

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

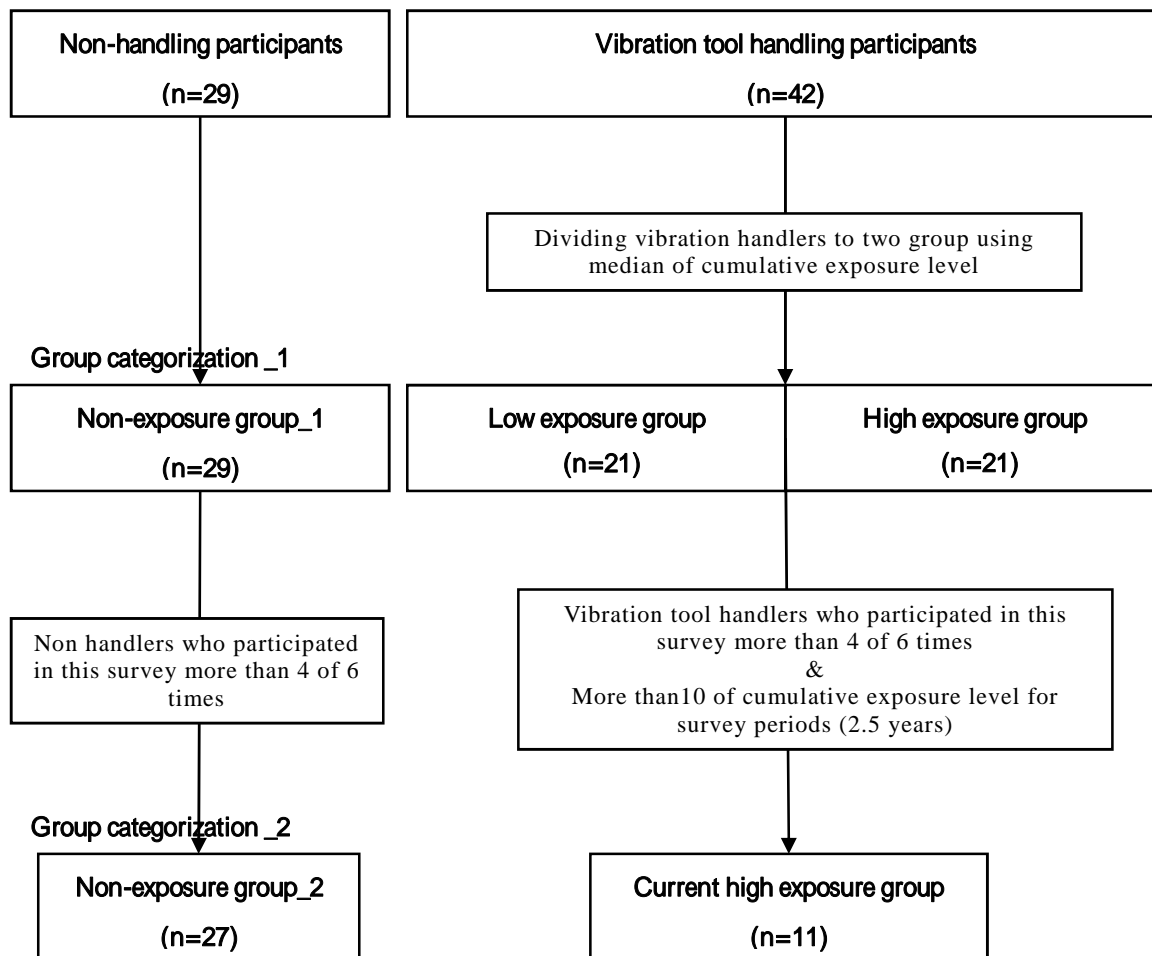


図 6a. 研究のフローと参加者の人数

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)

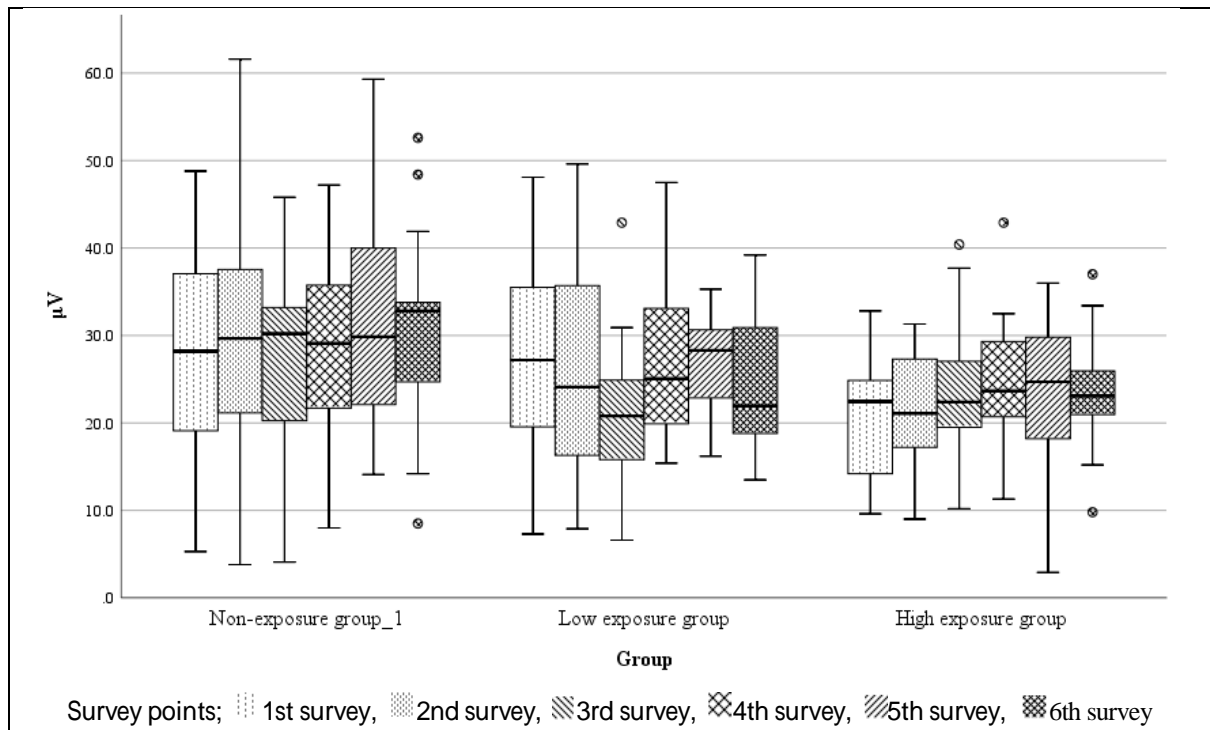


図 6b. 右正中神経感覚神経振幅の 3 群別推移

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

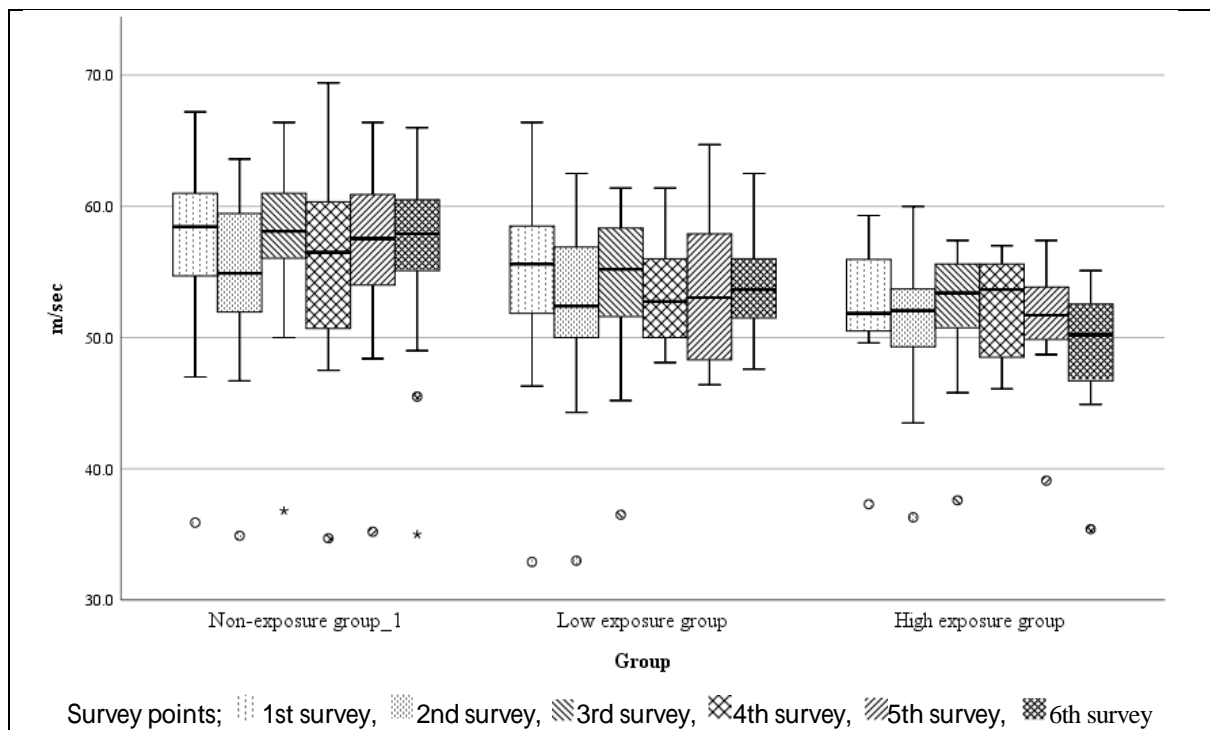


図 6c. 右正中神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

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

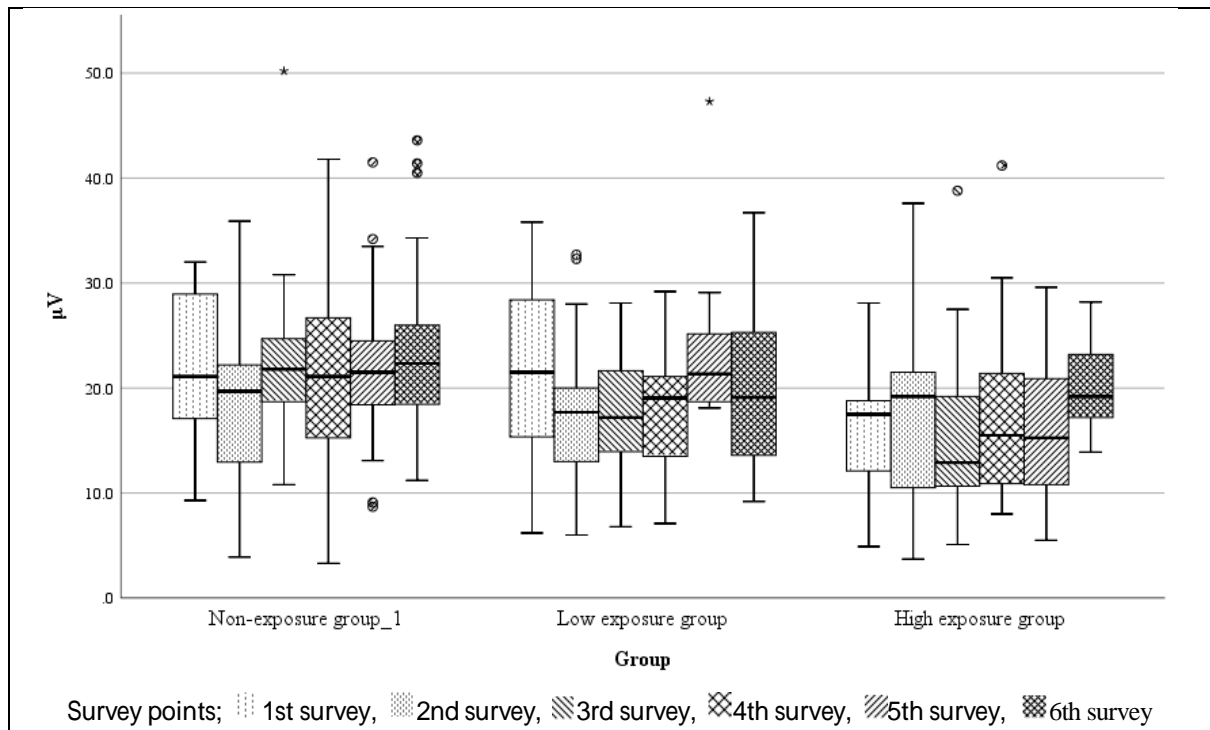


図 6d.右尺骨神経感覚神経振幅の3群別推移

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

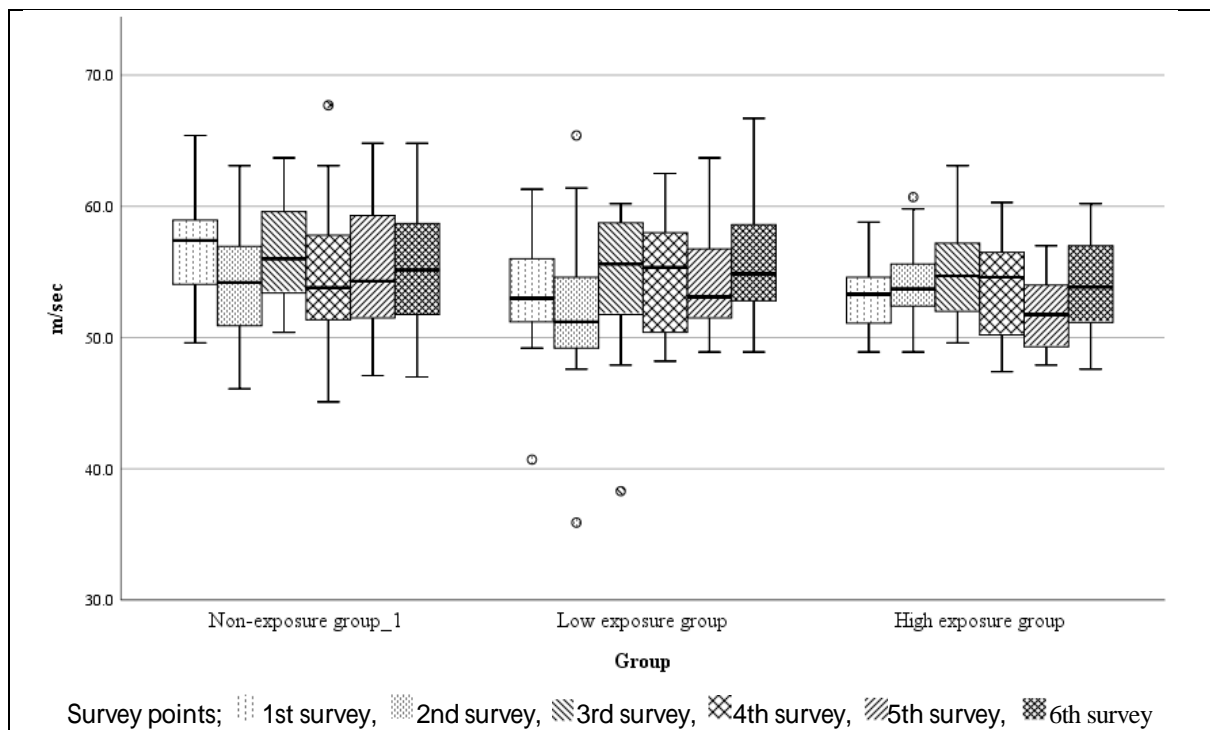


図 6e. 右尺骨神経感覚神経伝導速度の3群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.069$

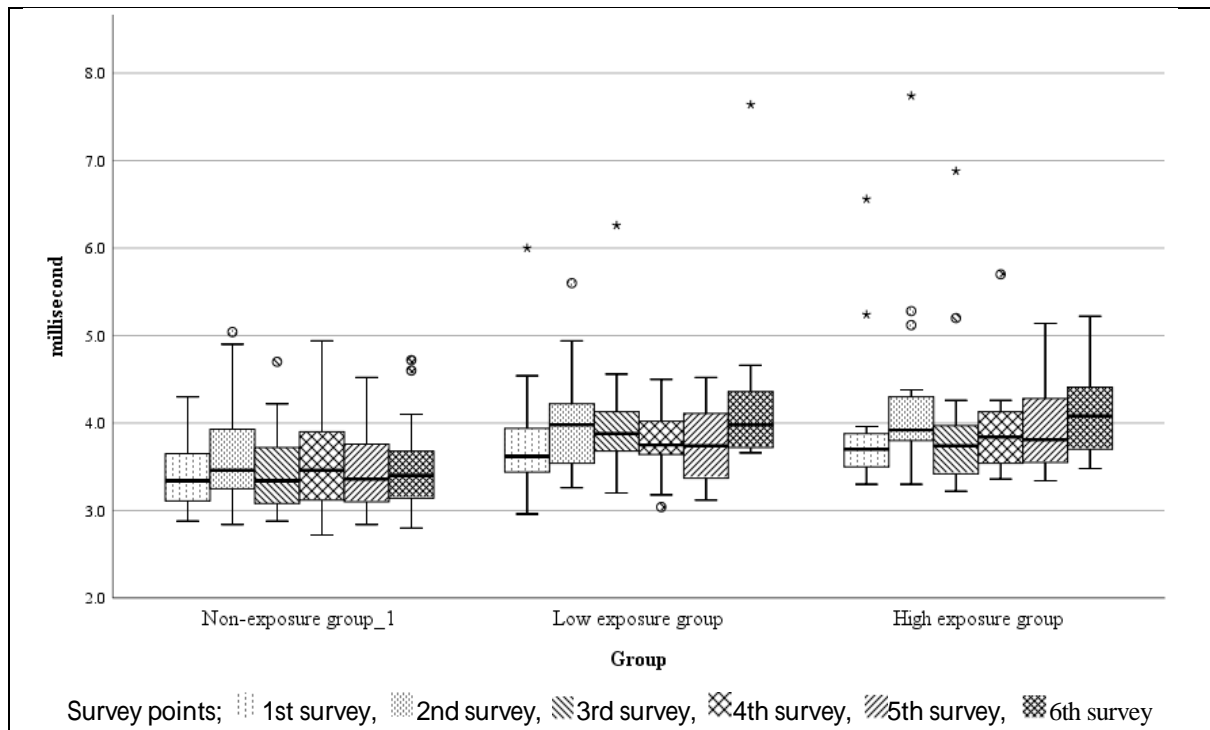


図 6f. 右正中神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

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

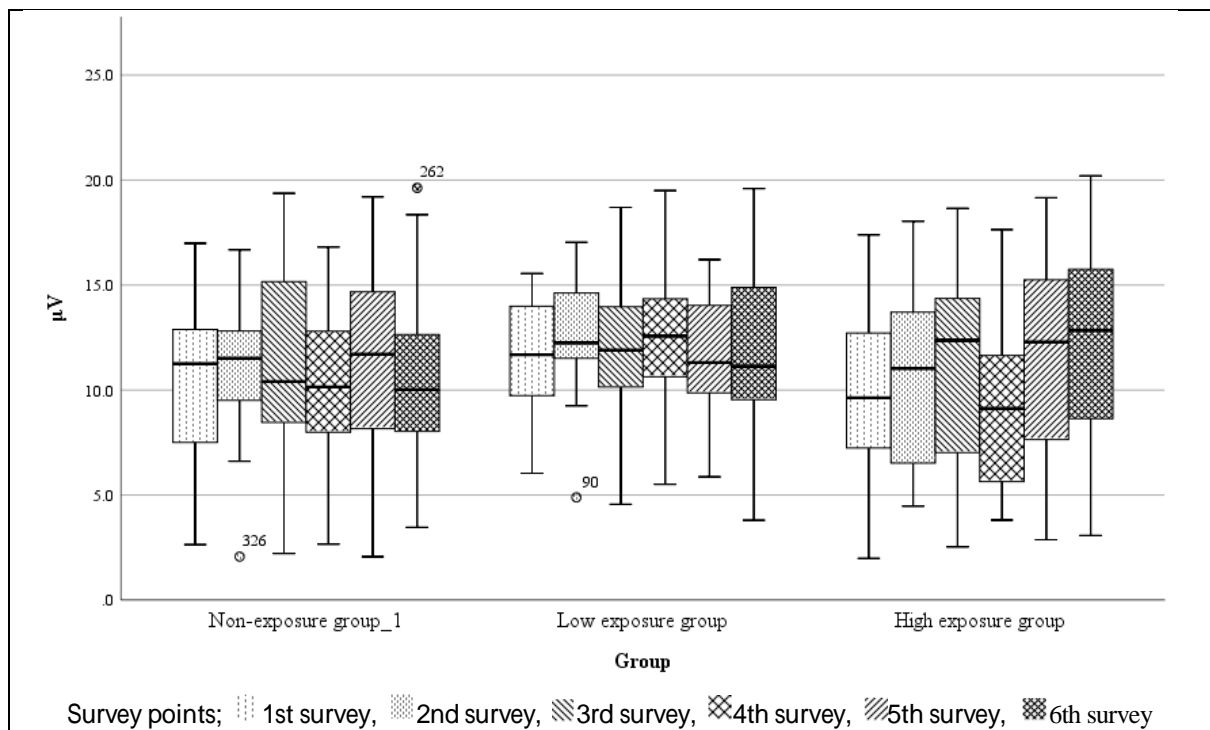


図 6g. 右正中神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.079$

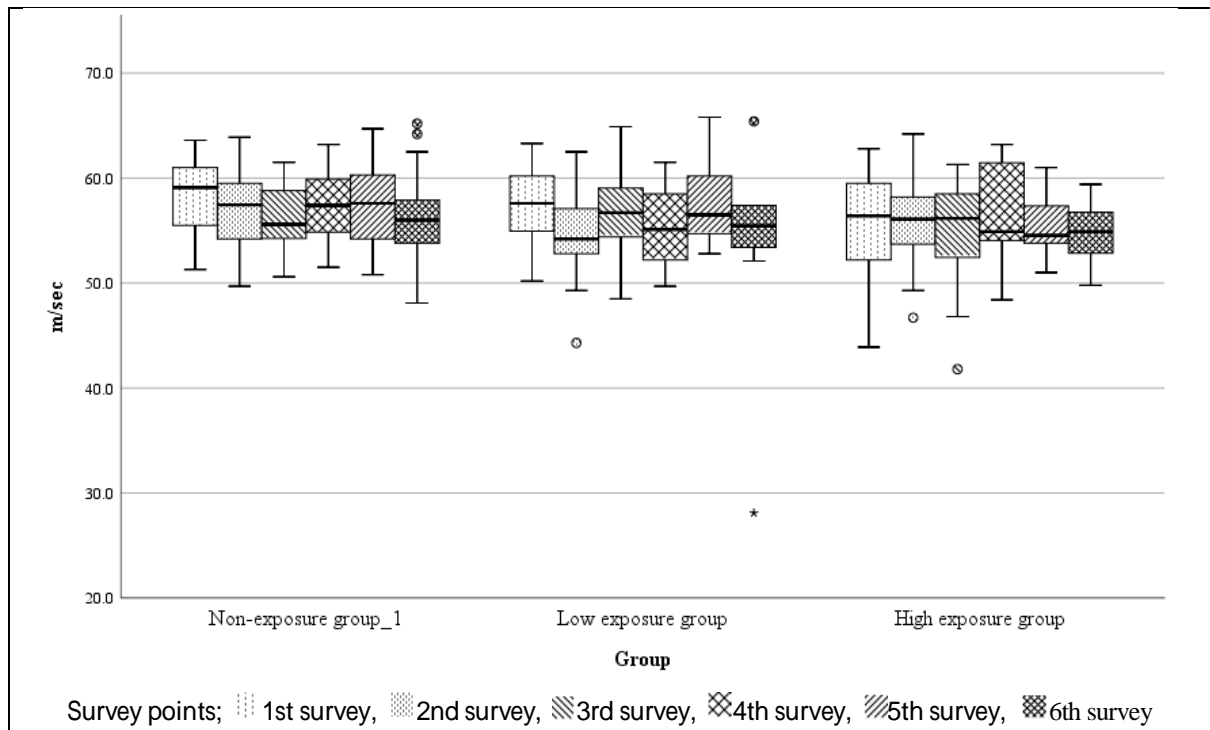


図 6h. 右正中神経運動神経伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.057

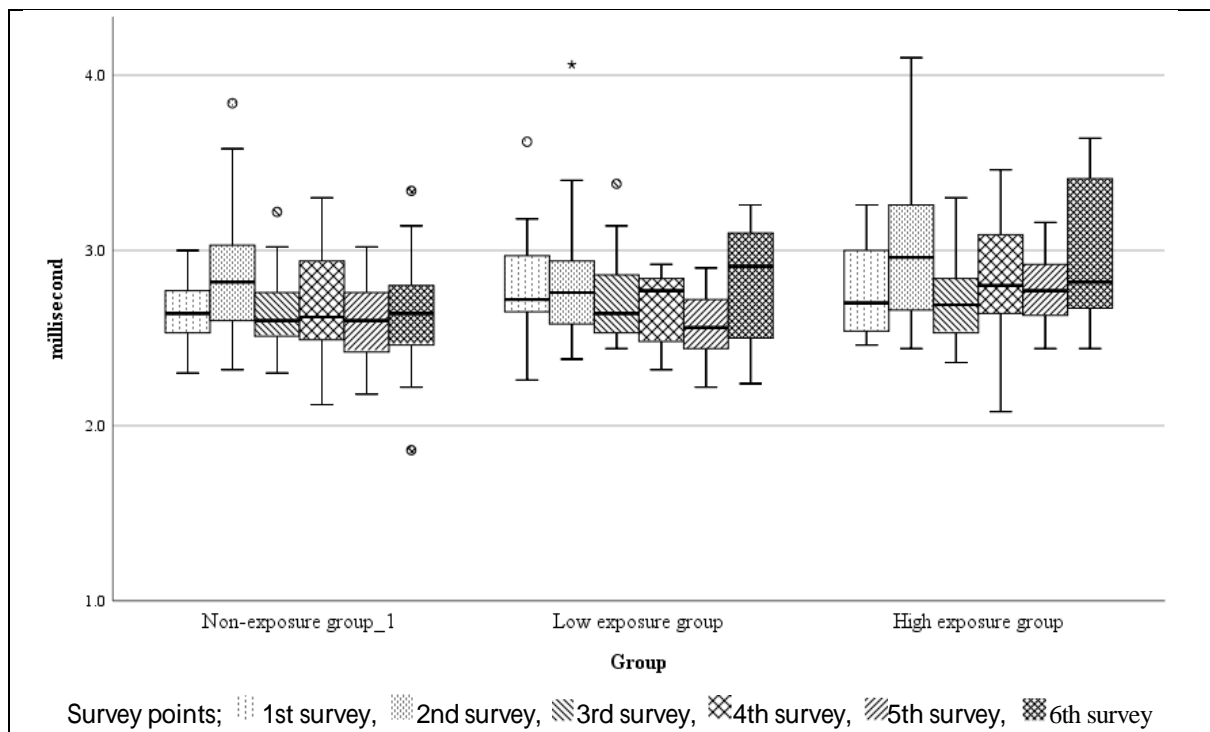


図 6i. 右尺骨神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.054

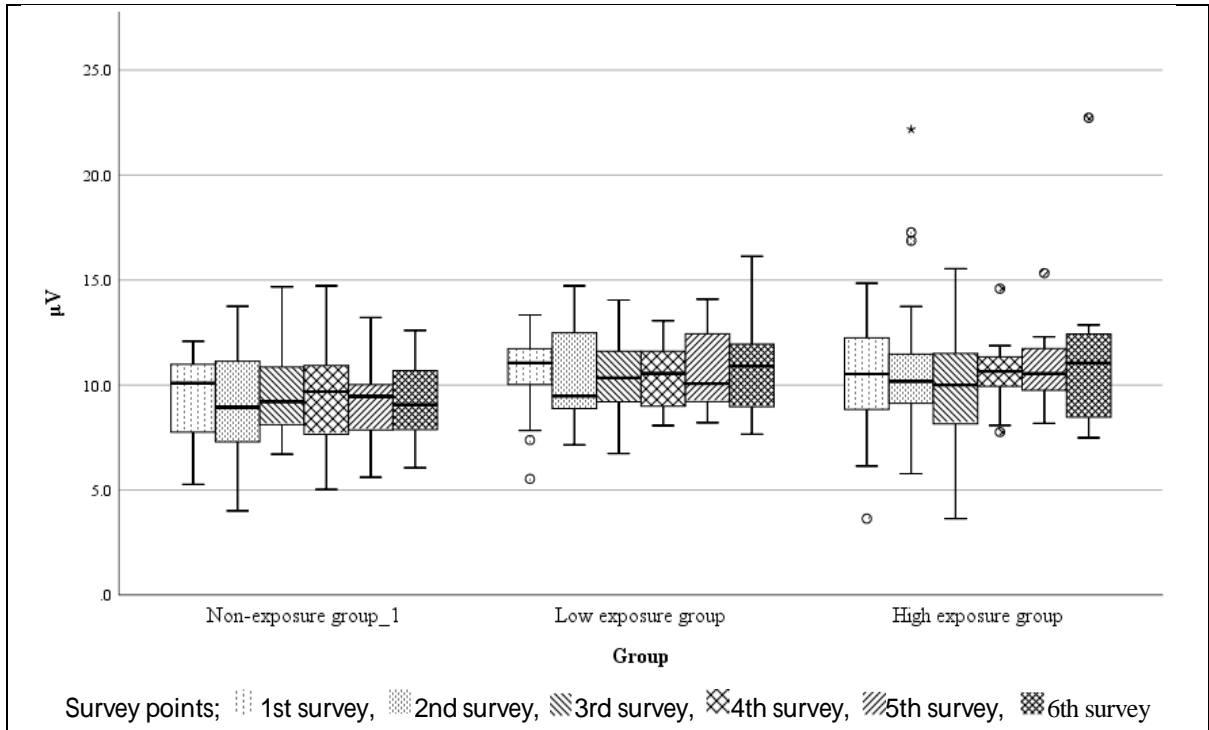


図 6j. 右尺骨神経運動神経振幅の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.115

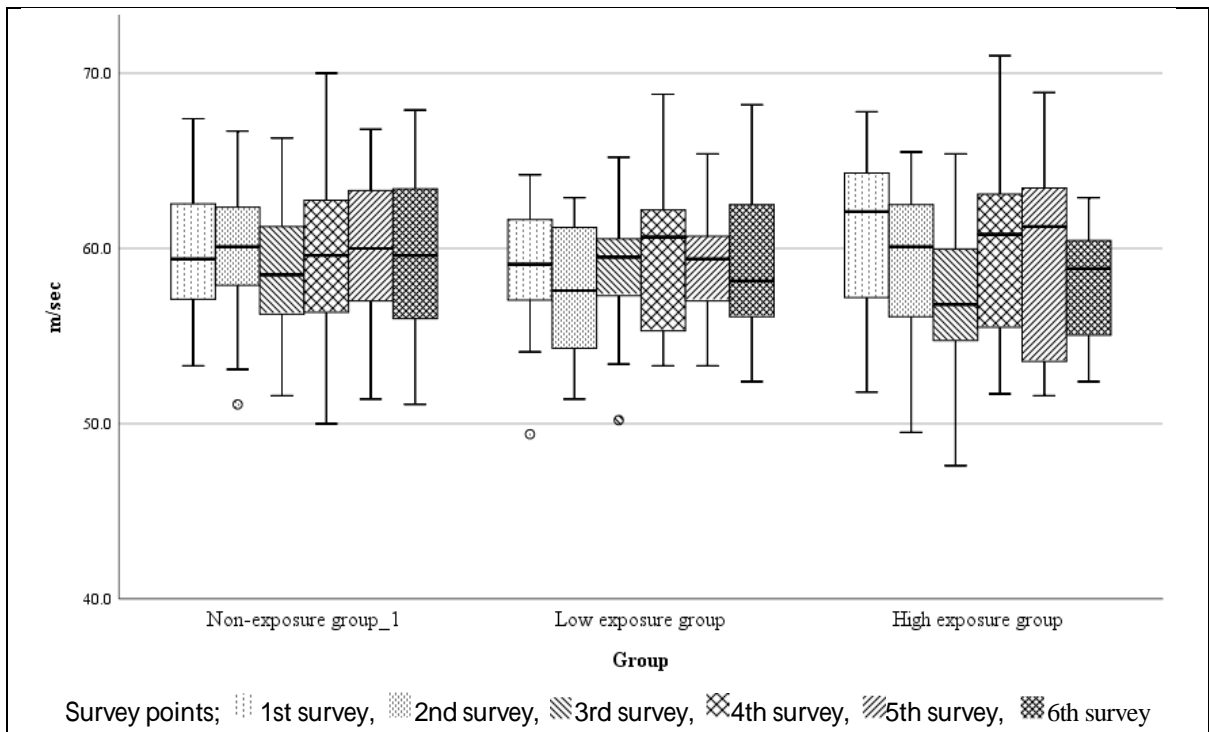


図 6k. 右尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.173

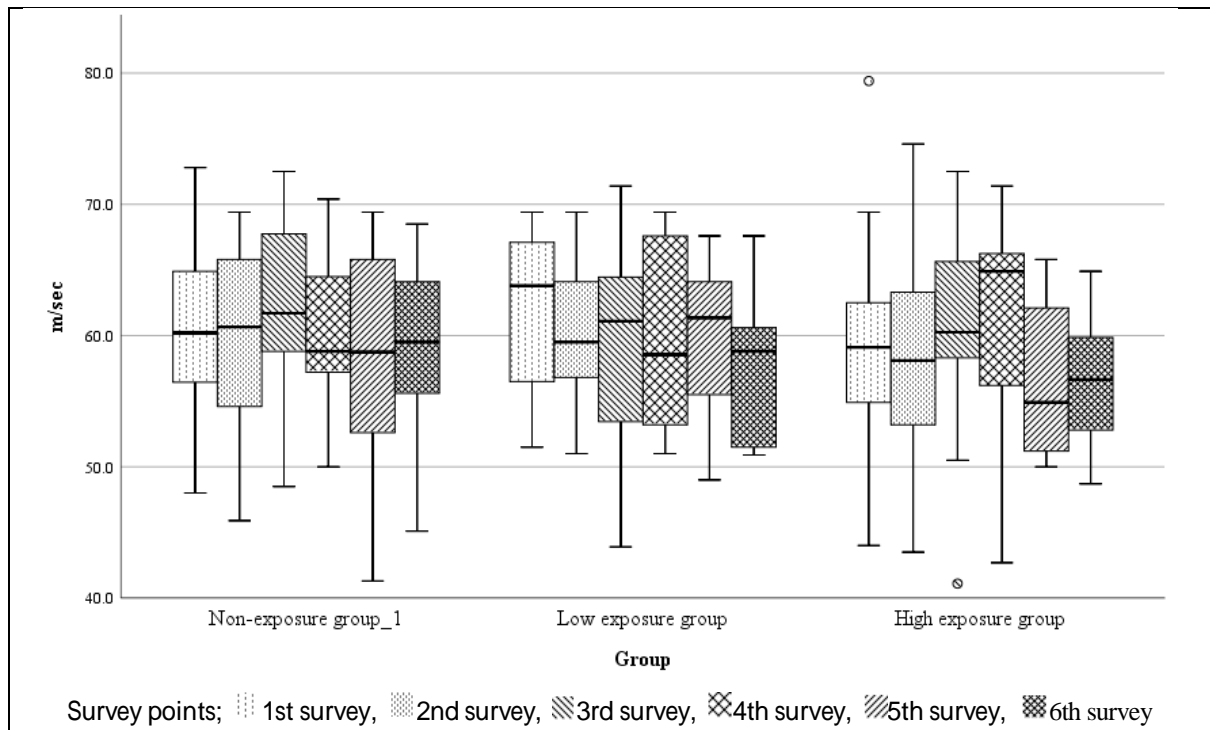


図 61. 右尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.624

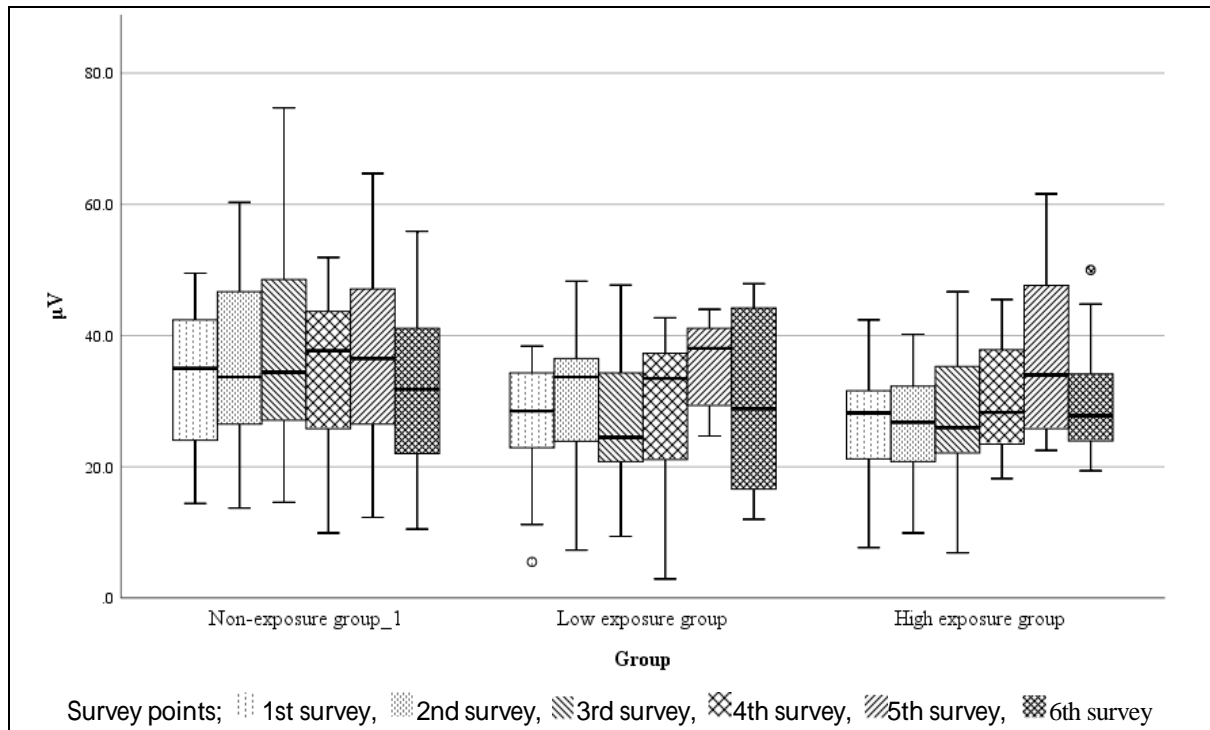


図 62. 左正中神経感覚神経振幅の 3 群別推移

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

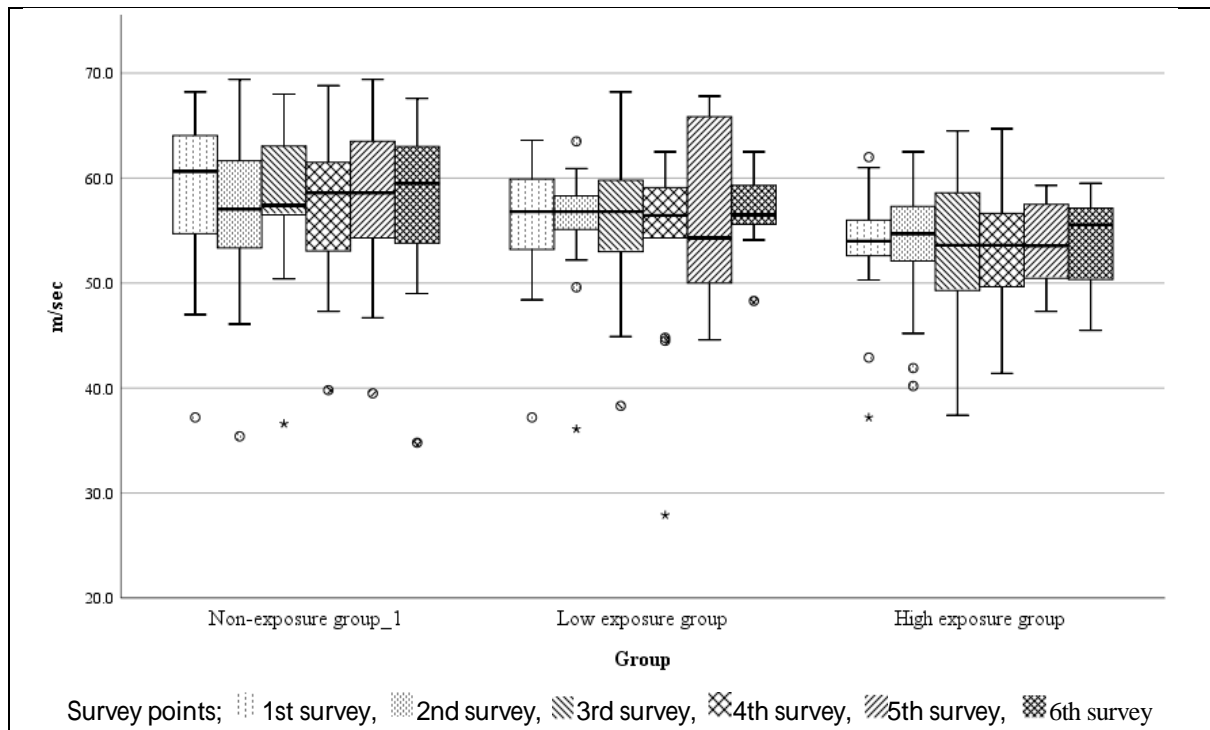


図 6n. 左正中神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

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

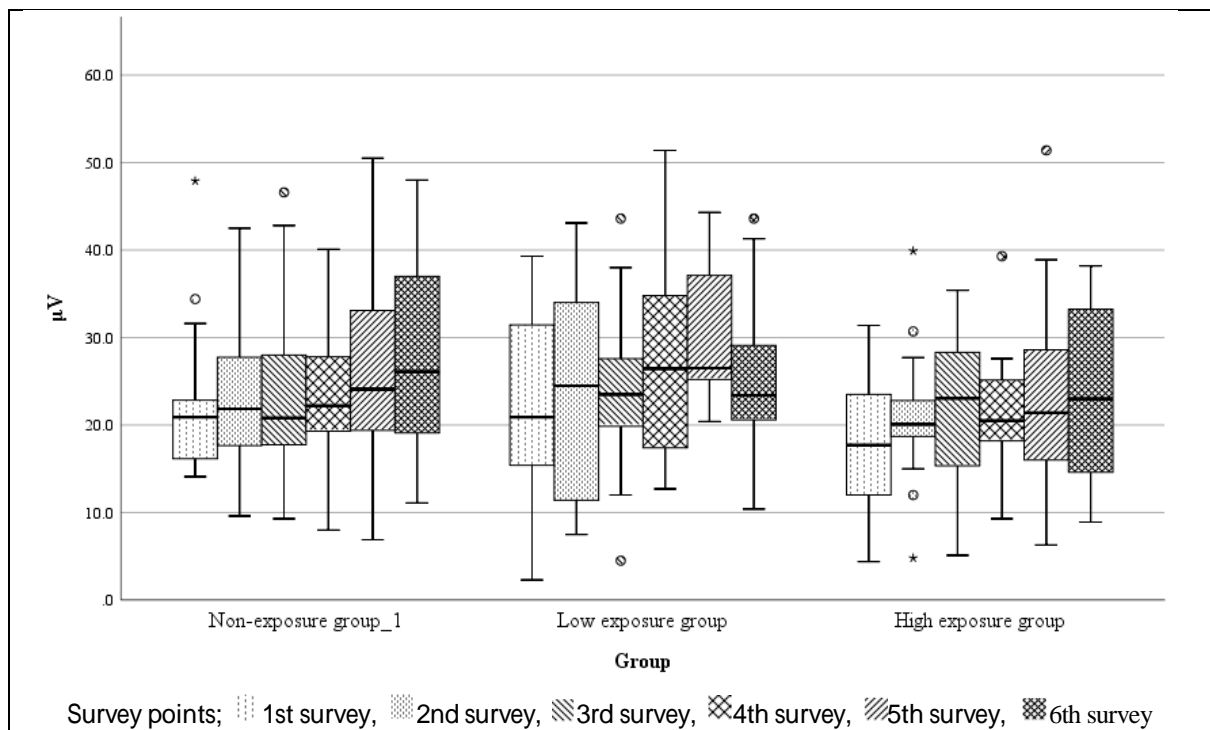


図 6o. 左尺骨神経感覚神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.240$

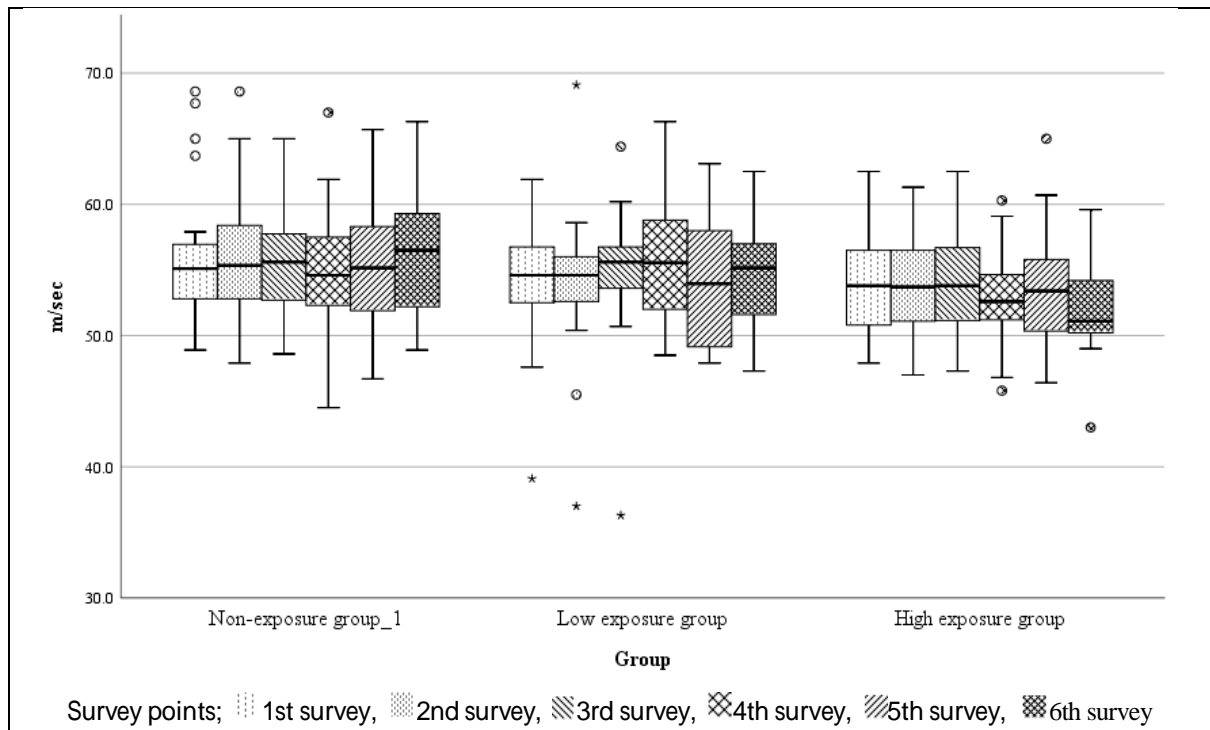


図 6p. 左尺骨神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.054

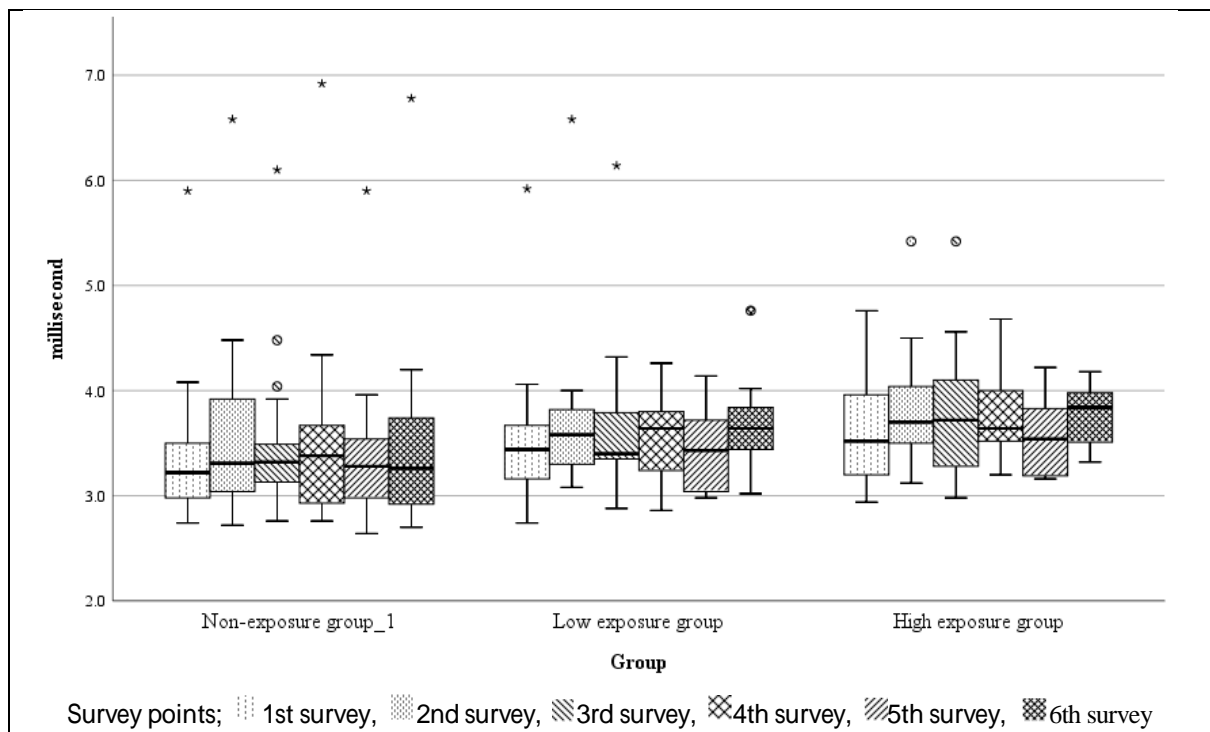
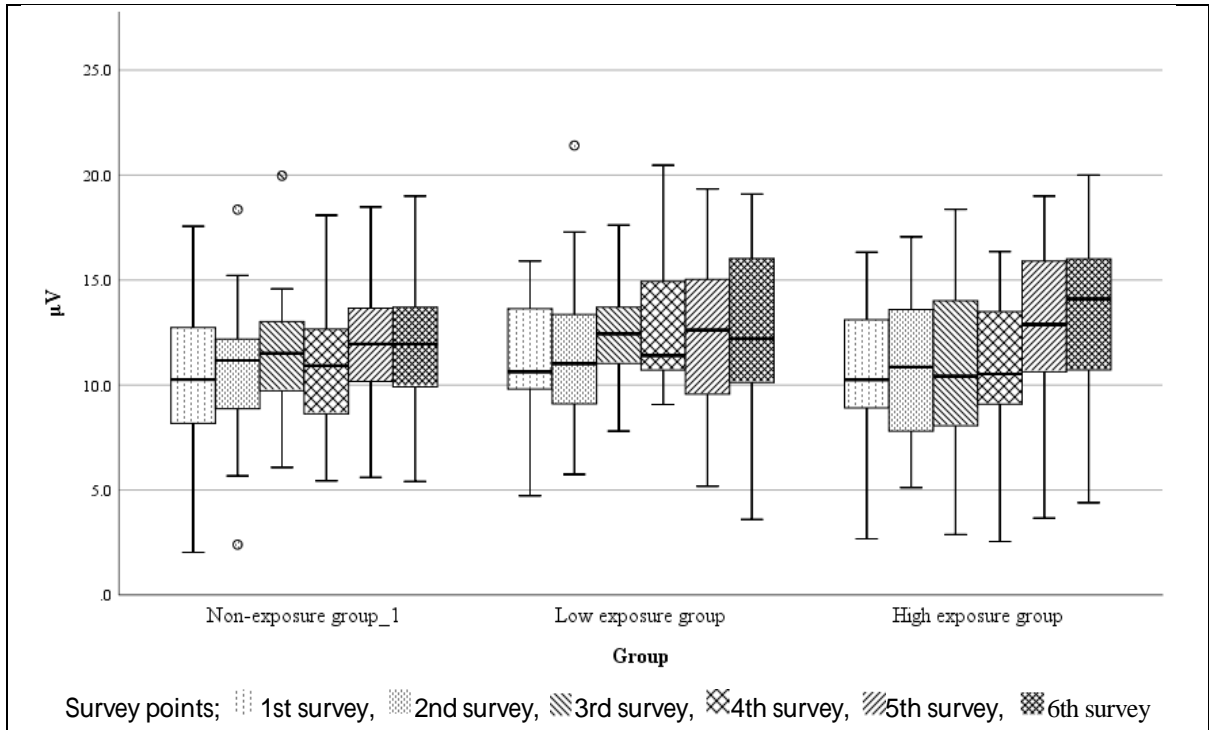


図 6q. 左正中神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.054



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: $P=0.029$

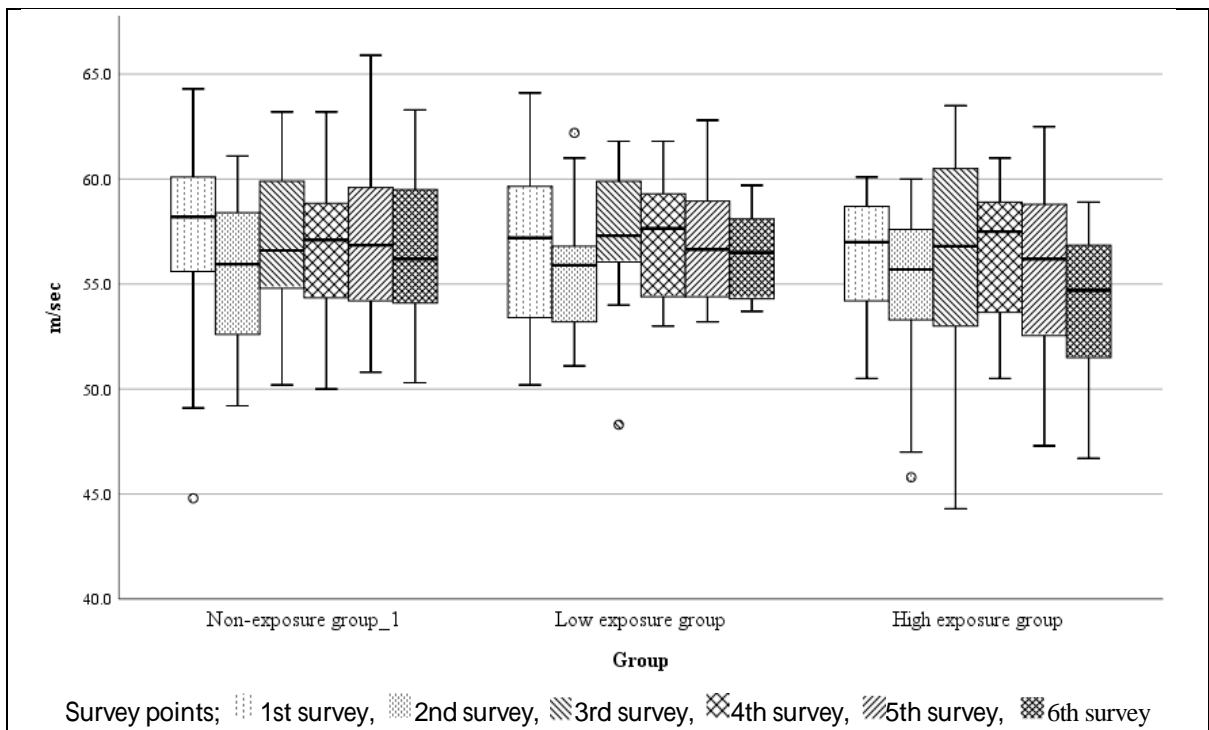


図 6s. 左正中神経運動神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.193$

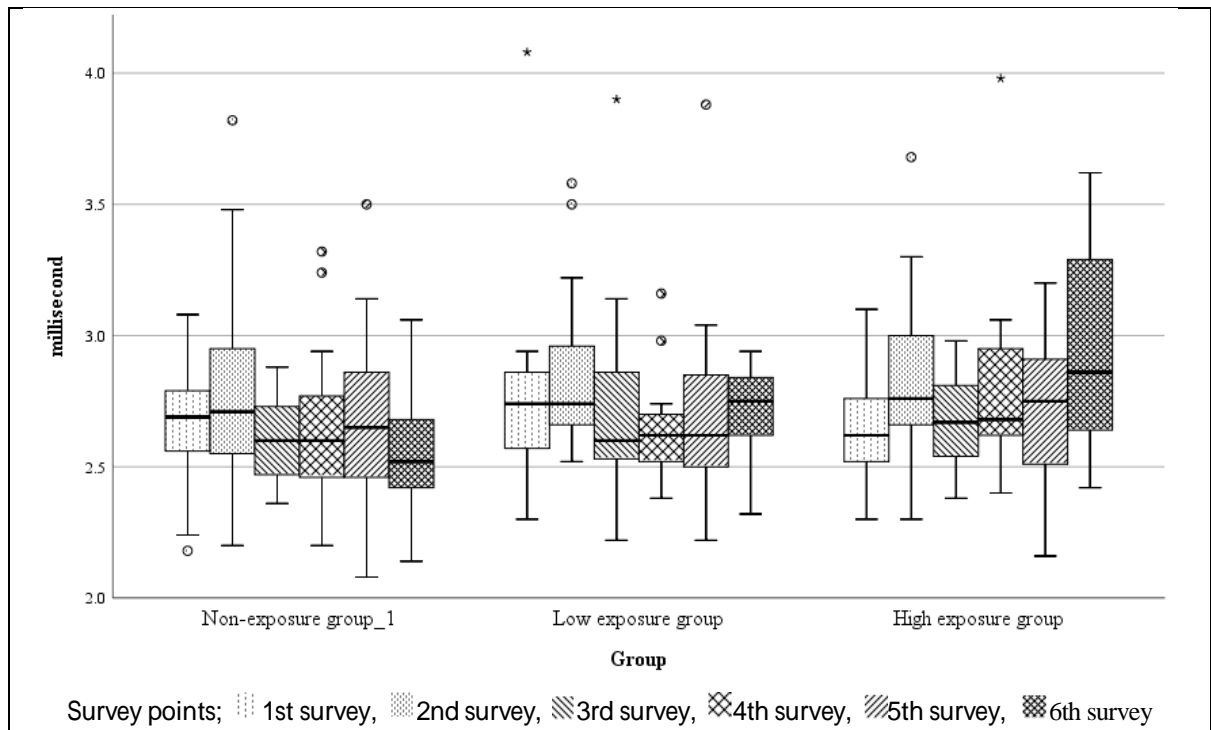


図 6t. 左尺骨神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.213

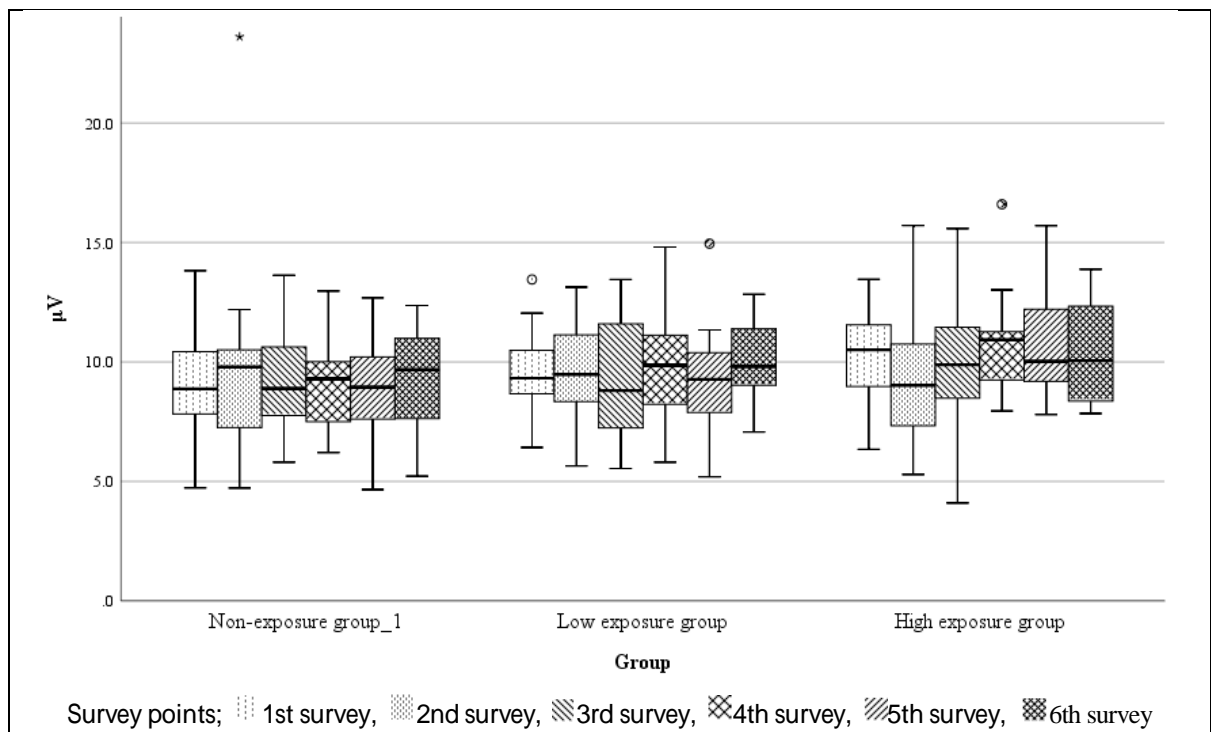


図 6u. 左尺骨神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.423

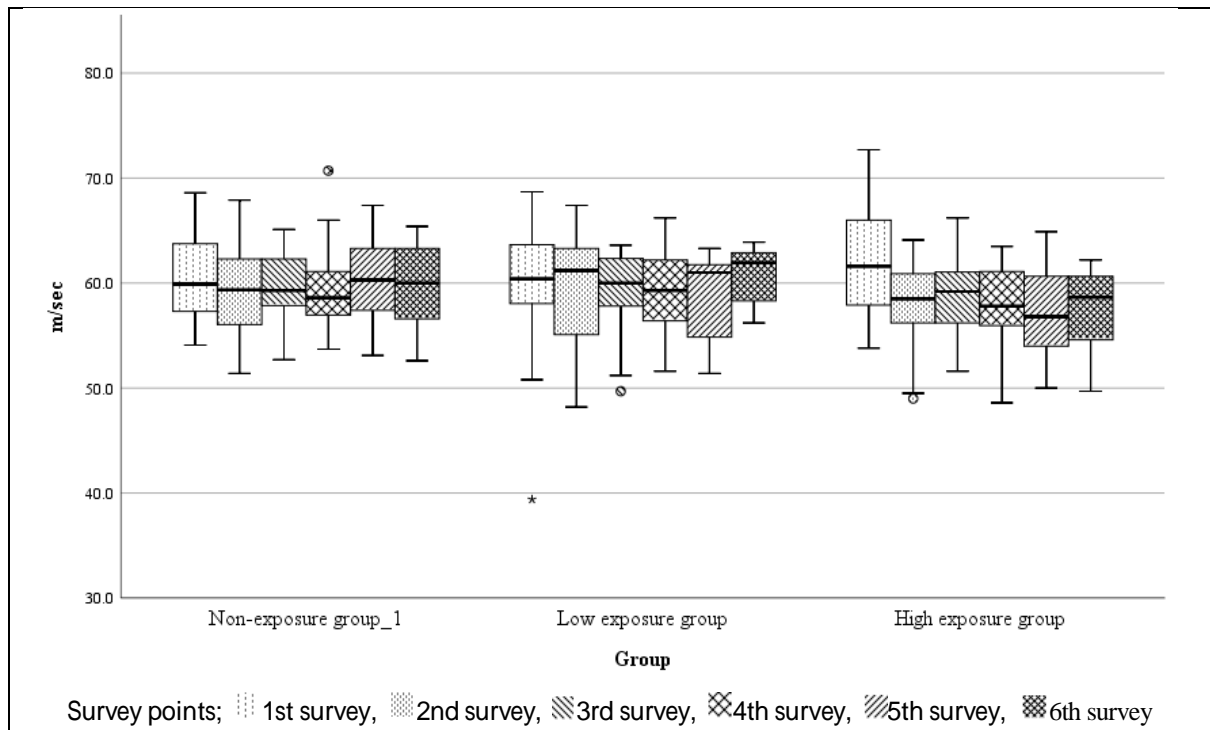


図 6v. 左尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.678

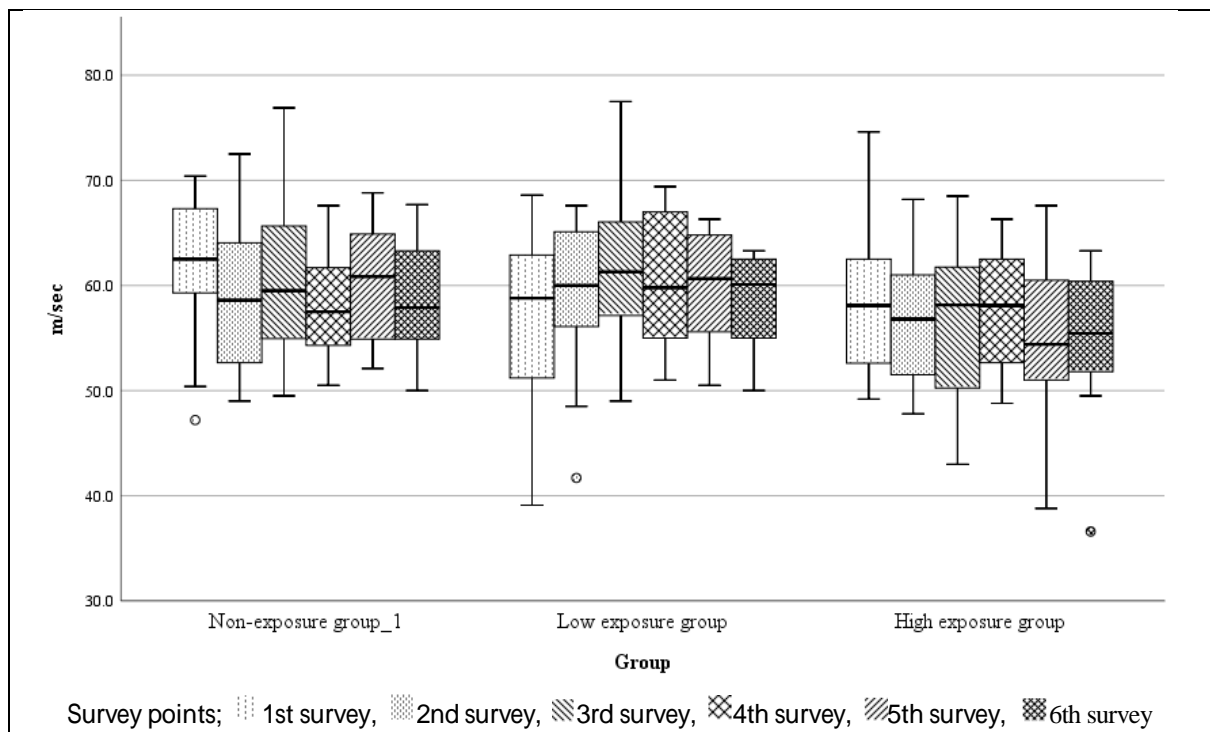


図 6w. 左尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.379

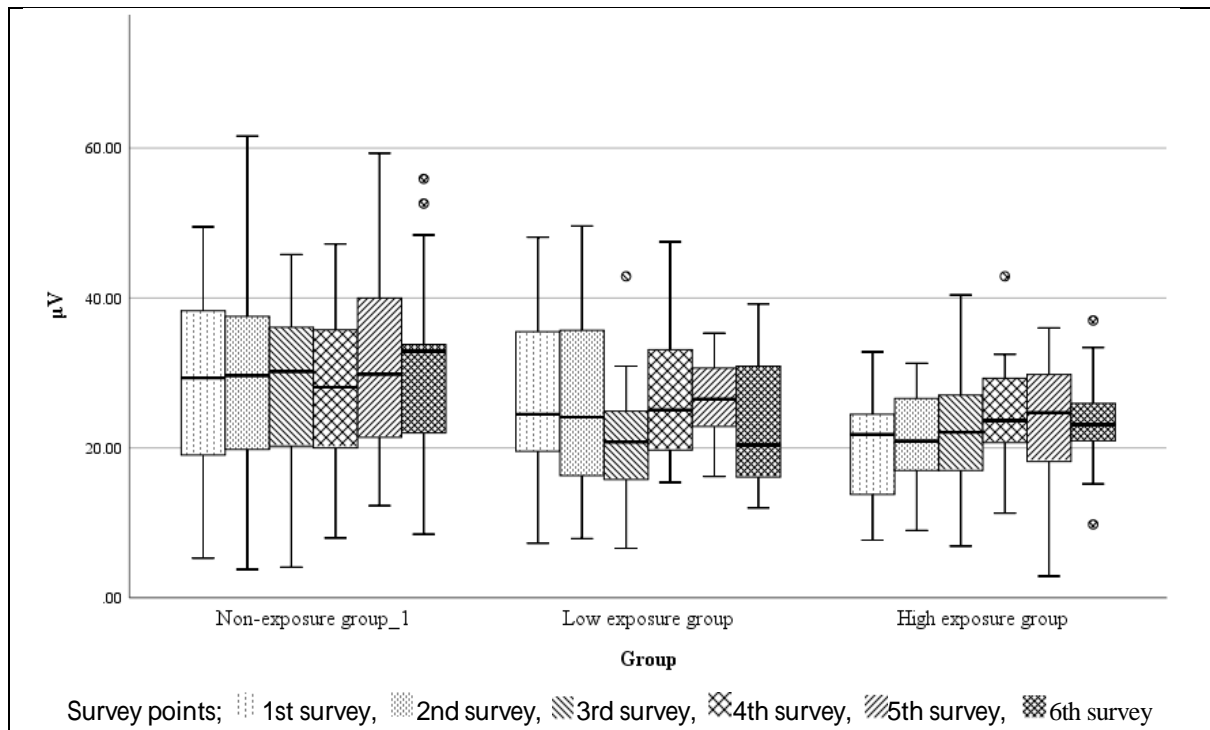
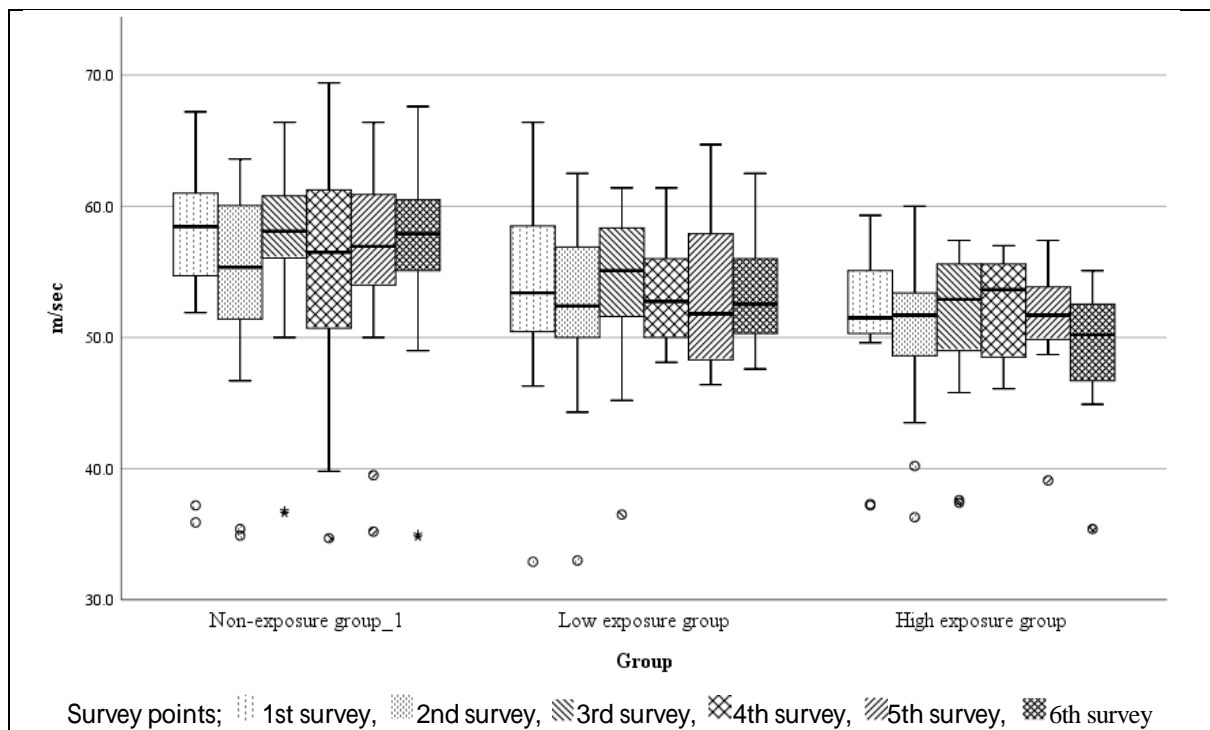


図 6x. 利き手正中神経感覚神経振幅の 3 群別推移

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: $P=0.005$

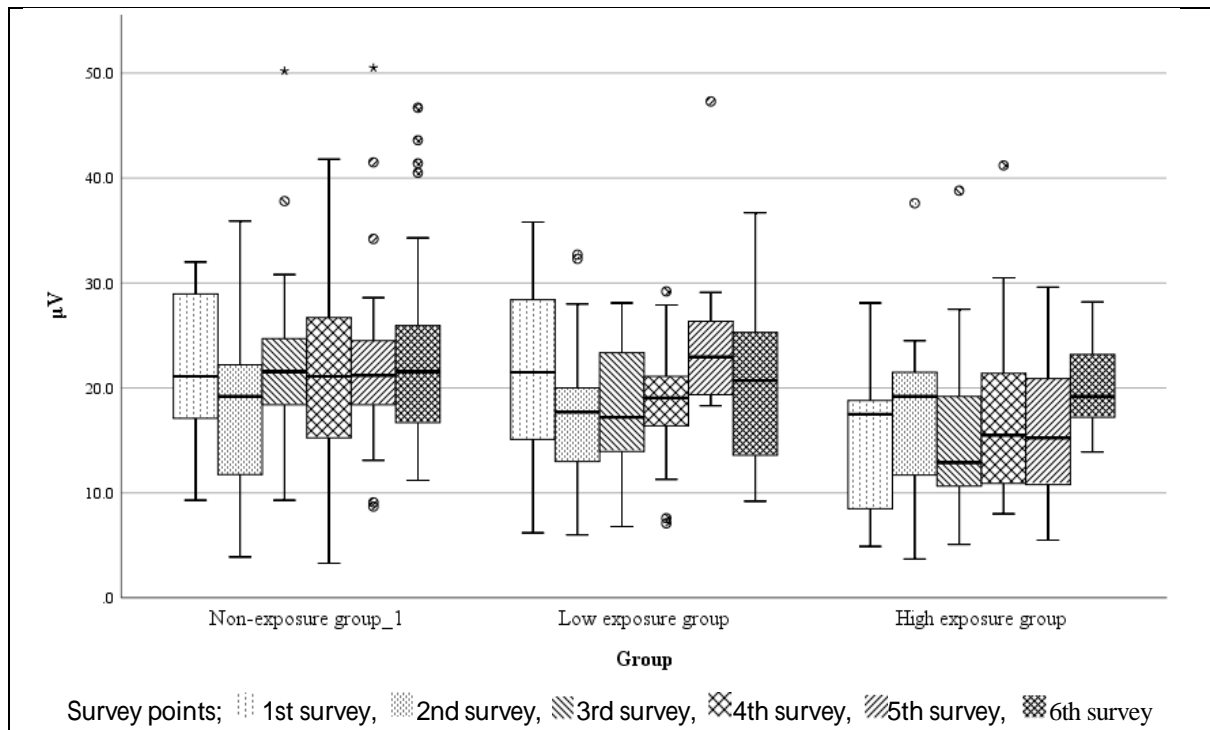


図 6z. 利き手尺骨神経感覚神経振幅の 3 群別推移

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

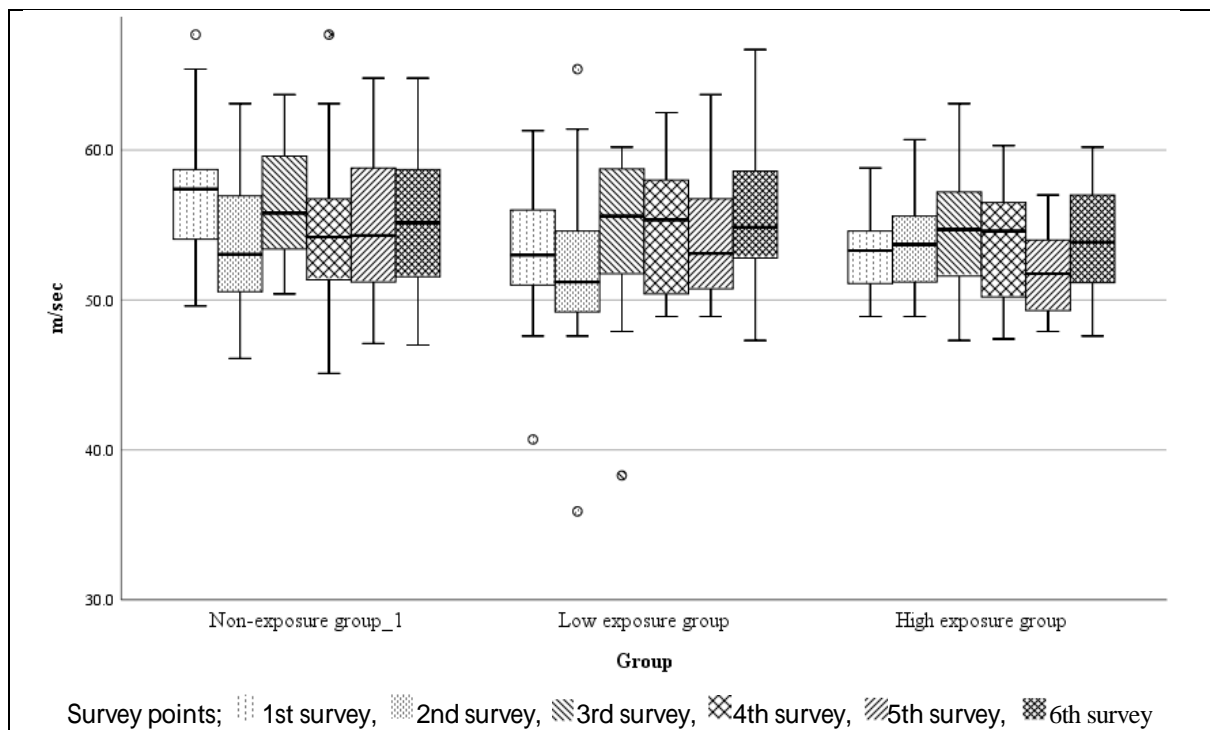


図 6aa. 利き手尺骨神経感覚神経伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.063$

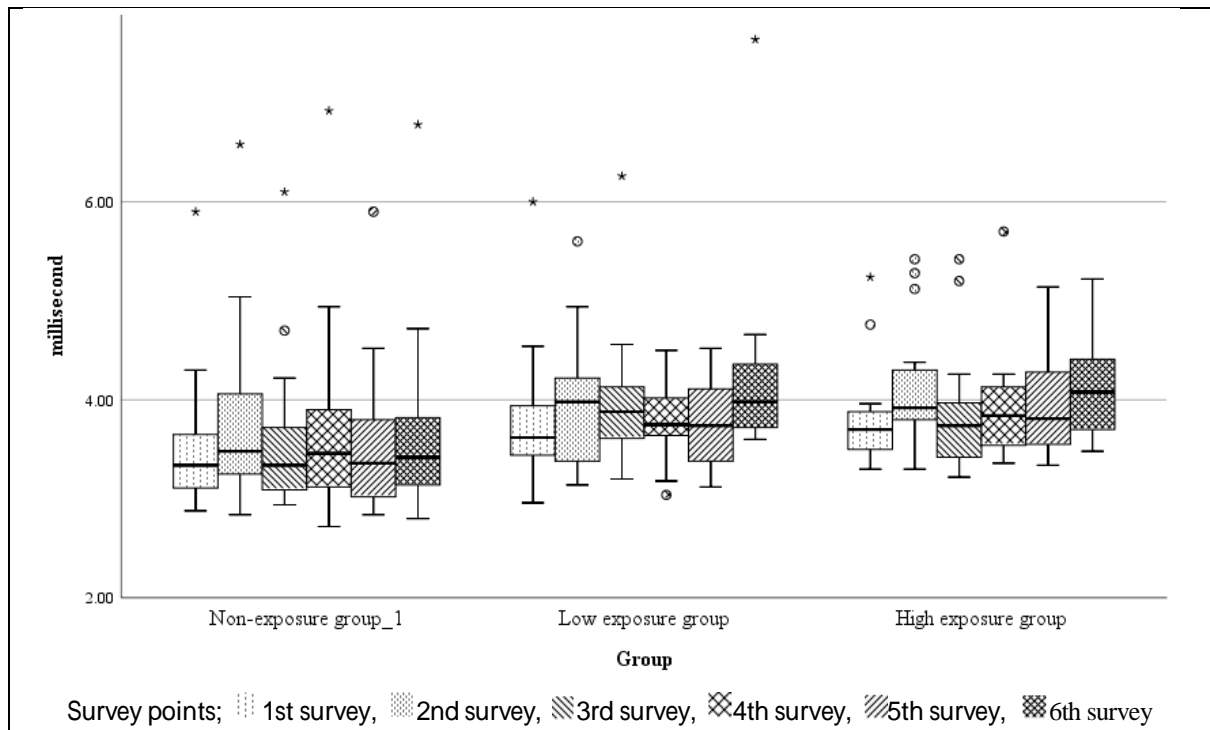


図 6ab. 利き手正中神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移

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

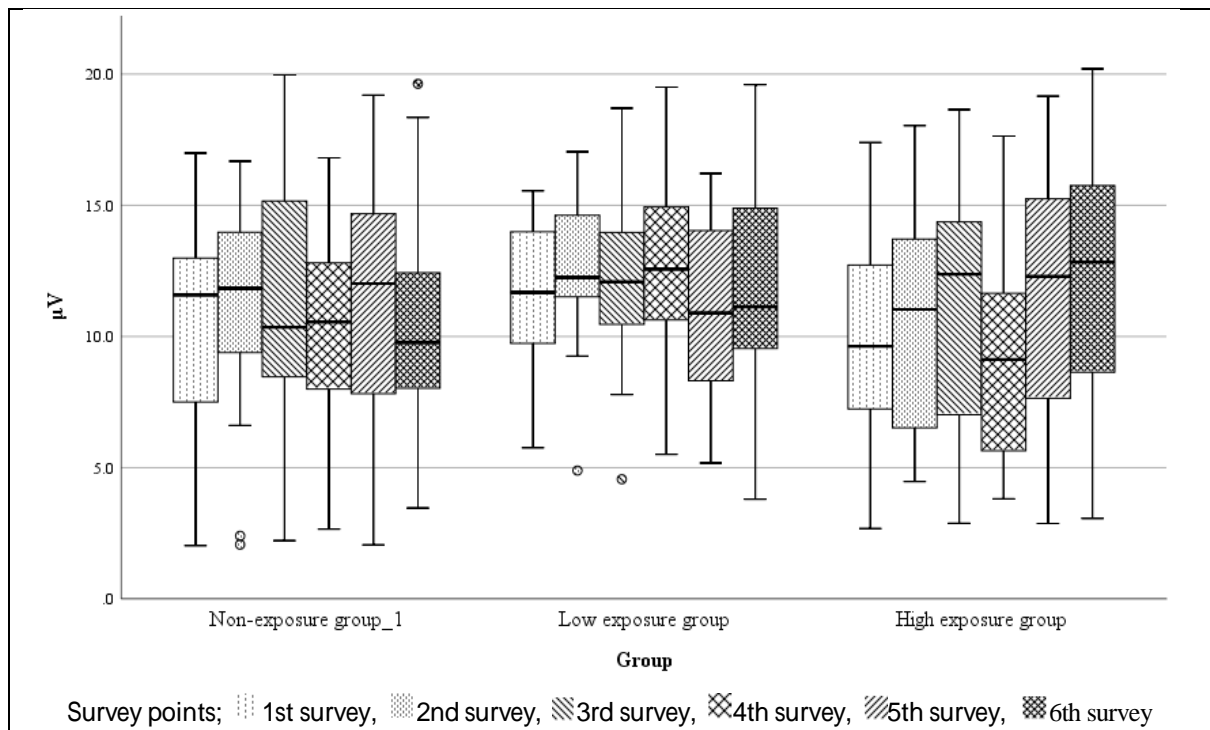


図 6ac. 利き手正中神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.089$

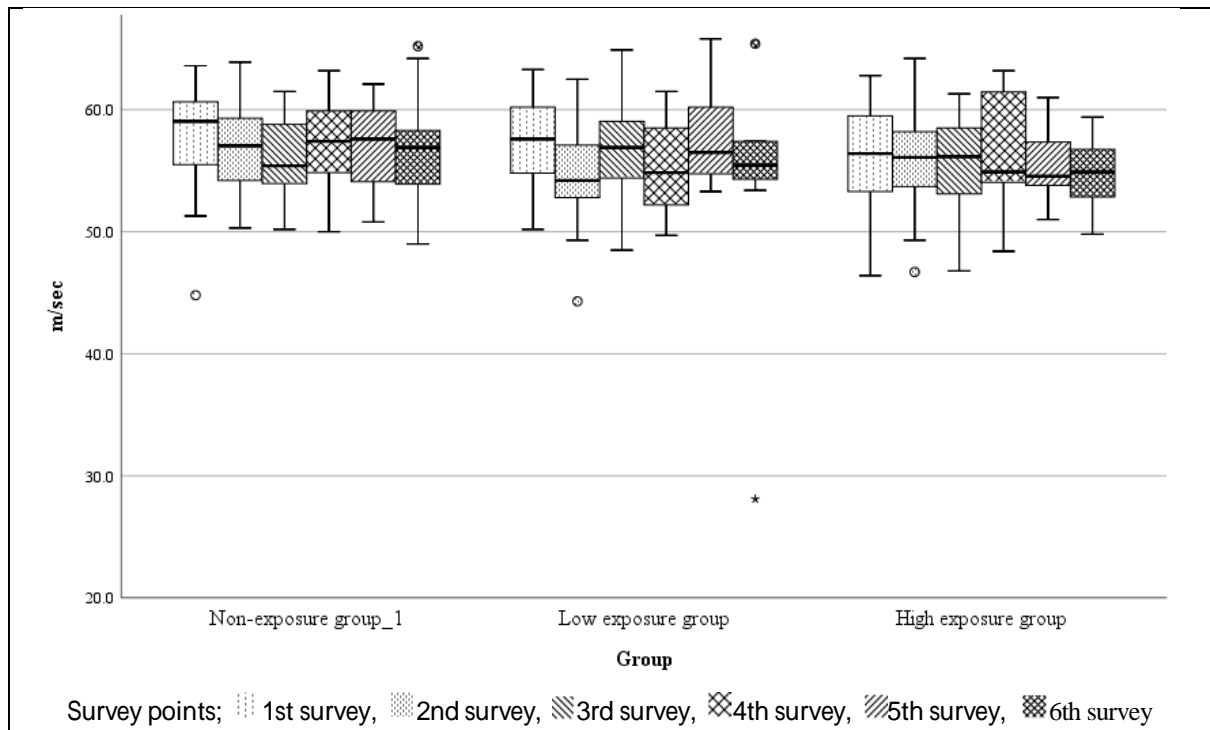


図 6ad. 利き手正中神経運動神経伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.196

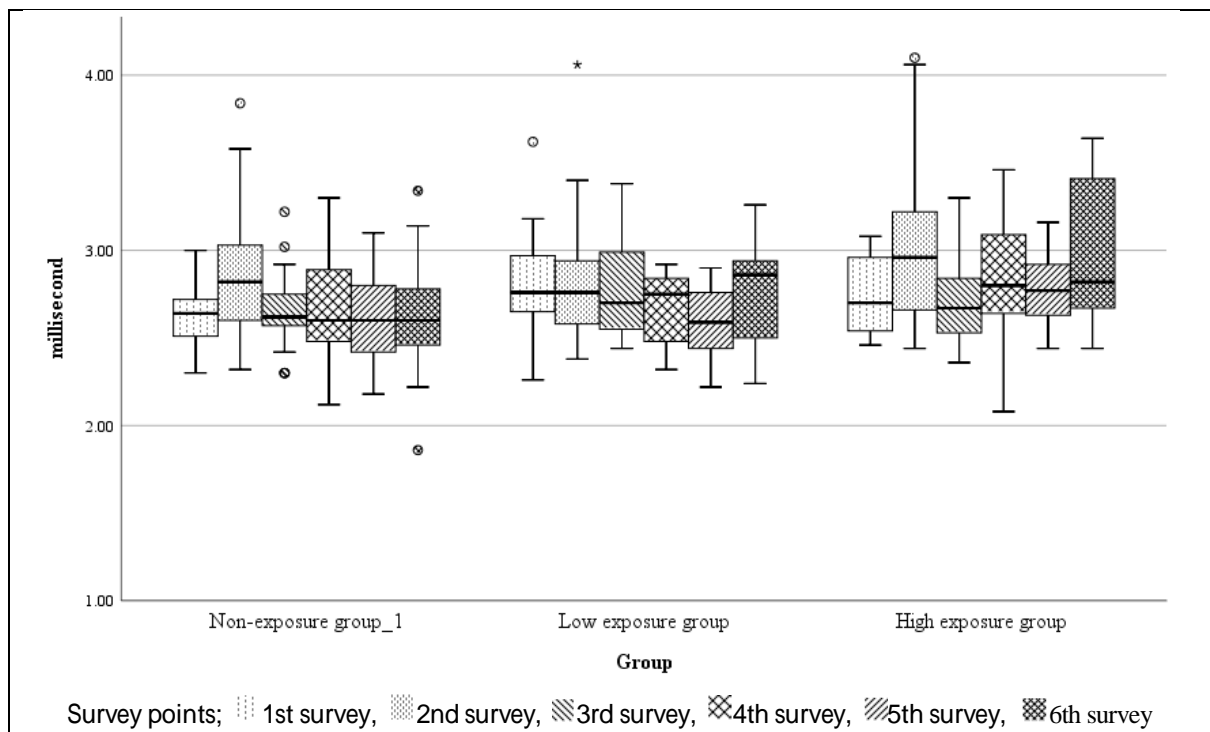


図 6ae. 利き手尺骨神経運動神経遠位潜時の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.067

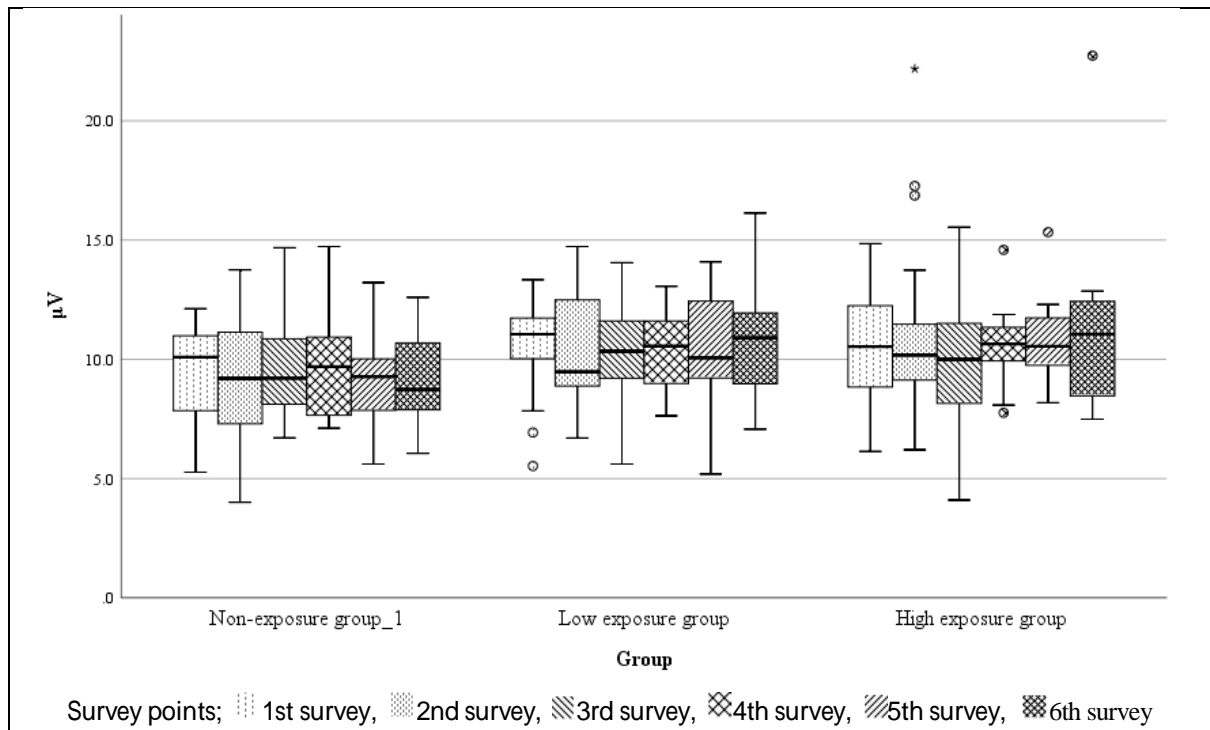


図 6af. 利き手尺骨神経運動神経振幅の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.116

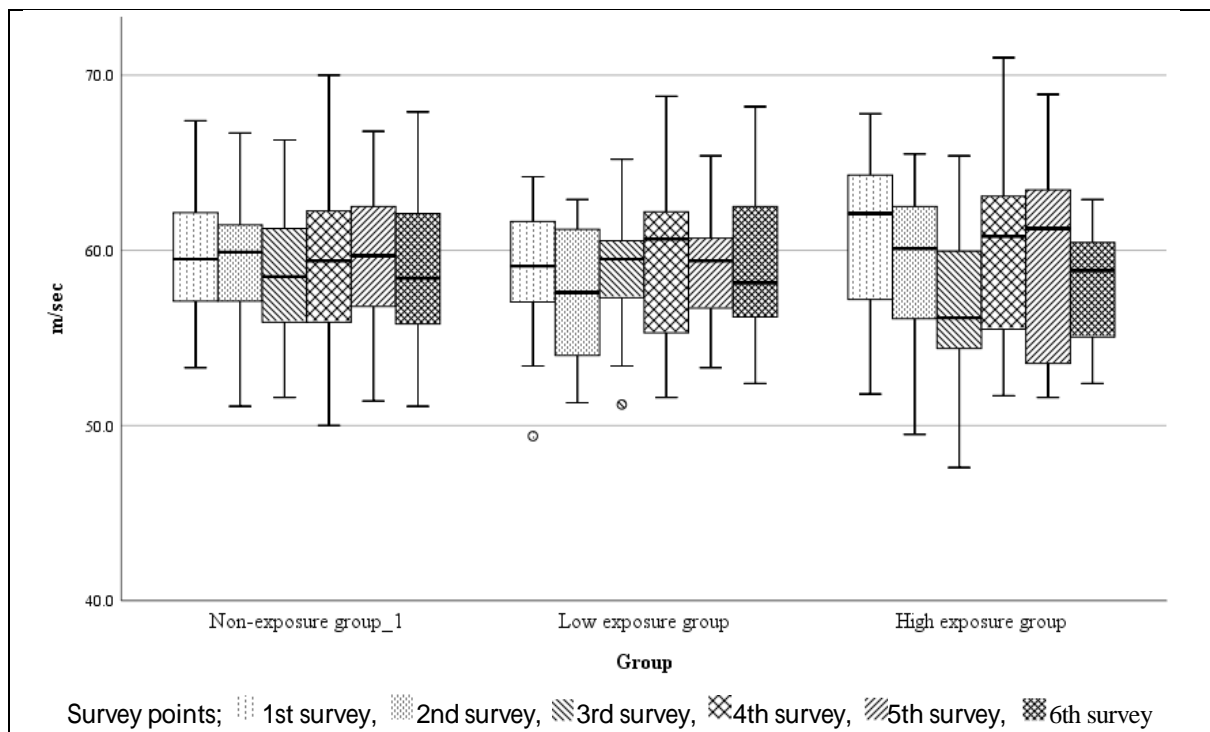


図 6ag. 利き手尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 3 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.407

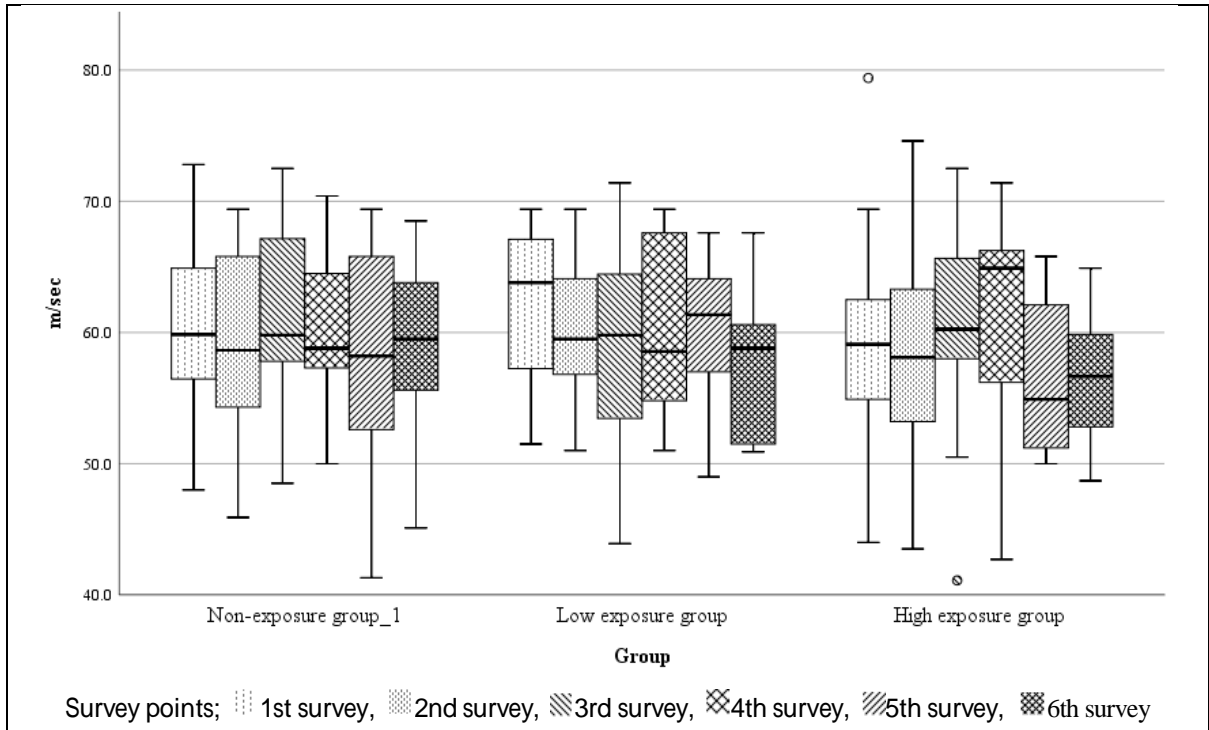


図 6ah. 利き手尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 3 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.737

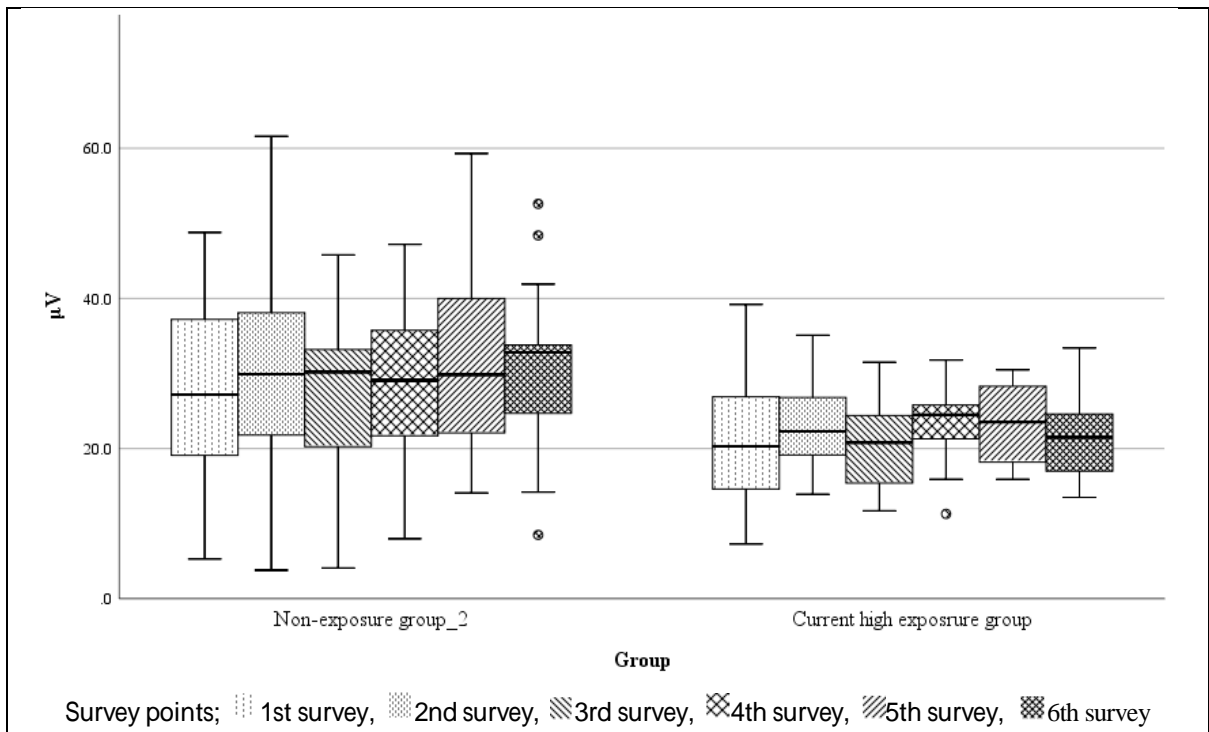


図 6ai. 右正中神経感覚神経振幅の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.003

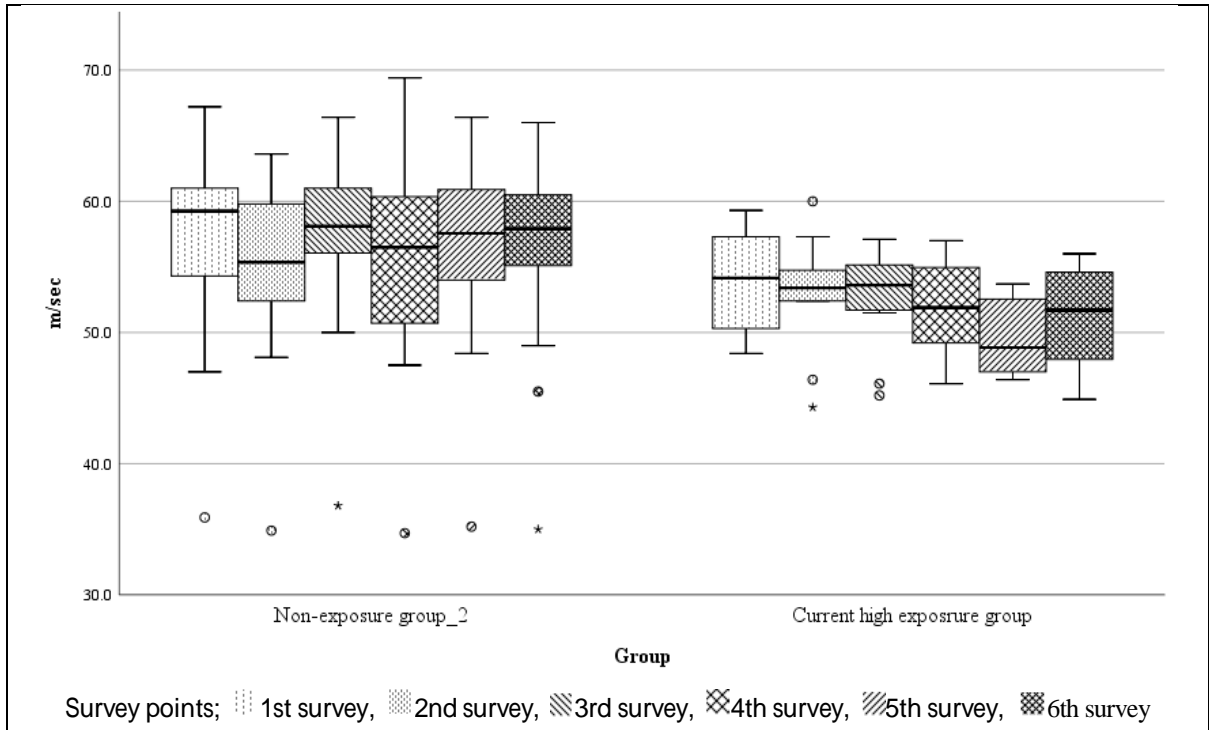


図 6aj. 右正中神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.008

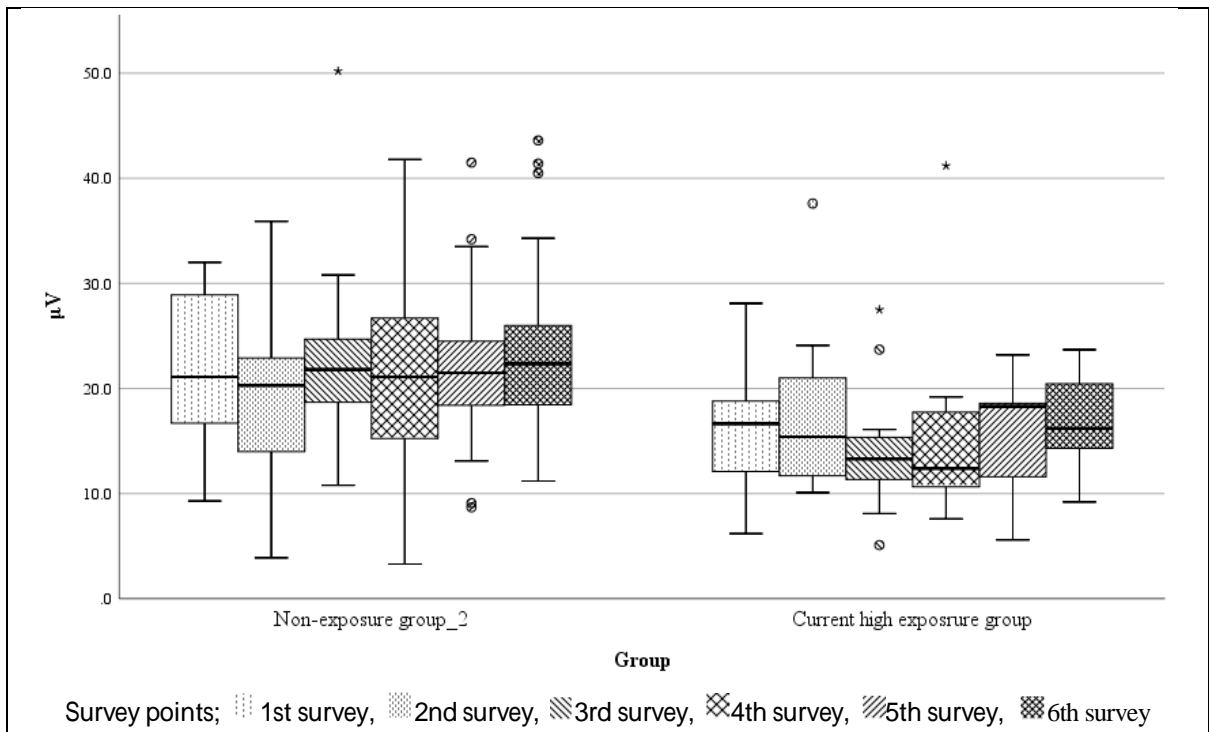


図 6ak. 右尺骨神経感覚神経振幅の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.002

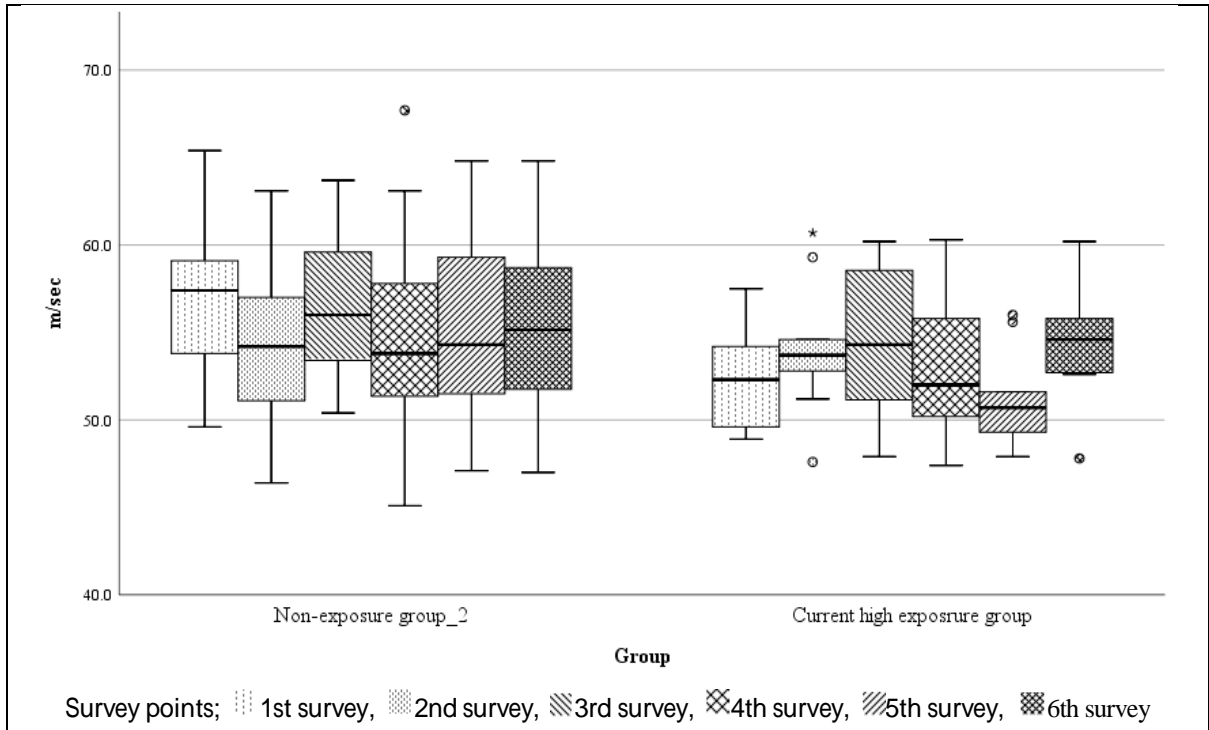


図 6al. 右尺骨神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.049

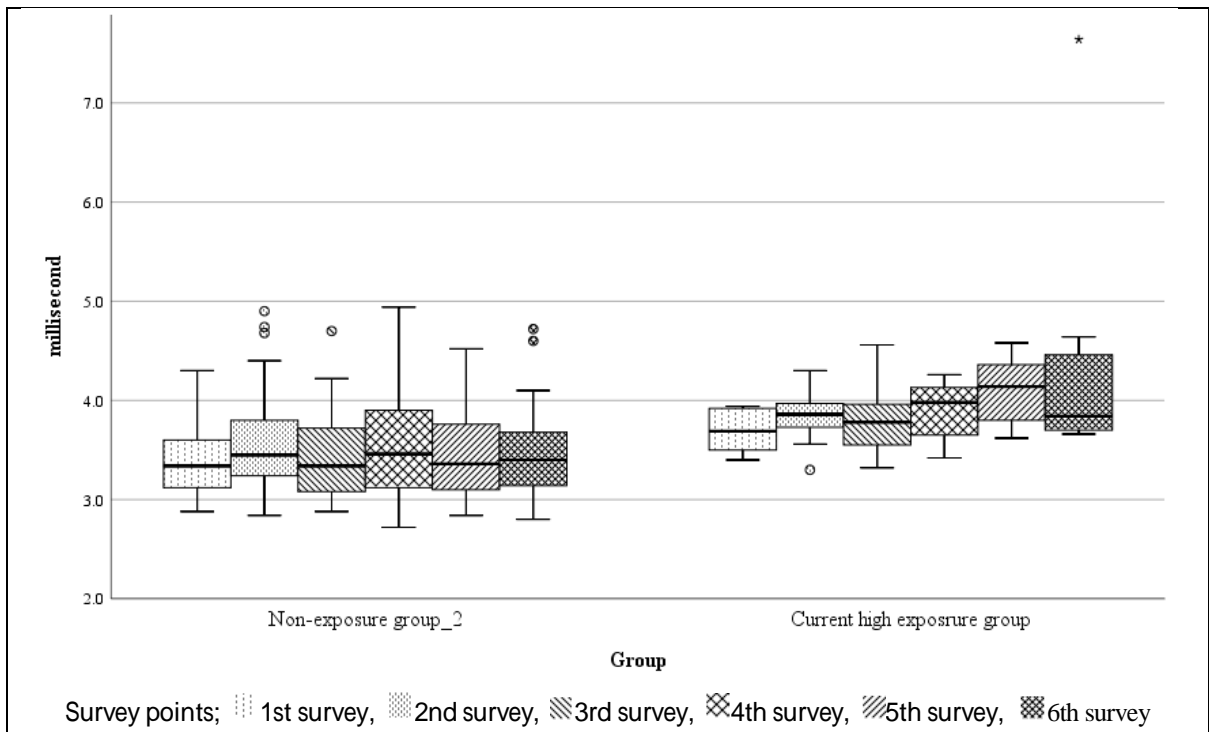


図 6am. 右正中神経運動神経遠位潜時の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.011

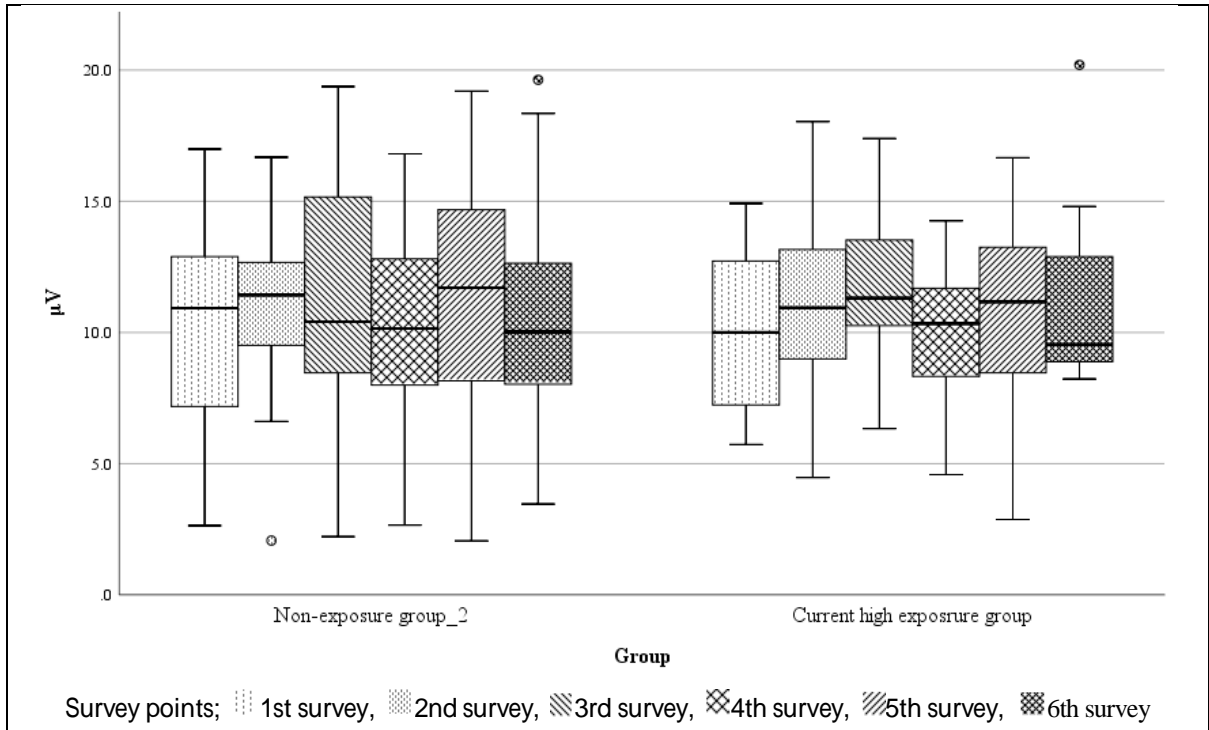


図 6an. 右正中神経運動神経振幅の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.970

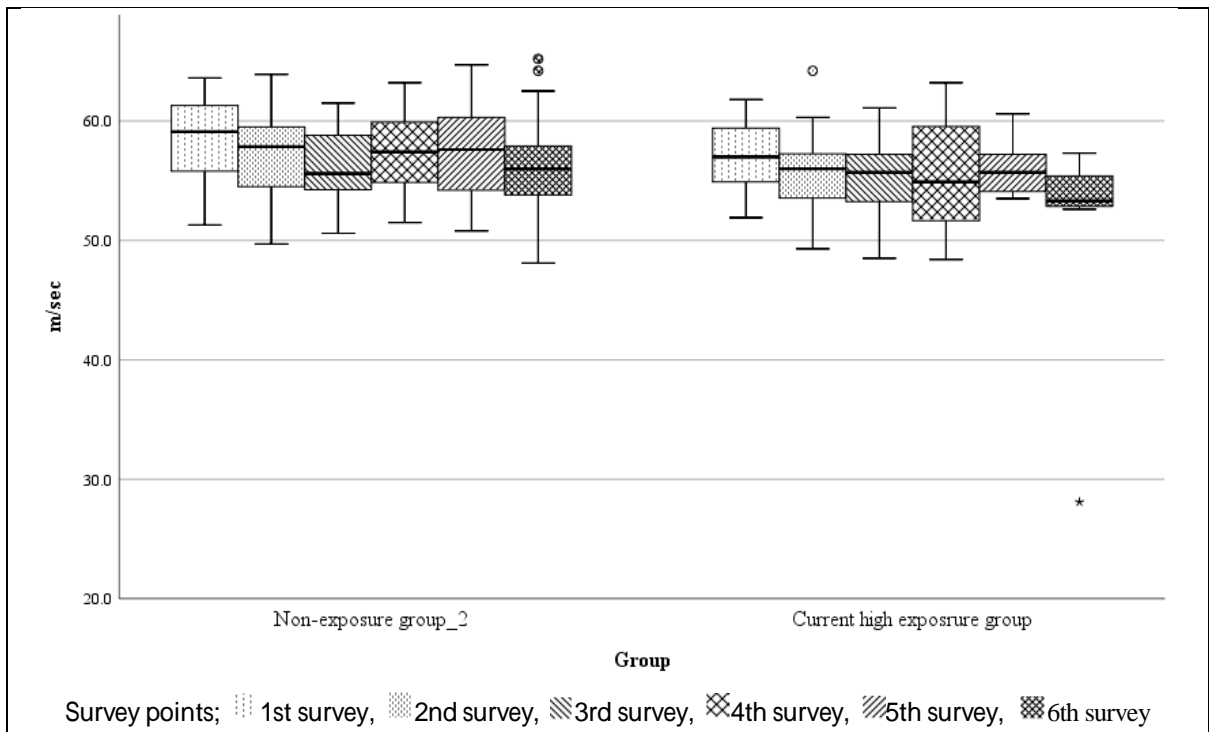


図 6ao. 右正中神経運動神経伝導速度の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.002

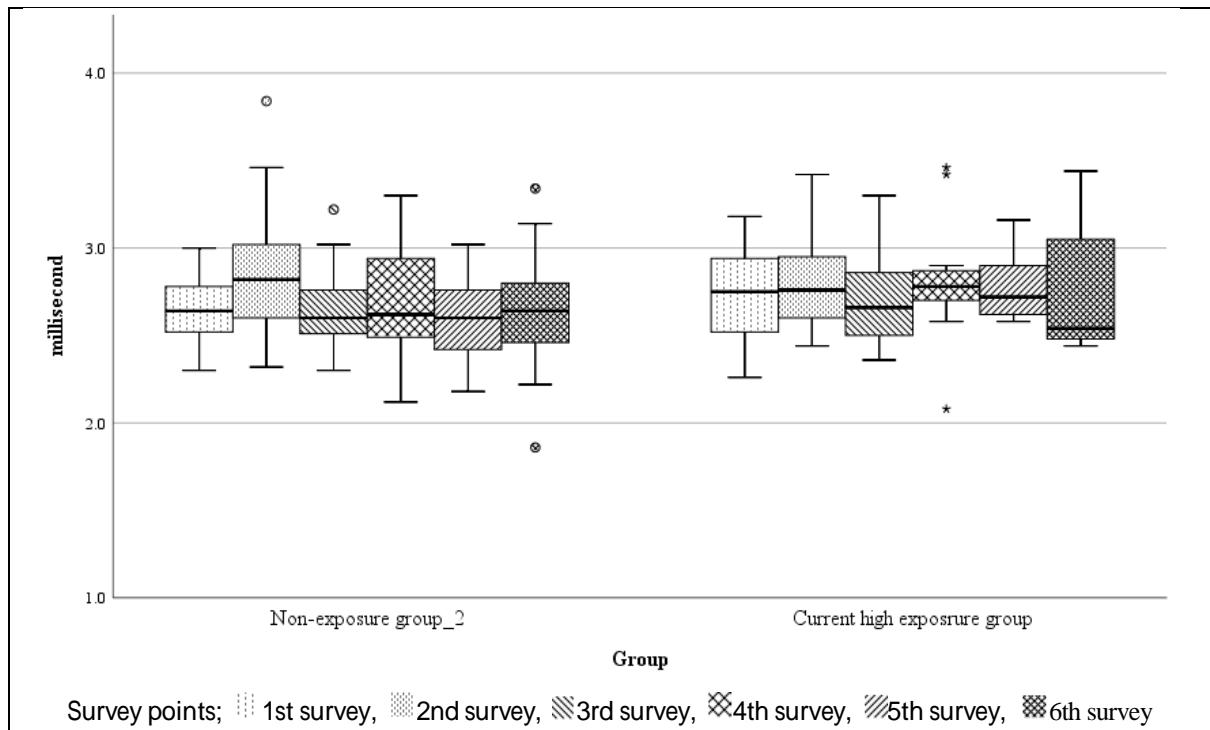


図 6ap. 右尺骨神経運動神経遠位潜時の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.327$

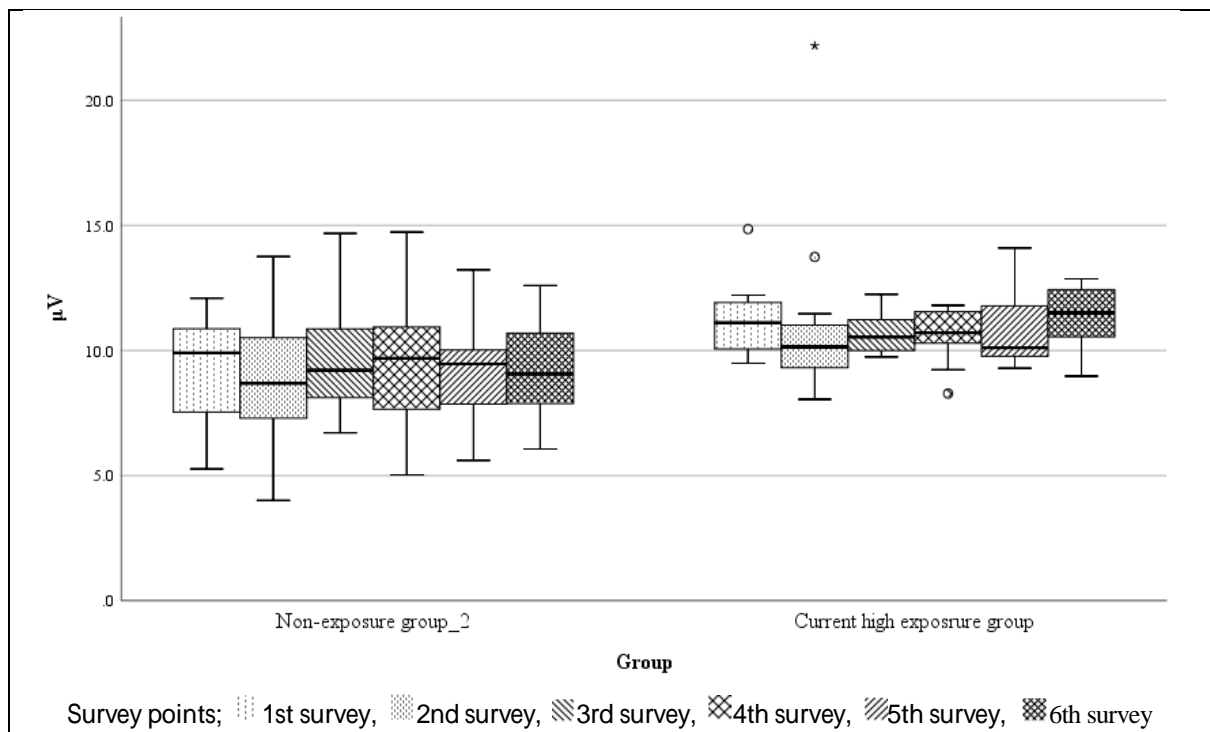


図 6aq. 右尺骨神経運動神経振幅の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: $P=0.009$

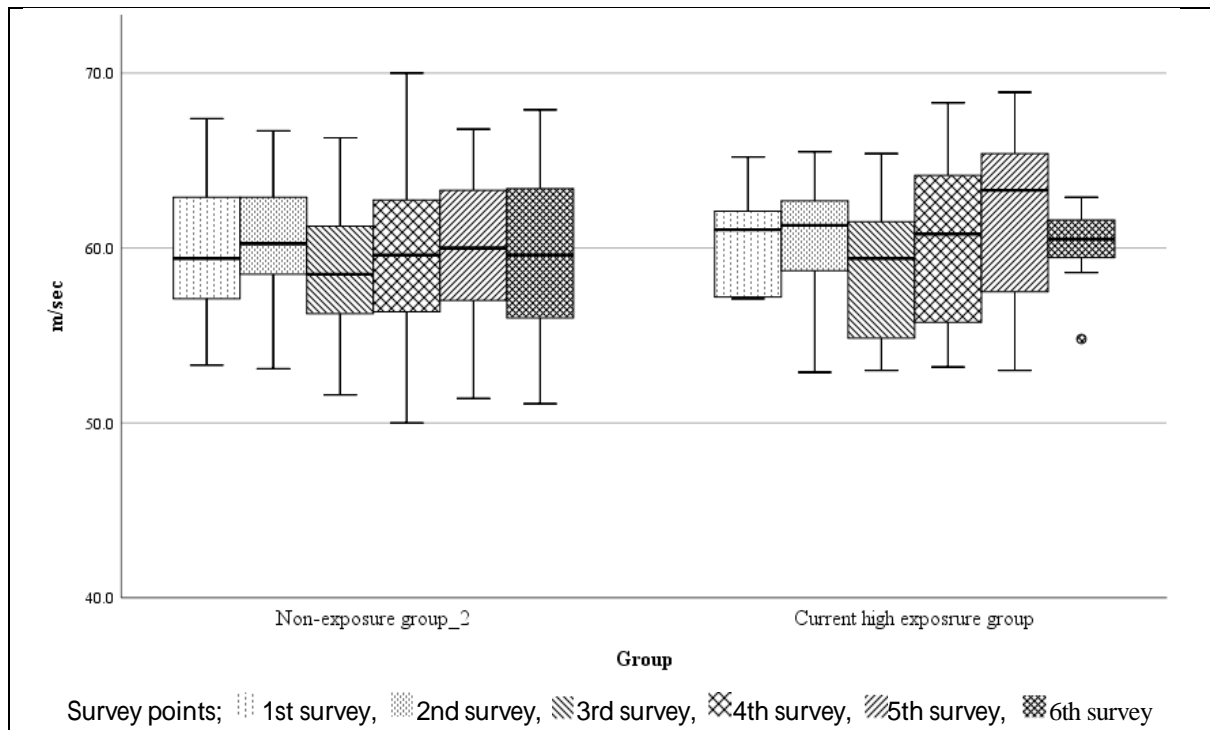


図 6a. 右尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.926

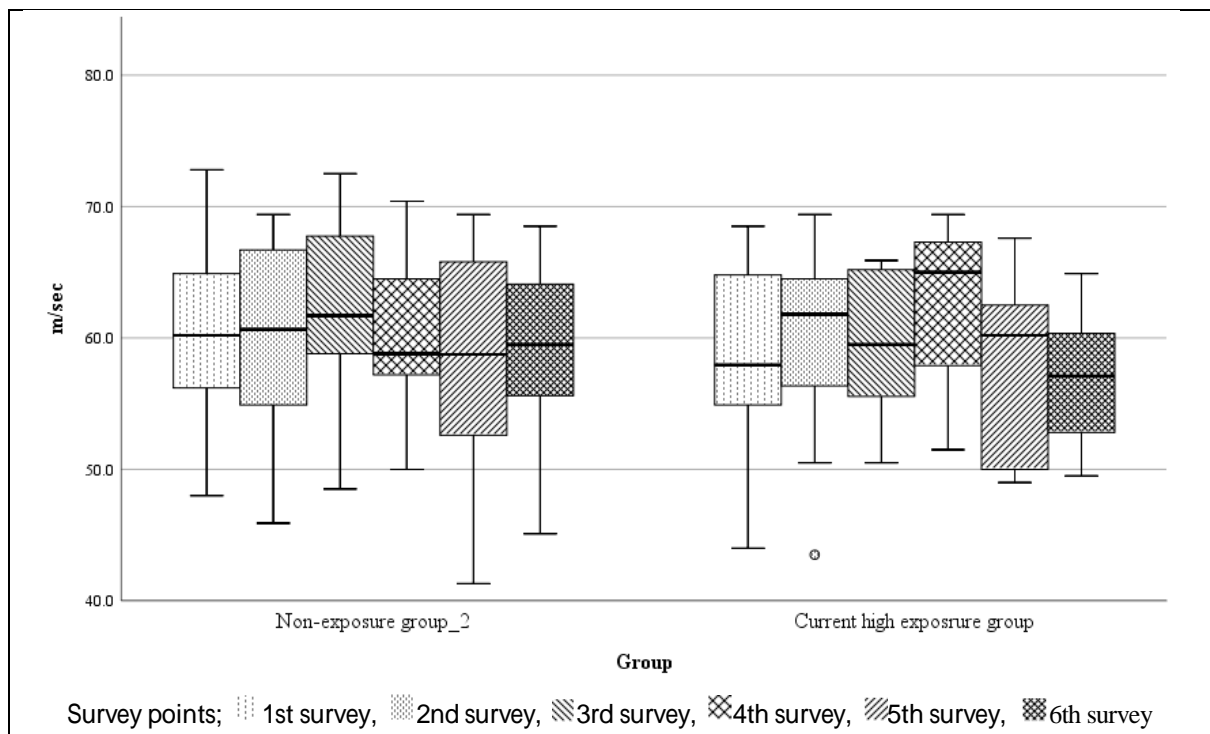


図 6a. 右尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.480

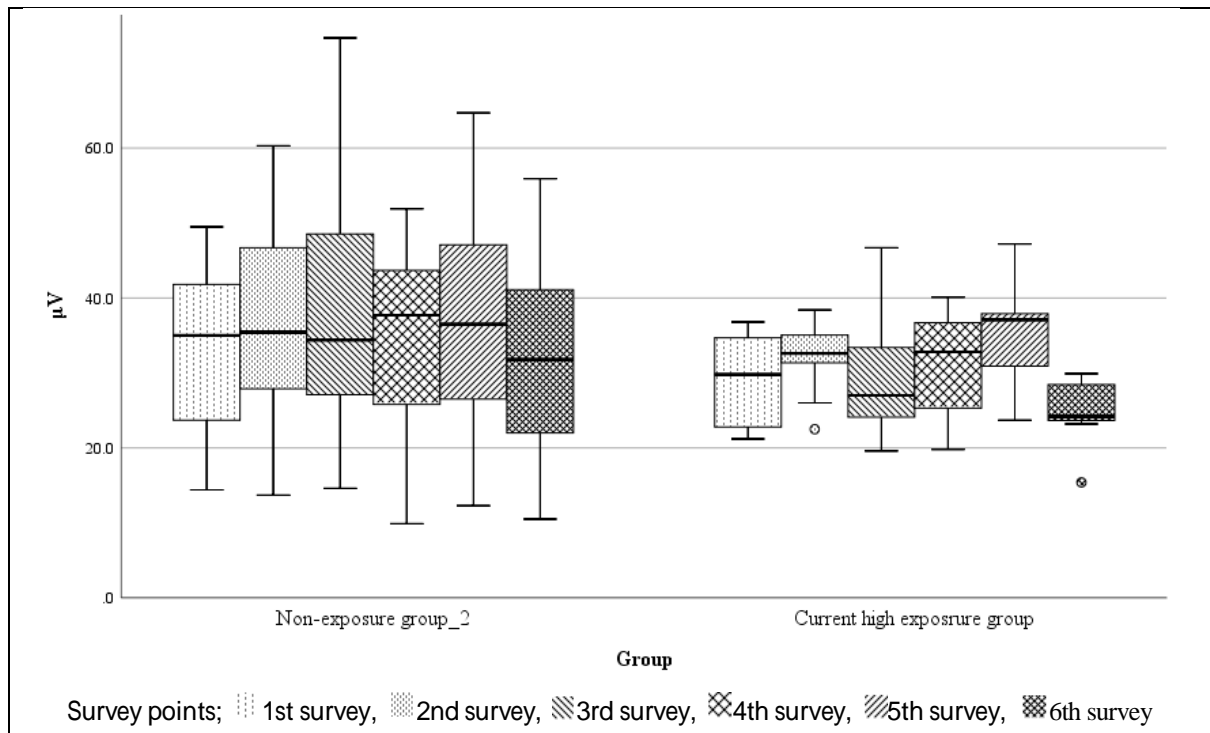


図 6at. 左正中神経感覚神経振幅の 2 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.040

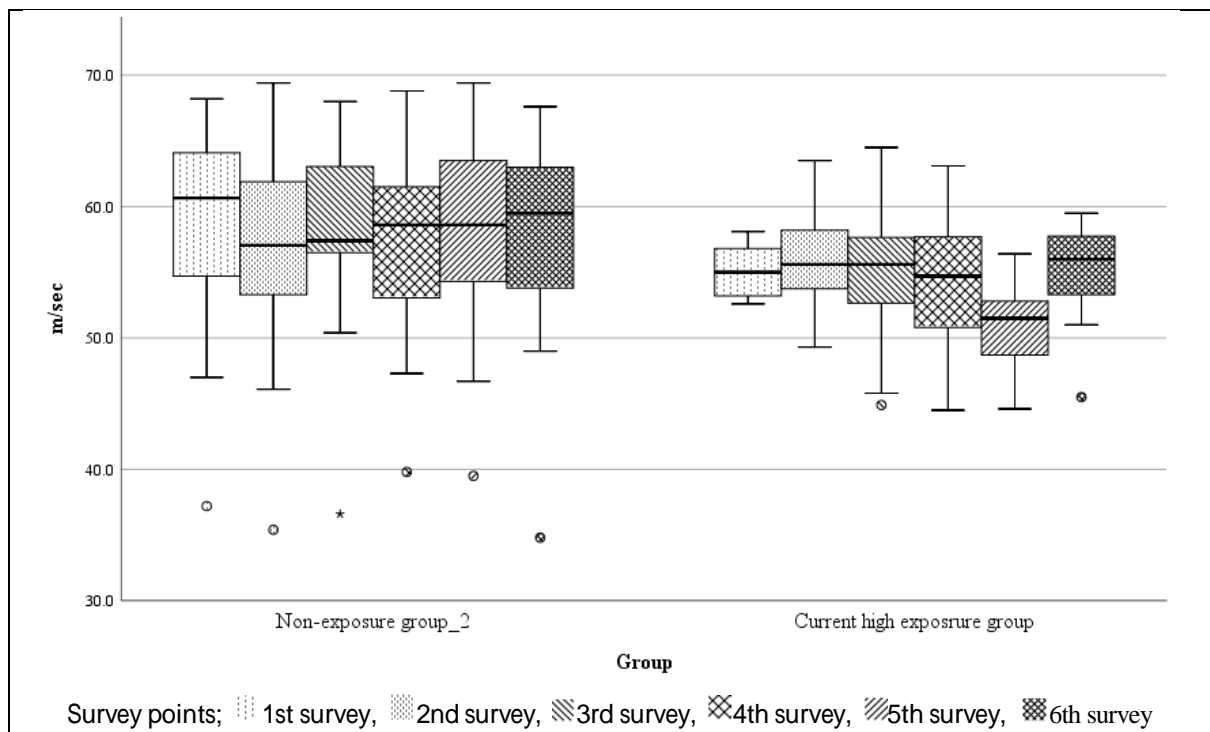


図 6au. 左正中神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移
Group of cumulative vibration exposure: P=0.027

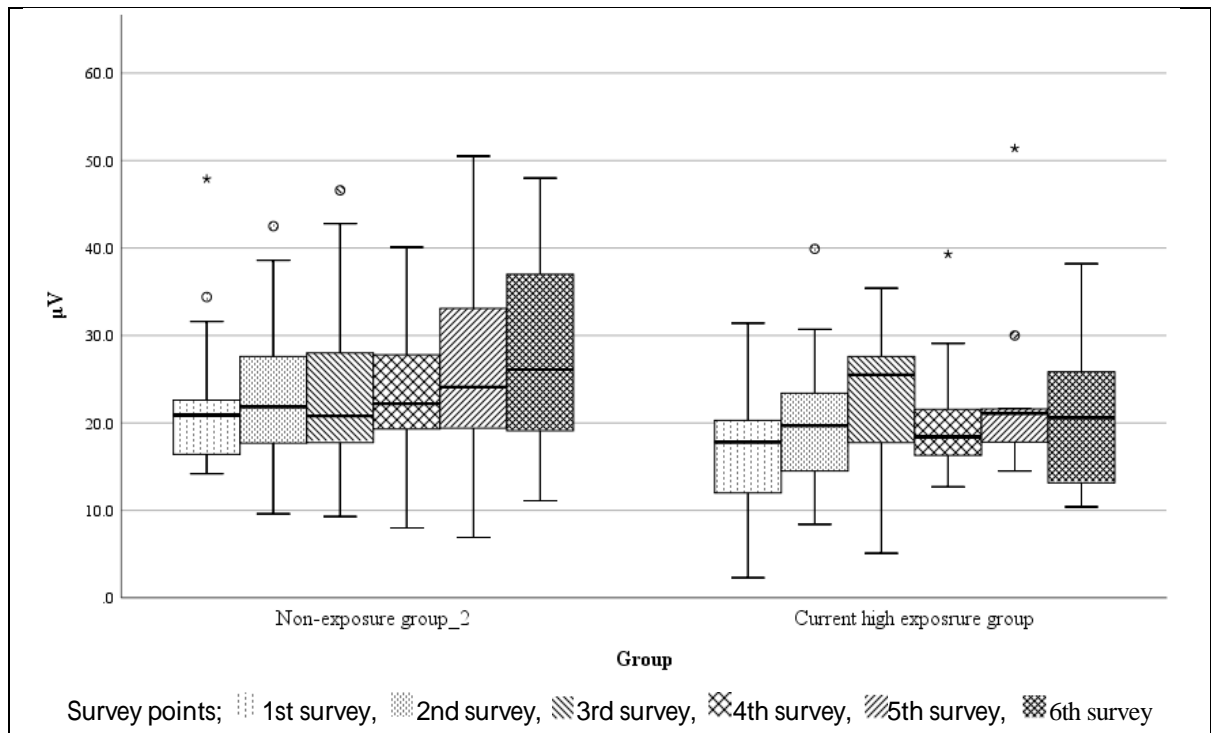


図 6av. 左尺骨神経感覚神経振幅の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.021

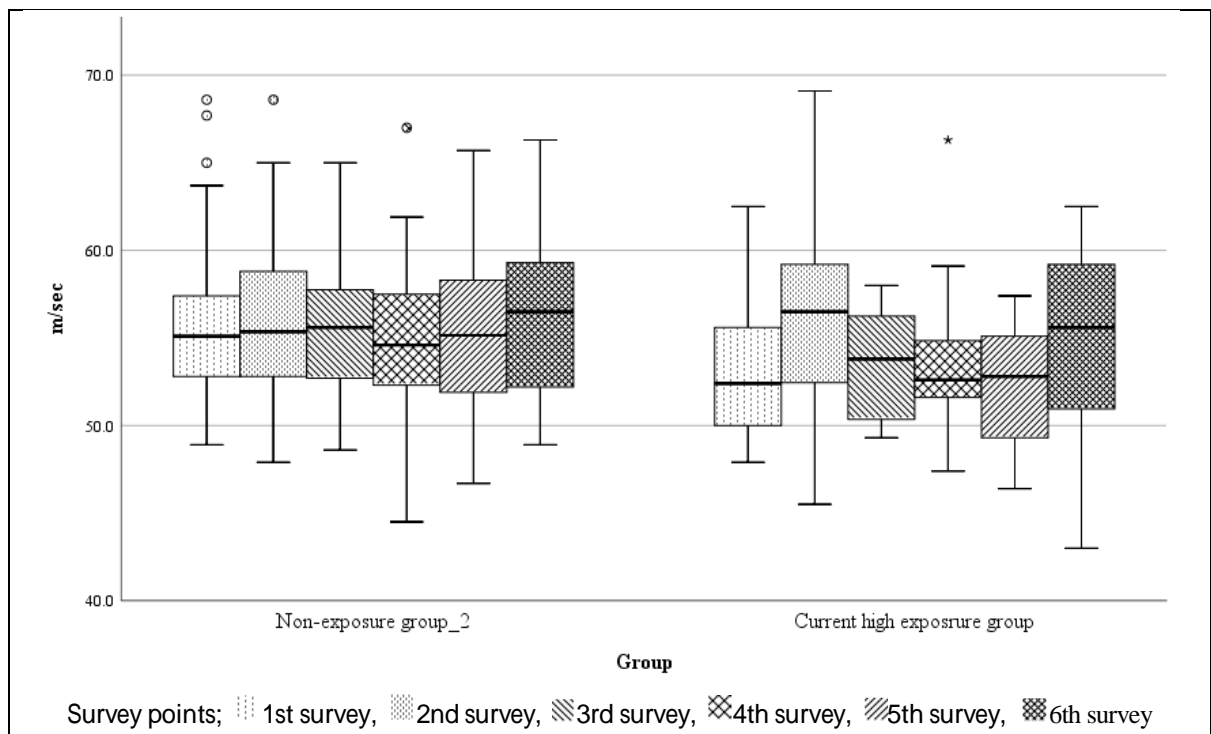


図 6aw. 左尺骨神経感覚神経伝導速度の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: P=0.128

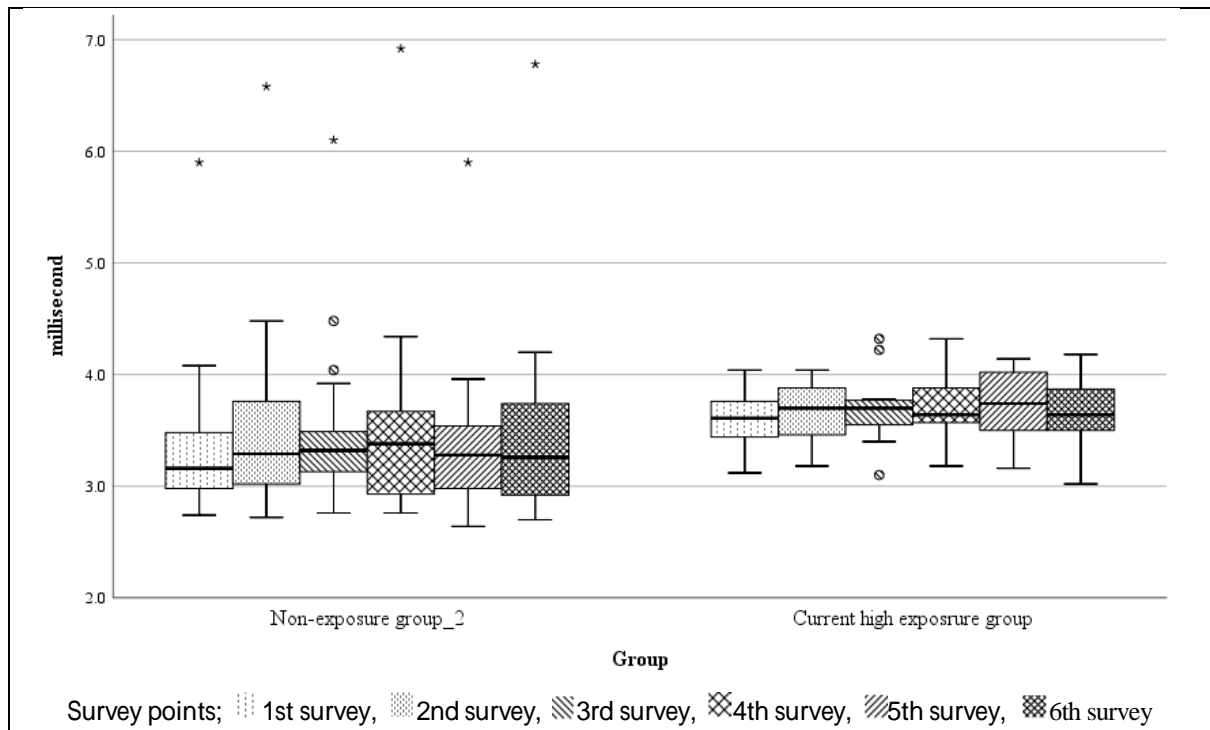


図 6ax. 左正中神経運動神経遠位潜時の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.142

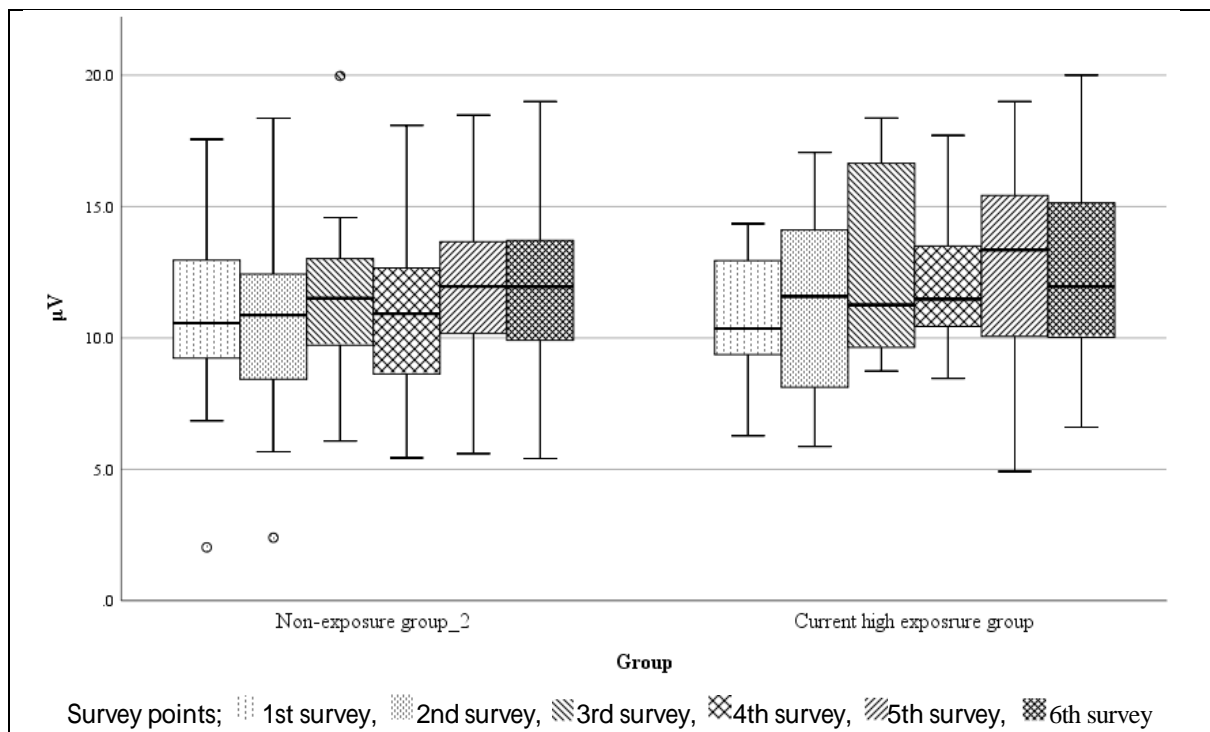


図 6ay. 左正中神経運動神経振幅の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.678

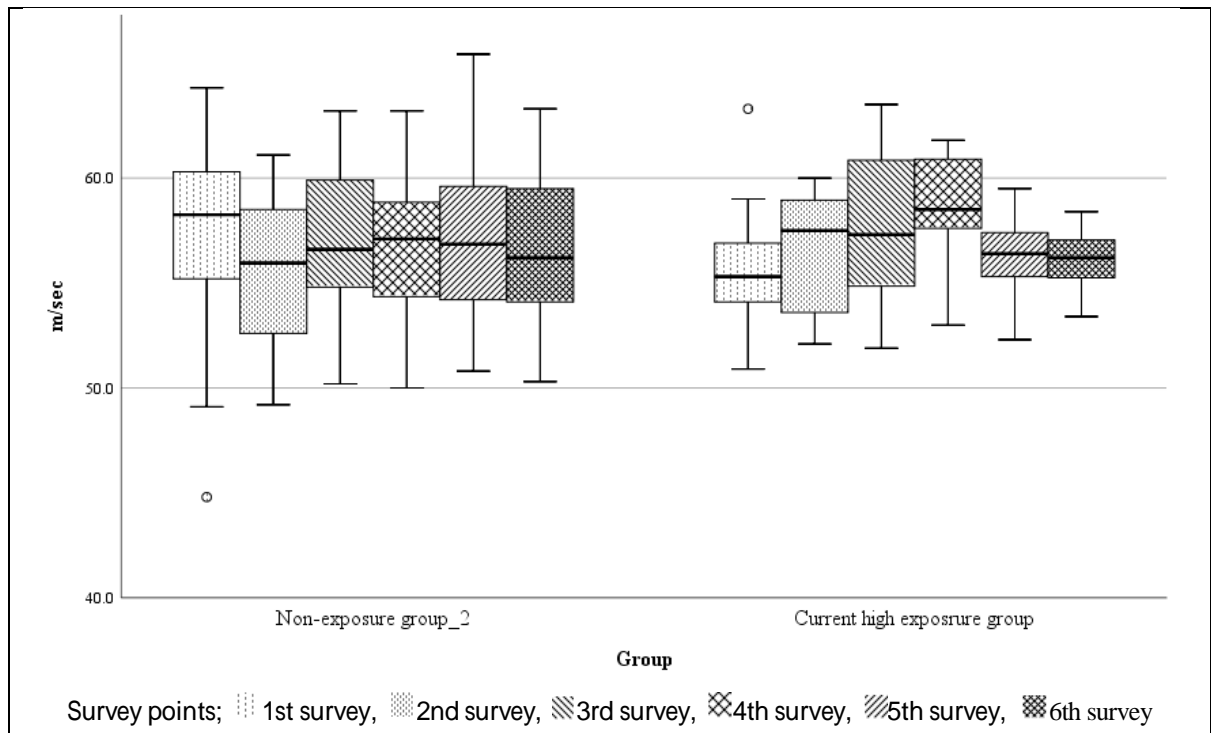


図 6az. 左正中神経運動神経伝導速度の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.475

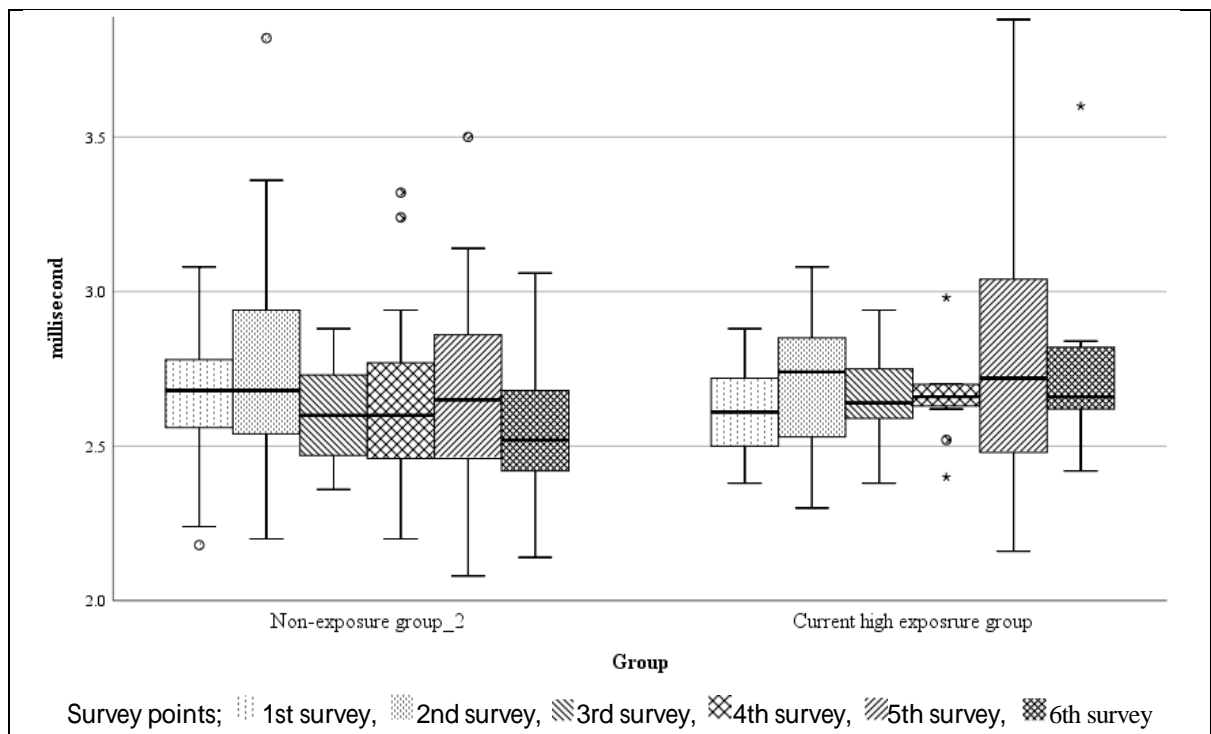


図 6ba. 左尺骨神経運動神経の 2 群別推移

Group of cumulative vibration exposure: P=0.946

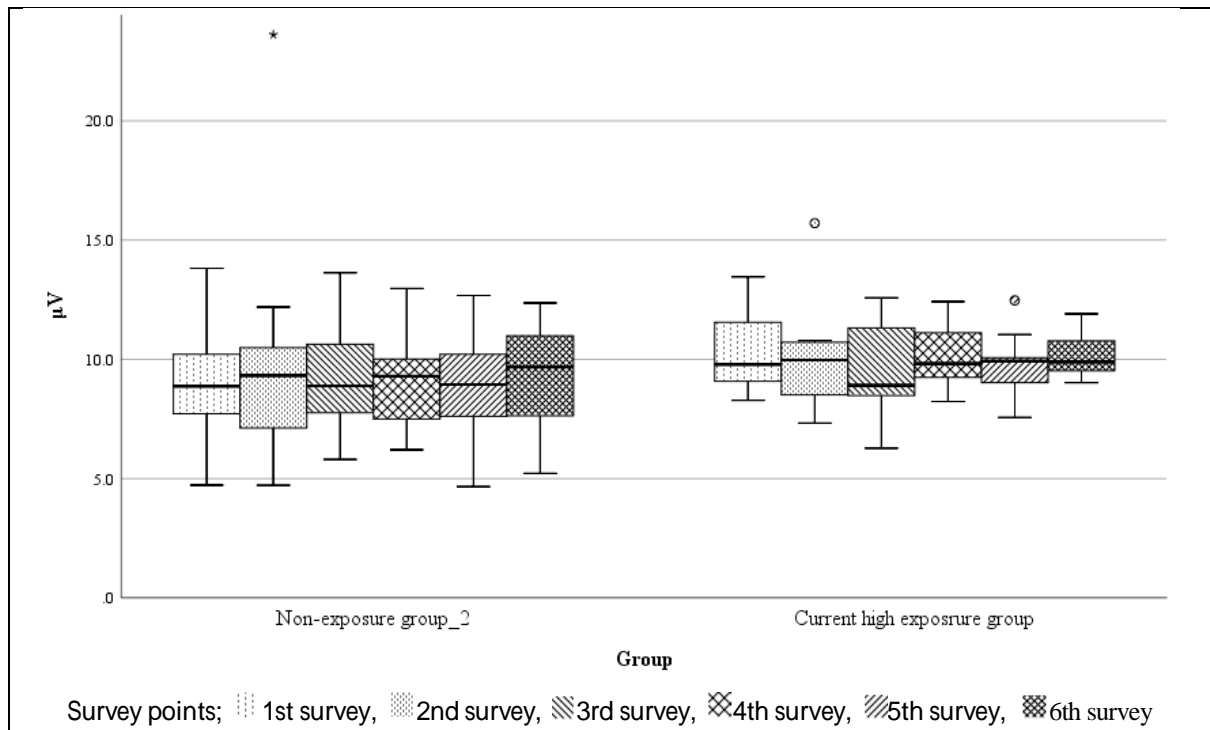


図 6bb. 左尺骨神経運動神経振幅の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: $P=0.313$

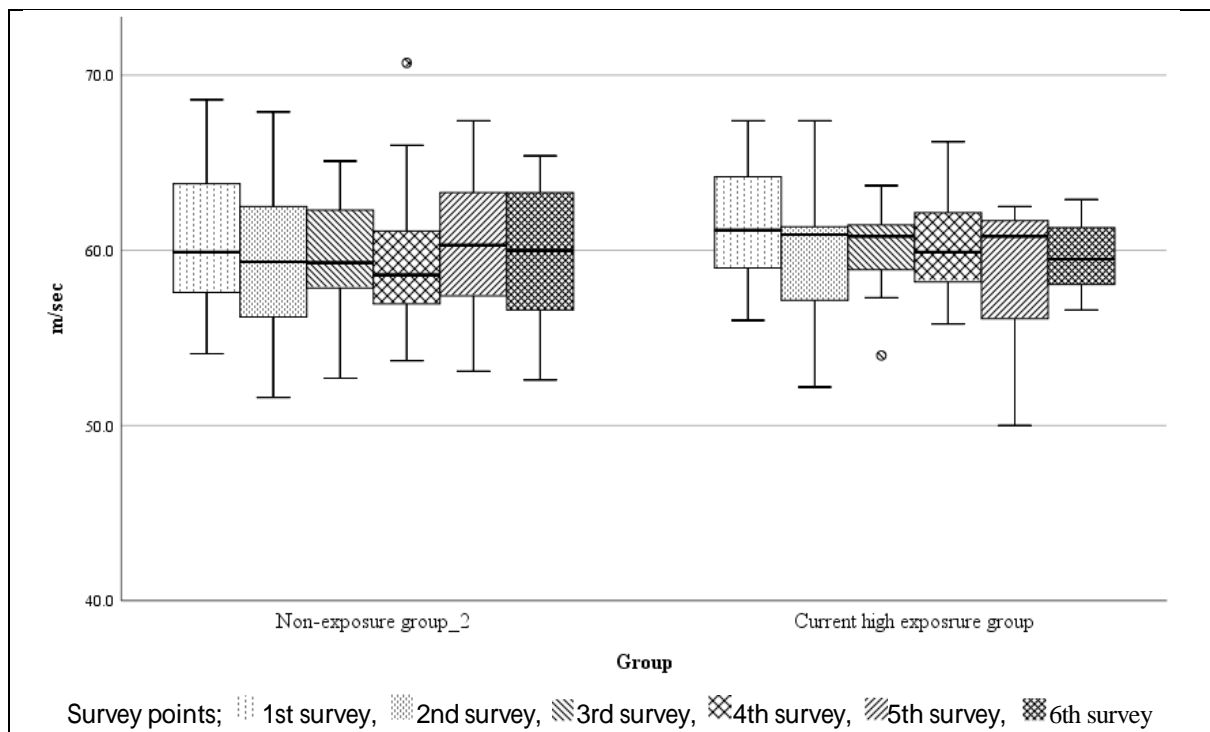


図 6bc. 左尺骨神経運動神経（手首 肘下）伝導速度の 2 群別推移
 Group of cumulative vibration exposure: $P=0.893$

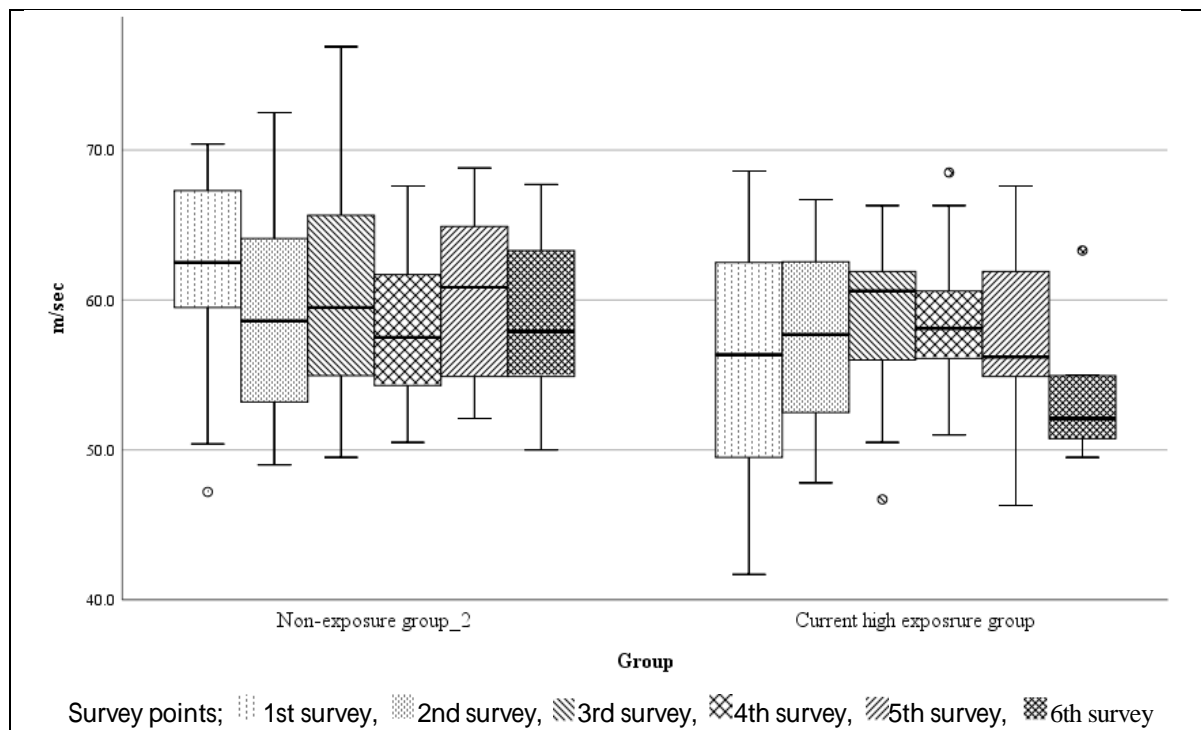


図 6bd. 左尺骨神経運動神経（肘下 肘上）伝導速度の 2 群別推移

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。