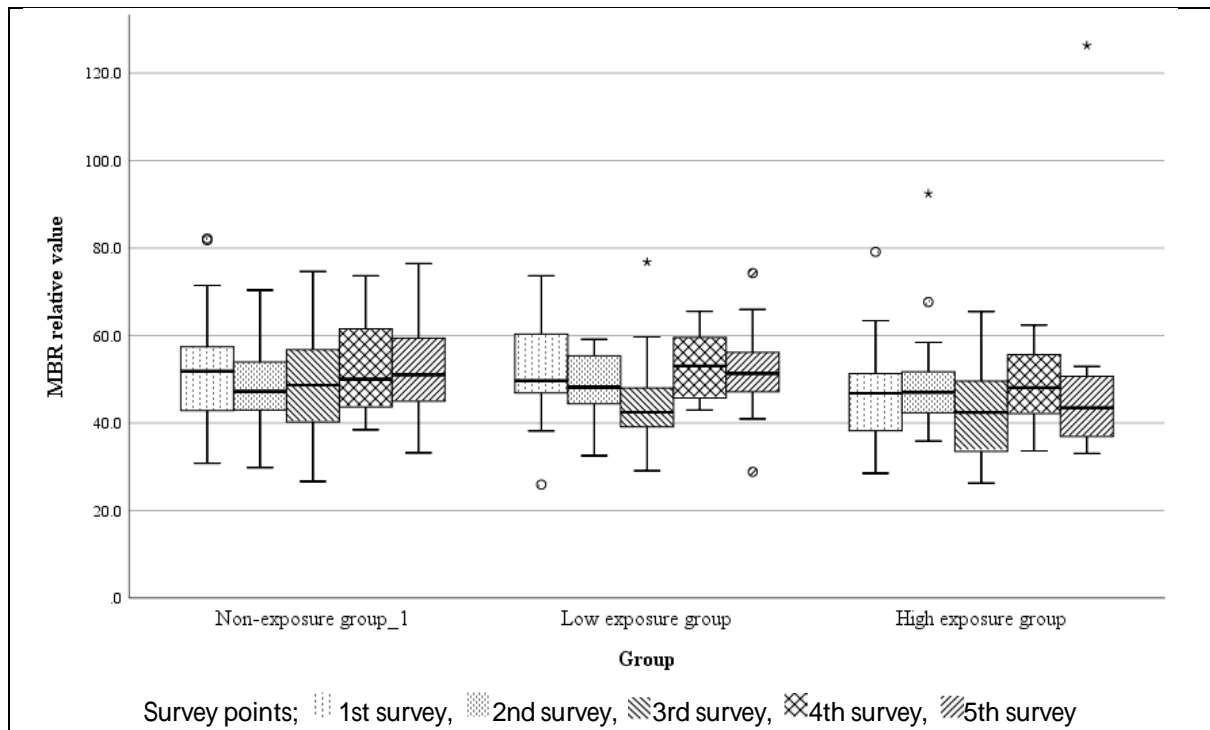


図5d. 中指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.523

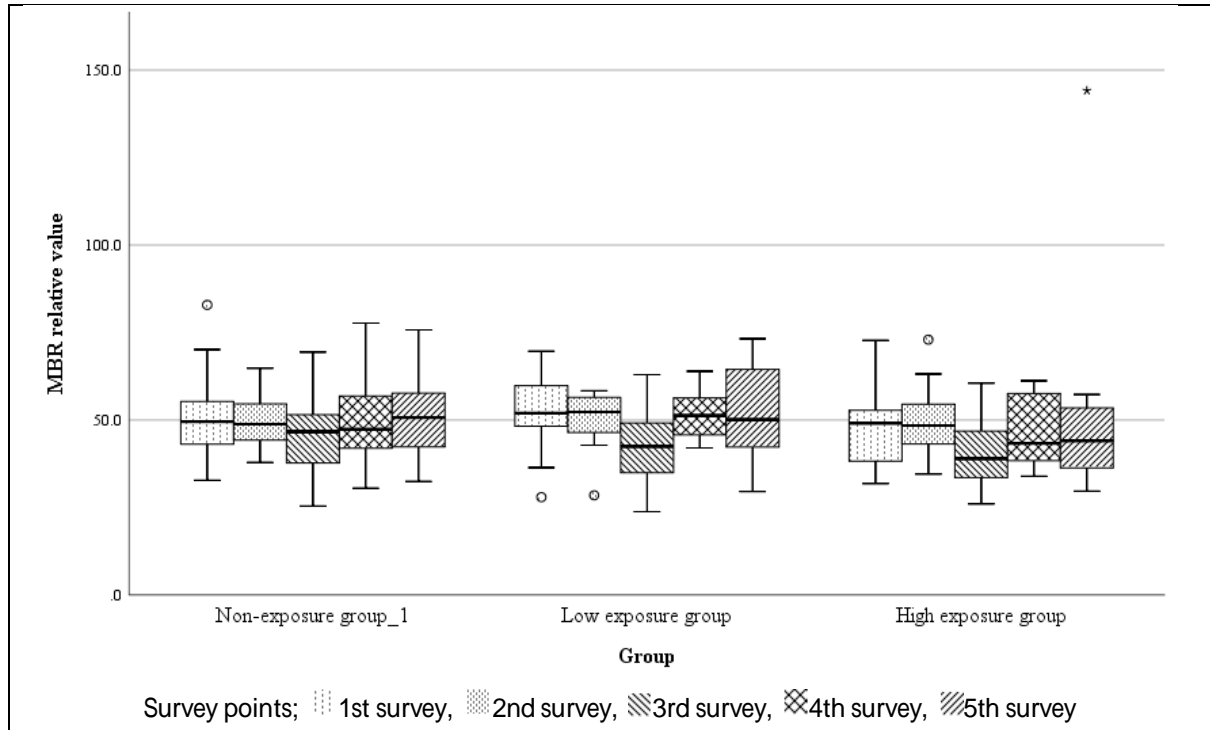


図5e. 環指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.968

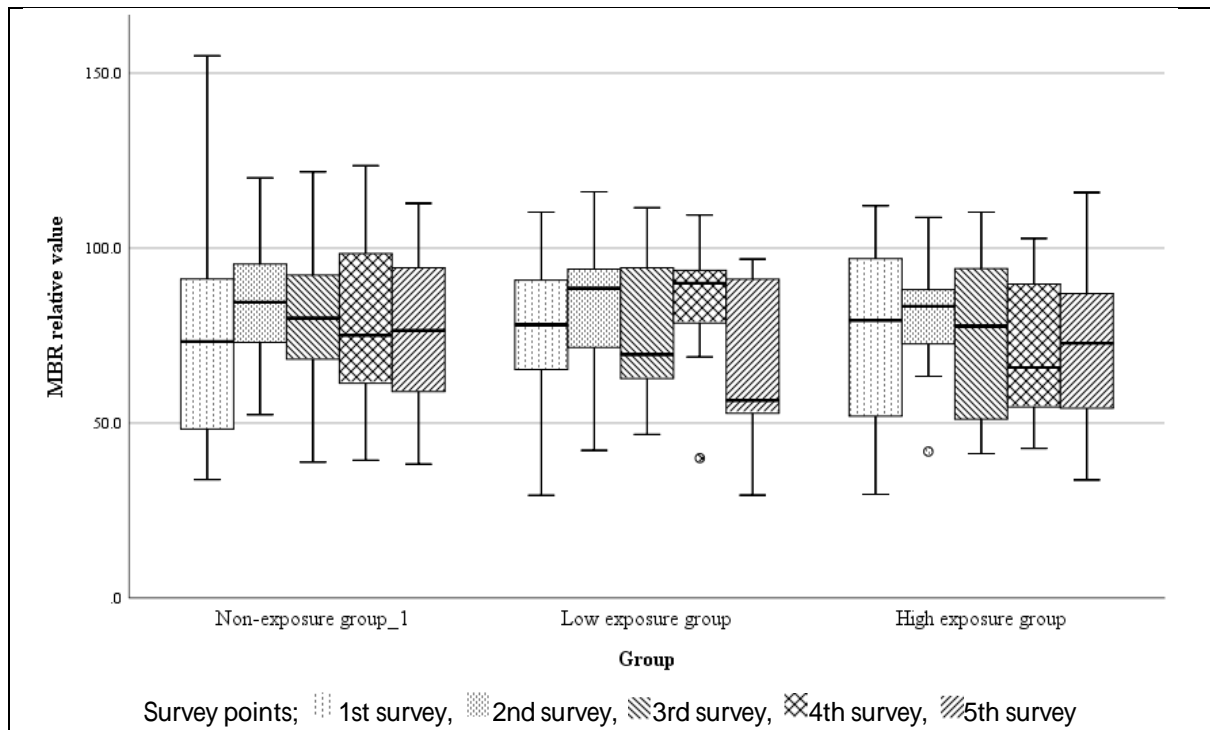


図5f. 示指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.219

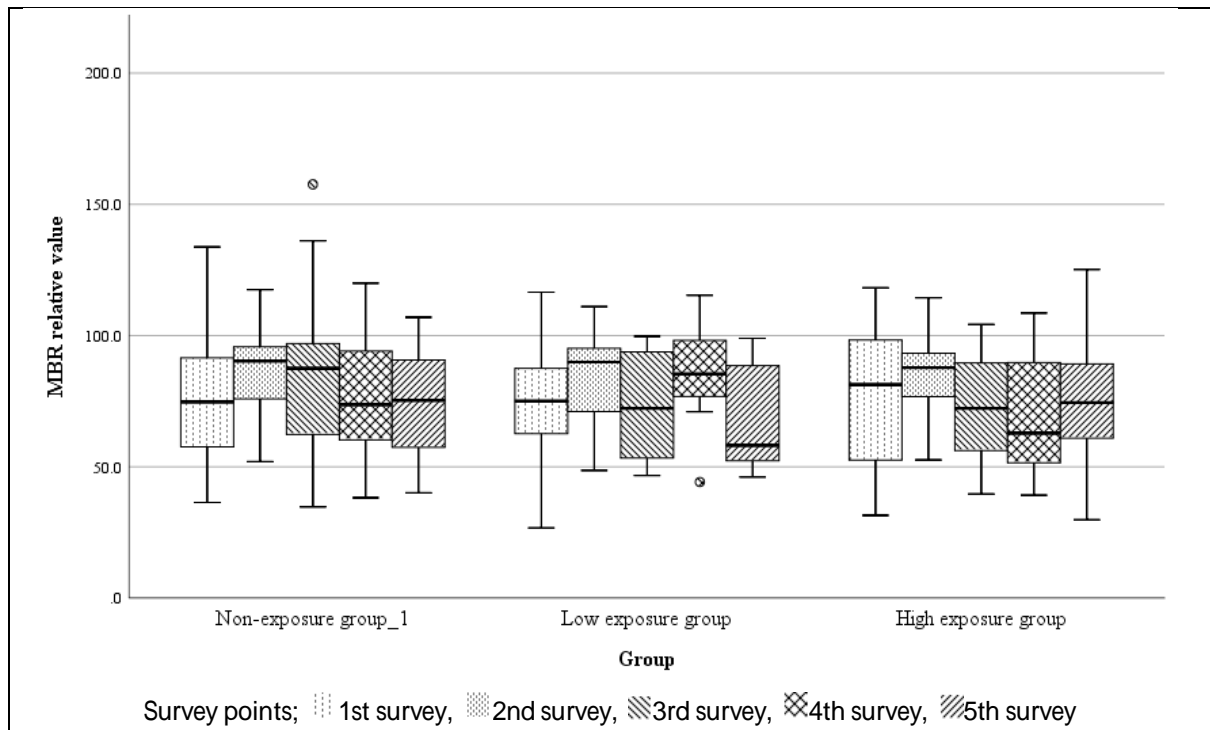


図5g. 中指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.238

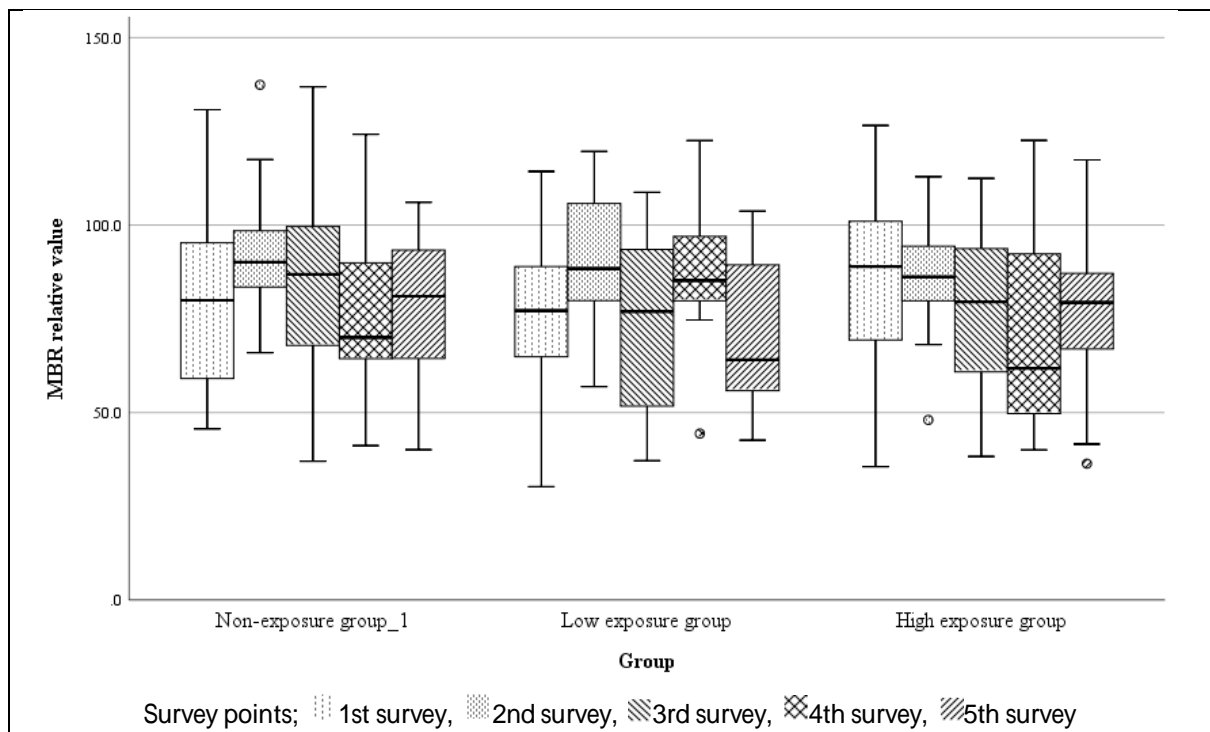


図5h. 環指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.236

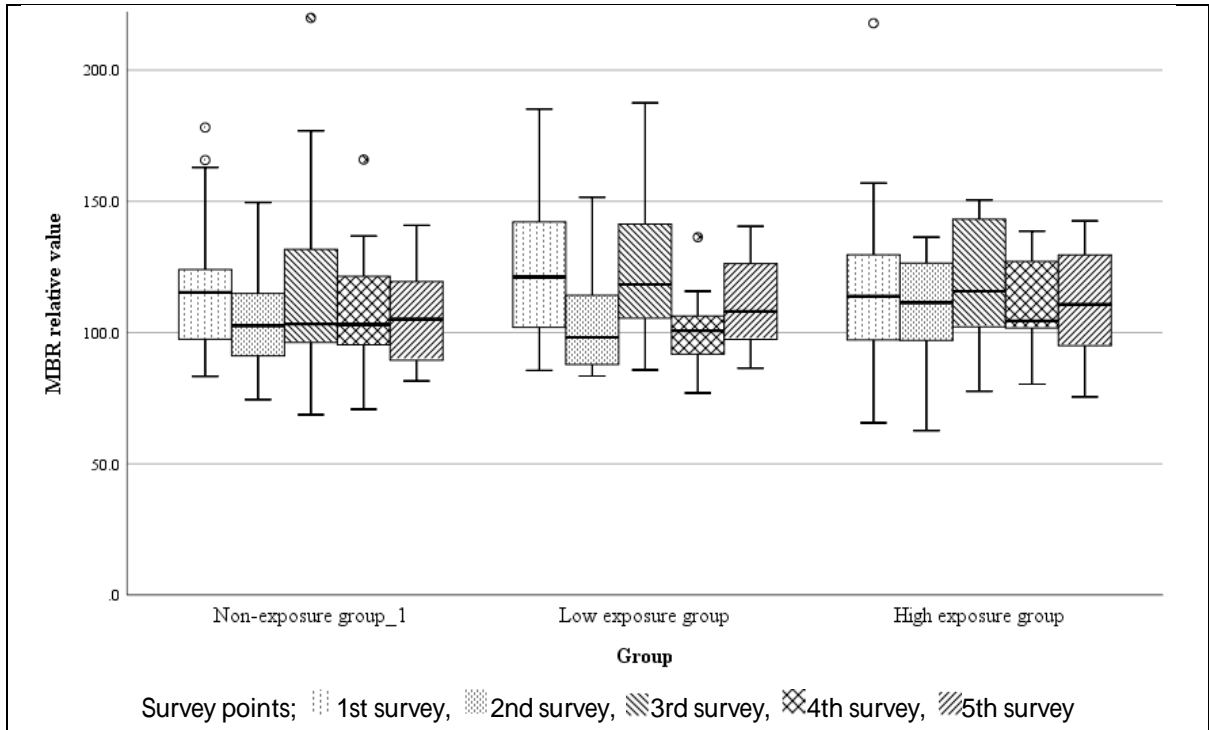


図5i. 示指の回復10分MBR相対値の3群別推移
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.389

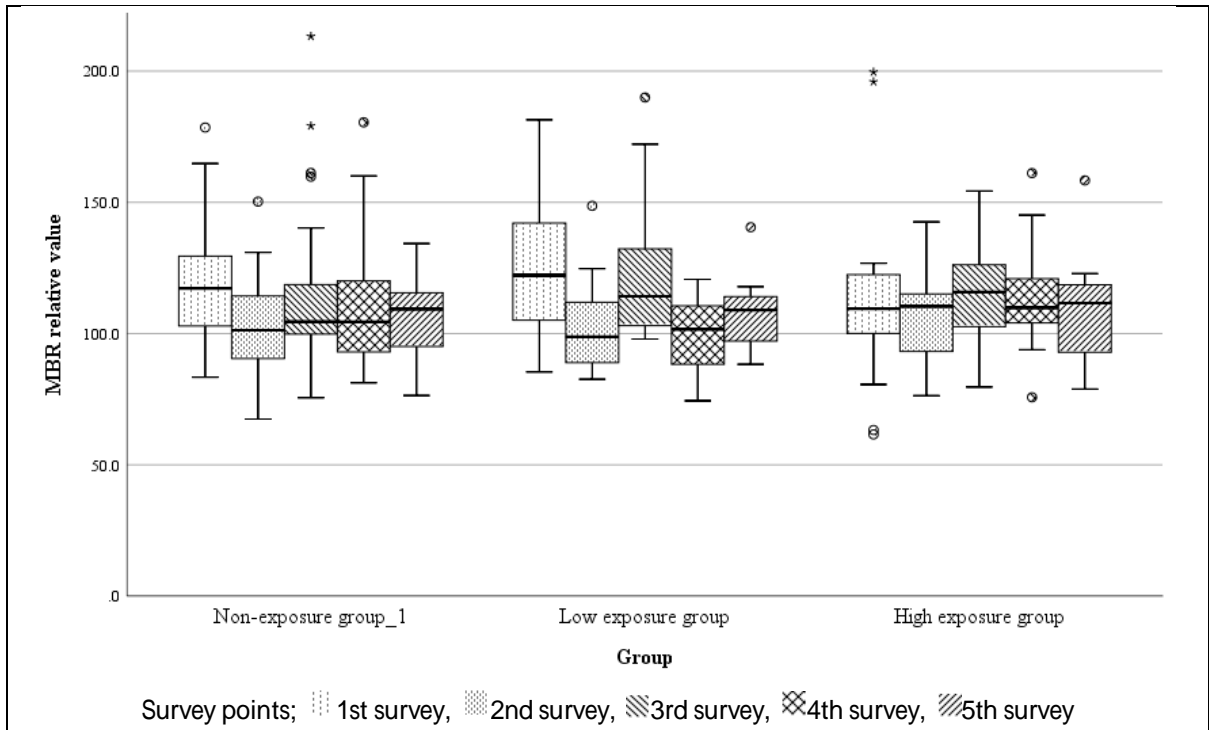


図5j. 中指の回復10分MBR相対値の3群別推移
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.621

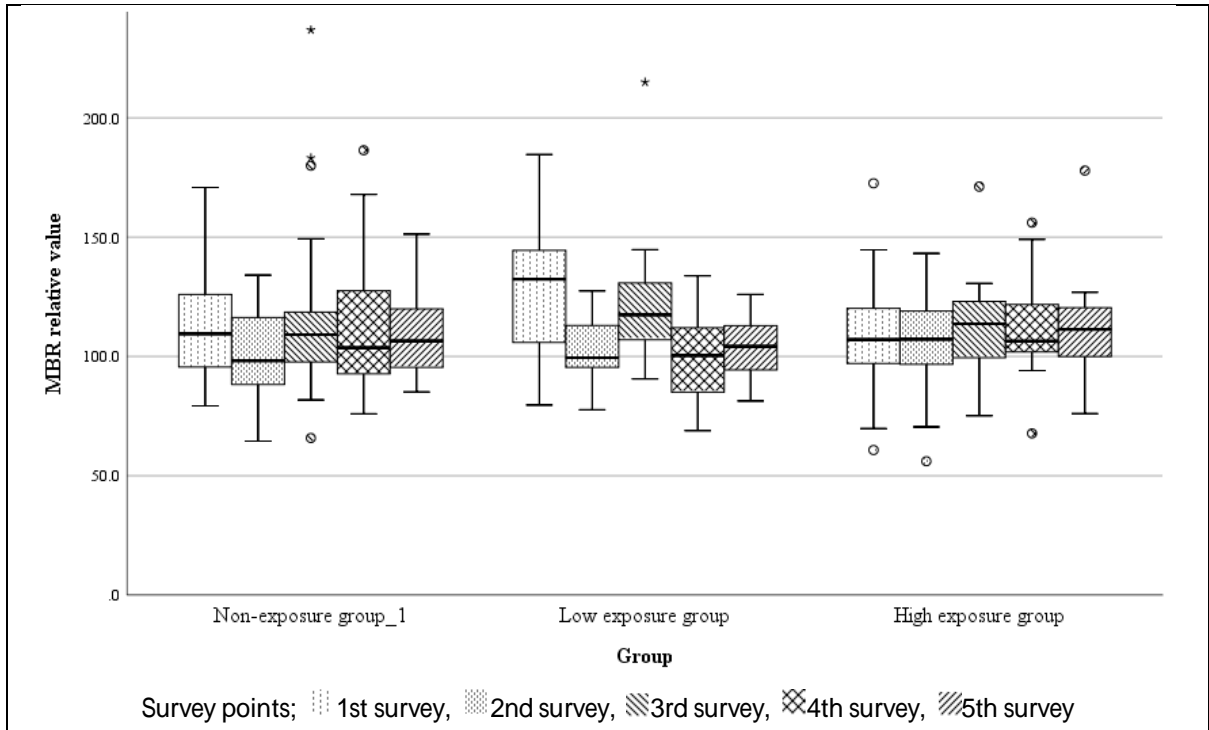


図5j. 環指の回復10分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.839

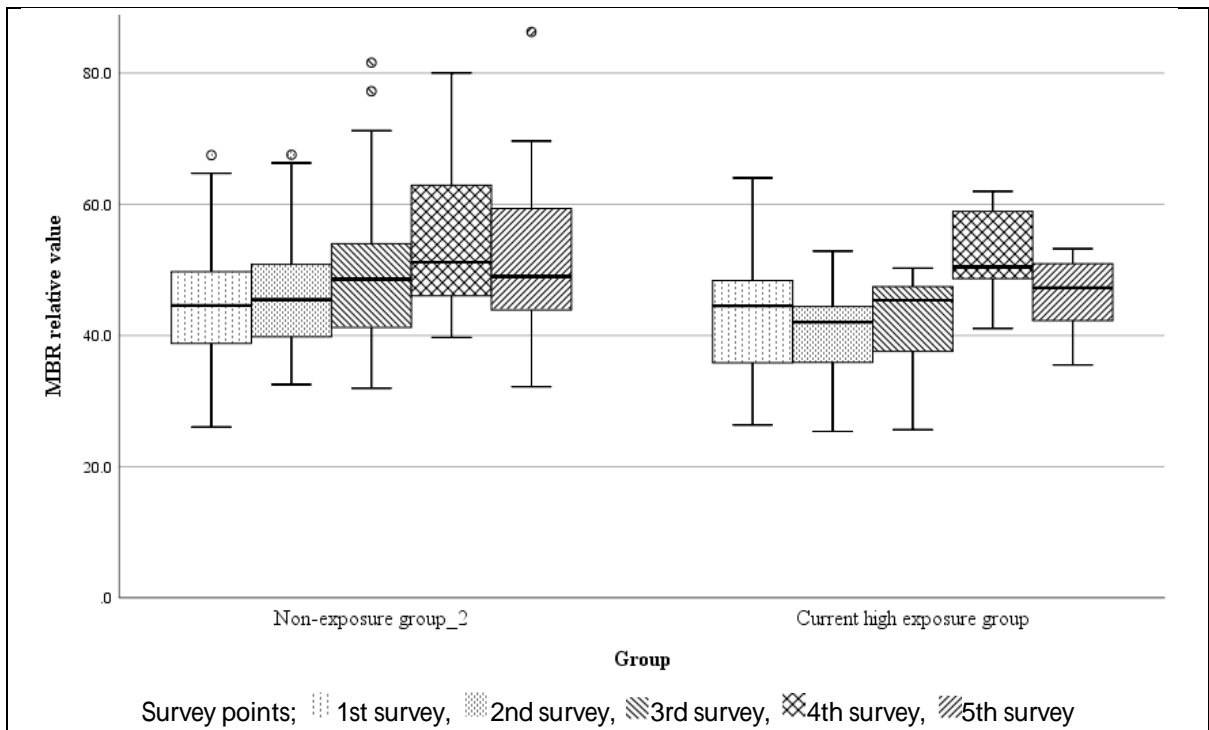


図5k. 示指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.039

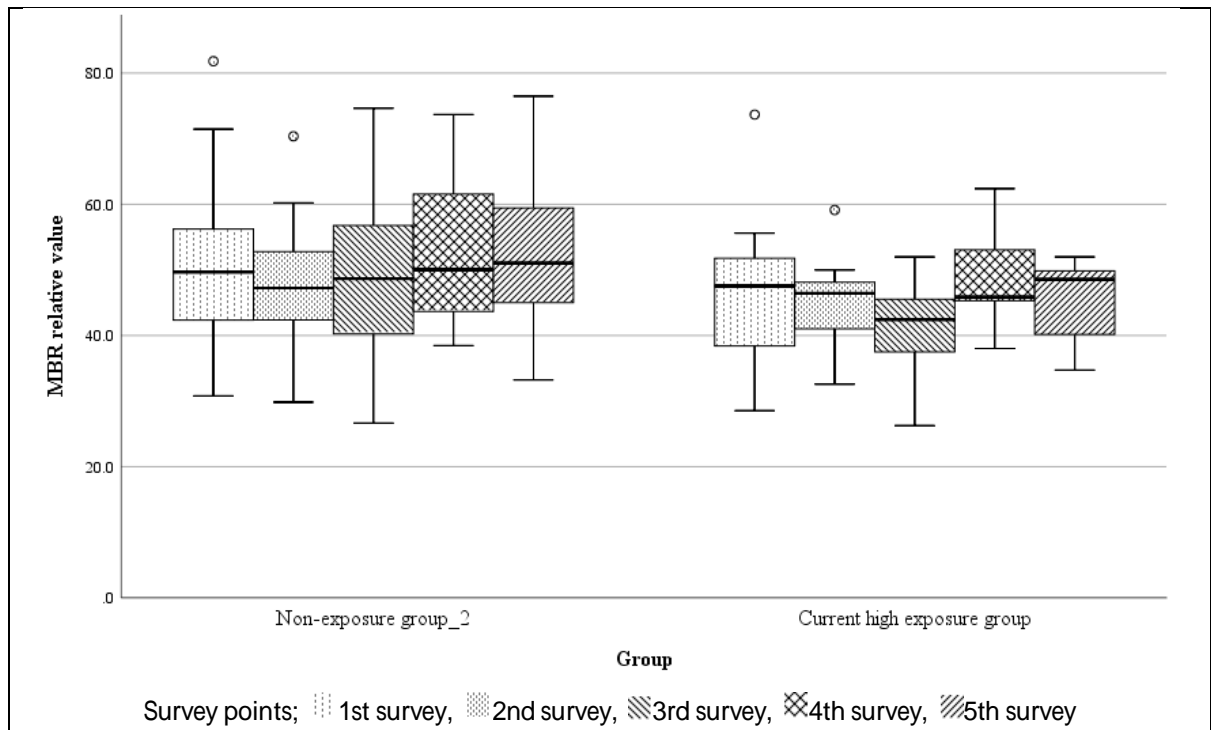


図51. 中指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.017

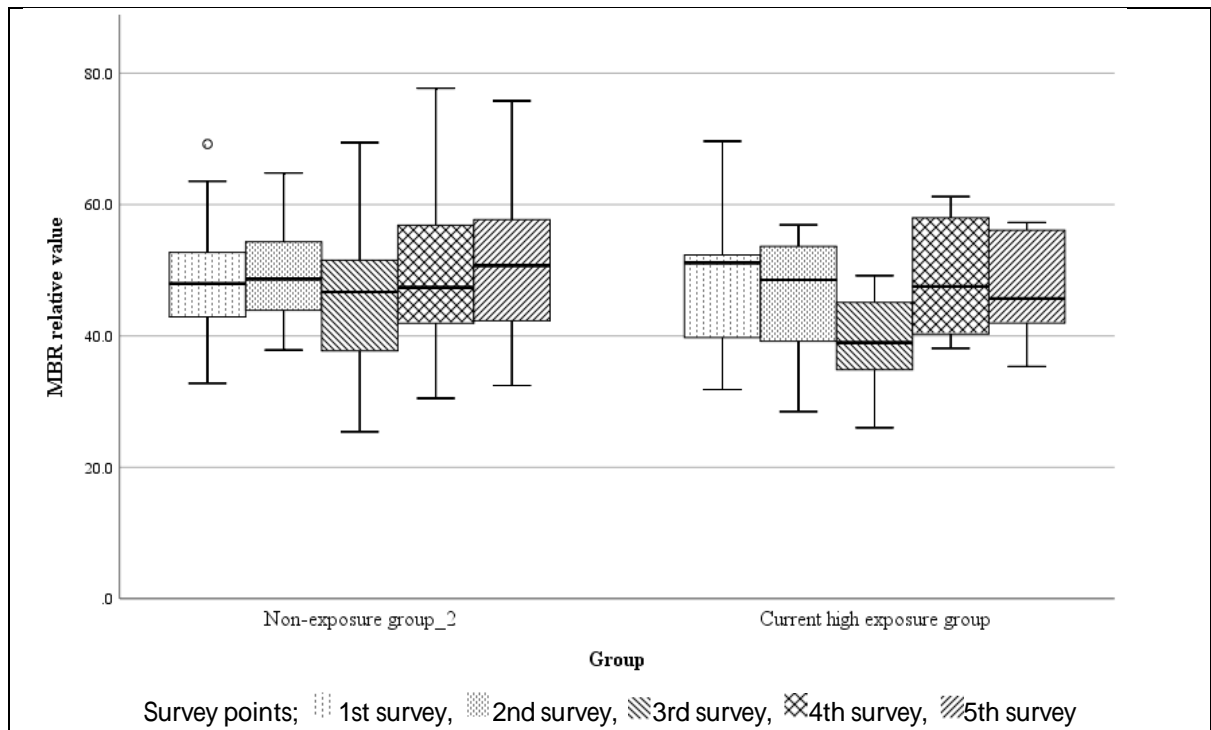


図5m. 環指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.075

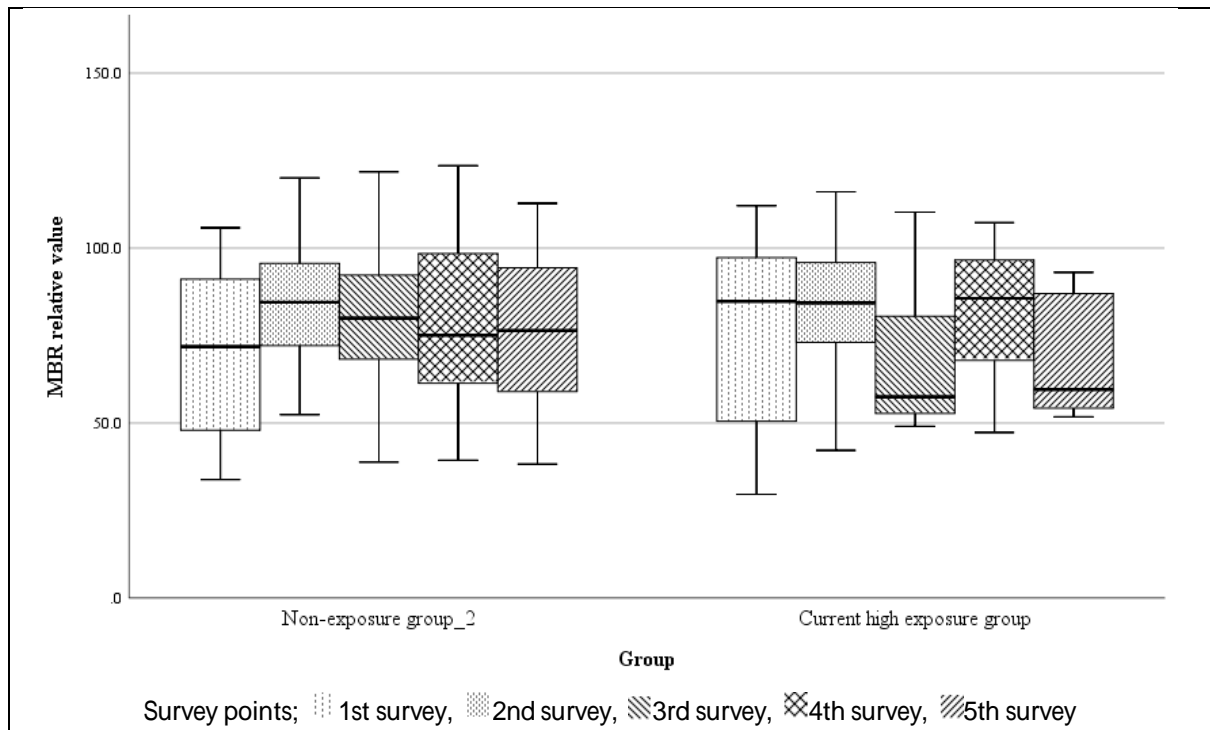


図5n. 示指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.534

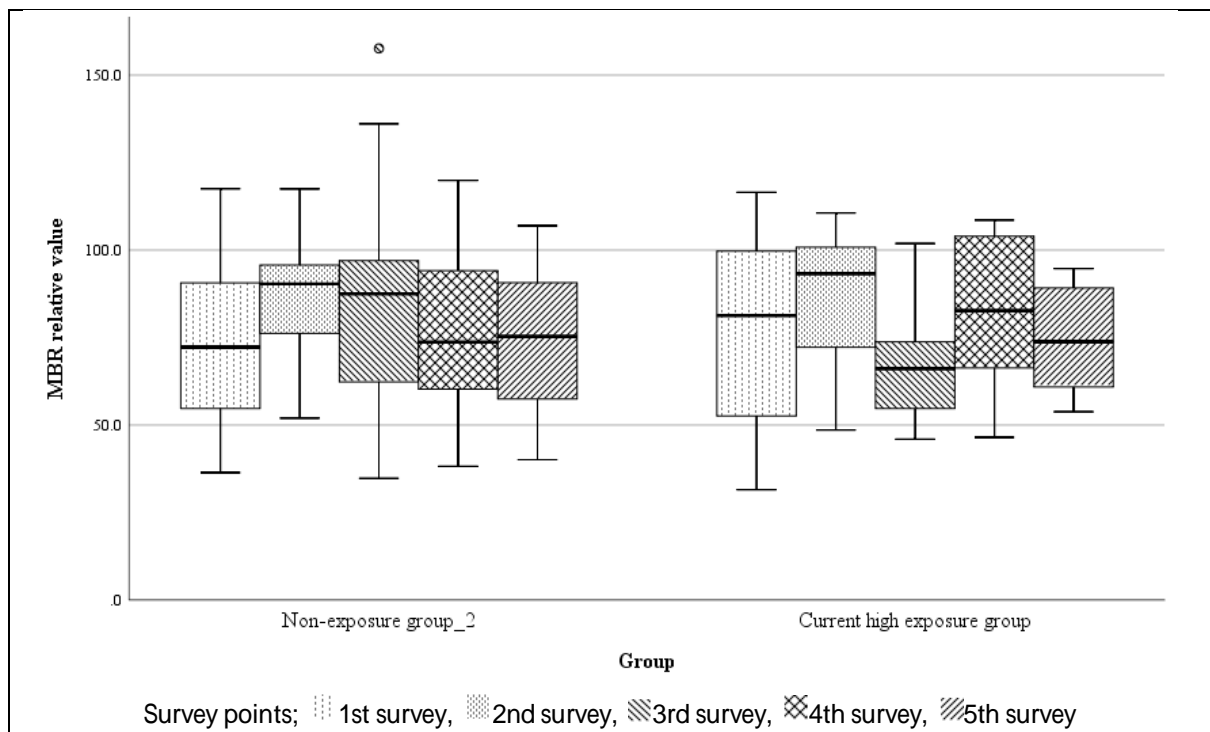


図5o. 中指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.629

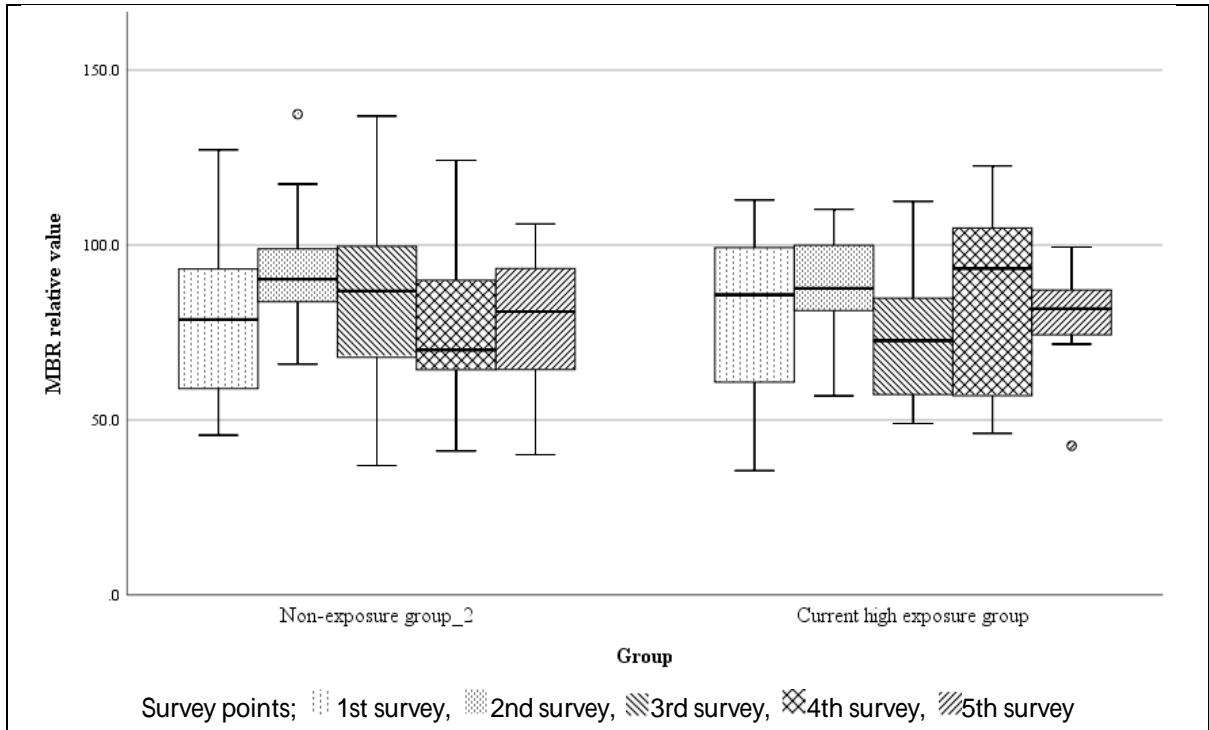


図5p. 環指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.663

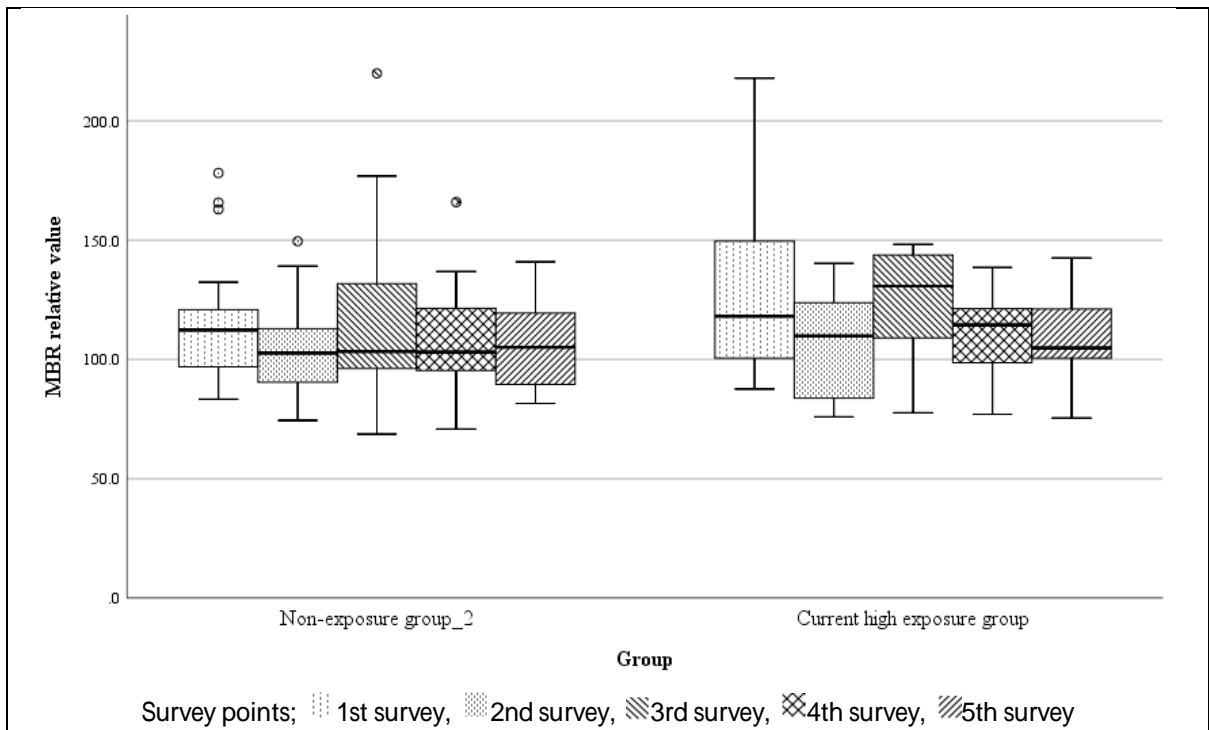


図5q. 示指の回復10分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.172

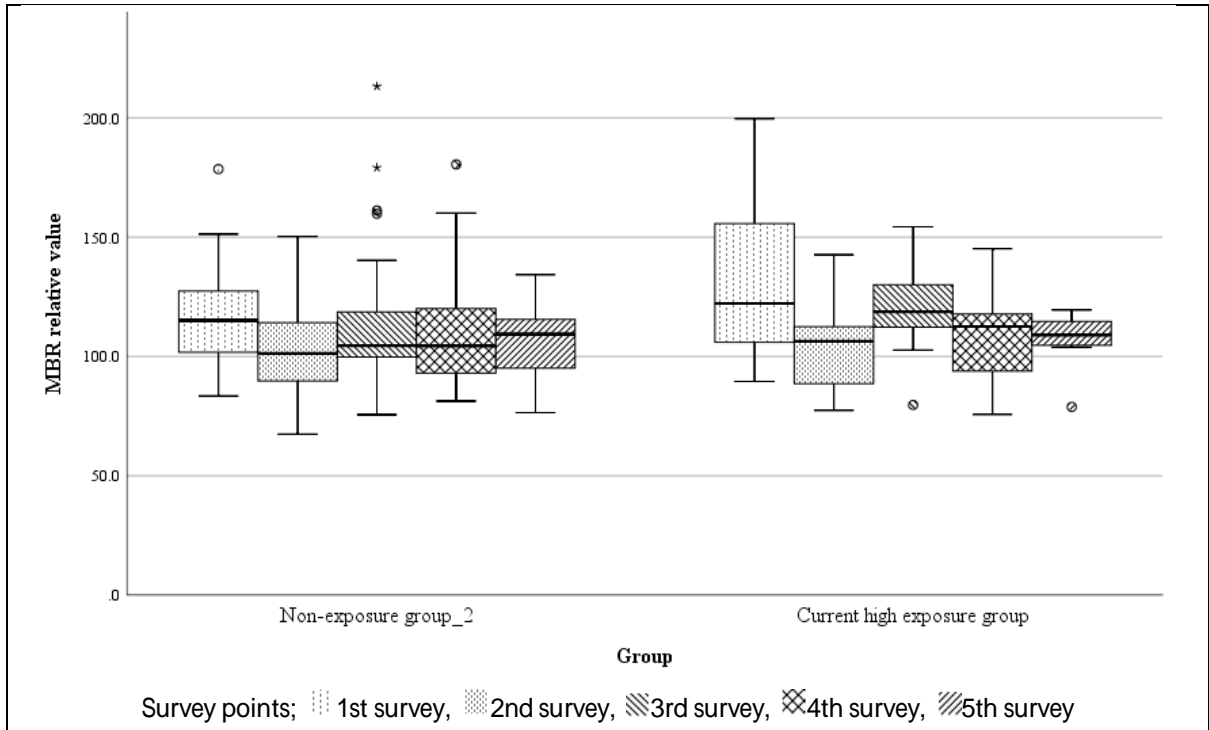


図5r. 中指の回復10分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.171

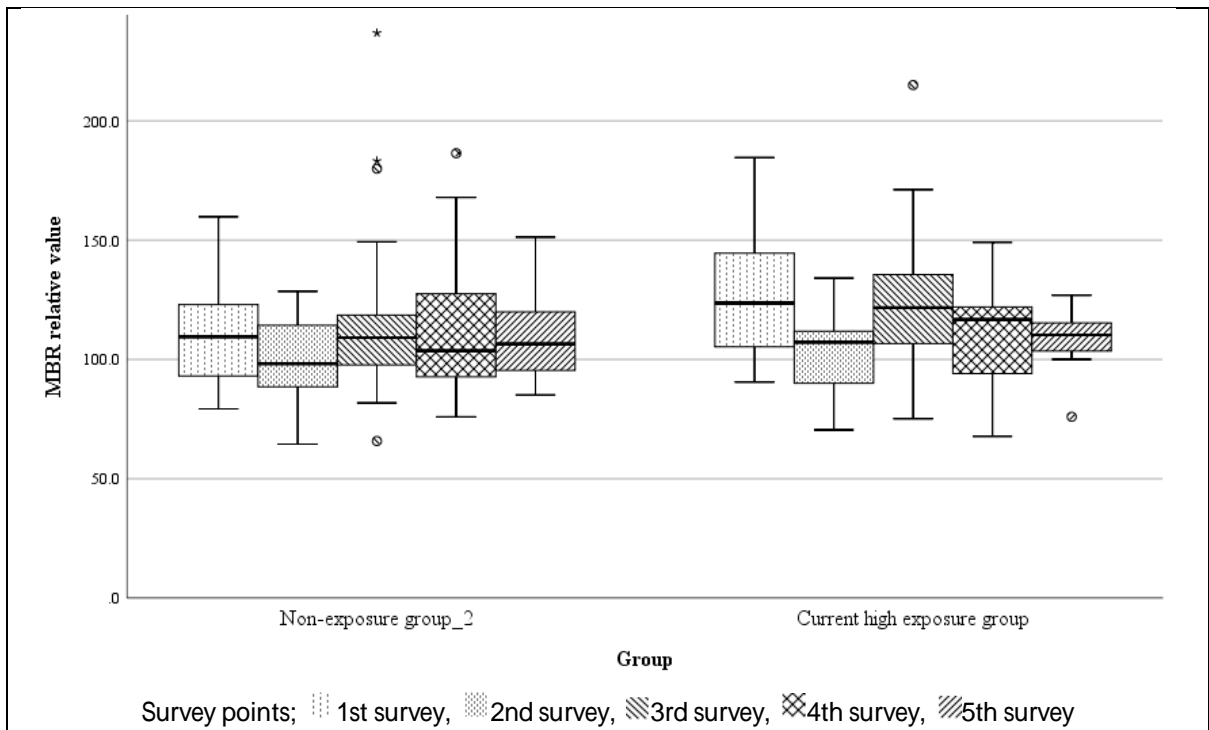


図5s. 環指の回復10分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.092

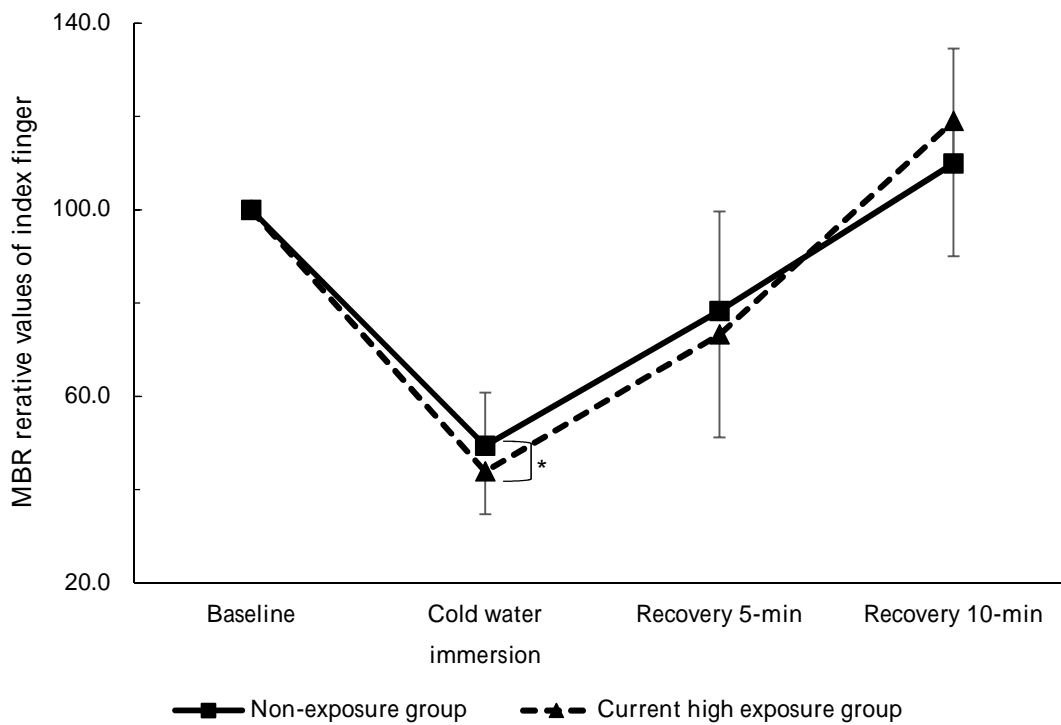


図5t. 示指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

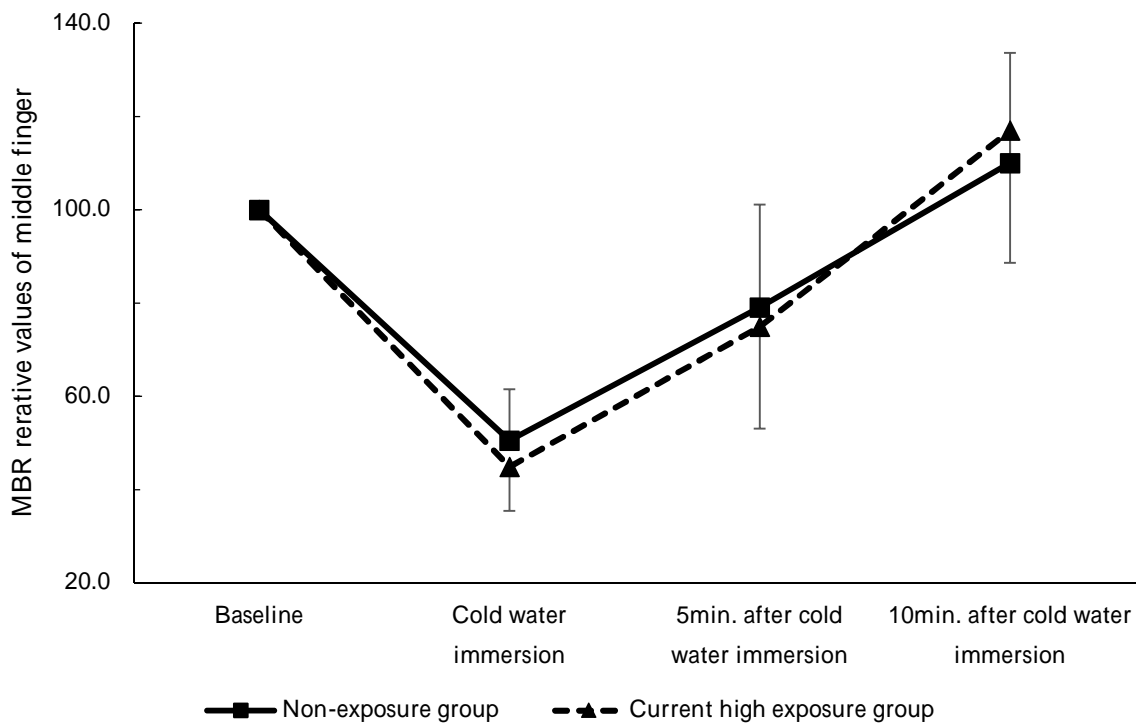


図5u. 中指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

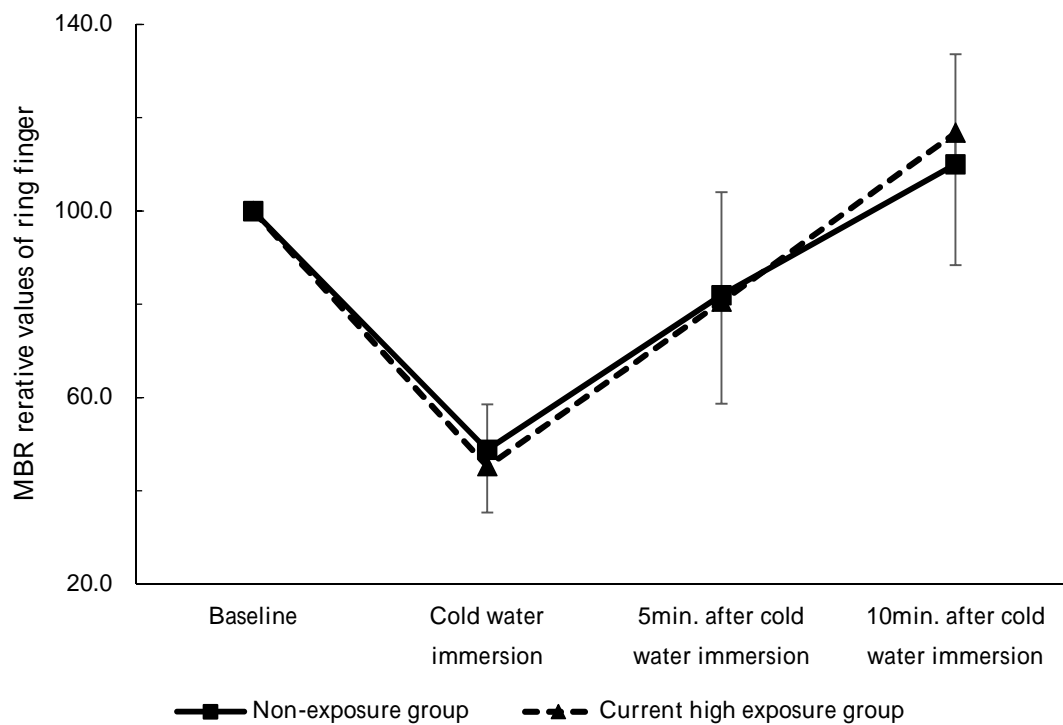


図5v. 環指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

資料 6：累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の 神経伝導速度検査による手指末梢神経の評価結果

A. 研究目的

本研究の目的は、振動工具取扱い者のこれまでの作業歴を詳細に調査することで得られた振動ばく露の累積値（累積振動ばく露量）を用いて、手指の神経伝導と累積振動ばく露量との関連を明らかにすることである。加えて、振動障害のスクリーニングとして、神経伝導速度検査の有用性を明らかにすることである。

B. 研究方法

i) 研究デザインとセッティング

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。インタビュー調査は産業医科大学で実施され、神経伝導速度検査は産業医科大学の臨床検査室で実施した。

ii) 参加者

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、72 名の男性から参加の申し込みが得られた。本研究においては、振動障害の既往歴がない者を被験者に選定した。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 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。

iii) 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。続いて、神経伝導速度検査を実施した。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。

iv) 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、年齢、現病歴、既往歴、現在の喫煙状況などの生活習慣、職業歴について調査した。

v) 振動工具取り扱いに関する質問紙

振動工具の過去および現在の取扱いの有無を全参加者に確認した。振動工具取扱いが有る参加者に対して、今までに取り扱ってきた振動工具の種類と作業内容、作業・休憩時間、保護具の使用状況、振動工具作業の記録、振動障害に係る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。振動工具取扱い状況について、振動工具の種類とモデルについて尋ねた。過去の振動工具取扱い頻度については、初めて振動工具を使用した年から初回調査まで1年毎に、振動工具の種類別に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）を尋ねた。現在の振動工具取扱い頻度については、半年ごとに調査毎振動工具の種類別に1日当たりの合計作業時間、6カ月間の月平均使用日数を尋ねた。

vi) 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（基発 0710 第 2 号）」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。

本調査では、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。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。本研究では、質問紙調査により各振動工具の型番を確認し、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。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（式1）。

$$\sum_{k=0}^n (A(8) [\text{unit: m/s}^2]) \times (\text{Coefficient of use frequency}) \quad \dots \text{式 1}$$

n=vibration tool handling years

vii) Nerve Conduction Study (NCS)

手指末梢神経を皮膚上で電気刺激し、誘発された電位を記録し、伝導速度、振幅、遠位潜時を測定することによって末梢神経機能を評価する検査である。正中神経および尺骨神経それぞれの運動神経および感覚神経を測定することにより、末梢神経障害の有無、障害部位や障害の程度、障害の範囲を評価する。

viii) グループ化

viii-a) 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、High exposure group と 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。

viii-b) 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 2.5m/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。

ix) 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た時は、即時検査を中止することを説明した。

x) 統計学的分析

はじめに、カイ二乗検定または一元配置分散分析を用い、振動工具取扱いによる3群あるいは2群の分類で個人要因と職業性要因の比較を行った。

続いて、末梢血流に影響を与える要因を評価するため、Linear mixed model (LMM)による分析を行った。LMMは、目的変数としてNCSの各指標とした。従属変数について、参加者はrandom effectとして処理し、振動工具取扱い状況（3群または2群）、調査点、年代（30歳未満、30歳代、40歳代、50歳以上）、肥満

(Body mass index \geq 25) の有無 , 糖尿病の有無 , 現在の喫煙の有無は fixed effects として処理した。その後の多重比較検定は , Bonferroni 法を用いた。統計解析には , IBM SPSS 24.0J (IBM corp., New York) を使用した。有意水準は $p < 0.05$ とした。

び尺骨神経の 2 群比較の結果を示す。

C. 結果

i) 参加者の属性

全累積振動工具ばく露量による分類による各群の参加者数は , 振動工具非取扱い群 (Non-exposure group 1) 29 名、振動工具高取扱い群 (High exposure group) 21 名、振動工具低取扱い群 (Low exposure group) 21 名であった (図 6a)。また , 現累積振動ばく露量による分類による各群の参加者数は , 現振動工具高取扱い群 (Current high exposure group) 11 名、振動工具非取扱い群 (Non-exposure group 2) 27 名であった (表 6a)。

iii) 神経伝導速度検査

図 6b-6l に右正中神経および尺骨神経の 3 群間比較の結果 , 図 6m-6w に左正中神経および尺骨神経の 3 群比較の結果 , 図 6x-6ah に利き手の右正中神経および尺骨神経の 3 群間比較の結果を示す。図 6ai-6as に右正中神経および尺骨神経の 2 群間比較の結果 , 図 6at-6bd に左正中神経およ

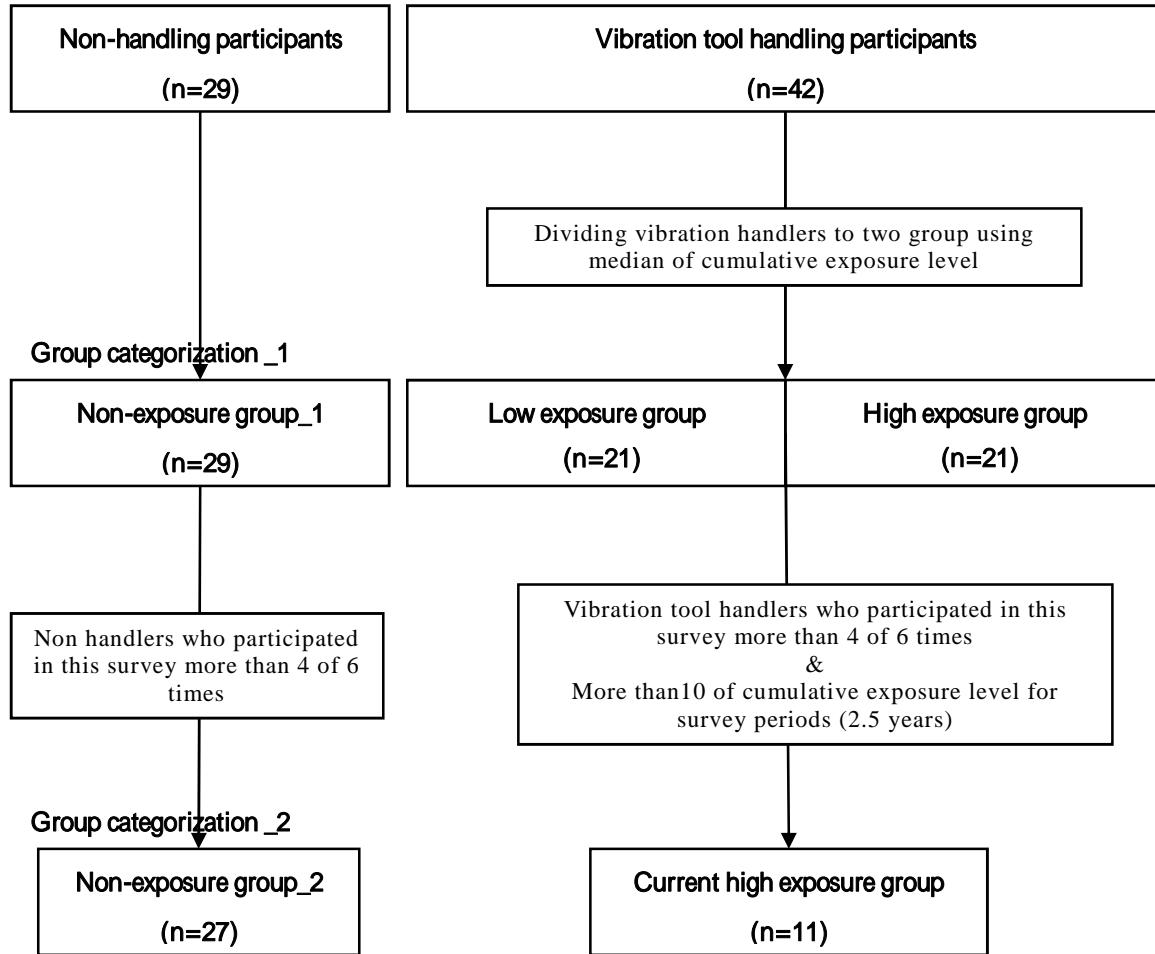


図 6a. 研究のフローと参加者の人数

表 6a. 参加者の属性

	Vibration tool exposure status					
	Non-exposure group (n=29)		Low exposure group (n=21)		High exposure group (n=21)	
	n/mean	(SD/%)	n/mean	(SD/%)	n/mean	(SD/%)
Age	41.9	(11.0)	30.5	(10.4)	37.8	(7.7)
Obesity (BMI > 25)	10	(34.5)	9	(42.9)	9	(42.9)
Diabetes	2	(6.9)	2	(9.5)	2	(9.5)
Cigarette Smoking	6	(20.7)	11	(52.4)	11	(52.4)
Left hander	2	(7.0)	1	(4.8)	1	(4.8)

	Vibration tool exposure status			
	Non-exposure group (n=27)		Current High exposure group (n=11)	
	n/mean	(SD/%)	n/mean	(SD/%)
Age	42.1	(10.8)	33.1	(6.3)
Obesity (BMI > 25)	9	(33.3)	5	(45.5)
Diabetes	2	(7.4)	0	(0.0)
Cigarette Smoking	4	(14.8)	4	(36.3)
Left hander	2	(7.4)	0	(0.0)

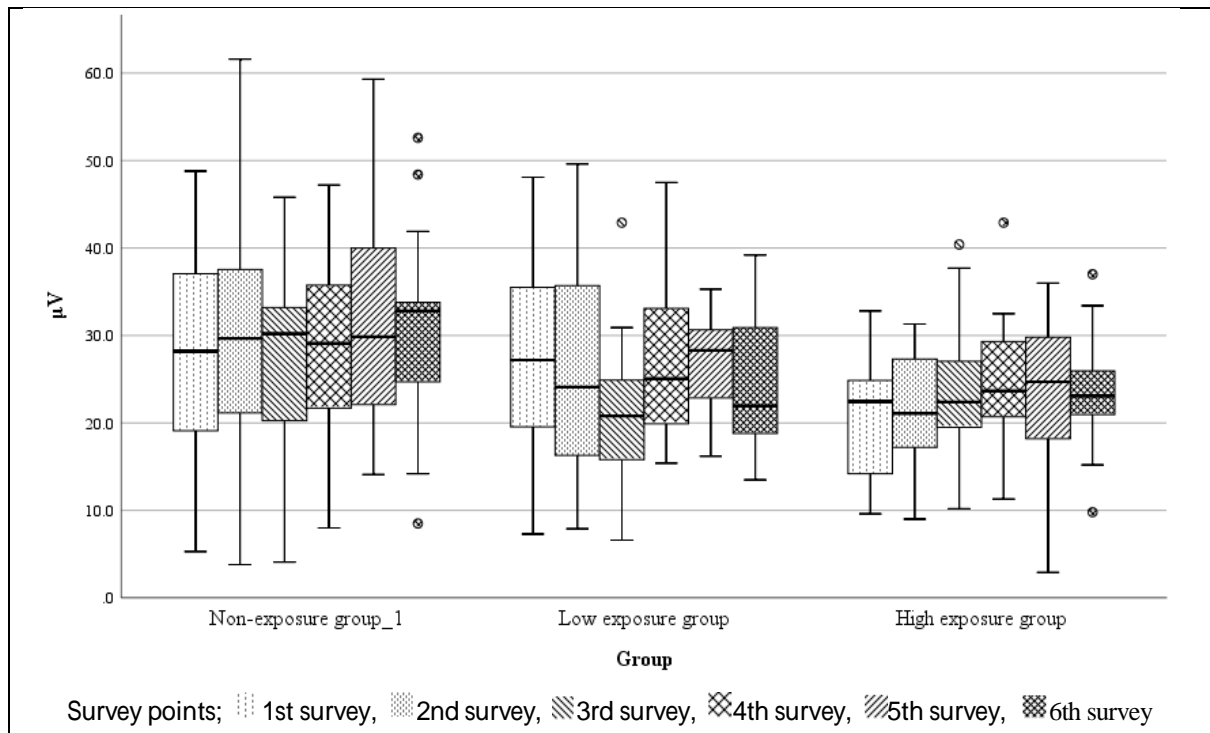


図 6b. 右正中神経感覚神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.004$, Post hoc-test: Non-exposure group-High exposure group: $P=0.006$

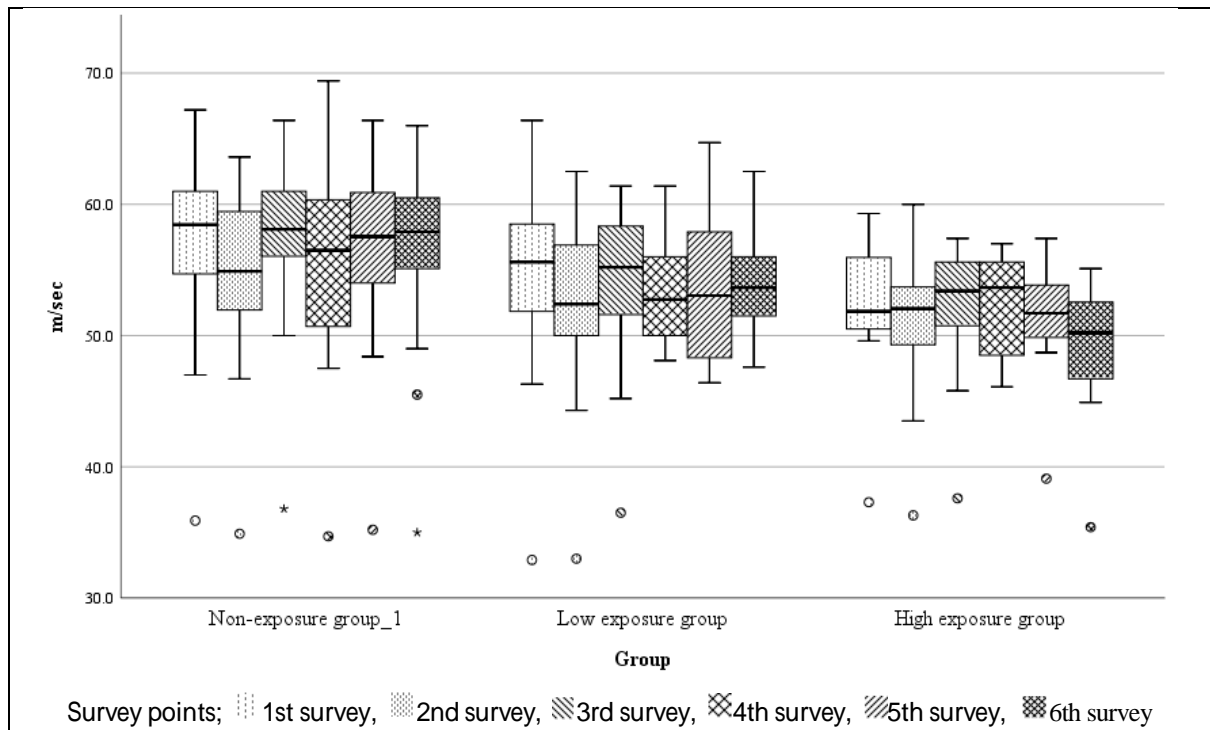


図 6c. 右正中神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.013$, Post hoc-test: Non-exposure group-High exposure group: $P=0.014$

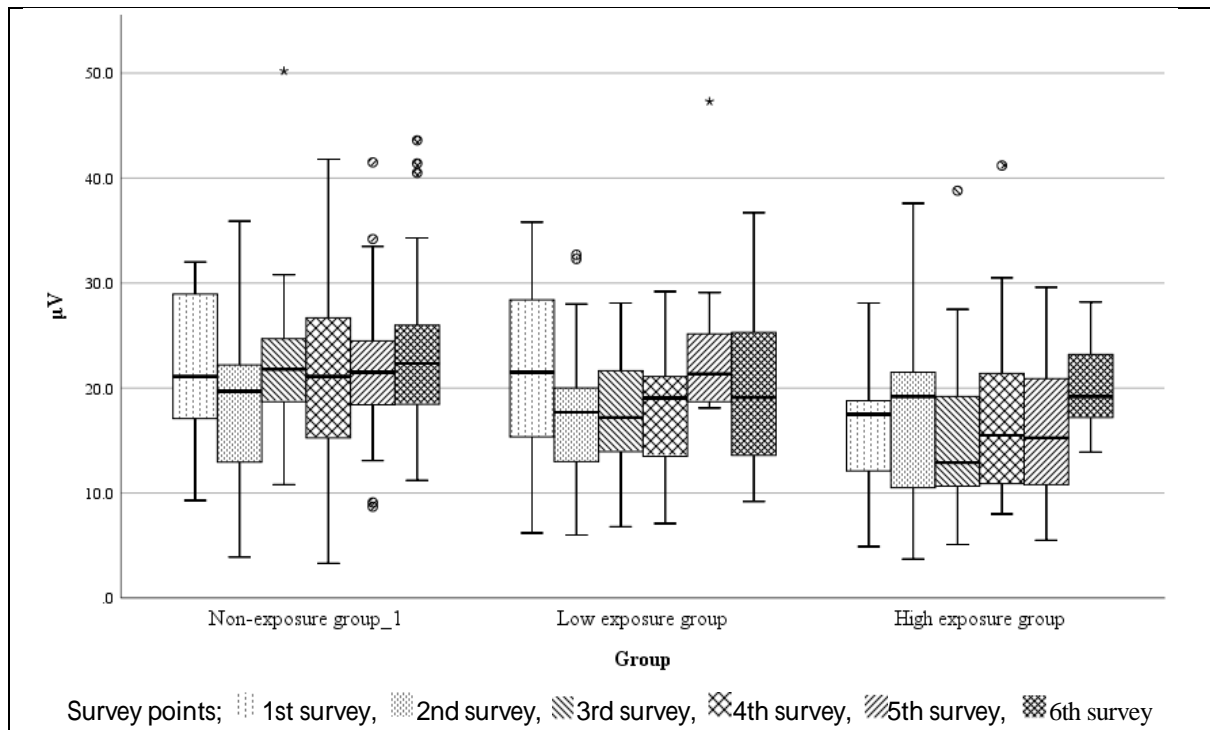


図 6d.右尺骨神経感覚神経振幅の3群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.012$, Post hoc-test: Non-exposure group-High exposure group: $P=0.011$

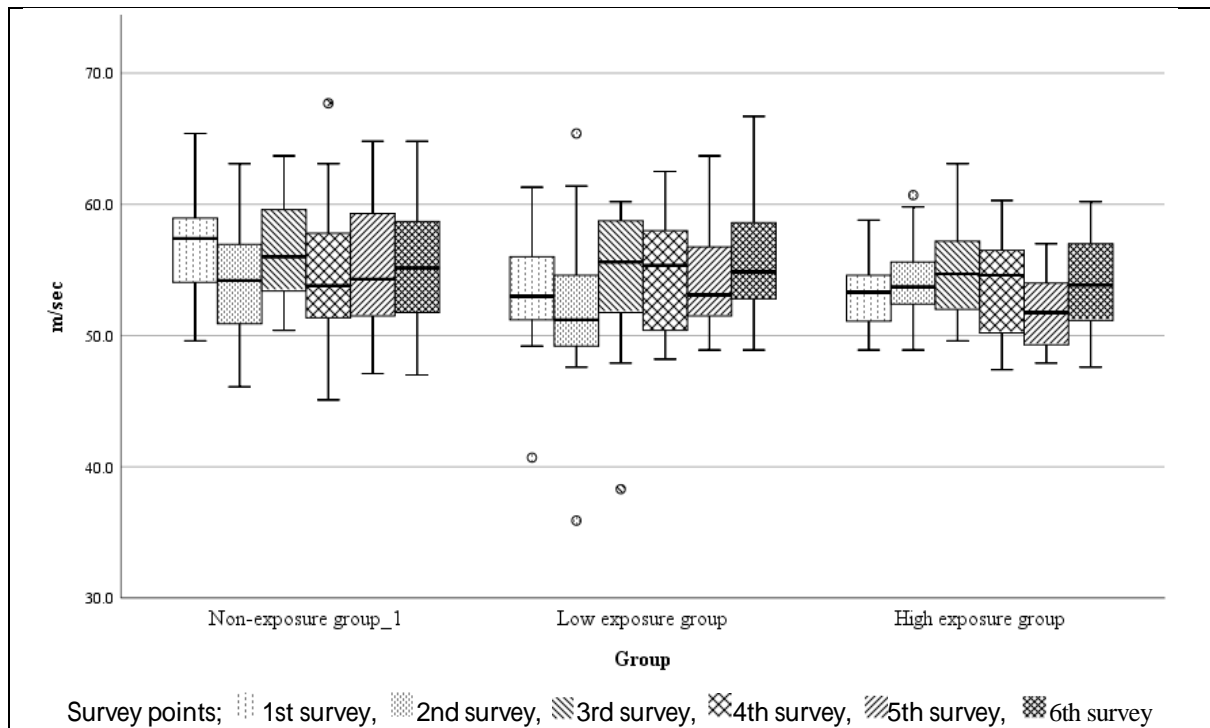


図 6e. 右尺骨神経感覚神経伝導速度の3群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.069$

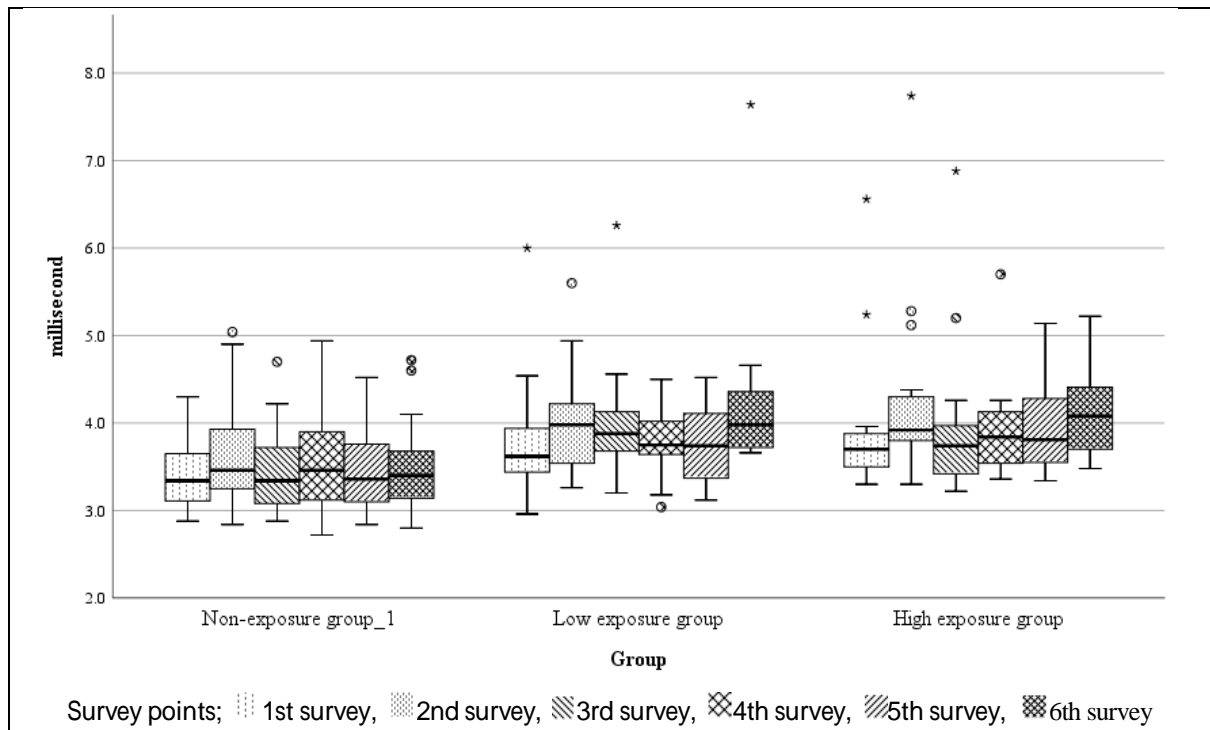


図 6f. 右正中神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.003$, Post hoc-test: Non-exposure group-High exposure group: $P=0.004$

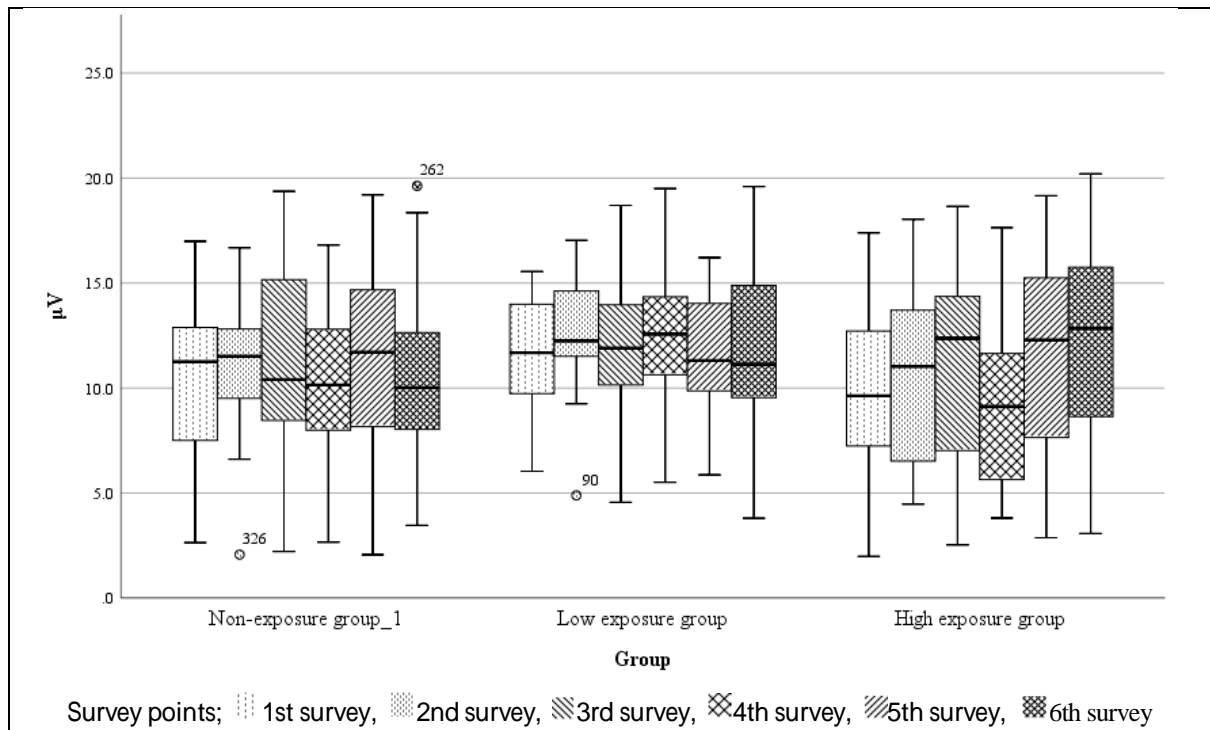


図 6g. 右正中神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.079$

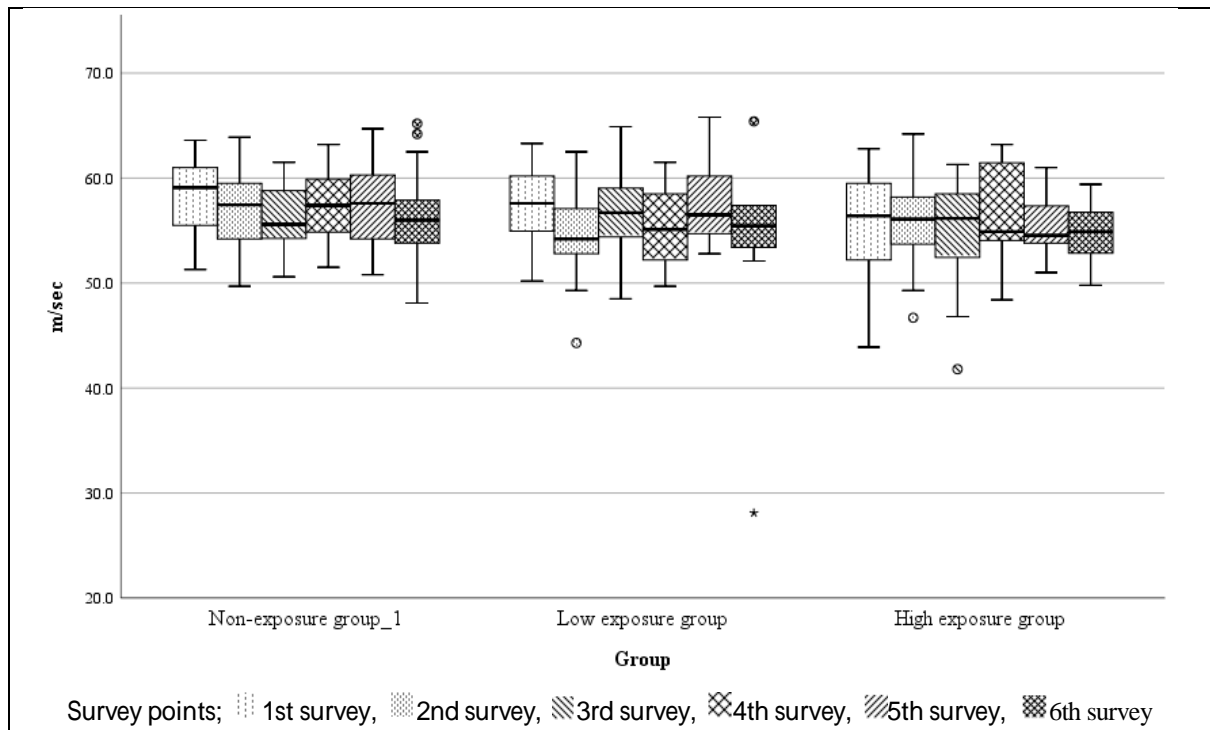


図 6h. 右正中神経運動神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.057

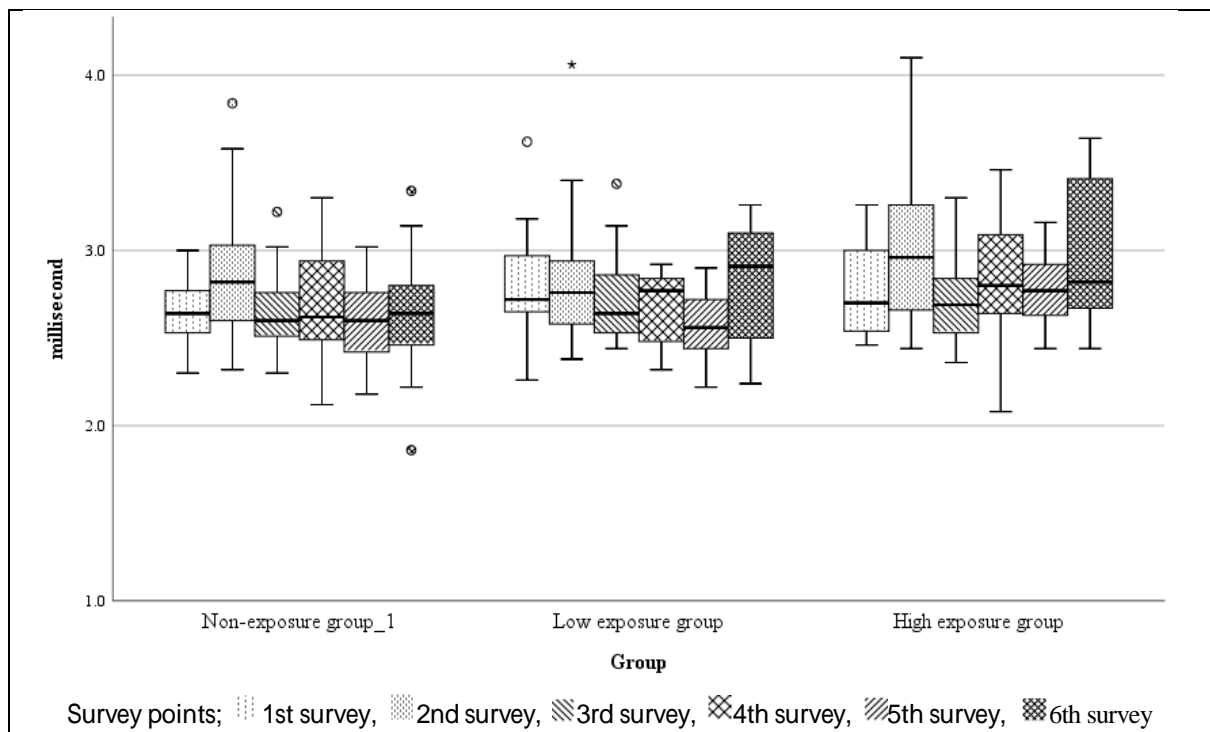


図 6i. 右尺骨神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.054

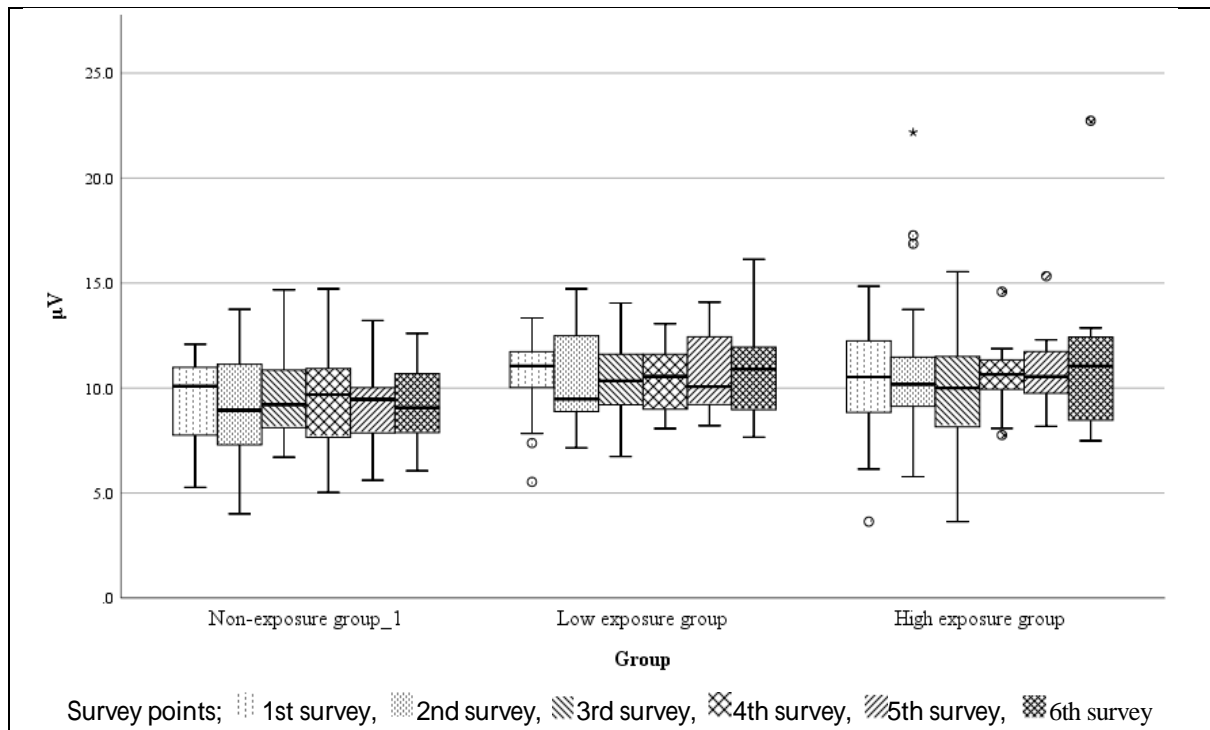


図 6j. 右尺骨神経運動神経振幅の 3 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.115

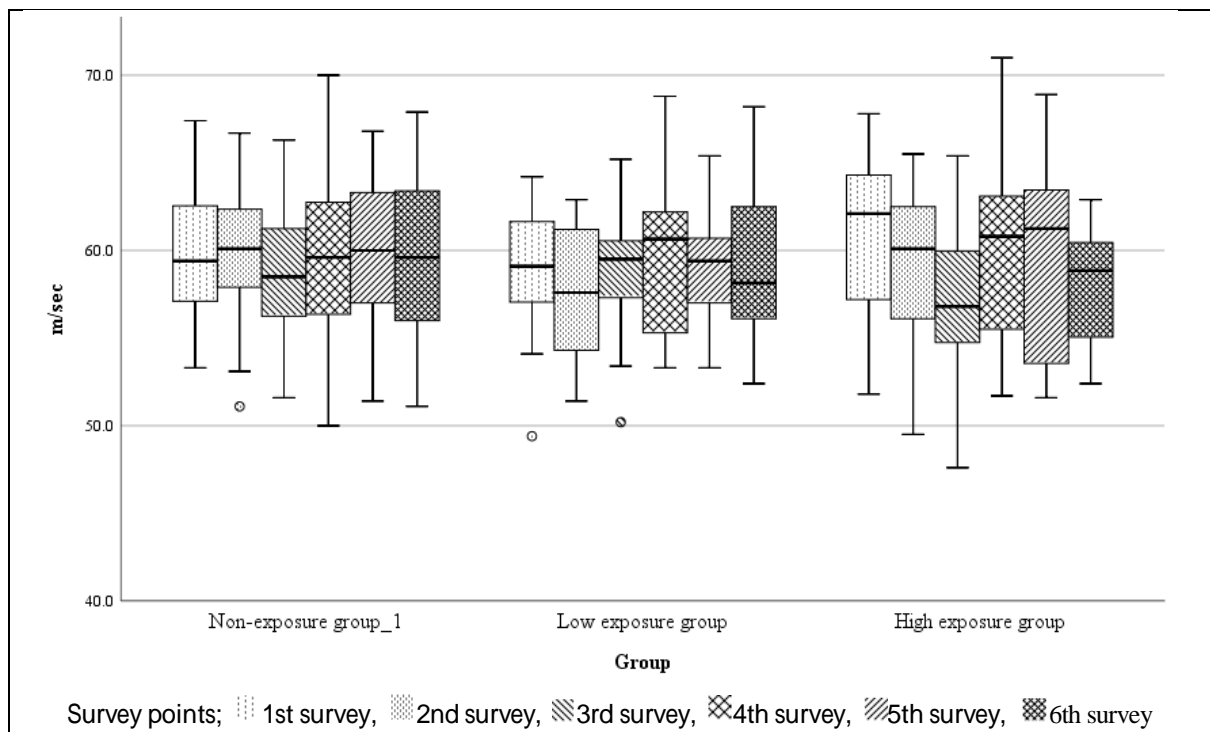


図 6k. 右尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 3 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.173

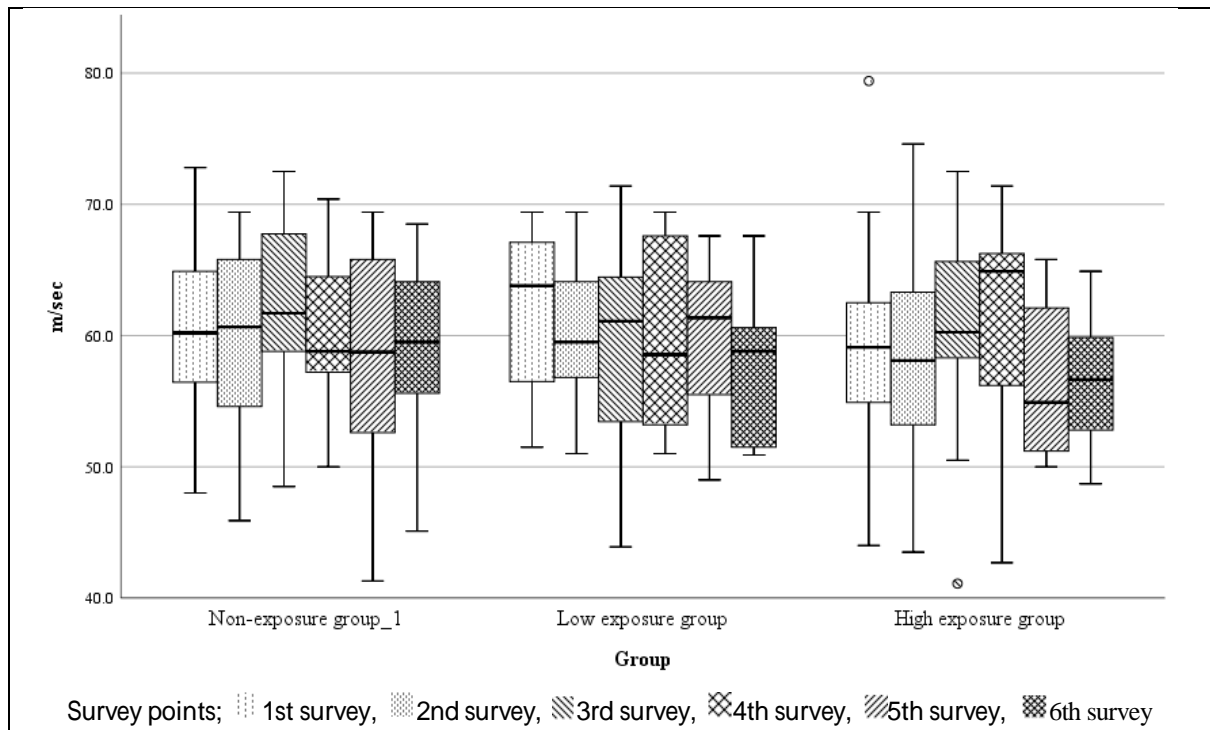


図 61. 右尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.624

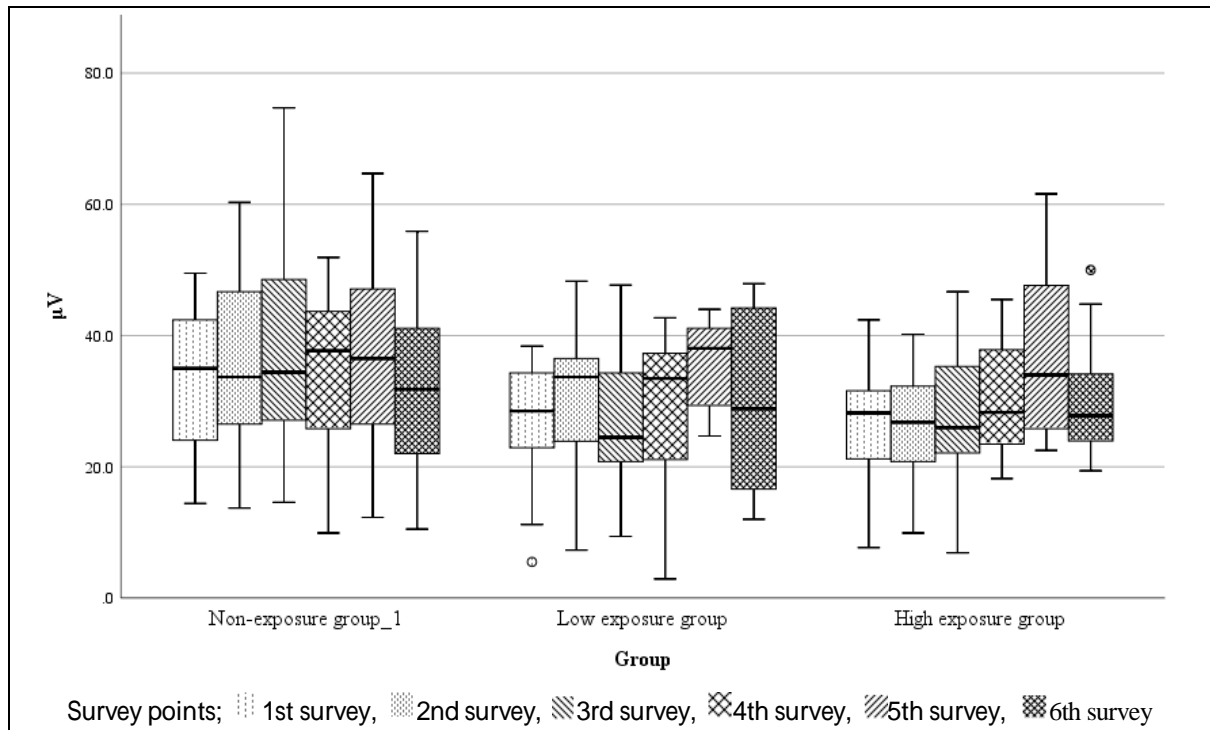


図 62. 左正中神経感覚神経振幅の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.007, Post hoc-test: Non-exposure group/Low exposure group: P=0.017, Non-exposure group-High exposure group: P=0.032

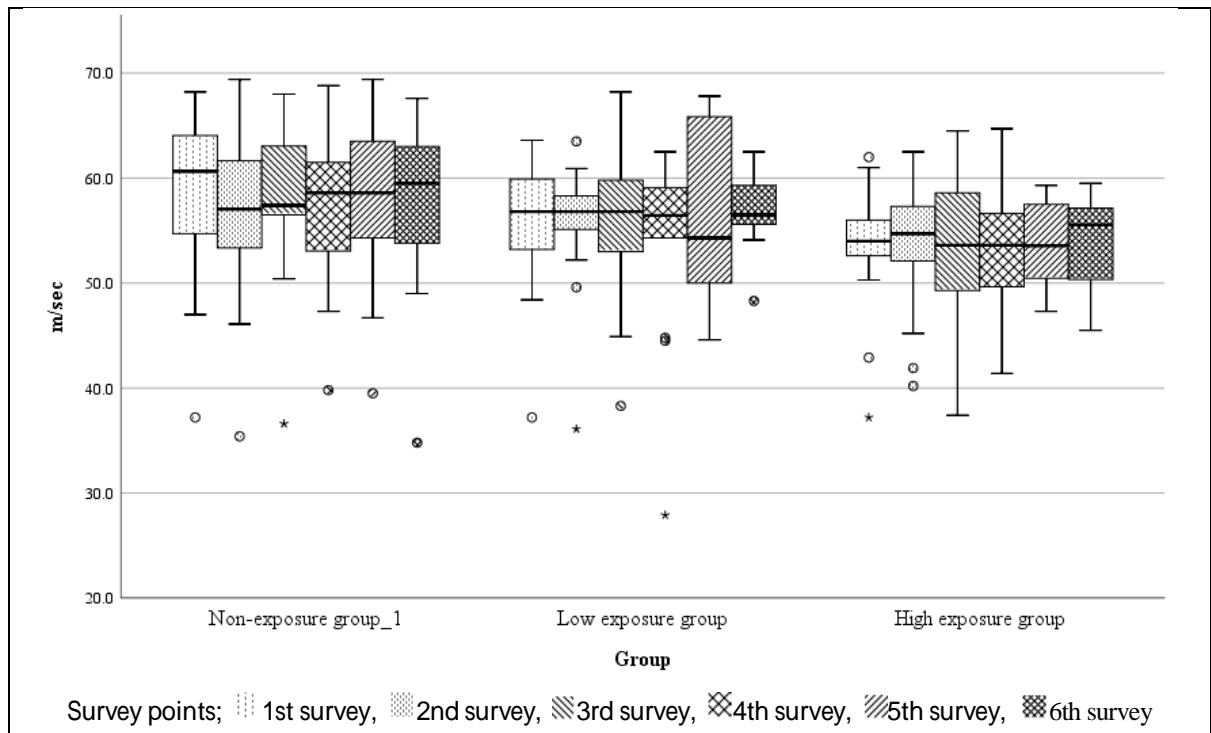


図 6n. 左正中神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.007$, Post hoc-test: Non-exposure group-High exposure group: $P=0.007$

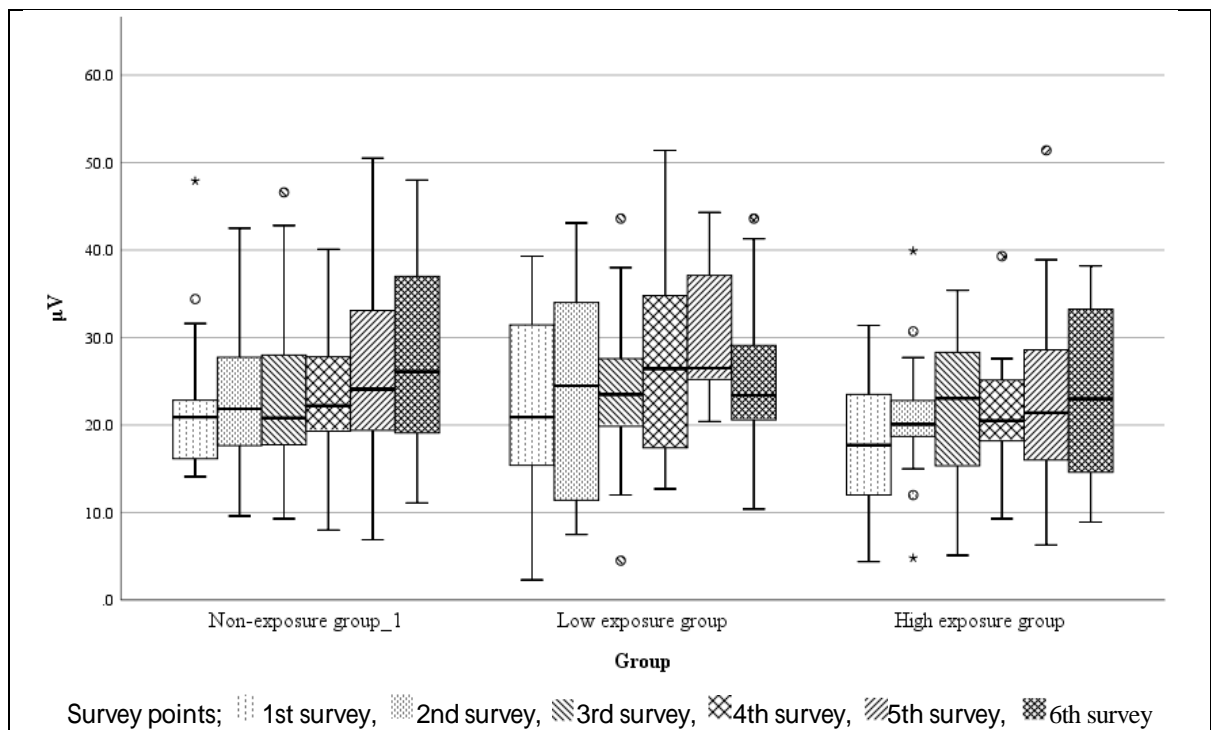


図 6o. 左尺骨神経感覚神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.240$

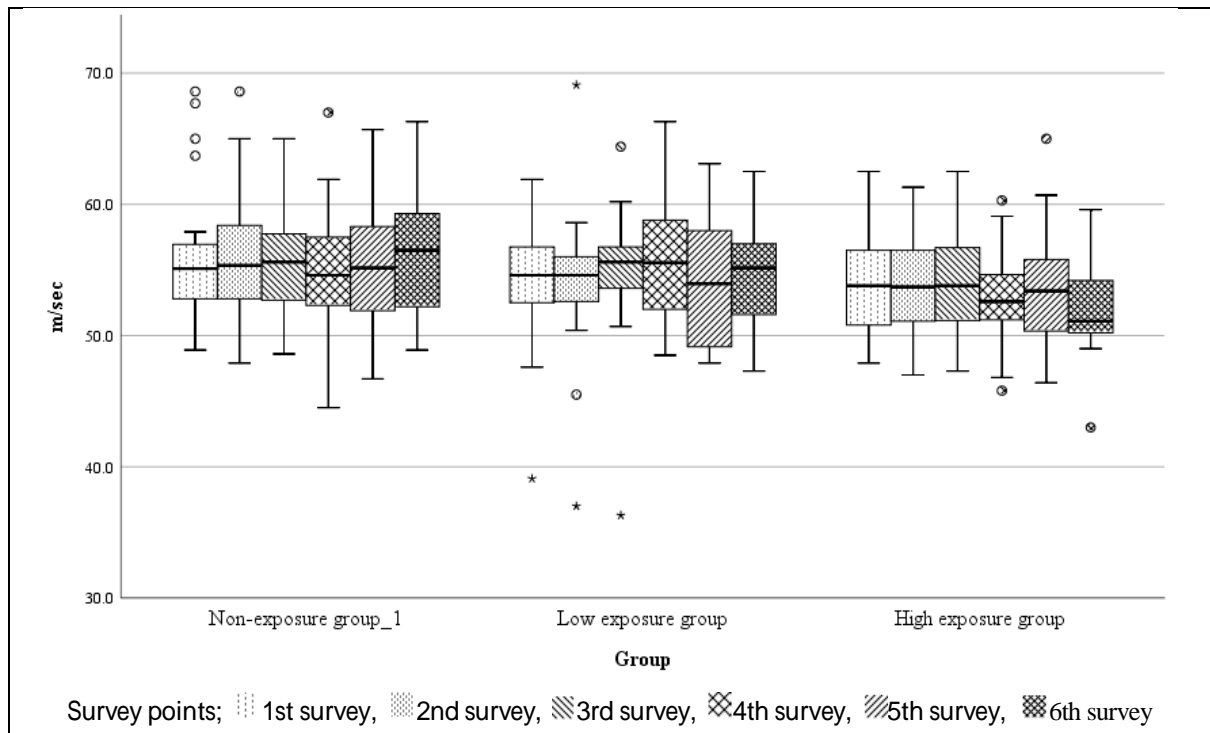


図 6p. 左尺骨神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.054

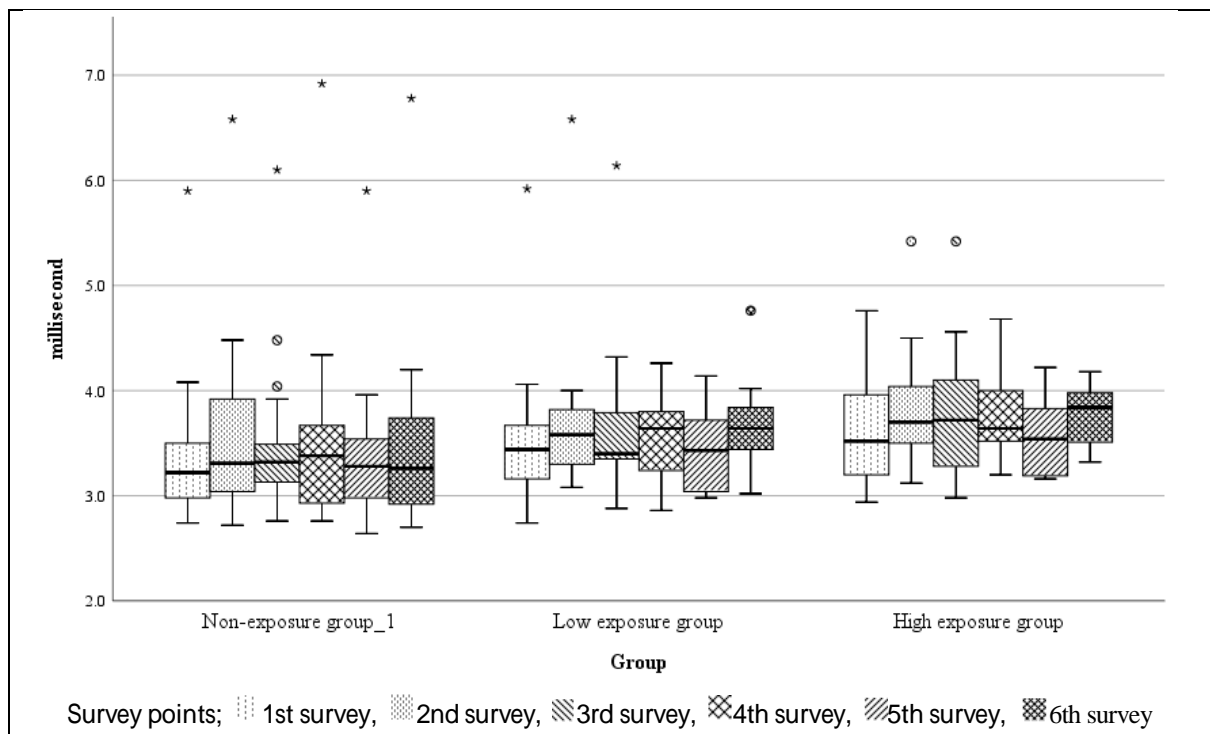
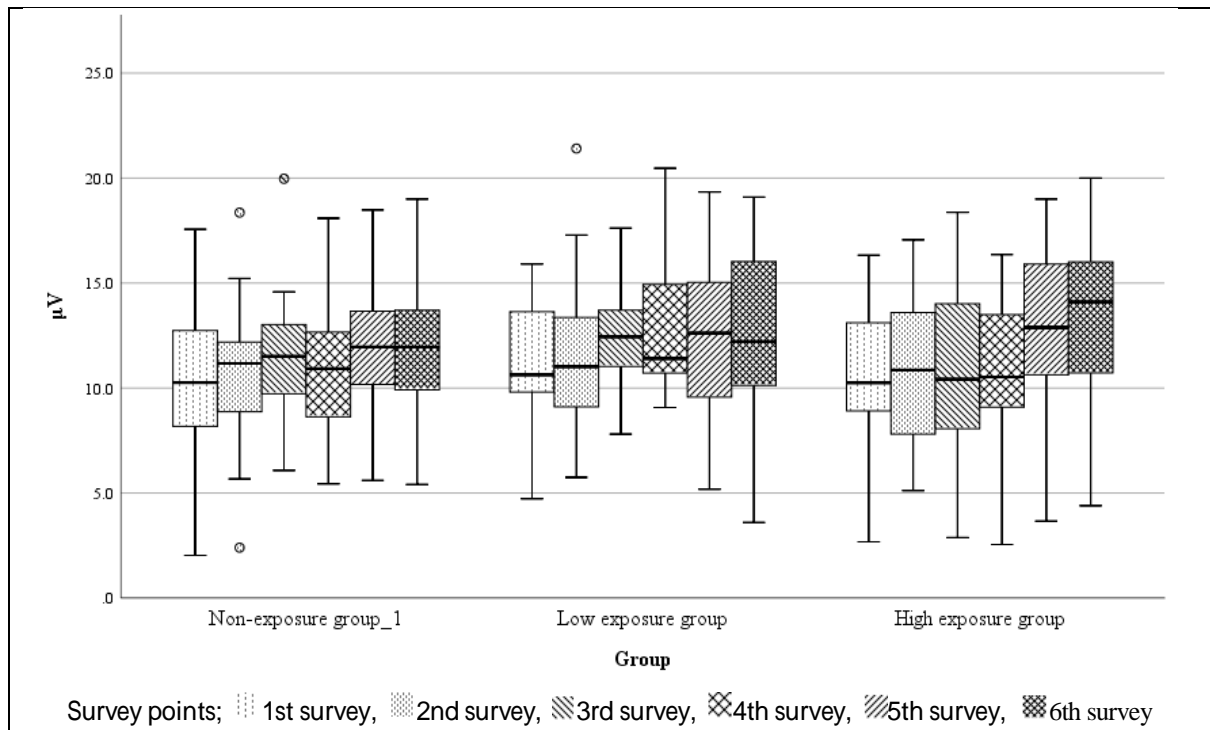


図 6q. 左正中神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.054



Survey points; 1st survey, 2nd survey, 3rd survey, 4th survey, 5th survey, 6th

図 6r. 左正中神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.033$, Post hoc-test: Low exposure group-High exposure group: $P=0.029$

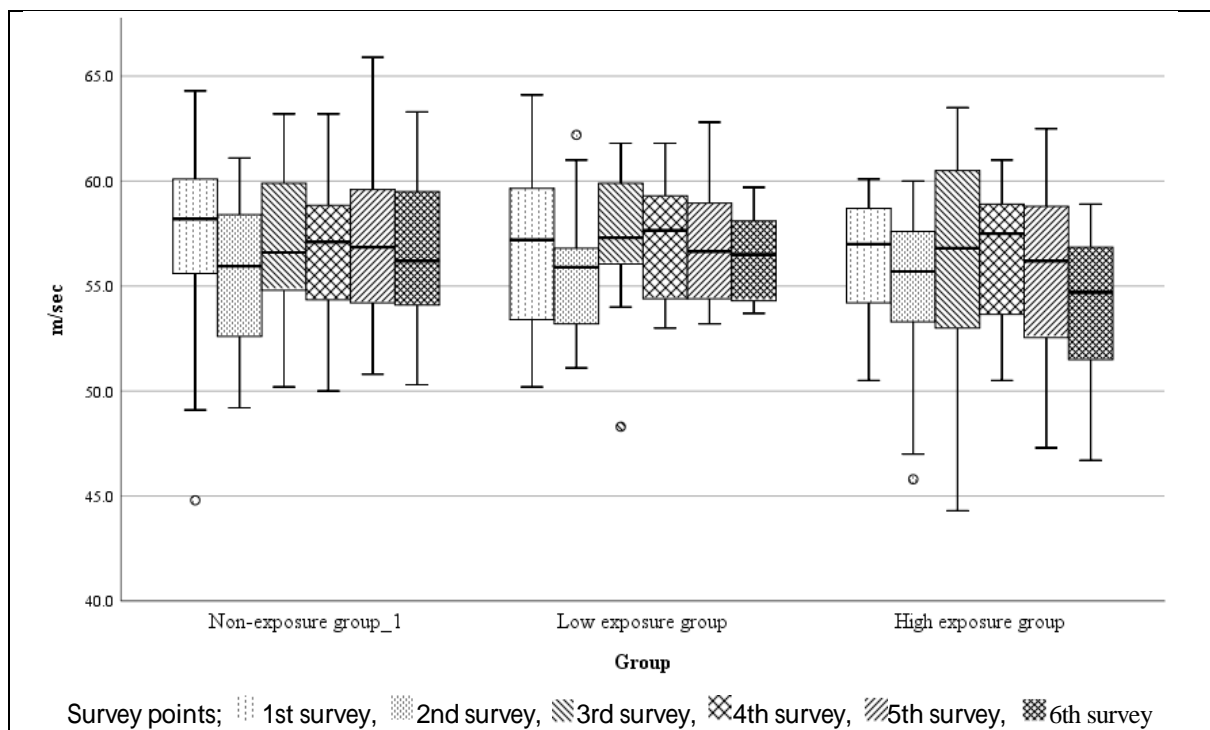


図 6s. 左正中神経運動神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.193$

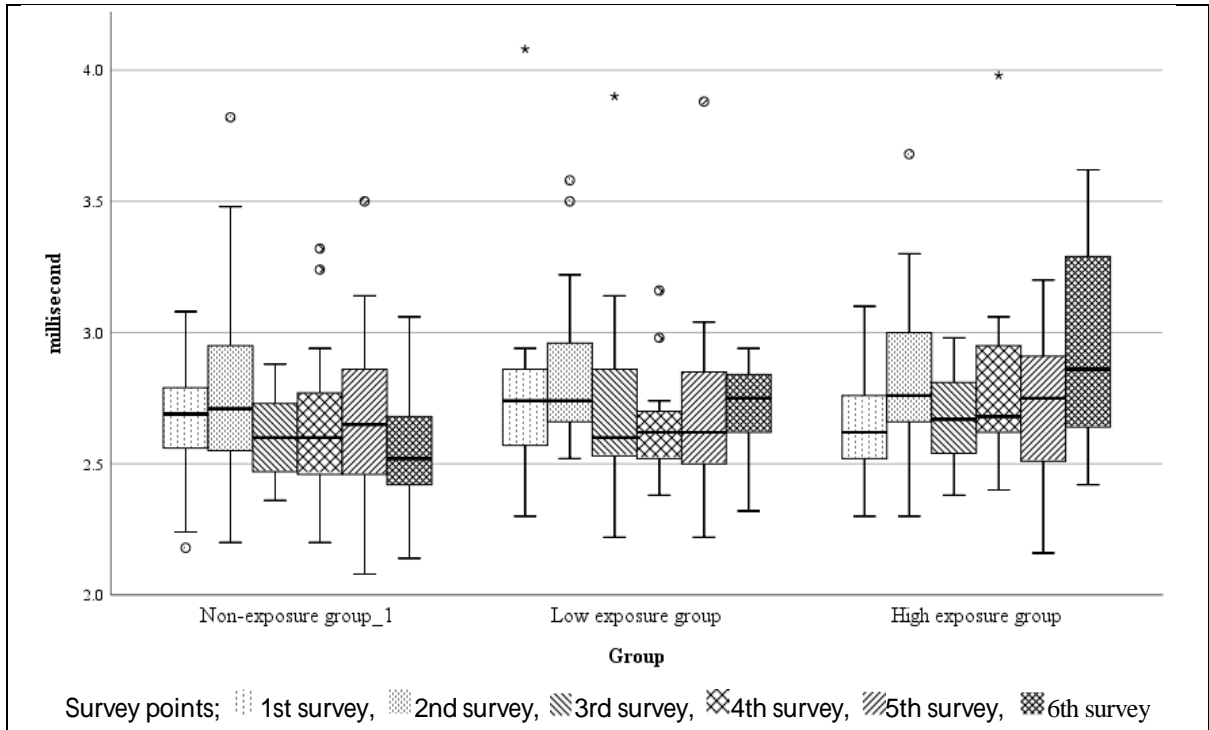


図 6t. 左尺骨神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.213

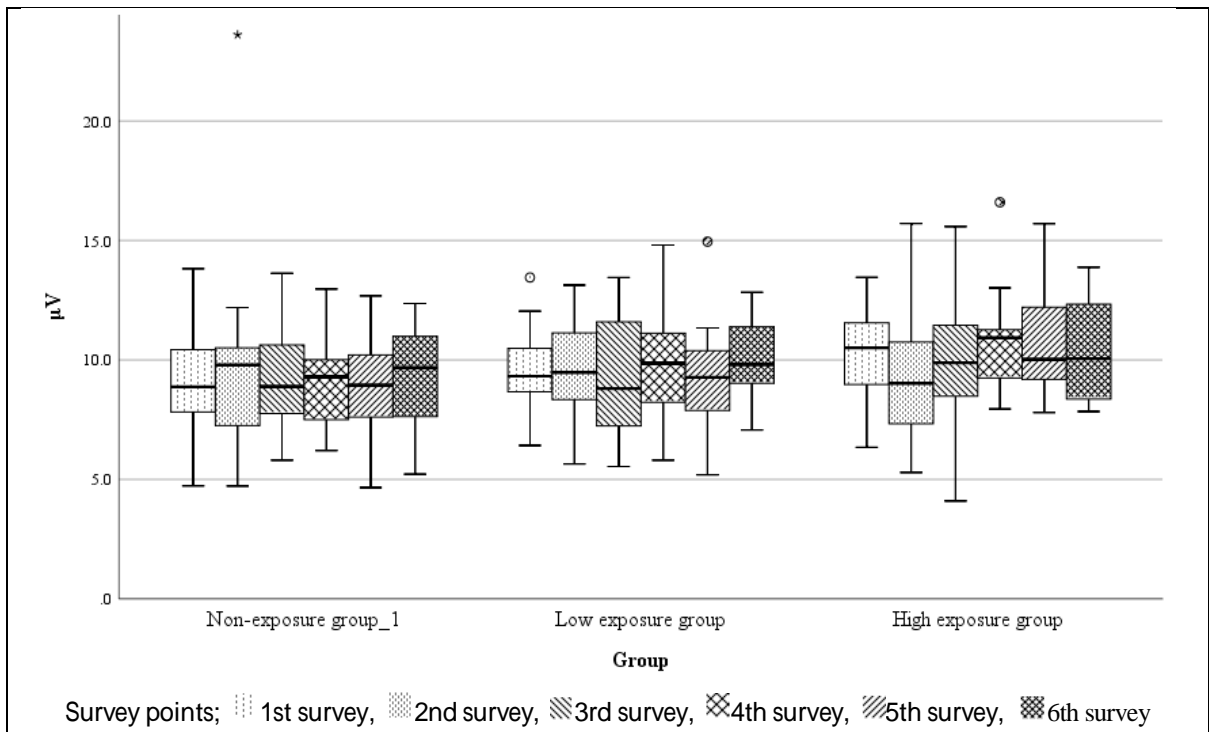


図 6u. 左尺骨神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.423

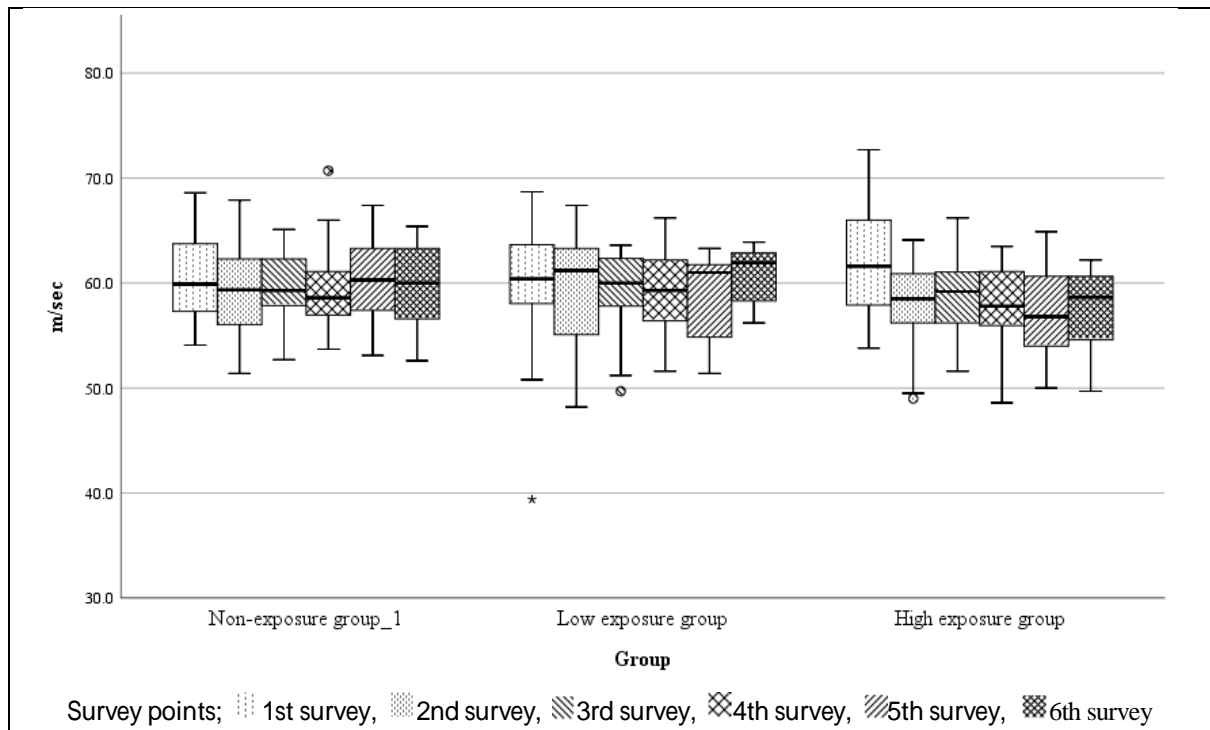


図 6v. 左尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.678

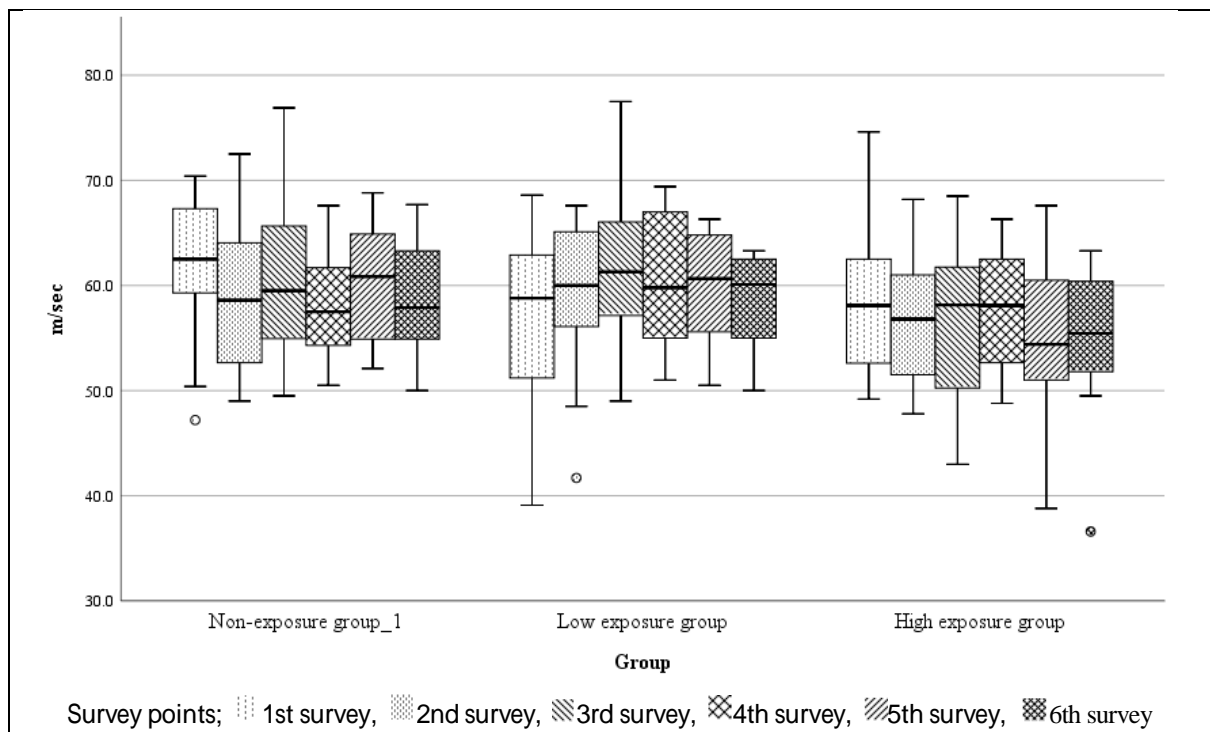


図 6w. 左尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.379

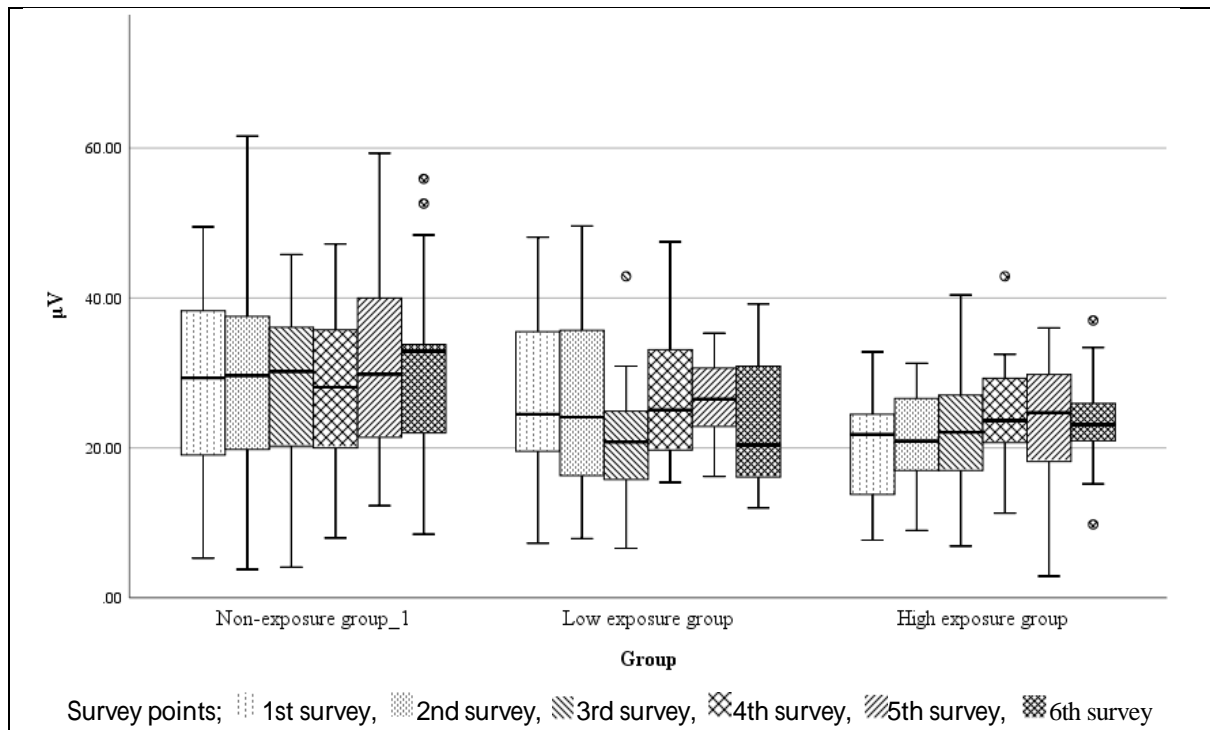
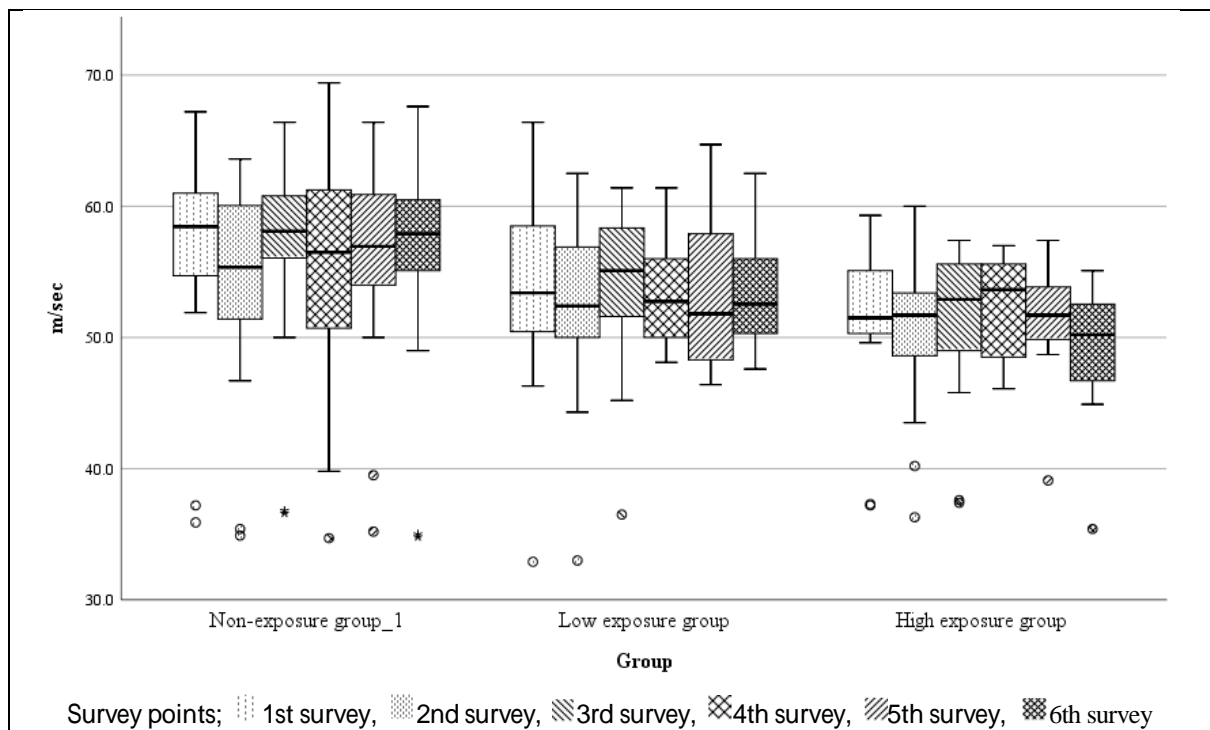


図 6x. 利き手正中神経感覚神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.001$, Post hoc-test: Non-exposure group/Low exposure group: $P=0.014$, Non-exposure group-High exposure group: $P=0.002$



Survey points; 1st survey, 2nd survey, 3rd survey, 4th survey, 5th survey, 6th

図 6y. 利き手正中神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.005$, Post hoc-test: Non-exposure group-High exposure group: $P=0.005$

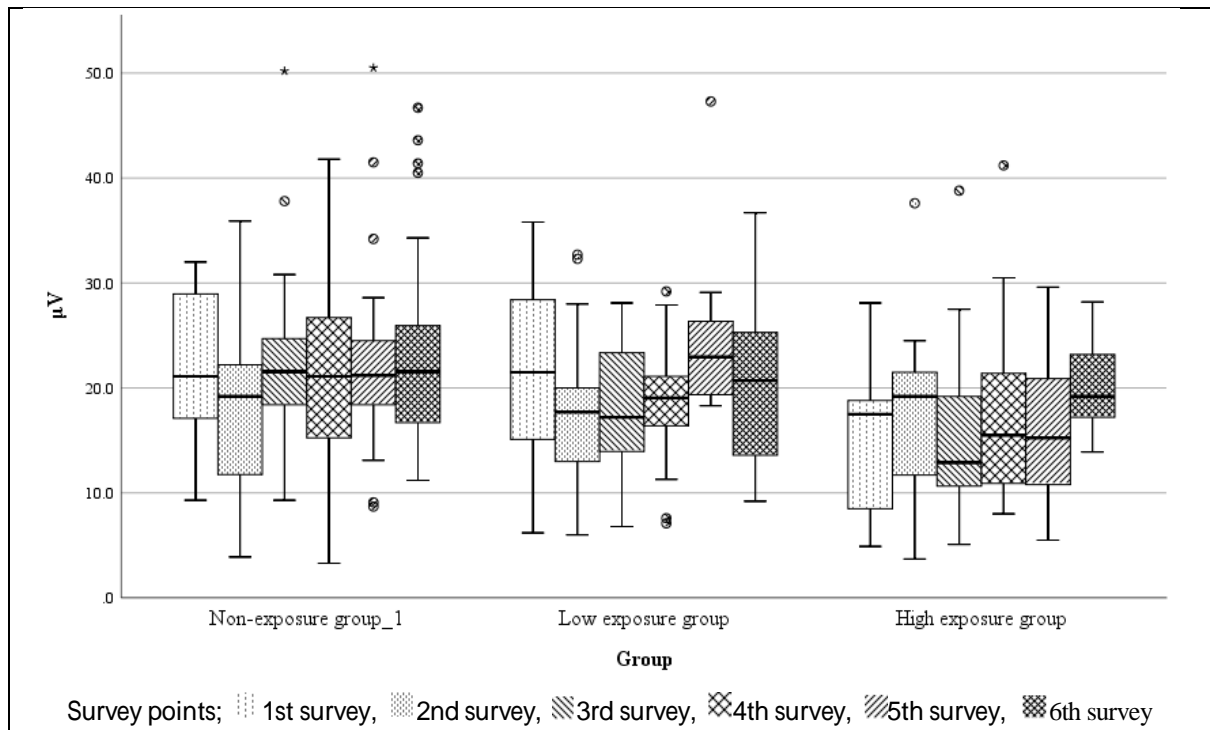


図 6z. 利き手尺骨神経感覚神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.011$, Post hoc-test: Non-exposure group-High exposure group: $P=0.010$

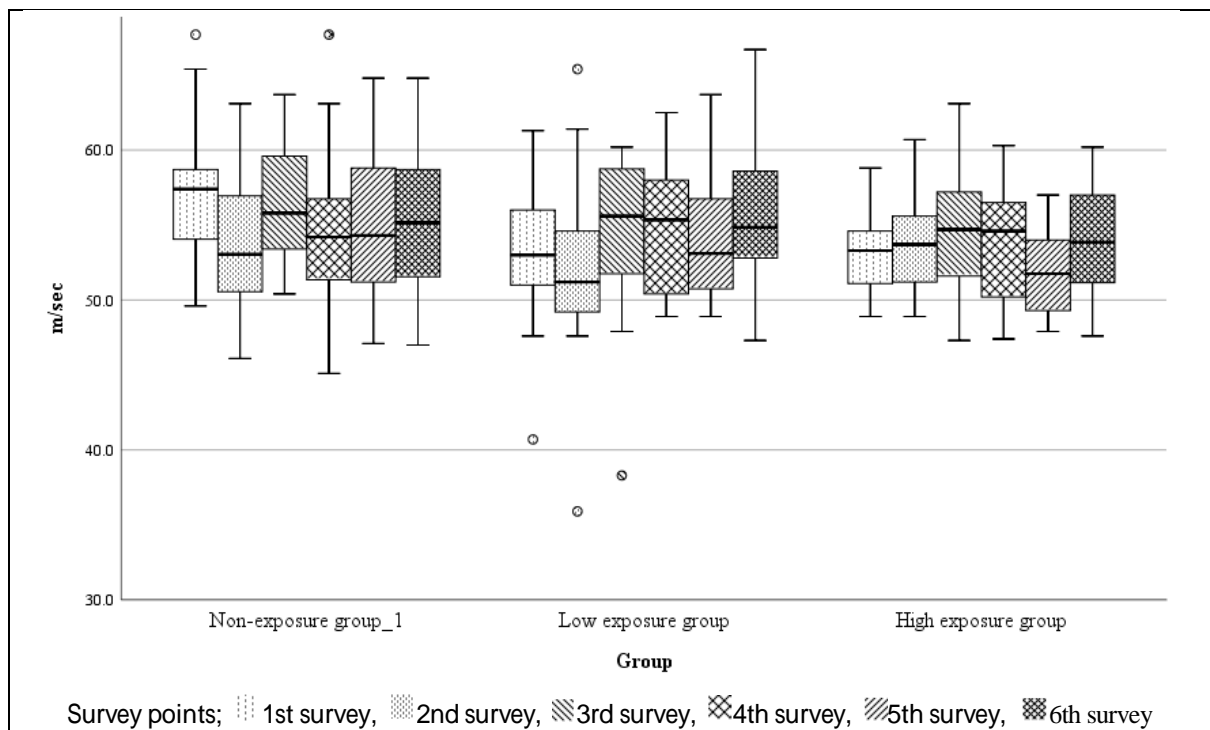


図 6aa. 利き手尺骨神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.063$

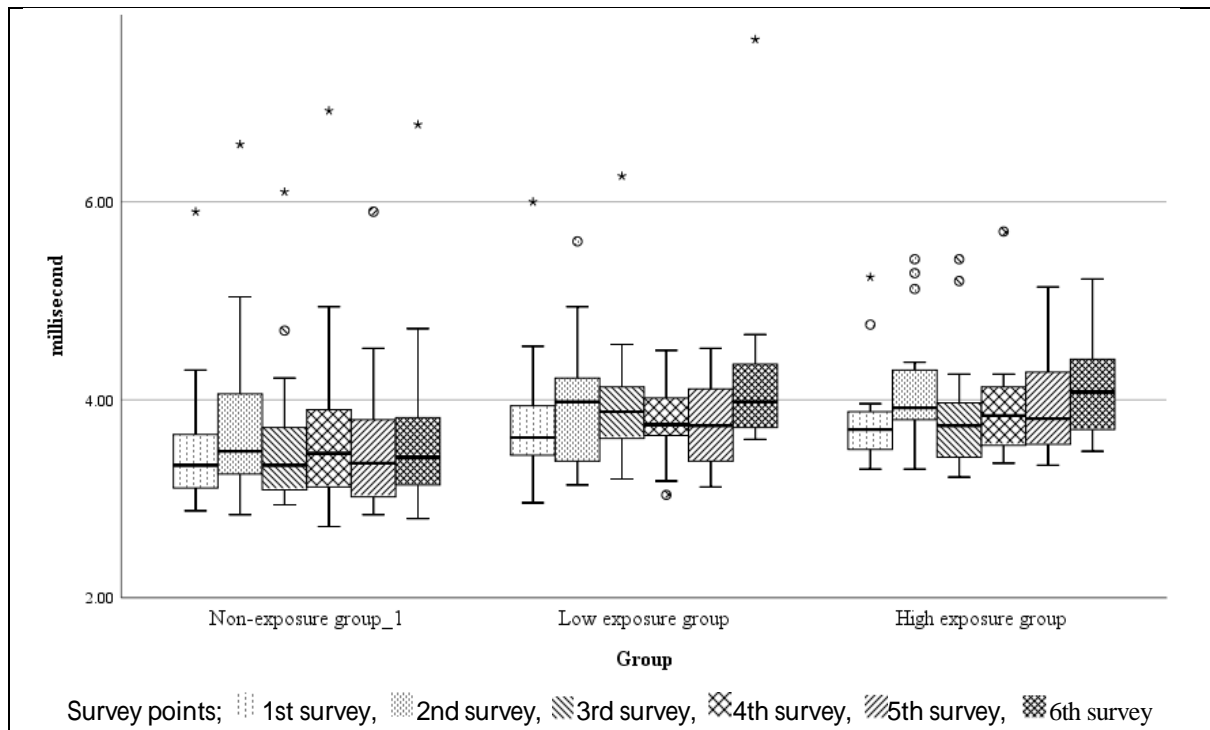


図 6ab. 利き手正中神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.047$, Post hoc-test: not significant among groups

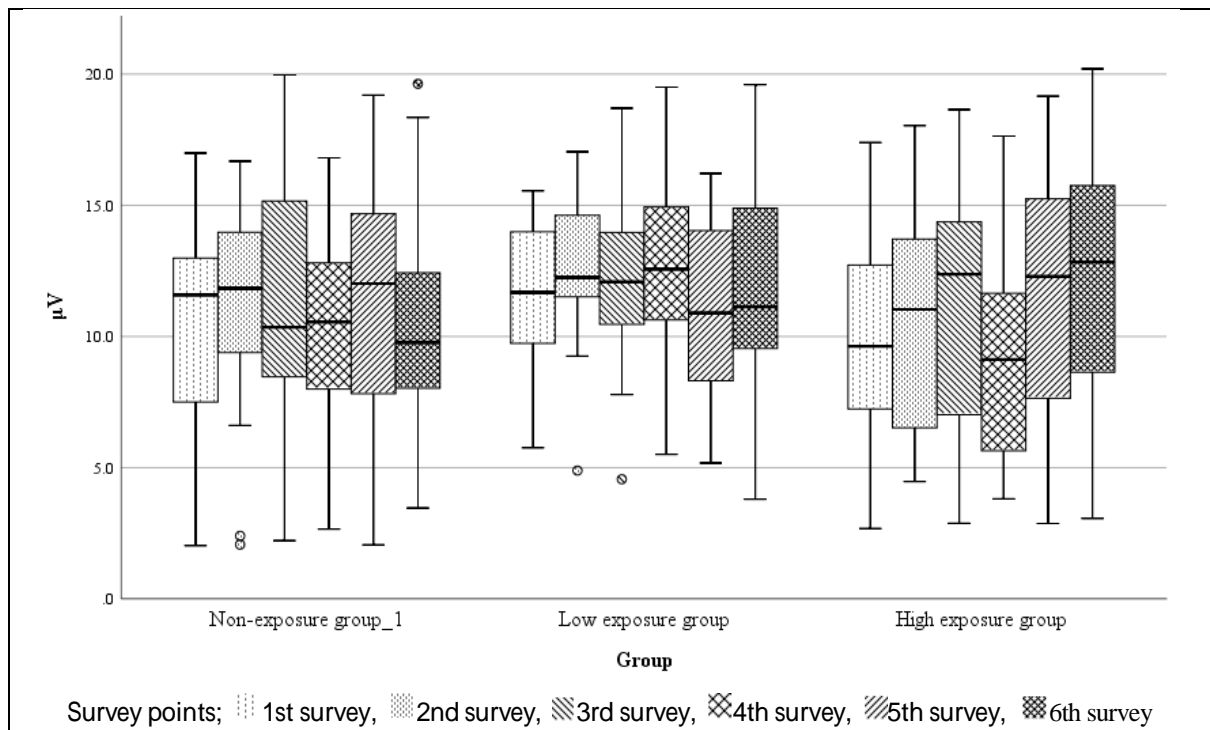


図 6ac. 利き手正中神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.089$

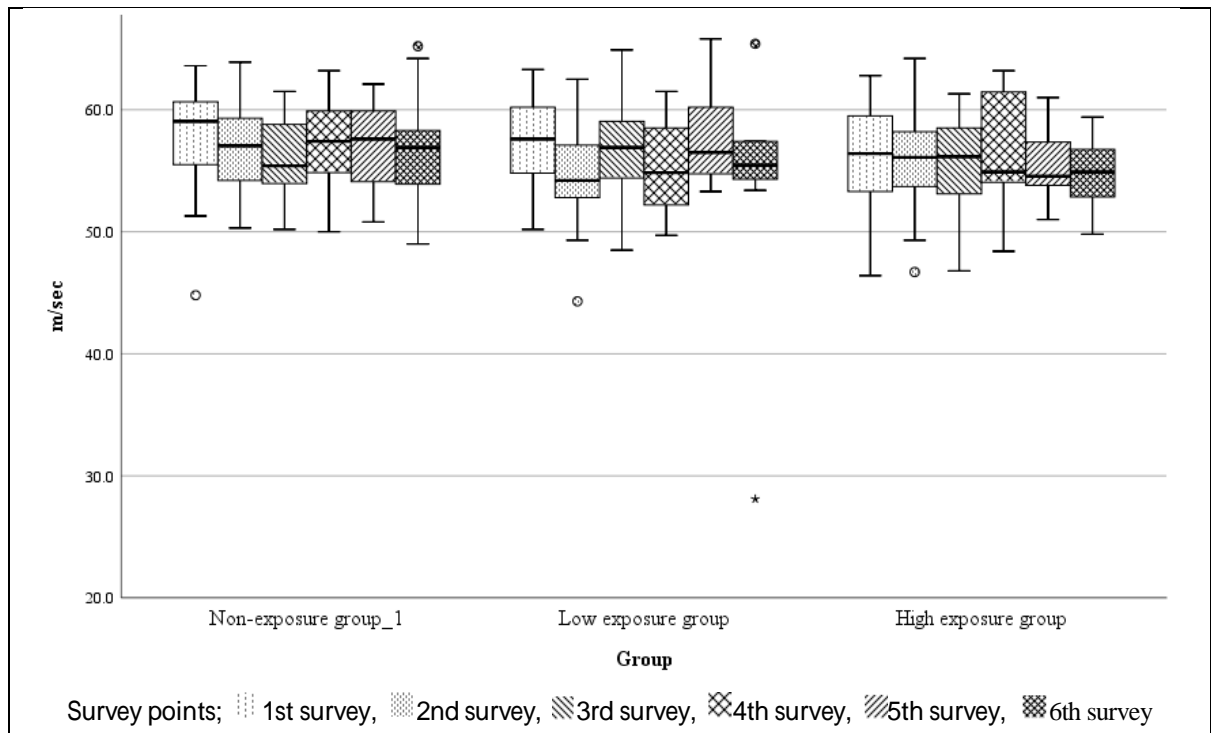


図 6ad. 利き手正中神経運動神経伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.196

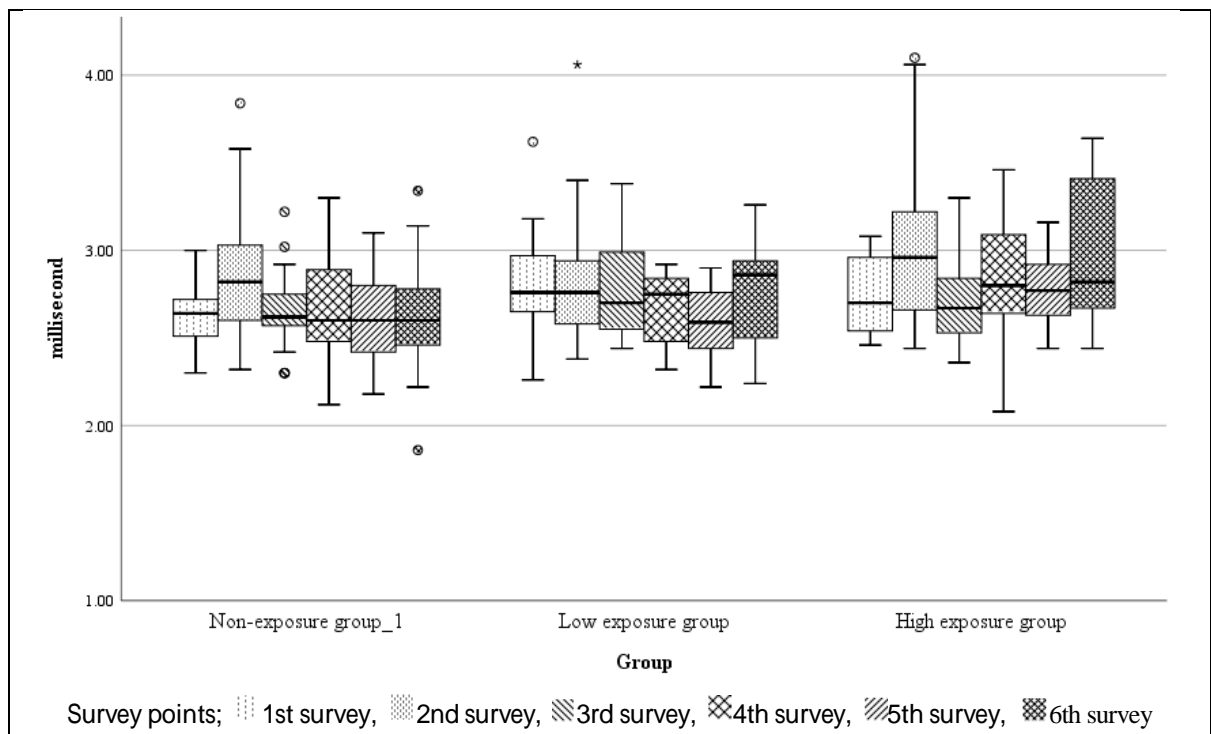


図 6ae. 利き手尺骨神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.067

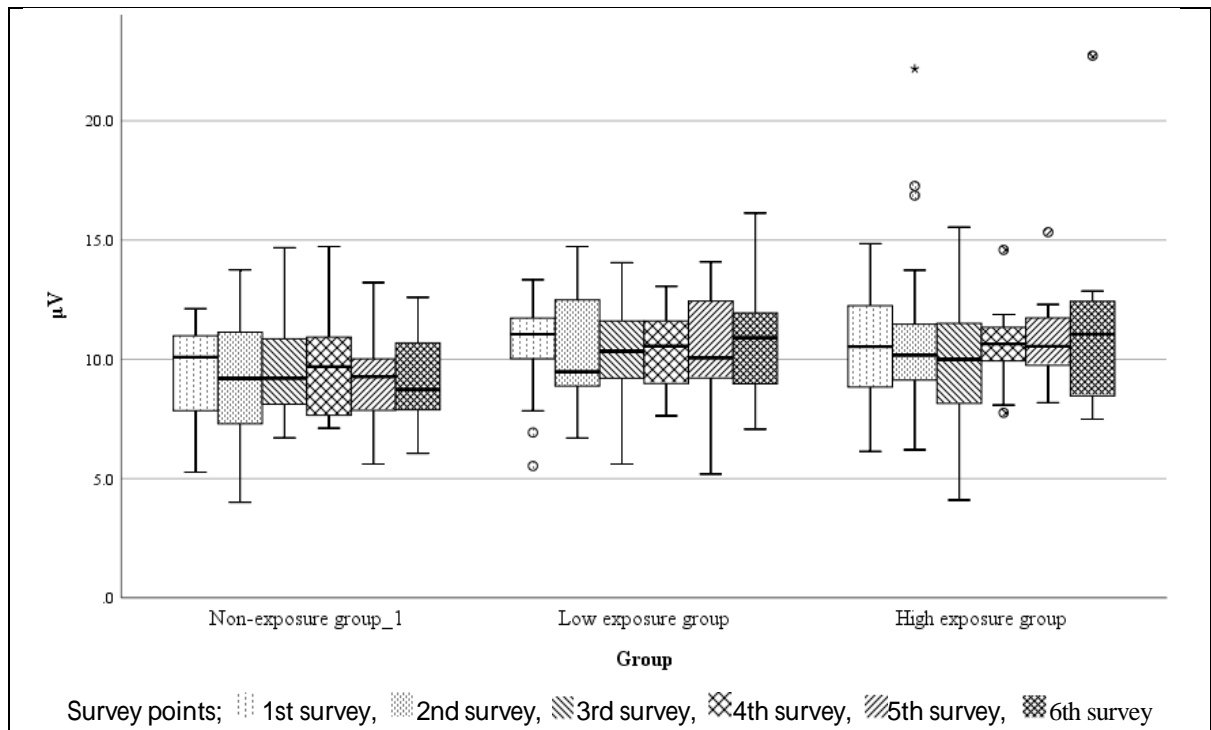


図 6af. 利き手尺骨神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.116

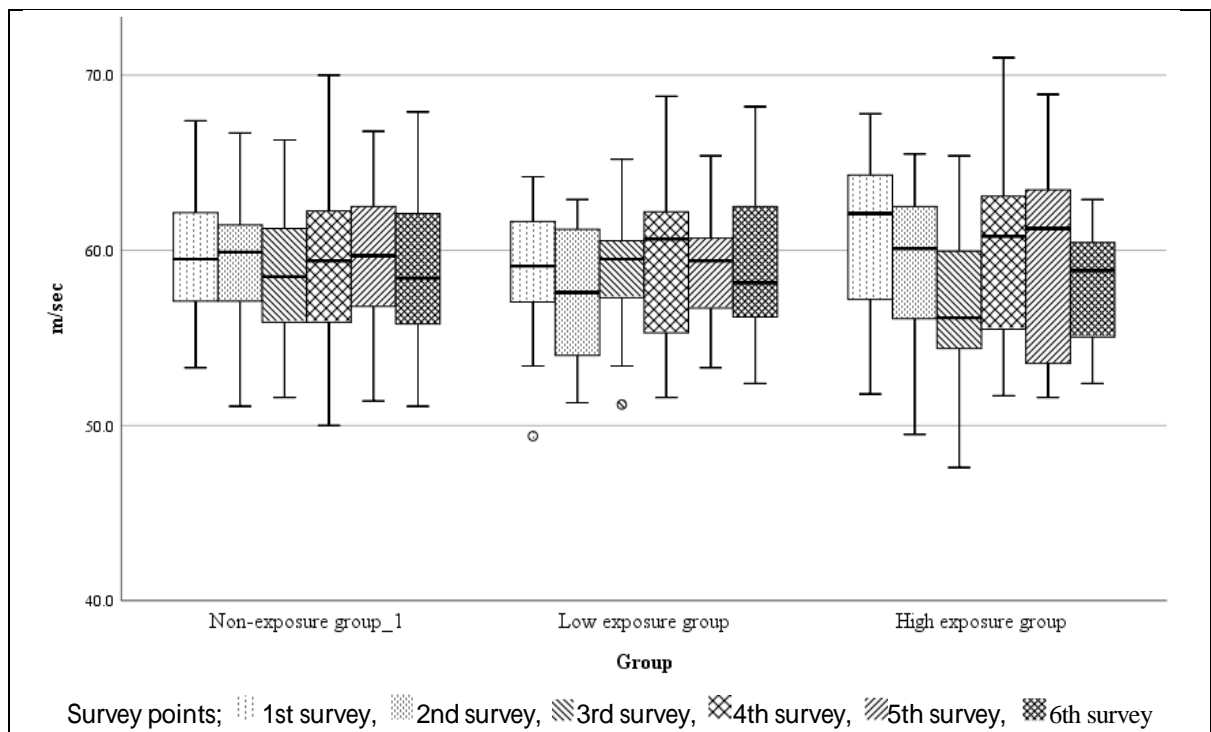


図 6ag. 利き手尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.407

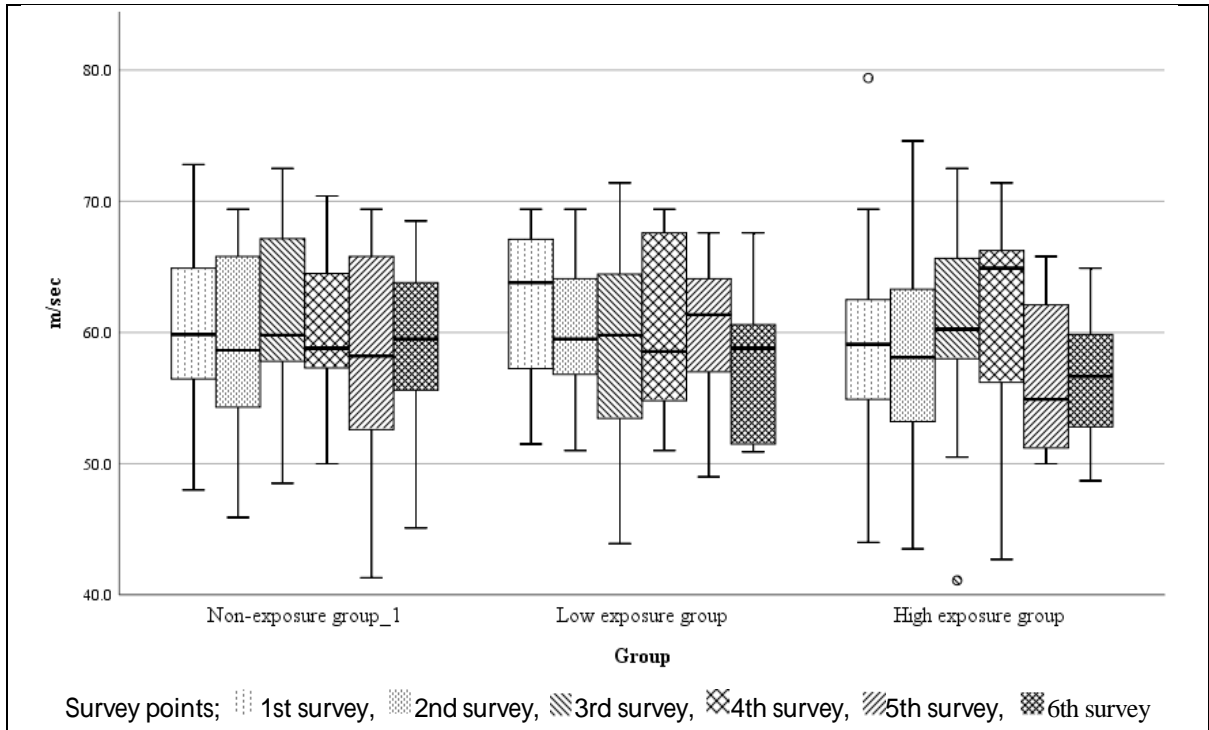


図 6ah. 利き手尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.737

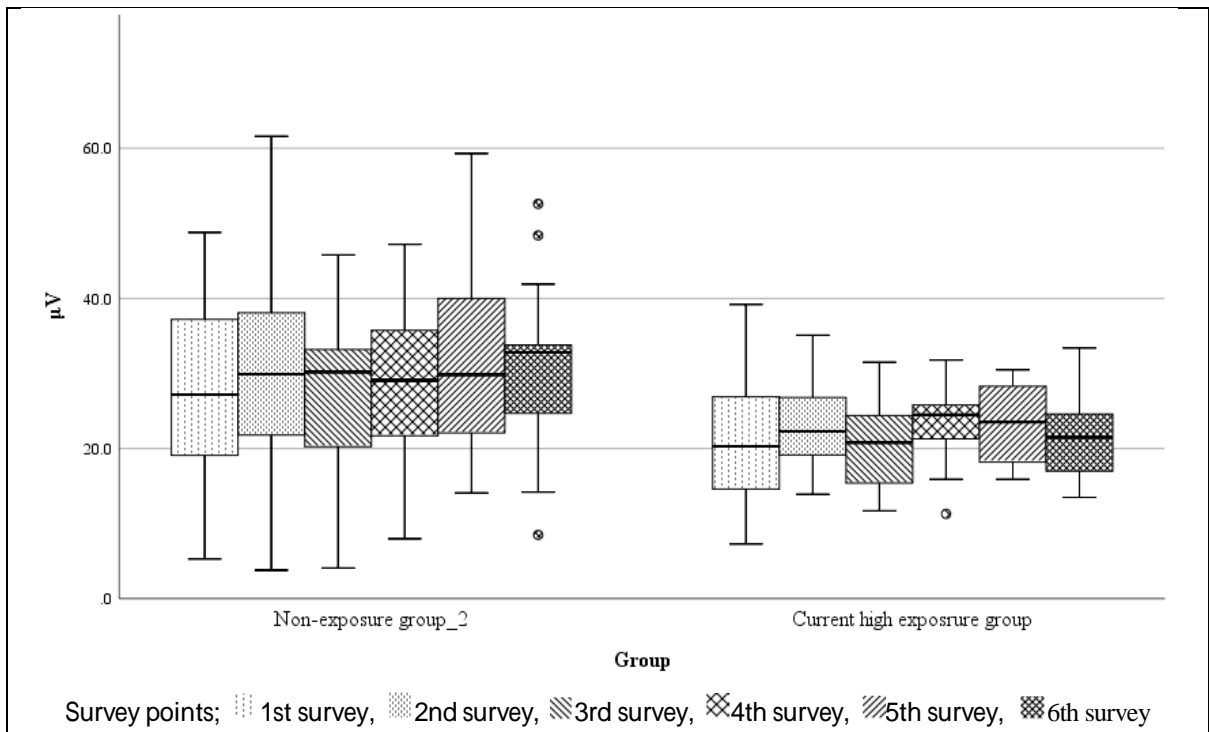


図 6ai. 右正中神経感覚神経振幅の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.003

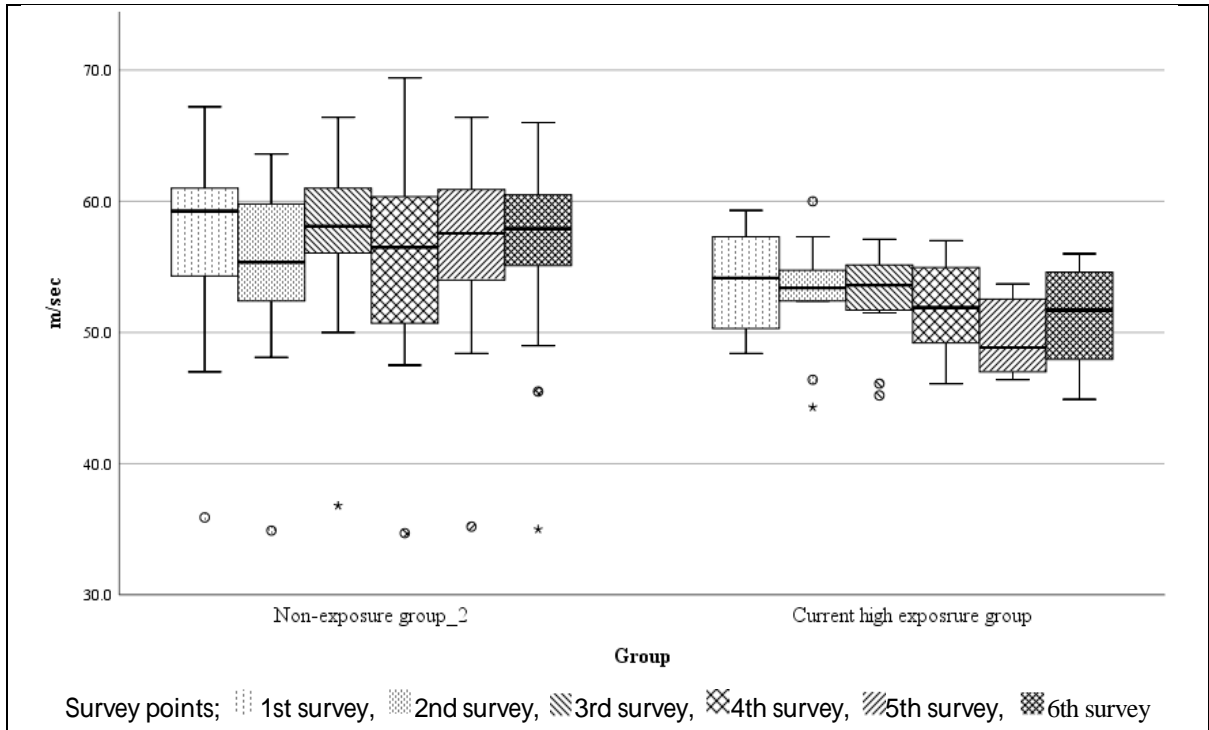


図 6aj. 右正中神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.008

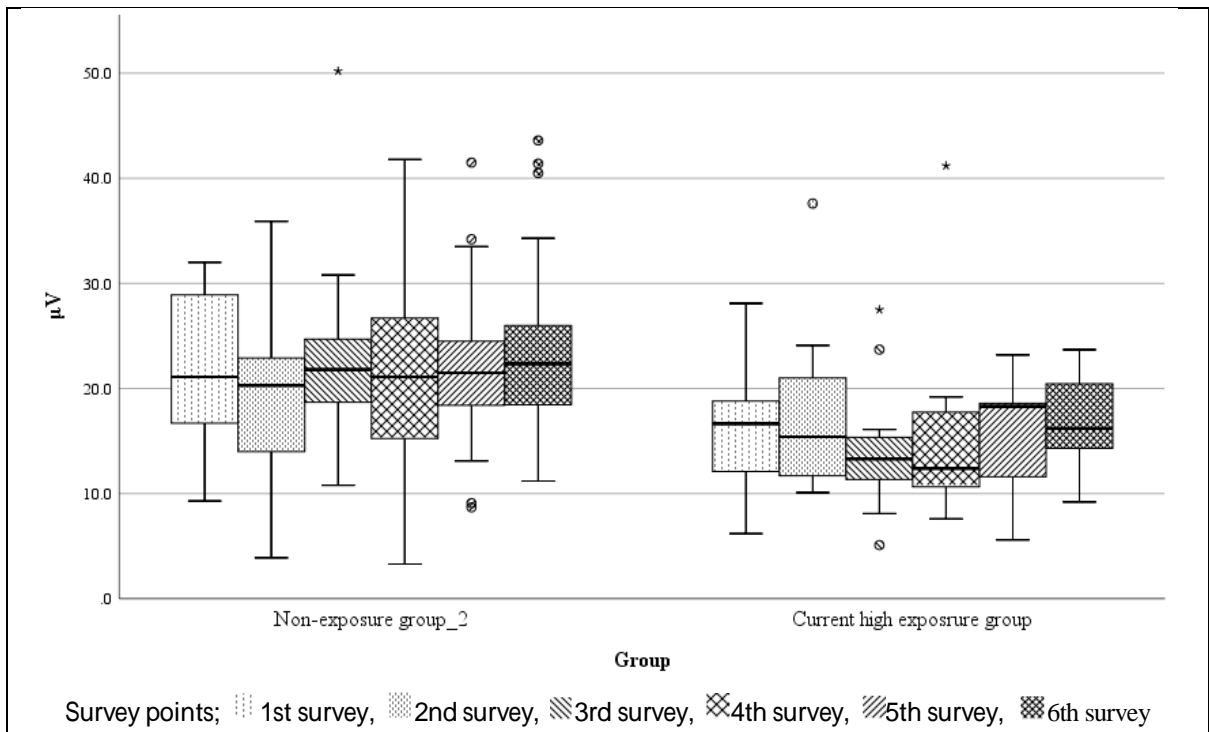


図 6ak. 右尺骨神経感覚神経振幅の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.002

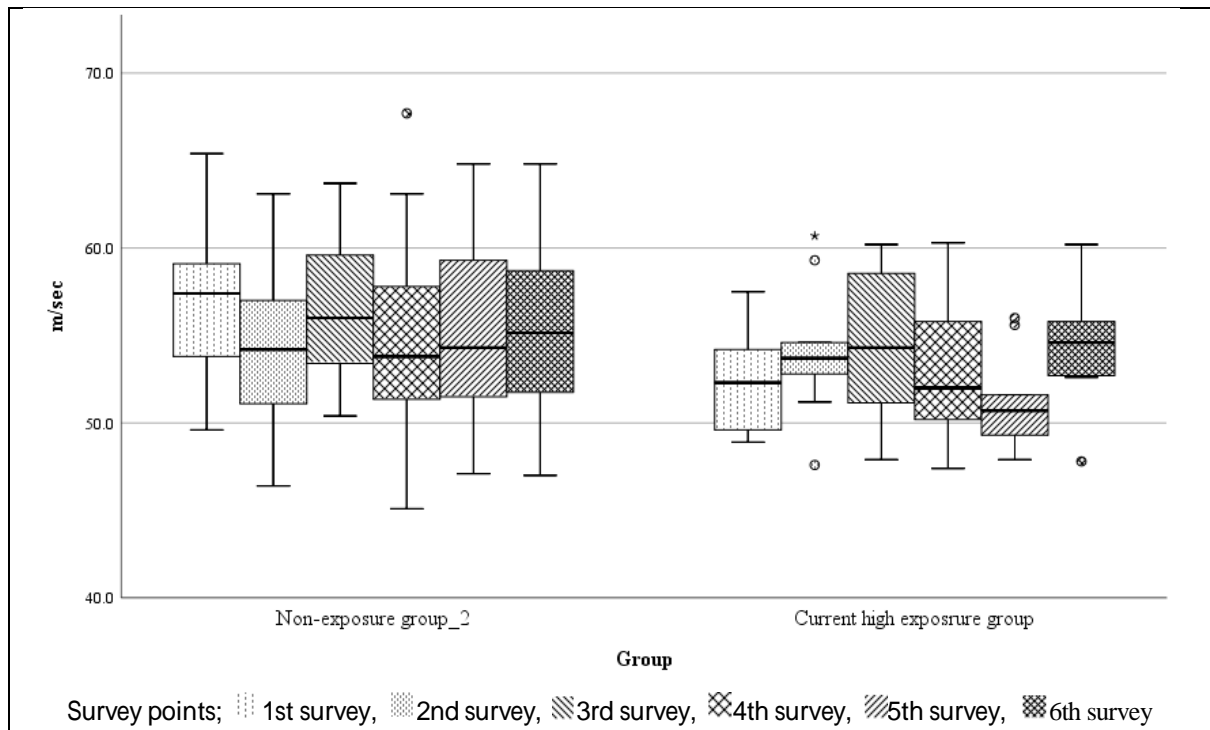


図 6al. 右尺骨神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.049

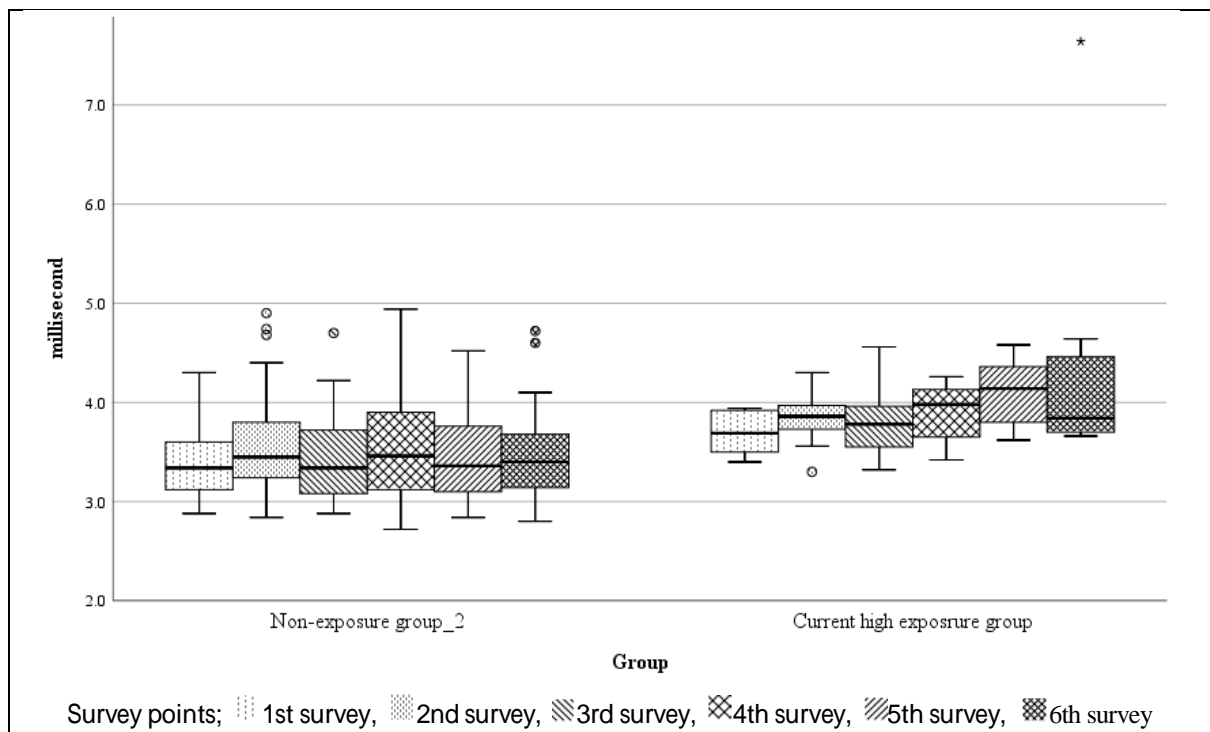


図 6am. 右正中神経運動神経遠位潜時の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.011

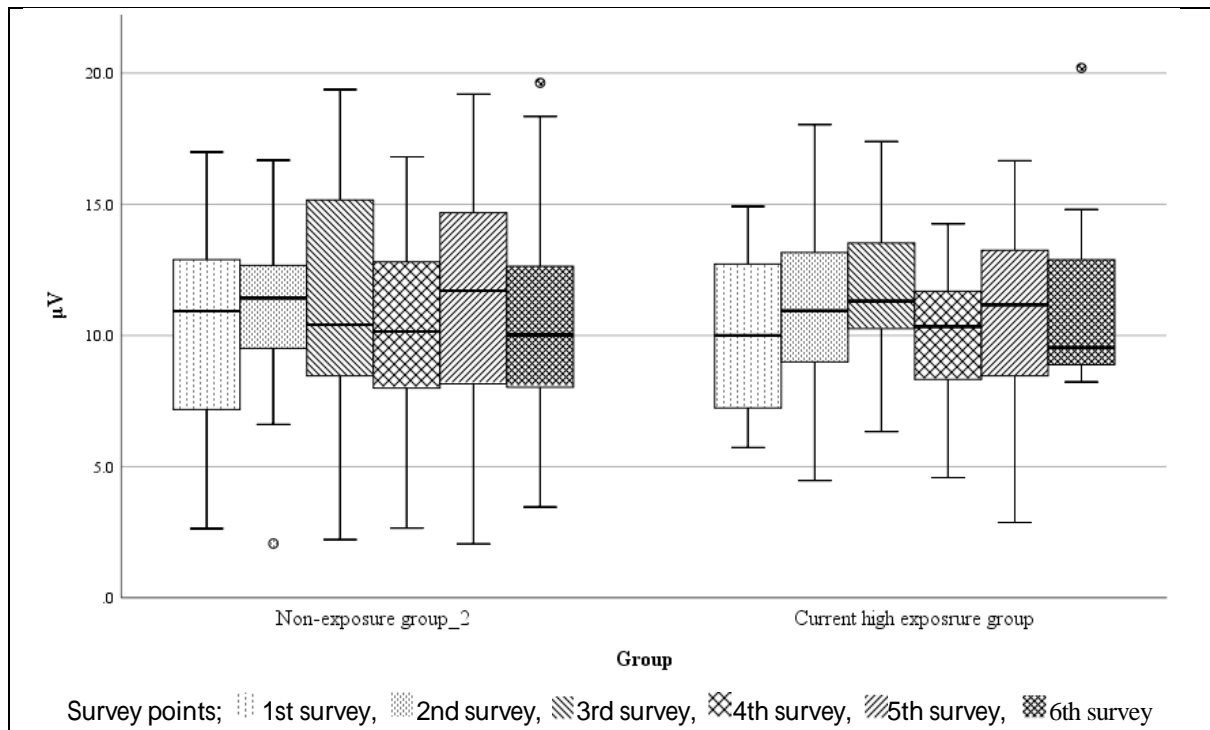


図 6an. 右正中神経運動神経振幅の 2 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.970

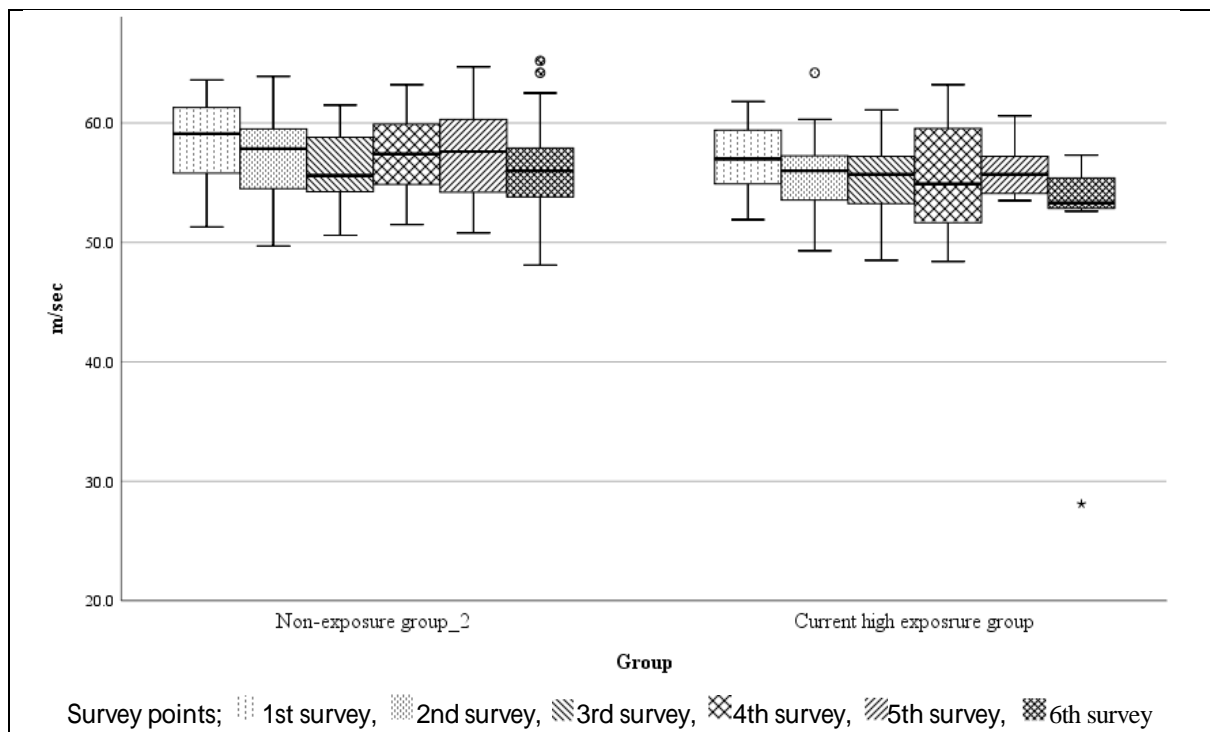


図 6ao. 右正中神経運動神経伝導速度の 2 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.002

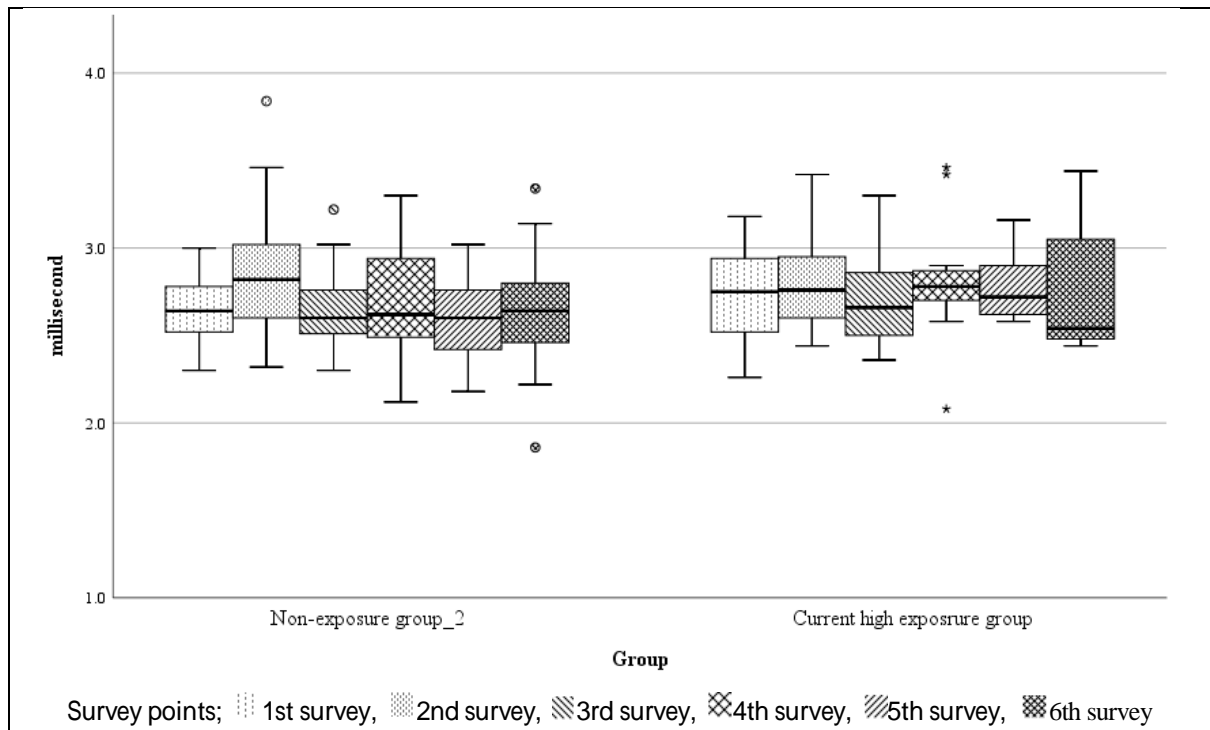


図 6ap. 右尺骨神経運動神経遠位潜時の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.327$

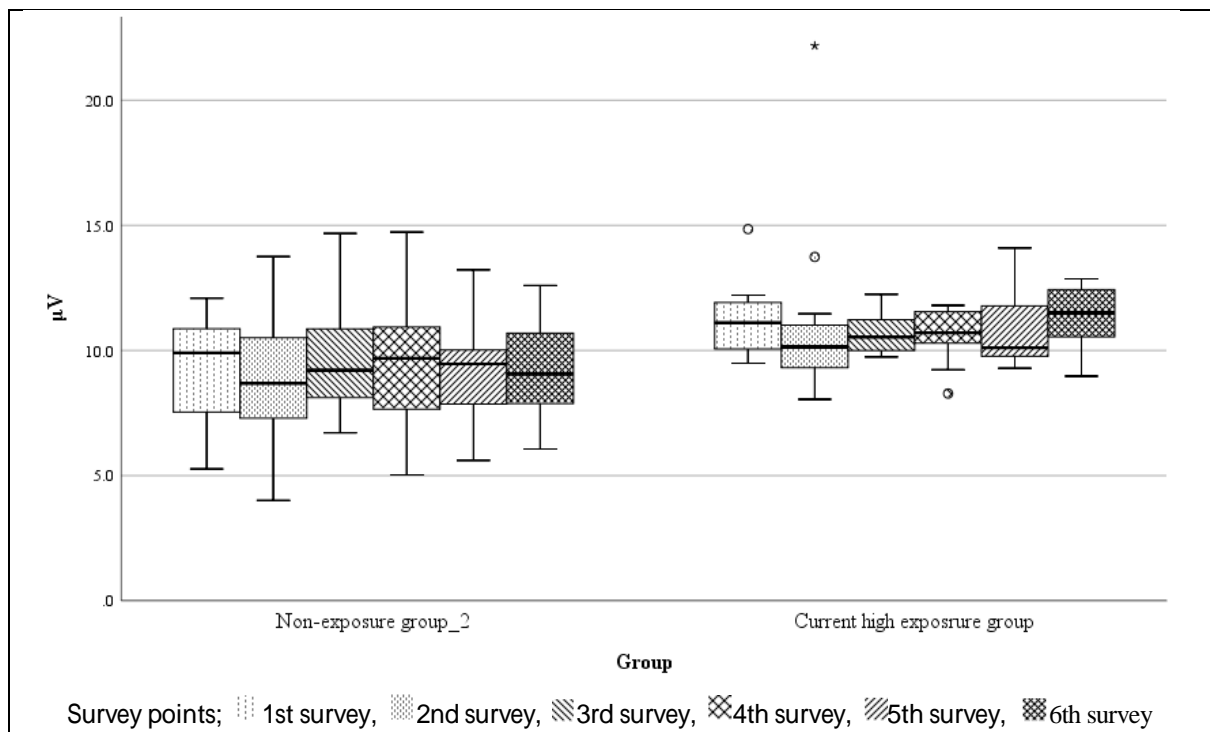


図 6aq. 右尺骨神経運動神経振幅の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.009$

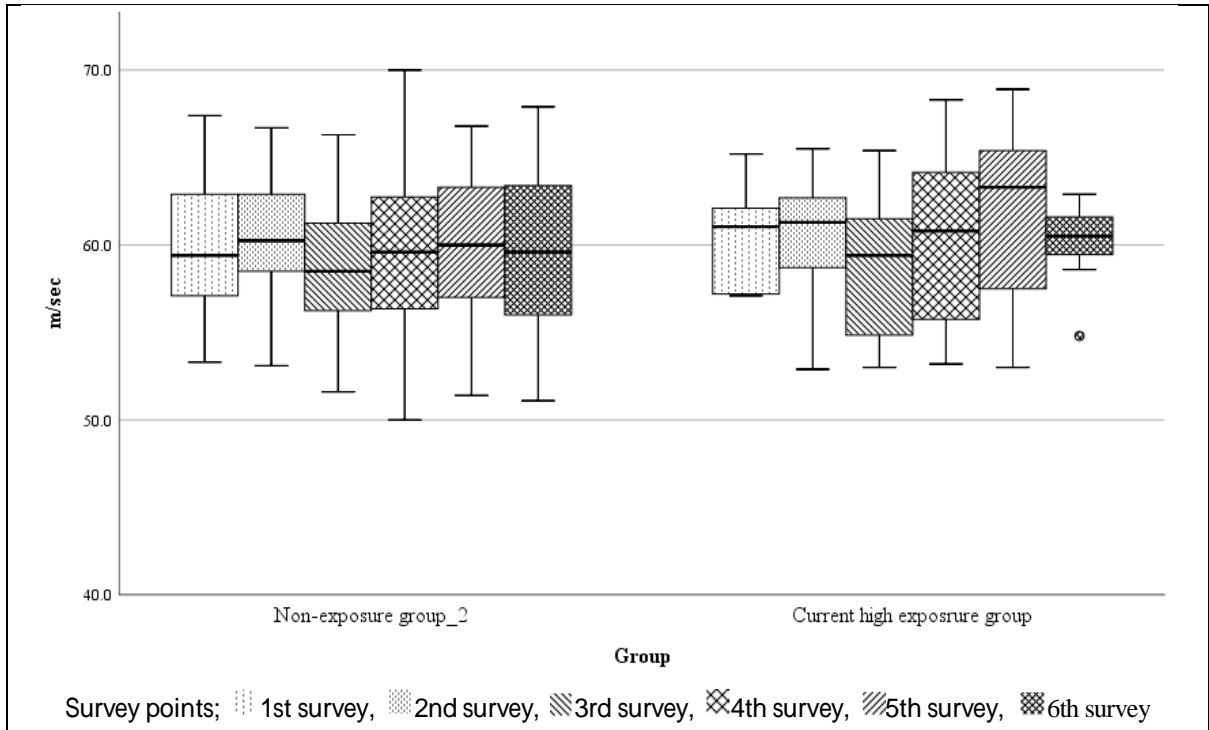


図 6ar. 右尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.926

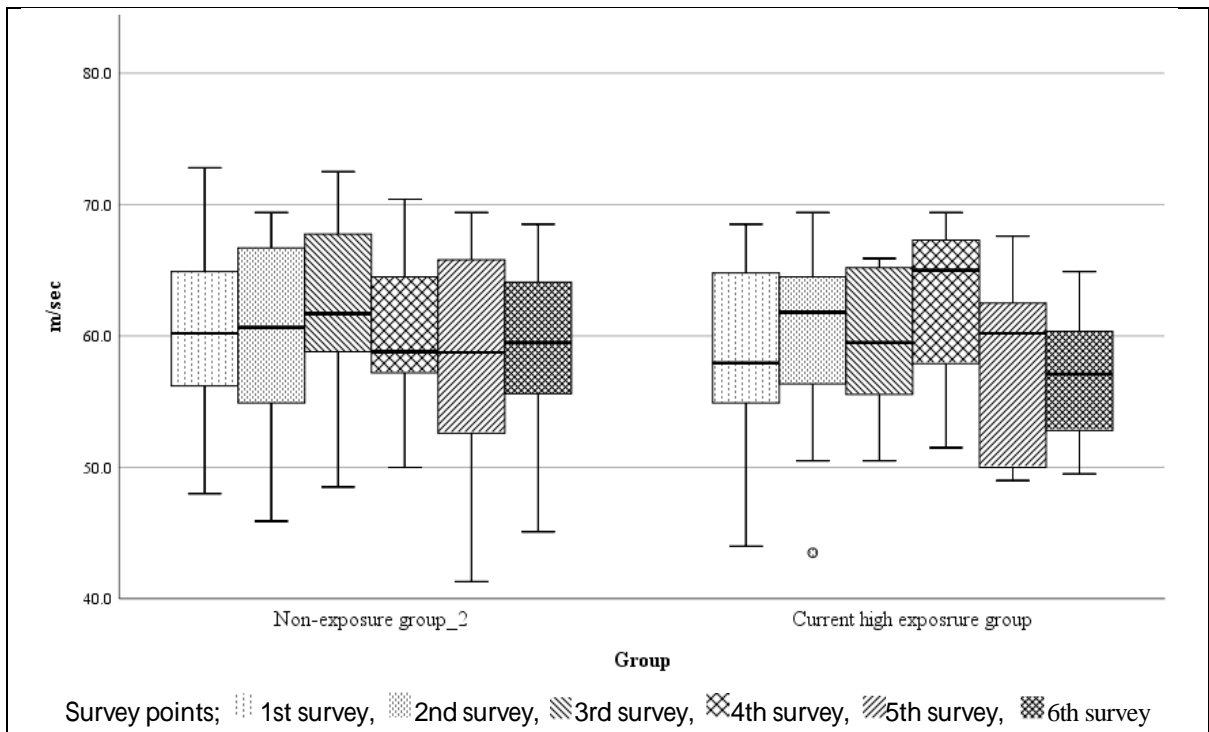


図 6as. 右尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.480

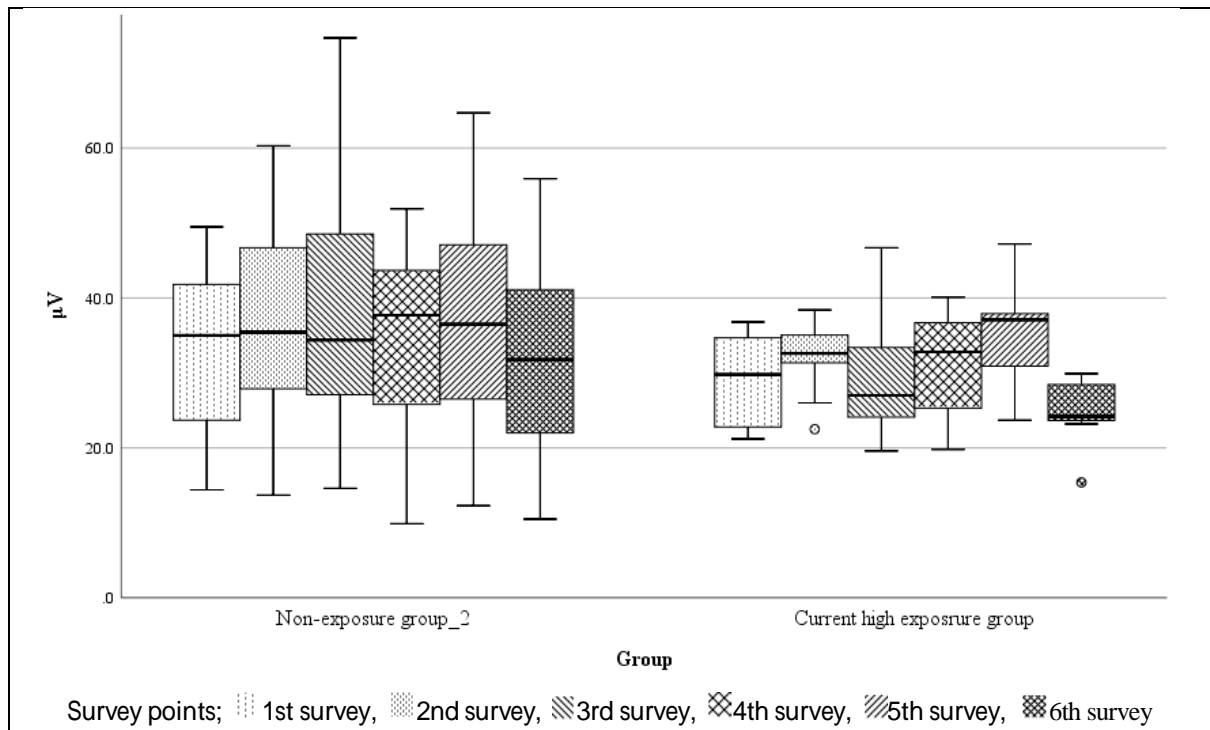


図 6at. 左正中神経感覚神経振幅の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: $P=0.040$

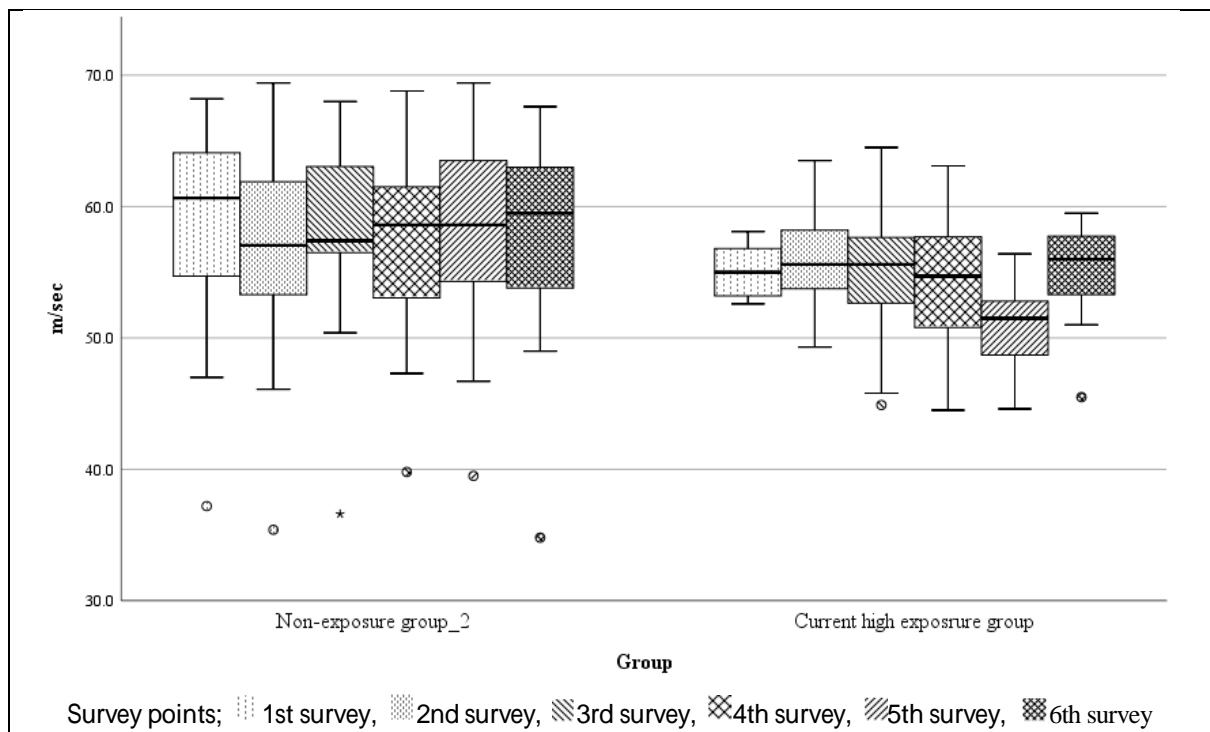


図 6au. 左正中神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: $P=0.027$

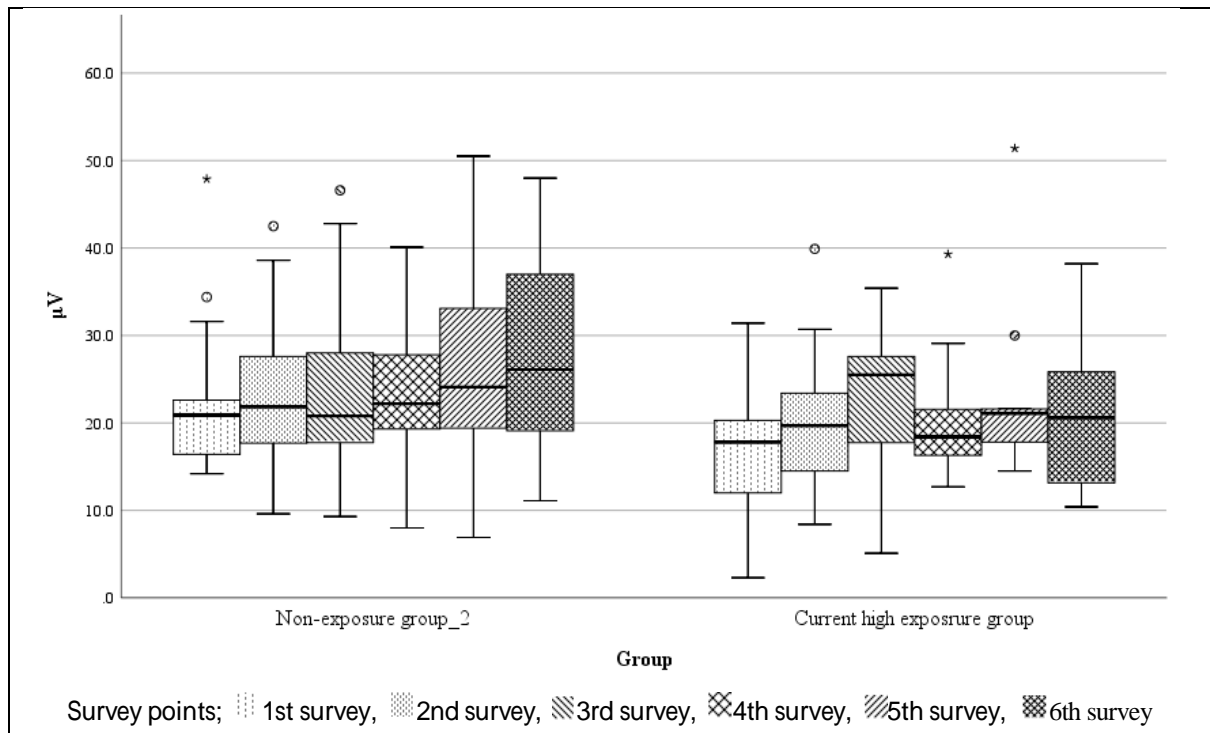


図 6av. 左尺骨神経感覚神経振幅の 2 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.021

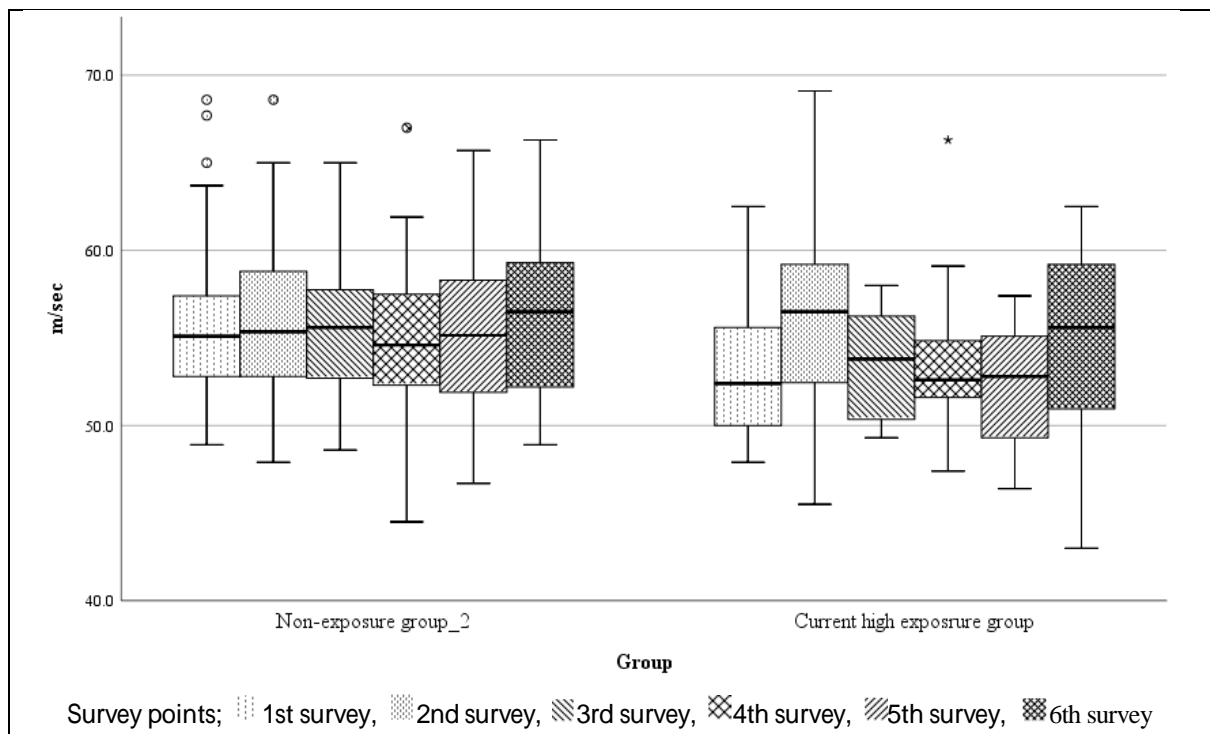


図 6aw. 左尺骨神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.128

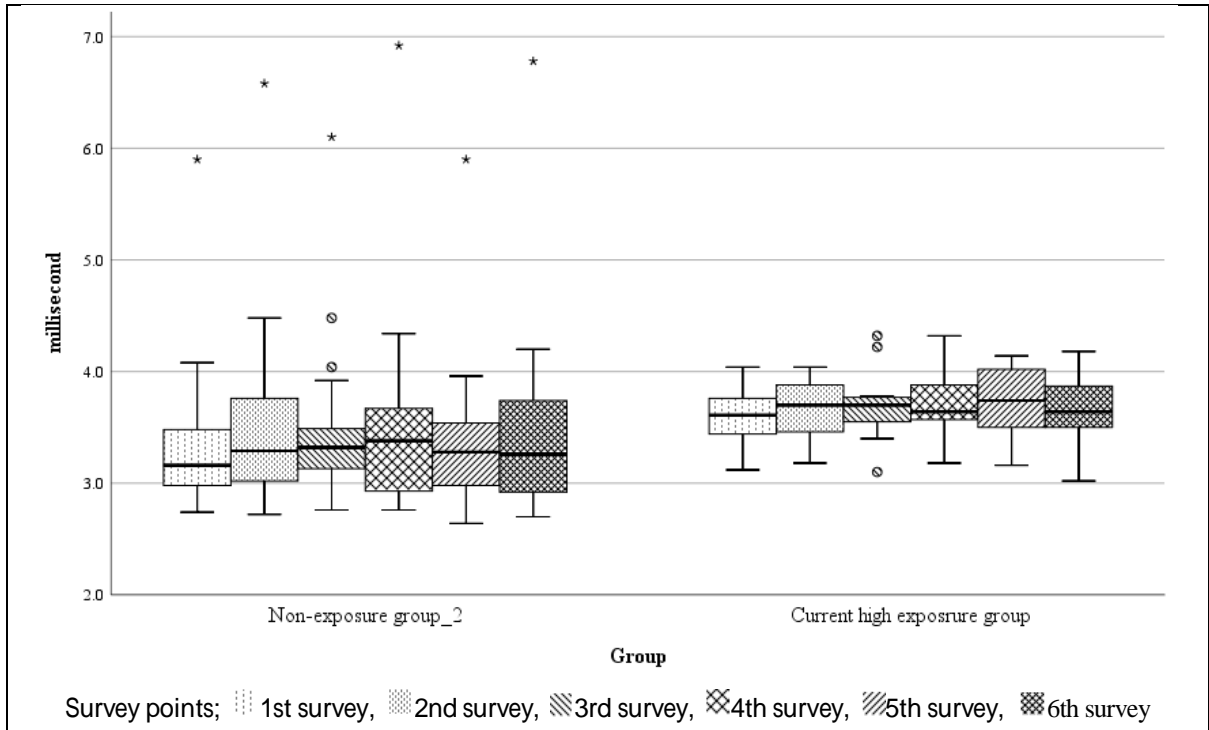


図 6ax. 左正中神経運動神経遠位潜時の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.142

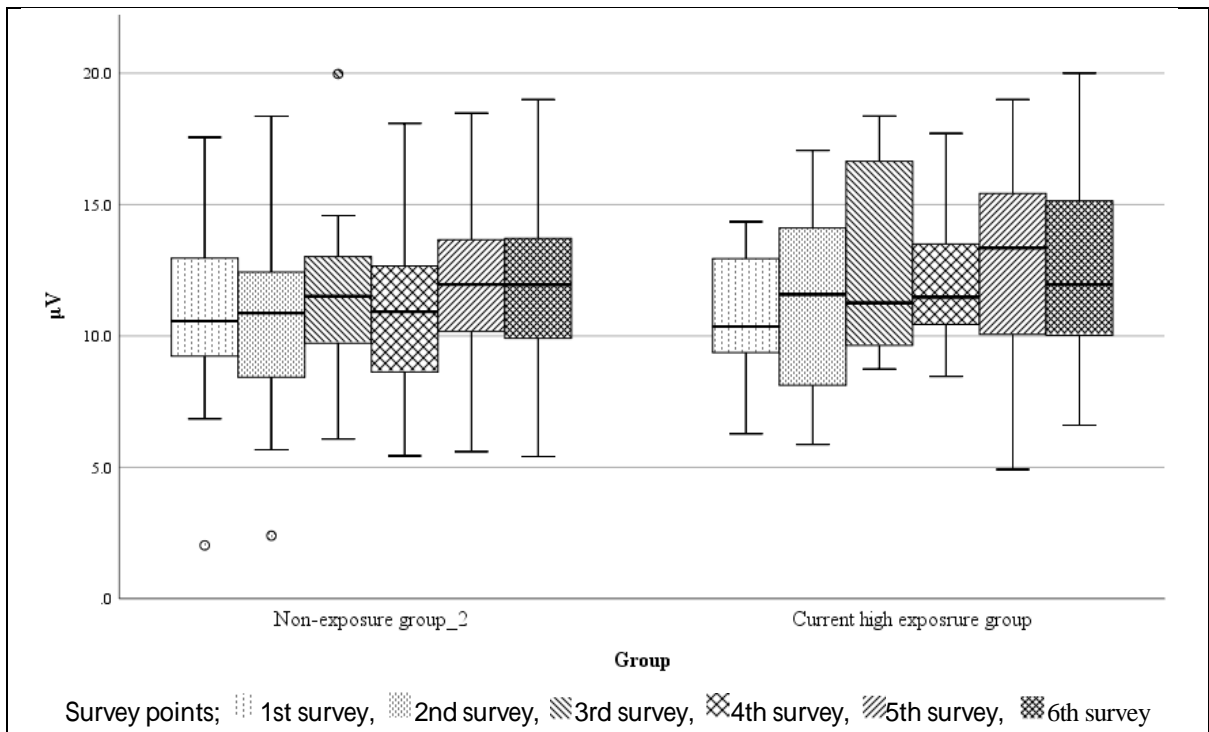


図 6ay. 左正中神経運動神経振幅の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.678

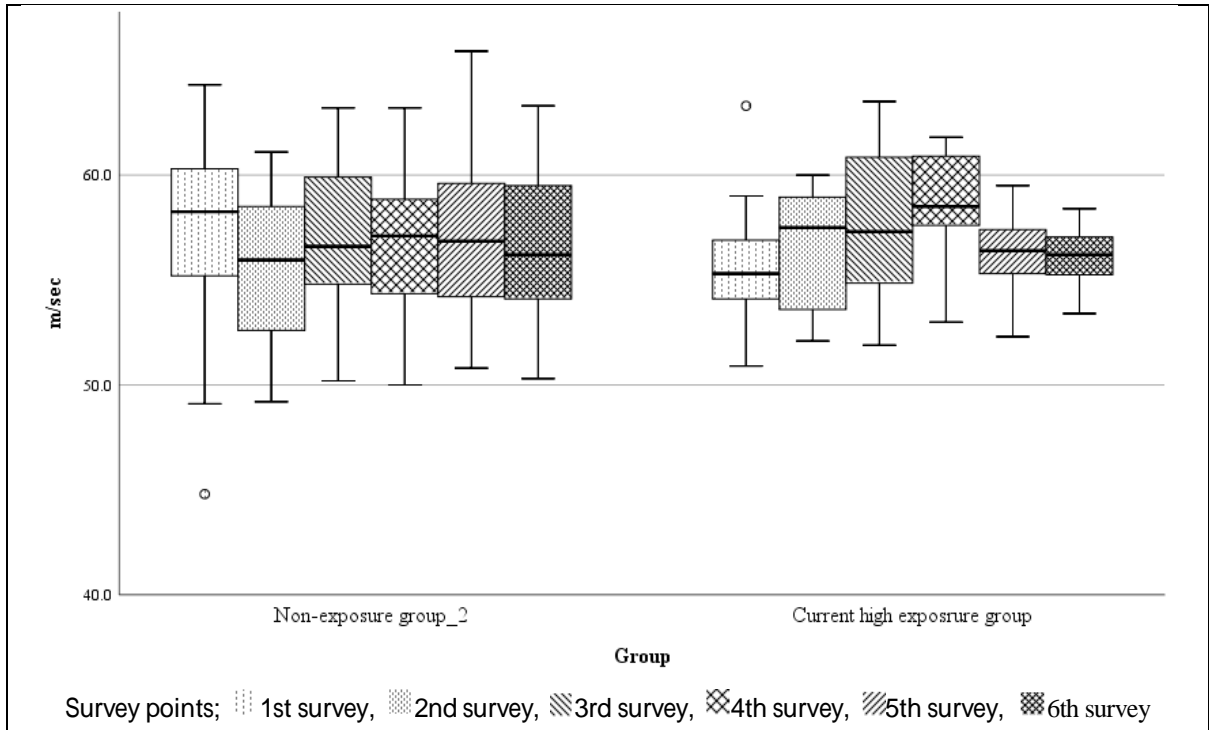


図 6az. 左正中神経運動神経伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.475

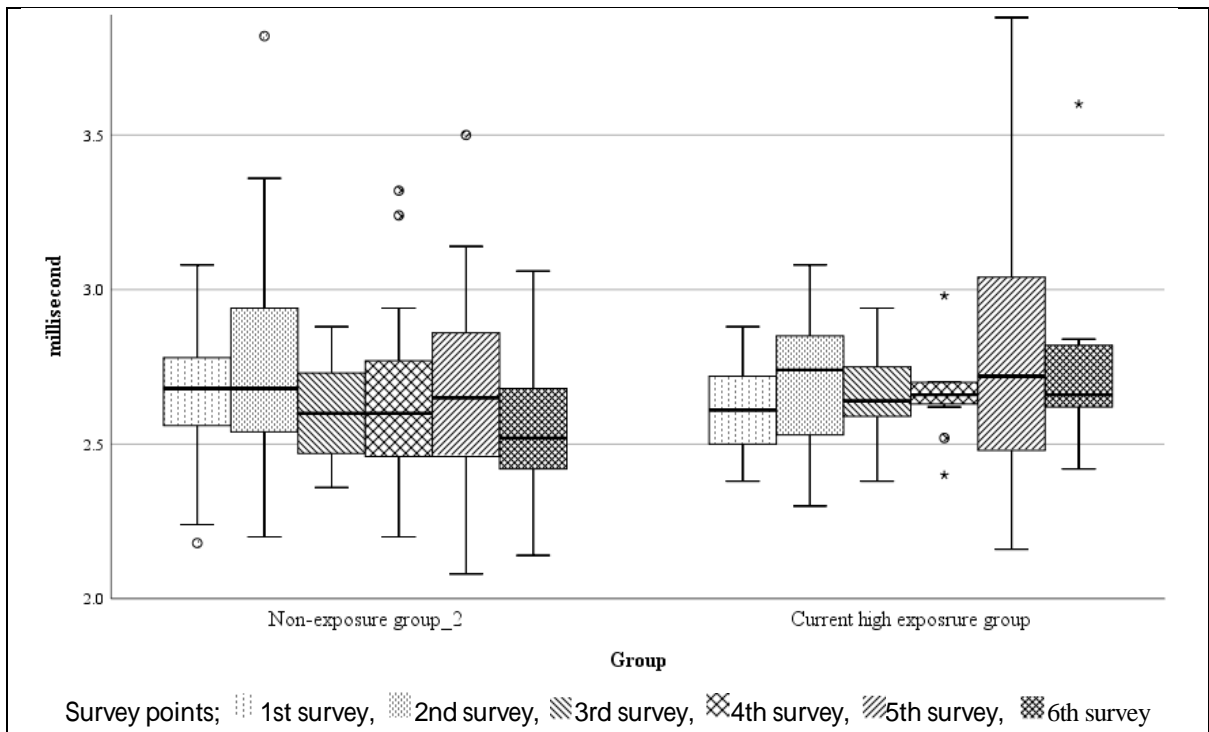


図 6ba. 左尺骨神経運動神経の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.946

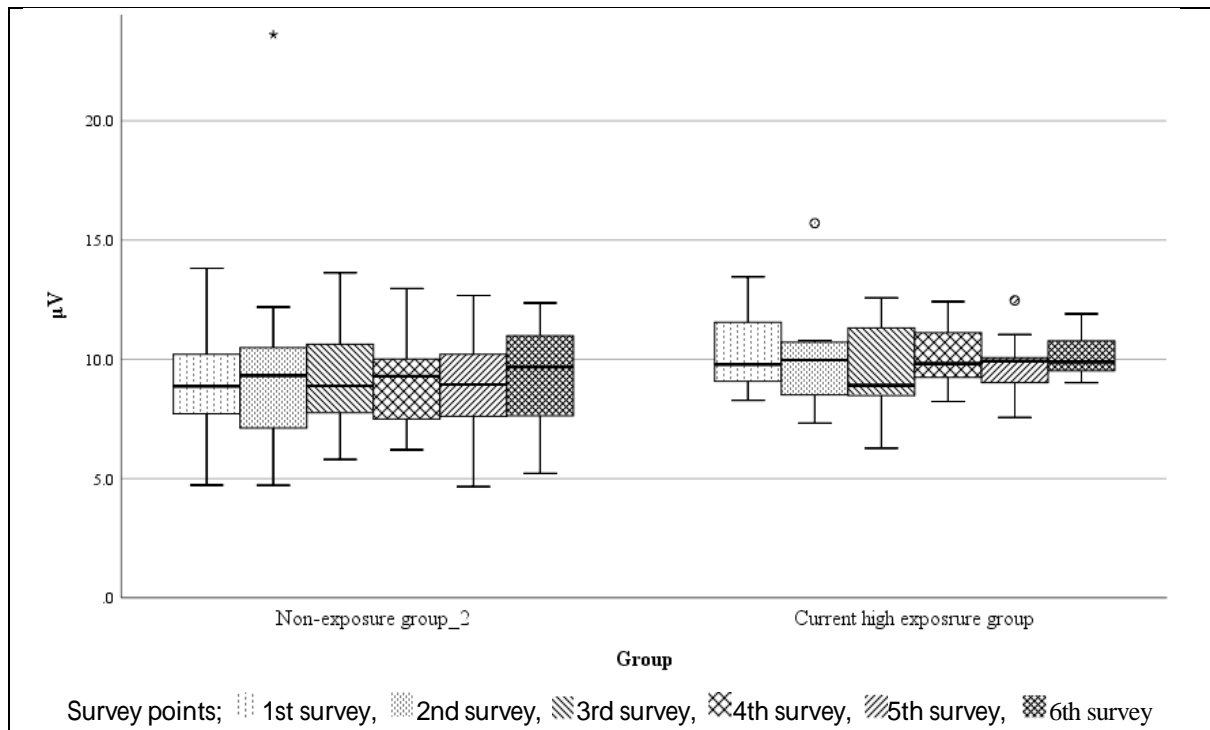


図 6bb. 左尺骨神経運動神経振幅の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.313

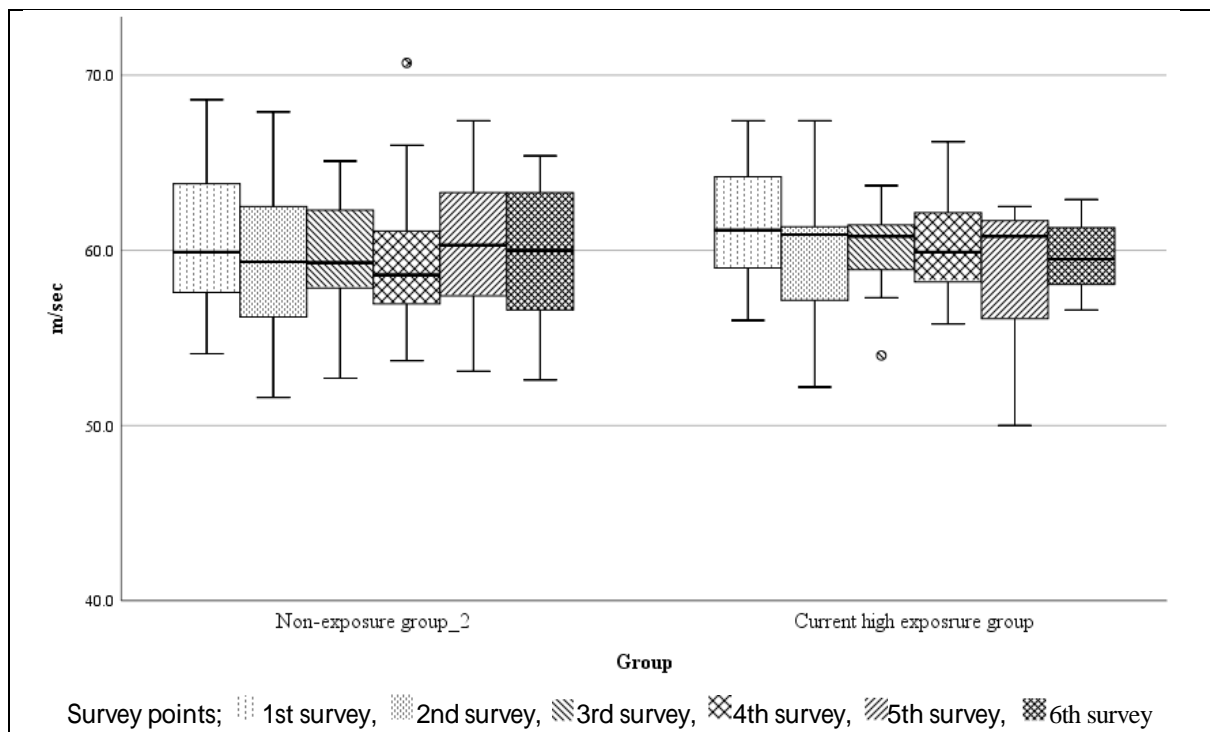


図 6bc. 左尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.893

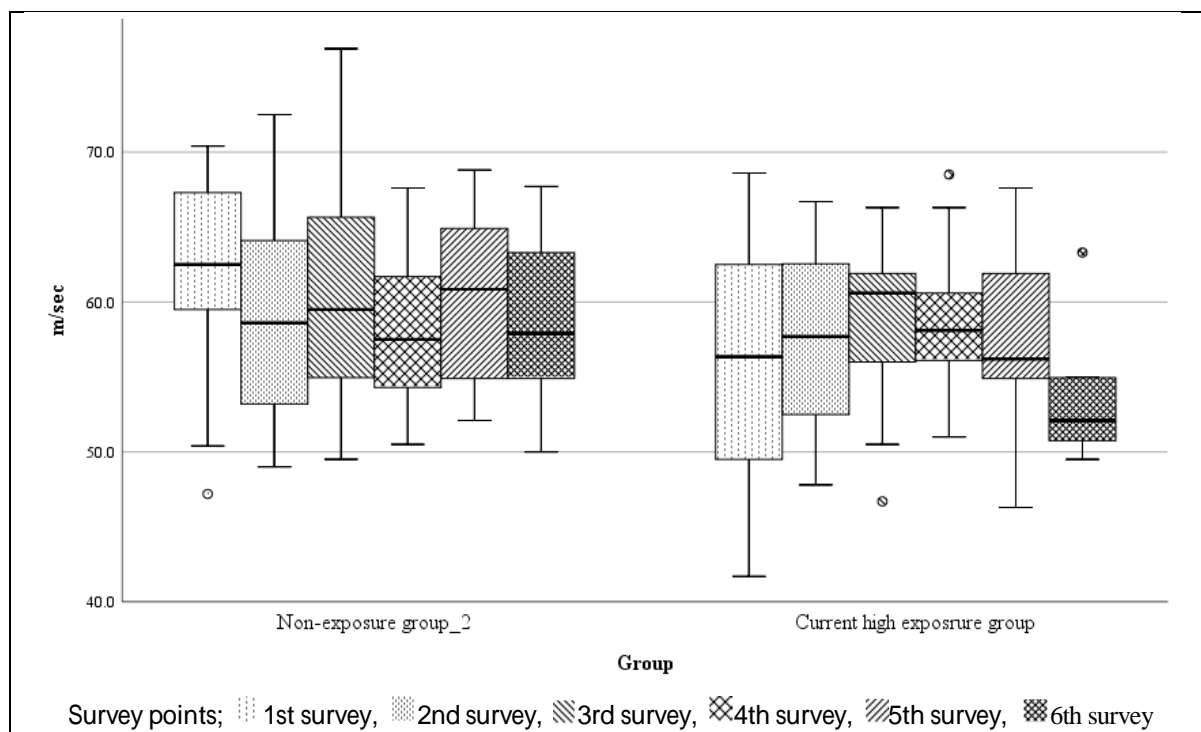


図 6bd. 左尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.111

D. 考察

振動障害の病態の有無に関しては、自覚症状の有無や神経学的所見の異常の有無が大切であるとされているが、本研究では、自覚症状のない振動工具を扱う従事者に関して、神経伝導検査の振動工具を取り扱わない非暴露群と共に 3 年間の追跡研究を行った。本研究では、神経伝導検査を正中、尺骨神経の運動神経・感覚神経で施行し、非暴露群と暴露群との比較を統計学的に検討した。

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・尺骨神経の両者で運動神経よりも感覚神経の異常が目立った。整形外科の手術における回復過程において、運動神経の回復が知覚神経の回復よりも数段優れていることから、感覚神経線維の方がより損傷を受けやすいと考察されている。さらに、振動障害では遠位優位に末梢神経が障害されるとされている。正中・尺骨神経の感覚神経伝導速度を部位で比較した振動障害の研究では、手指・手掌では 50～70%、手掌・手首では 10～25% に伝導速度の異常を認めることから、より末梢の神経障害が生じやすいと考えられる。通常の神経伝導検査においては、感覚神経伝導速度は指先から手首まで、運動神経に関しては手首から近

位部までを測定しており、運動と感覚神経で測定部位が異なる。本研究で感覚神経障害が運動神経障害より顕著であったことは、感覚神経の検査がより遠位部で行われていることが影響している可能性がある。特に正中神経感覚神経においては、自覚症状のない時期より遠位部の末梢神経障害が進行すると考えられる。

前述のように運動神経では伝導速度には振動工具取扱群と非取扱群間で有意差はみられなかったが、遠位潜時は右正中神経において高濃度取り扱い群で有意に延長していた。振動工具を使用している労働者は、工具を握って手関節や肘関節に負担がかかる姿勢を取るため、手根管症候群や肘部管症候群などの絞扼性末梢神経障害が起こることが報告されている。本研究でも、正中神経遠位部に生理的圧迫部位である手根管での圧迫性の障害が加わっている影響が考えられる。症候学的、また神経伝導検査上も手根管症候群と診断される例もあり、手根管での圧迫性ニューロパチーの病態が加わる可能性がある。

一方、手根管と同様に代表的な絞扼部位である尺骨神経の肘部管での伝導速度では、研究開始以前の経年的な障害は検出できなかったものの、3年の経過では障害されることが判明した。手根管に比して肘部管はより近位部になるが、暴露がより長引くと障害される可能性があるかもしれない。

一般的に振動障害による末梢神経障害の病態は末梢側優位の神経障害と絞扼性神経障害が混在したものと考えられている。自覚症状のない振動工具使用従事者に関しての今回の研究においても、末梢側優位に絞扼部位でより障害されることが明らかになった。

E. 結論

本研究によって、末梢側、かつ絞扼部位での正中あるいは尺骨感覚・運動神経の障害は、振動工具の使用によって早期から非暴露群に比べて有意に障害されることが判明した。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る。

資料 7 : 参考文献

- 労働省労働基準局. 振動工具の取り扱い業務に係る特殊健康診断の実施手技について, 昭和 50 年度 基発 609 号. 1975
- 労働省労働基準局. 振動障害の認定基準について 昭和 52 年度 基発 307 号. 1977
- 日本産業衛生学会振動障害研究会. 振動障害の診断ガイドライン 2013. 2013
- Loriga G (1911) Il lavoro con i martelli pneumatici Boll Ispett Lav 2:35-60
- 山田信也ら. 手腕振動障害その疫学・病態から予防まで. 労働科学研究所出版部.2004
- 労働基準局. 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 昭和 50 年 10 月 20 日付け基発第 608 号. 1975
- 業種別・年度別振動障害の労災新規認定者数調査. 厚生労働省.2016
- Shinsuke Kikuchi, Keisuke Miyake, Yuki Tada, Daiki Uchida, Atsuhiko Koya, Yukihiro Saito, Takehiko Ohura and Nobuyoshi Azuma , Laser speckle flowgraphy can also be used to show dynamic changes in the blood flow of the skin of the foot after surgical revascularization.
- Akane Miyaji, Shohei Hayashi and Naoyuki Hayashi , Regional differences in facial skin blood flow responses to thermal stimulation , European Journal of Applied Physiology,
- Aizawa, N.; Yokoyama, Y.; Chiba, N.; Omodaka, K.; Yasuda, M.; Otomo, T.; Nakamura, M.; Fuse, N.; Nakazawa, T., Reproducibility of retinal circulation measurements obtained using laser speckle flowgraphy-NAVI in patients with glaucoma. Clinical ophthalmology (Auckland, NZ) 2011, 5, 1171.
- Fujii, H.; Nohira, K.; Yamamoto, Y.; Ikawa, H.; Ohura, T., Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing. Part 1. Applied Optics 1987, 26 (24), 5321-5325.
- Fujii, H.; Konishi, N.; Lee, M.-C., Blood flow analyses with laser speckle flowgraphy. Chinese Optics Letters 2007, 5 (101), S235-S236.
- Juntunen J, Matikainen E, Seppalainen AM, Laine A: Peripheral neuropathy and vibration syndrome. Int Arch Occup Environ Health 52:17-24.1983
- 黒沢 洋, 須賀 吉, 石垣 宏ら. 振動障害患者の神経学的検査結果の経過. 日本職業・災害医学会会誌;第 50 巻 2 号:93-96.2002
- 平田 衛, 榊原 久ら. 振動障害患者におけ

る上肢の感覚神経伝導速度の測定. 産業衛生学雑誌;44 (臨増) :274.2002

振動障害の検査指針検討会 (厚生労働省). 振動障害の検査指針検討会報告書.2006

労働基準局. 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. 平成 21 年 7 月 10 日 基発 0710 第 2 号.2009

ISO. Mechanical vibration and shock –Cold provocation tests for the assessment of peripheral vascular function –Part 1:Measurement and evaluation of finger skin temperature. ISO 14835–1:201.2016

Sakakibara H, Kondo T, Miyno M et al: Digital nerve conduction velocity as a sensitive indication of peripheral neuropathy in vibration syndrome. Am J Ind Med 26:359-366.1994

Lukas E:Lesin of the peripheral nerve system due to vibration. Clin Neurophysiol 110:1276-1283.1970

藤居 仁.レーザー散乱を利用した血流画像化法. 日レ医誌;第 26 巻.第 3 号.266–271.2005

知行 前. レーザースペックルフローグラ

フィー. 日本神経眼科学会誌 32:384–386.2015

二塚 信ら. 九州の国有林における振動障害に関する疫学的研究. 産業医学 18 巻.vo18.3–10.1976

本間浩樹, 加地浩, 高城政久, 本田広樹. 当院における振動障害者の手指動脈造影所見 日職災医誌, 第 54 巻:123–128.2006

日本産業衛生学会振動障害研究会. 振動障害における 10 10 分法冷水浸漬手指皮膚温 検査判定基準に関する報告. 産衛誌 50 巻:57–66. 2008

久賀 圭祐. レイノー現象の定量的評価の試み 手指皮膚温の検討. 日本臨床免疫学会会誌 第 8 巻 第 2 号:91–98.1985

黒澤洋一、那須吉郎、石垣宏之、篠原泰司: 振動障害の血管と神経障害の 15 年間の follow-up.日職災医誌 49:474-477.2001


那須吉郎、石垣宏之、黒澤洋一: 正中神経、尺骨神経伝導速度分布パターンに及ぼす加齢と振動工具使用の影響. 日職災医誌 51:58-66.2003

山本啓二、児玉直樹、坂口康道: 振動障害と肘部管症候群. 骨・関節・靭帯 5:1395-1400. 1992


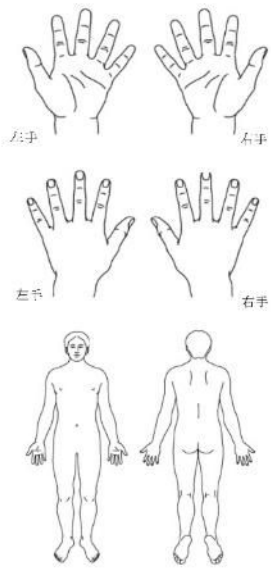
資料 8 : 質問票

1. 本研究で使用した質問紙


体の症状についてお聞きします。 記載日: _____ 年 月 日 名前: _____

1 レイノー現象(指先が発作的に白くなる現象)下の写真→
 手指、手、前腕に関して以下の症状がある場合に○をつけ、右図の該当部位に  をぬってください。

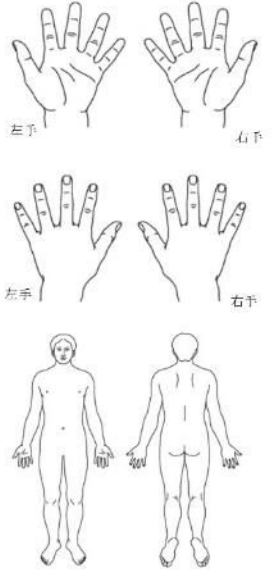
上肢自覚症状	有無 ※なしの場合、右は記入不要	発現部位	左 右 ※:両とは 同方に症 状がある 場合	発現頻度 ※季節変動ある場 合には一番多い時 期で記入	発現季節 ※あてはまる季節を ○で囲む
1. レイノー現象 ※指先が発作的に真 っ白くなる現象	ある	顔面	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		入差し指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		中指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		薬指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		小指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		その他	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年

2. 冷え

手指、手、前腕に関して以下の症状がある場合に○をつけ、右図の該当部位に  をぬってください。

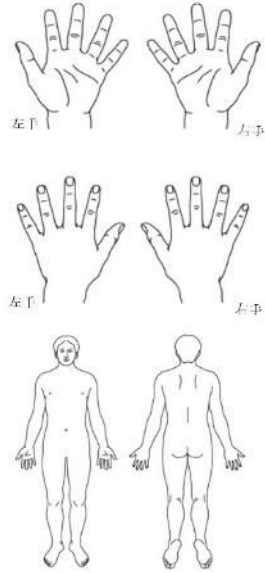
上肢自覚症状	有無 ※なしの場合、右は記入不要	発現部位	左 右 ※:両とは 同方に症 状がある 場合	発現頻度 ※季節変動ある場 合には一番多い時 期で記入	発現季節 ※あてはまる季節を ○で囲む
2. 冷え	ある	顔面	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		入差し指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		中指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		薬指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		小指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		手背 手首	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		前腕	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		その他	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年



対象者の基本属性に関する質問紙

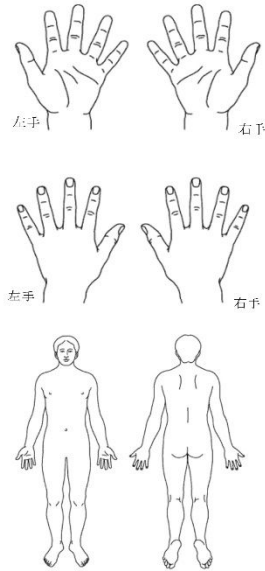
3 しびれ(じんじんする・感じが悪い)→
 手指、手、前腕に関して以下の症状がある場合に○をつけ、右図の該当部位に //// をぬって下さい。

上肢自覚症状	有無 ※なし の場合、 右は記入 不要	発現部位	左 右 両 ※：両とは 両方に症状 がある場合	発現頻度 ※手指発動ある場合 には一番多い時期で 記入	発現季節 ※あてはまる季節を○で 円記
3. しびれ (じんじんする・感じ がわるい)	ある	親指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		人差し指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		中指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		薬指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		小指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		手掌 手背	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		前腕	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		その他	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年



4 痛み(自発痛・運動痛)→
 手指、手、前腕に関して以下の症状がある場合に○をつけ、右図の該当部位に //// をぬって下さい。

上肢自覚症状	有無 ※なし の場合、 右は記入 不要	発現部位	左 右 両 ※：両とは 両方に症状 がある場合	発現頻度 ※手指発動ある場合 には一番多い時期で 記入	発現季節 ※あてはまる季節を○で 円記
4. 痛み (自発痛・運動痛)	ある	親指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		人差し指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		中指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		薬指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		小指	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		手掌 手背	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		前腕	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		手関節	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		肘関節	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年
		その他	左 右 両	たまに 時々 毎日	春・夏・秋・冬・通年



対象者の基本属性に関する質問紙

記載日 年 月 日

名前： _____ . 年齢 _____ 歳

問診票

■ご自身の仕事内容についてお尋ねします。

(あてはまるものに☑を入れて下さい。カッコおよび表内は直接記入して下さい)

Q1. 今までに業務中に振動工具を使用したことがありますか？

- はい
いいえ

Q2. 今までに長期間(少なくとも一ヶ月以上)に渡って使用したことがある振動工具について以下より全てを選択してください。

ピストン内蔵工具⇒①削岩機 ②コンクリートブレーカー ③ピックハンマー

エンジン内蔵工具⇒④チェーンソー ⑤エンジンカッター ⑥刈払機

振動体内蔵工具⇒ ⑦タイタンパー ⑧コンクリートバイブレータ

締め付け工具⇒ ⑨インパクトレンチ ⑩エアドライバー

回転工具⇒ ⑪グラインダー ⑫ディスクサンダー

往復動工具⇒ ⑬バイブレーションシャワー ⑭ジグソー

上記以外の工具類⇒ ()

現在までの振動工具の取り扱いに関する質問紙

【振動工具の写真(一例)】

①削岩機



②コンクリートブレーカー



③ピックハンマー



④チェーンソー



⑤エンジンカッター



⑥刈払機



⑦タイタンパー



⑧コンクリートパイプレータ



現在までの振動工具の取り扱いに関する質問紙

⑨インパクトレンチ



⑩エアドライバー



⑪グラインダー



⑫ディスクサンダー



⑬パイプレーションシャー



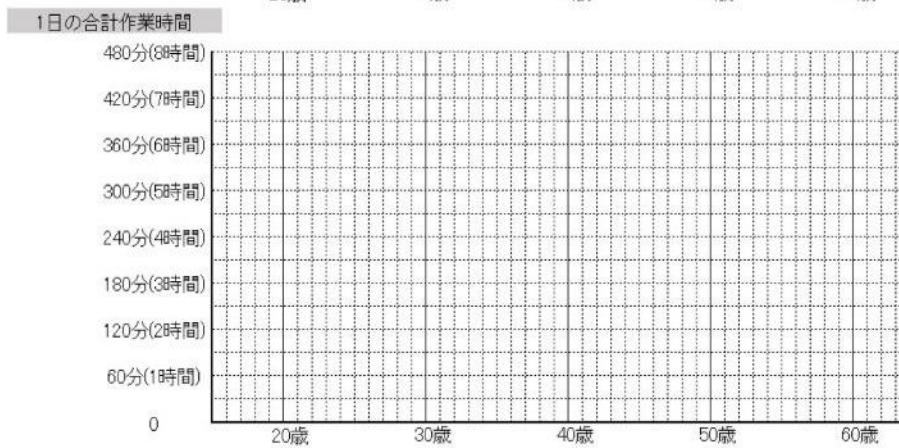
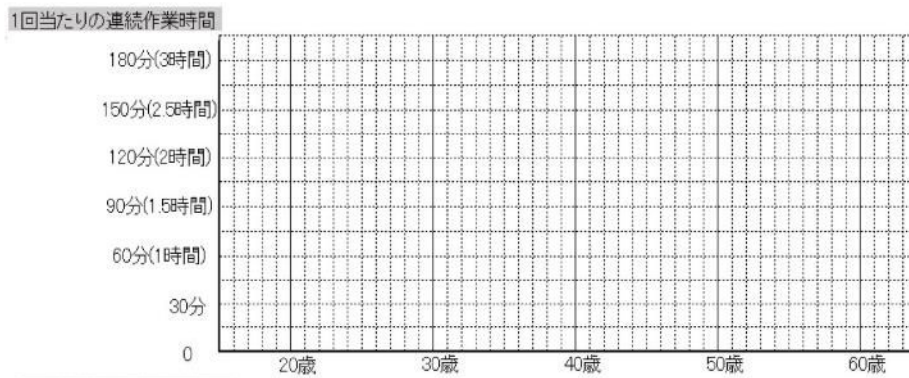
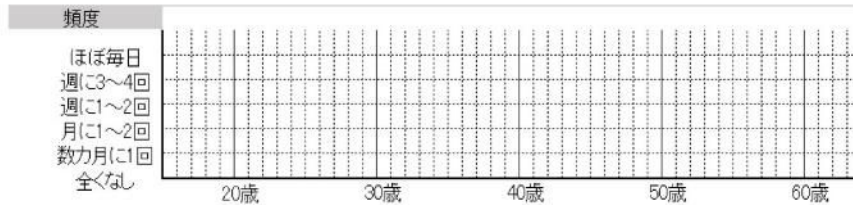
⑭ジグソー



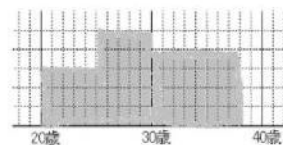
現在までの振動工具の取り扱いに関する質問紙

Q3. 使用した経験がある振動工具についてそれぞれの作業の頻度・作業時間を記載してください。

使用工具： _____ (Q2の番号を記入することも可)



- ・塗りつぶすように作業時間を記入してください。→<右の例>
- ・使用した工具の種類が多く、すべてを描き切れなかった場合は当日の調査時に追加の紙を用意しておきますのでご利用下さい。

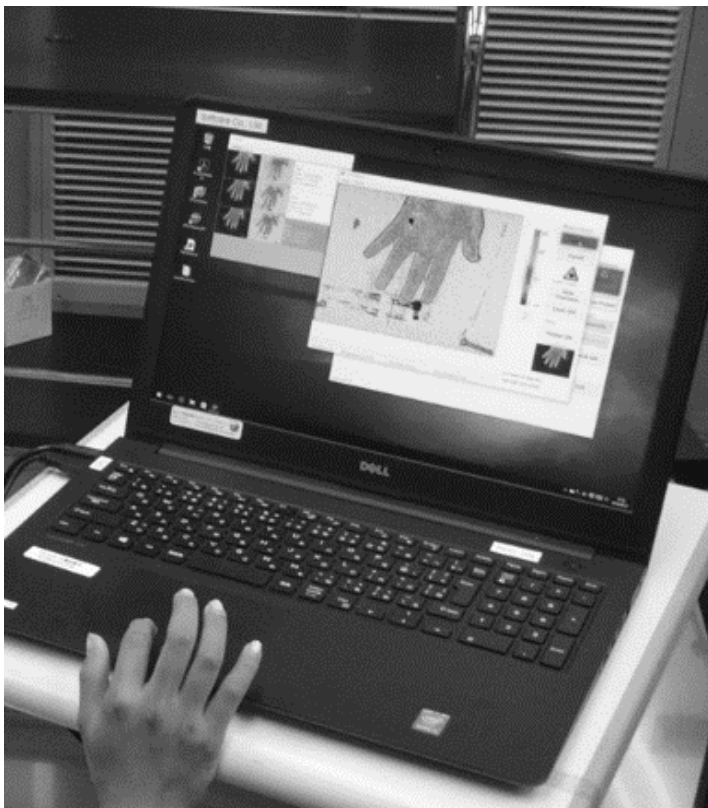


現在までの振動工具の取り扱いに関する質問紙

資料9：LSFGによる冷水浸漬負荷試験の風景



Laser speckle flowgraphy (LSFG)による血流測定風景_1



Laser speckle flowgraphy (LSFG)による血流測定風景_2

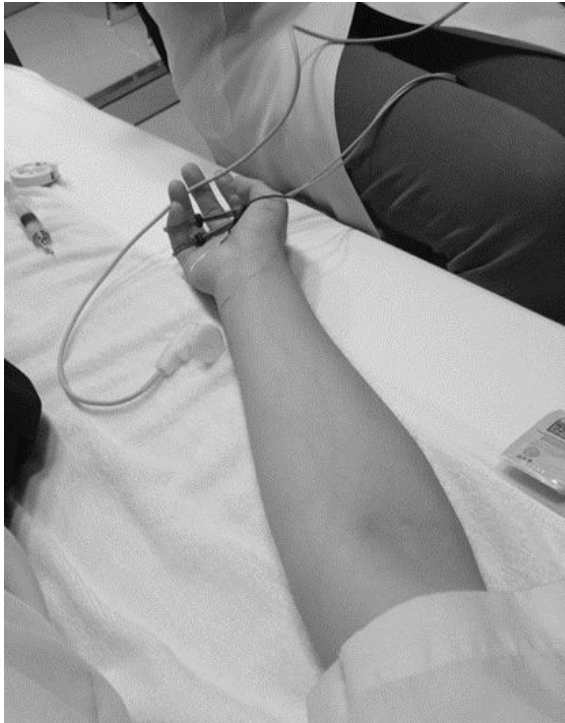


Laser speckle flowgraphy (LSFG)による血流出力

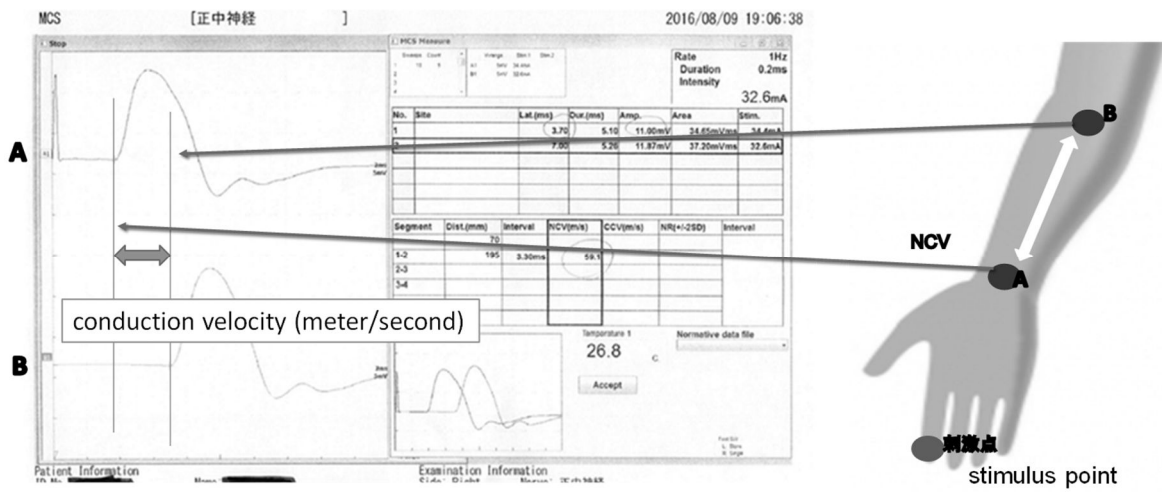


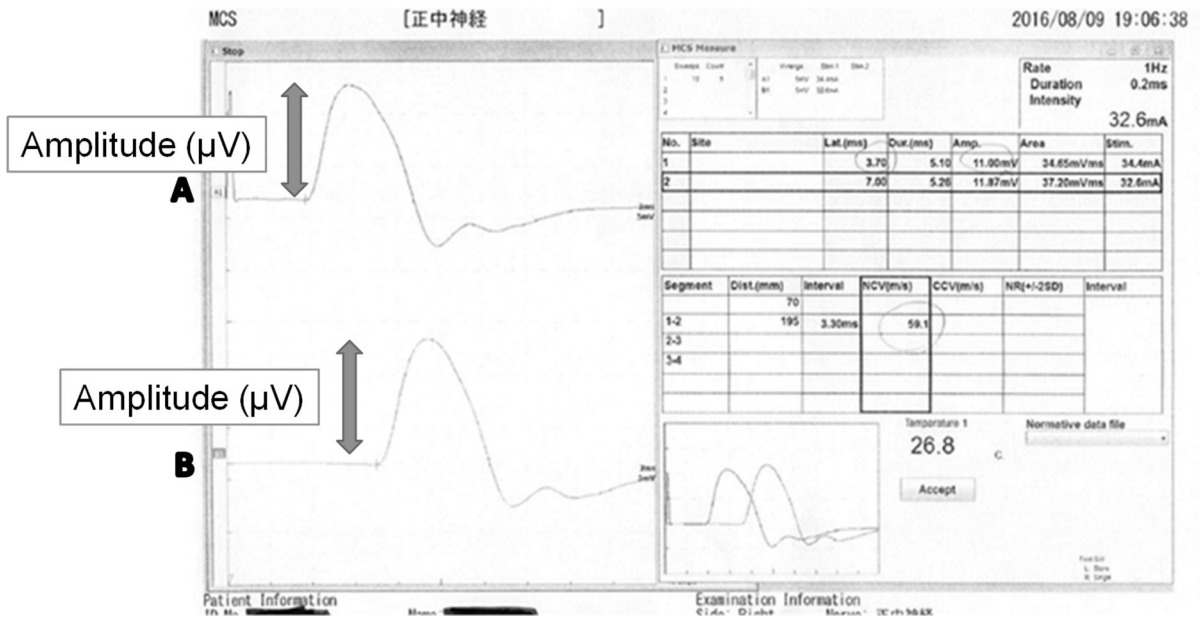
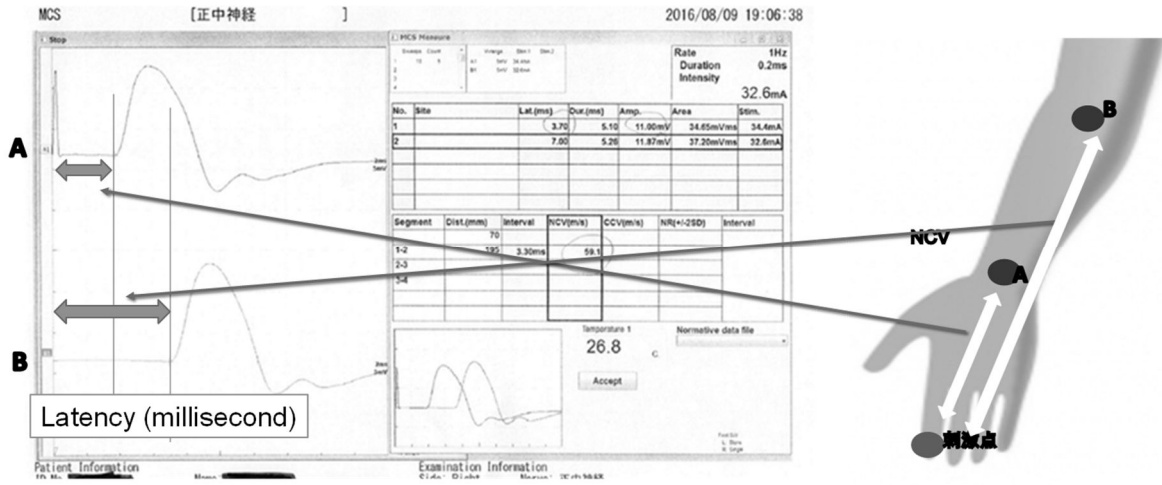
Laser speckle flowgraphy (LSFG)による血流出力

資料 10：神経伝導速度検査



実際の神経伝導速度検査





研究成果の刊行に関する一覧表

書籍
該当なし

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌
該当なし

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年