

2024 年 8 月 6 日

学校法人 産業医科大学

振動工具の継続使用と末梢神経障害との関連を明らかに

～臨床研究が新たな知見を提供～

産業医科大学産業生態科学研究所、産業医科大学医学部は振動工具取扱い者における振動ばく露量と末梢神経障害の発症について前向きコホート研究を実施しました。この研究では、短期的および長期的な振動ばく露量と症状の末梢神経障害の発症との相関を十分な妥当性をもって初めて明らかにしました。特に、これまでの研究では示されていなかった振動ばく露量との関連は、振動障害の理解を深める重要な知見です。本研究の結果は、日本時間 2024 年 8 月 6 日（火）に産業医学系の雑誌である「Journal of Occupational and Environmental Medicine」のオンライン版に掲載されます。したがって、報道解禁は日本時間 2024 年 8 月 6 日（火）午前 9 時です。Embargo の遵守をお願い致します。

振動障害とは

振動障害とは工具・機械・装置などの振動が主として手腕を通して人体に伝達されて生じる健康障害のことを言います。日本においては、振動病認定患者は林業で昭和 53 年に 2500 件を超えてピークとなり、林業従事者が多く占めていました。その後は減少傾向を示しており、最近では 300 件振動障害認定件数であり、建設業が多く占めています。

主な症状は、上肢の末梢循環障害、末梢神経障害、運動器障害で、末梢循環障害は、一過性に手指血管が攣縮して手指血流が途絶し、境界明瞭な手指の蒼白化をきたし、レイノー現象と言われます。末梢神経障害の症状は手指のしびれ、痛み、感覚障害などで、運動器障害としては、手指関節、手関節、肘関節などの疼痛、握力低下やこわばりなどがあります。

背景情報

末梢神経障害の病態に関しては、振動による直接的な侵襲であるという説と末梢循環障害による二次的な障害であるという説があります。病理学的には自覚症状、他覚症状が明瞭であった振動障害の患者において、細小動脈系の筋細胞肥大に由来する中膜肥厚が特徴的であり、全てに脱髄病変がみられ強い変化のものには軸索の消失がみられました。振動工具を使用する際には、手関節や肘関節に負担がかかる姿勢をとることになり、絞扼性神経障害である手根管症候群や肘部管症候群も併発し得ることが知られています。神経伝導検査は末梢神経障

害の診断に用いられる電気生理学的検査で、客観的評価ができると同時に subclinical な異常所見が検出できることもあります。末梢神経障害に関しては客観的評価として神経伝導検査が用いられ、過去の報告では正中・尺骨神経において遠位潜時に有意な遅延がみられ、感覚神経伝導速度の低下が手首から手指で 20～50%、手指には 50～70%認められたとされていました。

研究の新規性

本研究では、振動のばく露量と上肢末梢神経伝導検査との関係の有無に関して調査を行いました。振動工具を取り扱う者について症状がない時点で評価した報告はこれまでありませんでした。私達は、振動工具取り扱い者の振動の末梢神経への影響に関して経時的に評価し、症状のない時点で神経伝導検査が振動障害のスクリーニング検査として有用かどうかについても検討し、非常に信頼性の高い結果を得ることができました。特に、暴露群では自覚症状のない時点にも関わらず、正中神経あるいは尺骨神経の振幅や伝導速度が、非暴露群と比べ有意に低下していることが分かり、重要な成果です。

研究の方法

福岡県内の製造業に従事し振動工具を取り扱っている男性労働者 68 名を対象としました。68 名の参加者のうち、29 名は振動工具を扱ったことがなく、平均年齢 (SD) は 41.9 (11.0) 歳、39 名は振動工具を扱ったことがあり、平均年齢 (SD) は 35.0 (9.5) 歳でした。被験者には、年 2 回、質問紙調査と面接、基本的な神経学的検査、神経伝導検査を実施しました。これらの調査は、夏 (7 月～9 月) と冬 (12 月～2 月) に 1 回ずつ、合計 6 回、約 2 年半にわたって行いました。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、1 日当たりの振動ばく露を制限する考えにより管理基準として日振動暴露量対策値 (2.5m/s²) および日振動暴露量限界値 (5.0m/s²) が示されています。日振動暴露量の計算は以下のように定義されています。

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 \cdot t_{hi}}$$

a_{hvi} : vibration total value for each tool (周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値)

t_{hi} : the daily vibration exposure duration of each tool (hour/day)

そこで、本研究では日振動ばく露量の計算式を用い、被験者が受けた累積の振動暴露（Cumulative exposure index : CEI）を用いて分析を行いました。

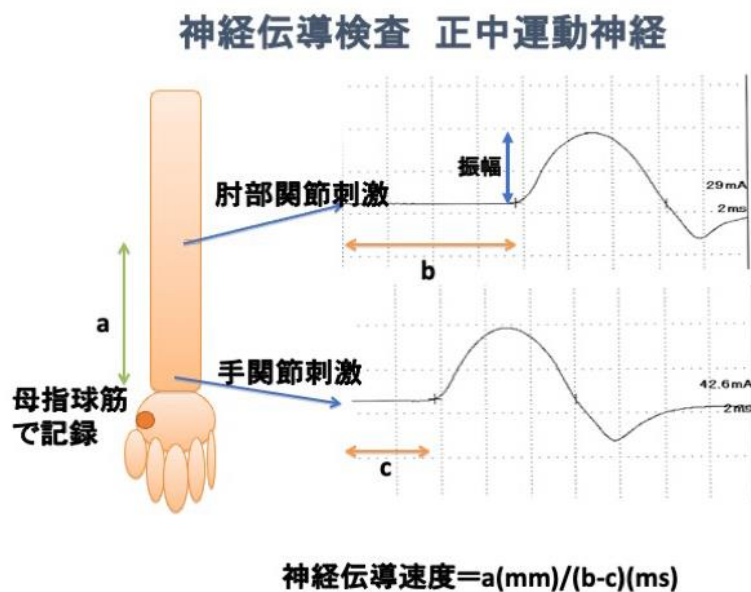
$$\text{Cumulative exposure index(CEI)} = \sum A(8)_i^2 \cdot t_{di} \cdot t_{yi}$$

t_{di} : The number of working days per year for each tool (day/year)

t_{yi} : the total number of year use for each tool (year)

各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、2006 年に厚生労働省が実施した「振動障害等の防止に係る作業管理のあり方検討会」内の資料に存在する「主な国内メーカーの振動工具の振動レベル」の平均値を用いました。また、「振動工具一覧表」を参考に、類似の作用機構を持つ工具は同様の周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値を用いました。上記資料に含まれていない振動工具が用いられていた場合には、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平均値を求め換算表を作成しました。

2016 年～2018 年半年間のインターバルで、今までに取り扱ってきた振動工具の種類、振動工具取り扱い年数、振動工具仕様頻度、1 日あたりの作業時間、職種、自覚症状の有無、喫煙歴、既往歴などについての質問、神経伝導検査を行った。神経伝導検査は、両正中神経と尺骨神経の感覚神経、運動神経について実施、遠位潜時、振幅、伝導速度をパラメータとして振動工具の曝露の有無による影響を解析しました。



解析は、初めに初回調査データを用いて、過去の CEI を算出し、振動工具取り扱い者を過去低曝露 ($CEI < 90000$) 群 15 名 (平均年齢 33.9 歳)、過去高ばく露 ($CEI \geq 90000$) 群 18 名 (平均年齢 35.9 歳) に分類し、振動工具非取り扱い者 (過去非曝露群) 28 名 (平均年齢 42.3 歳) と比較しました。次いで、2.5 年間追跡調査データ (5 回分) を用いて、追跡調査期間 (2.5 年間) 内 CEI を算出し、現在低曝露 ($CEI < 10000$) 群 12 名 (平均年齢 33.0 歳) と振動工具取り扱い者を現在高曝露 ($CEI \geq 10000$) 群 18 名 (平均年齢 33.6 歳) に分類し、振動工具非取り扱い者 (現在非曝露群) 32 名 (平均年齢 43.2 歳) と比較した。初回調査データの統計手法は、多元配置分散分析を用い、目的変数を神経伝導検査の各指標、従属変数を、過去曝露による分類、年代、肥満、糖尿病、喫煙の有無として処理しました。2.5 年間追跡データの統計手法は、線形混合モデルを用い、目的変数は神経伝導検査の各指標とした。従属変数について、振動工具取り扱い状況、調査点、年代、肥満、糖尿病、喫煙の有無は固定効果 (fixed effect)、参加者を変量効果 (random effect) として処理しました。

主要な発見

表 1 は利き手の正中及び尺骨神経の振幅と伝導速度に関して、過去の CEI による 3 群間 (過去非曝露群、過去低曝露群、過去高曝露群) での比較になります。感覚神経伝導速度は、正中および尺骨神経ともに、過去の CEI による群の主効果が有意で、事後検定では両感覚神経とも、過去高曝露群、過去低曝露群ともに、過去非曝露群より有意に低かった。さらに、正中神経と尺骨神経の感覚神経振幅については、過去の CEI による群の主効果が有意でした。事後検定では、正中神経の感覚神経振幅は、過去の高曝露群と低曝露群のいずれにおいても、非曝露群と比較して有意に低下していました。尺骨感覚神経振幅は群間で有意差はありませんでしたが、振動曝露が高いほど減少する傾向がありました。運動神経伝導速度の過去の CEI による群の主効果は、尺骨神経遠位潜時と伝導速度で有意でした。事後検定では、尺骨神経遠位潜時は、高曝露群と低曝露群の両方で、非曝露群よりも有意に延びていました。

表 2 は利き手の正中感覚神経の振幅と伝導速度に関して、2.5 年間追跡調査中の CEI による 3 群間 (現在非曝露群、現在低ばく露群、現在高曝露群) の推移を比較したものです。運動神経伝導速度の現在の CEI による群の主効果は、正中神経遠位潜時 (図の c に当たる) で有意でした。事後検定では、正中神経遠位潜時は群間で有意差はなかったが、振動曝露が高いほど延長する傾向がありました。このことから CEI が増大することによりさらに神経の障害範囲や程度が進行することが明らかとなりました。

表 1. 過去の振動暴露による神経伝導検査の各パラメーターの群間比較（第 1 回調査）

Parameters	Past none (N)		Past low (L)		Past high (H)		p	Post hoc test
	Estimate	95% CI	Estimate	95% CI	Estimate	95% CI		
Sensory conduction study								
Median SNAP amplitude (μV)	31.8	[26.1-37.6]	22.2	[16.8-27.6]	20.4	[14.1-26.8]	0.001	N>L/H
Median SCV (m/s)	53.4	[50.0-56.9]	47.4	[44.2-50.7]	47.3	[43.5-51.0]	0.001	N>L/H
Ulnar SNAP amplitude (μV)	23.1	[18.6-27.6]	19.0	[14.7-23.2]	17.4	[12.4-22.3]	0.047	n.s.
Ulnar SCV (m/s)	57.0	[54.5-59.4]	51.8	[49.5-54.1]	52.5	[49.8-55.2]	<0.001	N>L/H
Motor conduction study								
Median MNDL (msec)	4.0	[3.8-4.29]	4.4	[4.1-4.6]	4.4	[4.1-4.7]	0.026	n.s.
Median CMAP amplitude (μV)	9.3	[7.0-11.6]	10.5	[8.3-12.7]	9.1	[6.5-11.6]	0.555	
Median MCV (m/s)	55.0	[52.9-57.0]	53.5	[51.5-55.4]	53.8	[51.5-56.0]	0.378	
Ulnar MNDL (msec)	2.6	[2.5-2.8]	2.8	[2.7-3.0]	2.8	[2.7-3.00]	0.015	N<L/H
Ulnar CMAP amplitude (μV)	10.3	[9.11-11.5]	11.0	[9.9-12.2]	10.9	[9.6-12.2]	0.522	
BE-to-wrist ulnar MCV (m/s)	58.3	[56.0-60.5]	56.4	[54.3-58.5]	59.8	[57.3-62.3]	0.043	L<H
AE-to-BE ulnar MCV (m/s)	62.2	[58.4-66.1]	59.4	[55.8-63.1]	59.8	[55.6-64.1]	0.345	

Past none (N): Past non-exposure group, Past low (L): past low exposure group, Past high (H): past high exposure group, SNAP: sensory nerve action potential, SCV: sensory nerve conduction velocities, MNDL: motor nerve distal latency, CMAP: compound muscle action potential, MCV: motor nerve conduction velocities, BE: below the elbow, AE: above the elbow

表 2. 神経伝導試験の各パラメータの現在の振動暴露による群間比較（追跡調査）

Parameters	Current none (N)		Current low (L)		Current high (H)		p	Post hoc test	p for G*SP interaction
	Estimate	95% CI	Estimate	95% CI	Estimate	95% CI			
Sensory conduction study									
Median SNAP amplitude (μV)	24.3	[20.6-28.0]	22.7	[18.5-26.9]	17.2	[12.8-21.7]	0.002	N/L>H	0.600
Median SCV (m/s)	49.5	[47.1-51.9]	49.9	[47.3-52.5]	47.7	[45.0-50.5]	0.098		0.283
Ulnar SNAP amplitude (μV)	19.8	[16.7-22.9]	16.7	[13.2-20.3]	15.4	[11.6-19.1]	0.039	N>H	0.379
Ulnar SCV (m/s)	53.1	[51.5-54.7]	52.5	[50.6-54.4]	52.2	[50.2-54.3]	0.683		0.870
Motor conduction study									
Median MNDL (msec)	4.28	[4.00-4.50]	4.26	[4.00-4.50]	4.54	[4.20-4.08]	0.043	n.s.	0.005
Median CMAP amplitude (μV)	9.8	[8.2-11.4]	9.4	[7.6-11.2]	9.75	[7.80-11.7]	0.870		0.867
Median MCV (m/s)	54.4	[53.3-55.6]	53.8	[52.4-55.3]	52.6	[51.1-54.1]	0.052		0.050
Ulnar MNDL (msec)	2.74	[2.60-2.90]	2.7	[2.6-2.9]	2.9	[2.7-3.0]	0.216		0.417
Ulnar CMAP amplitude (μV)	9.0	[8.1-10.0]	9.6	[8.5-10.7]	10.6	[9.4-11.7]	0.018	N<H	0.319
BE-to-wrist ulnar MCV (m/s)	56.7	[55.4-58.1]	56.3	[54.6-58.0]	56.9	[55.2-58.7]	0.773		0.227
AE-to-BE ulnar MCV (m/s)	56.6	[54.3-59.0]	57.7	[55.0-60.5]	57.1	[54.2-60.1]	0.719		0.324

Current none (N): Current non-exposure group, Current low (L): Current low exposure group, Current high (H): Current high exposure group, SNAP: sensory nerve action potential, SCV: sensory nerve conduction velocities, MNDL: motor nerve distal latency, CMAP: compound muscle action potential, MCV: motor nerve conduction velocities, BE: below the elbow, AE: above the elbow, G*SP interaction: interaction between group and survey points

研究の意義

初回調査および 2.5 年間追跡調査において、高暴露群では自覚症状のないにも関わらず、正中神経あるいは尺骨神経の振幅や伝導速度が、非暴露群と比べ有意に低下していることが分かりました。特に運動神経よりも感覚神経での有意差が目立ったことは、振動障害において運動神経より感覚神経の異常が明らかであることと一致していました。

また運動神経では、高暴露群で非暴露群に比べて正中神経の遠位潜時が有意に延長していました。自覚症状のない段階で絞扼障害と同じような潜在的な病態がある可能性が考えられます。あるいは、振動取り扱い群と非暴露群で有意差が見られた項目は感覚神経と運動神経の遠位潜時であることから、症状がみられ

ていない時期から潜在的な末梢神経病変が末梢側優位に存在することが推測されました。

以上のように、症状のない段階での神経伝導検査においても、通常振動障害で言われている遠位優位の末梢神経障害が潜在的に認められました。

振動障害は重症化すると回復が難しいため、予防が重要とされ、予防対策がとられてきました。振動障害の危険因子としては振動暴露量、寒冷環境暴露が挙げられます。振動暴露量は振動工具の種類、工具の取り扱い時間などに影響されます。振動工具を1日2時間以内に制限する規制や、振動工具の振動値の規制が試みられ、振動障害の防止に役立っています。振動工具を扱う労働者に対しての労働衛生教育も行われています。労働者各位が工具などに関して知識をもつことで防御できることも多く、防振手袋、耳栓、チェーンソー防護衣などの装着も大切です。末梢神経障害においては、仕事による因子だけではなく、BMIや糖尿病や飲酒歴なども影響してくるため、日常生活における自己管理も大切になります。

さらに健診管理として、振動工具を取り扱う者を対象として特殊健康診断が実施されるようになっていきます。第一次健康診断では自覚症状に加えて、筋力検査や末梢循環検査や末梢神経機能検査が項目になっており、結果に応じて第二次健康診断を行い、管理区分A（自覚症状や他覚症状がない状態）からC（振動によると考えられる所見が明らかで治療を要する状態）に分類され、振動障害に対する上記の対策によって振動障害の新規認定件数は減少し、その管理区分もほとんどがAとなっています。

今回、自覚症状のない管理区分Aの振動業務従事者に関しての神経伝導検査を行い、症状のない時期から、特に正中感覚神経において振幅や伝導速度に障害がみられることがわかったことより、健診などに神経伝導検査を取り入れてsubclinicalな異常をスクリーニングすることが有用と考えられます。末梢神経障害の程度は、累積暴露量にも比例して進行していたため、健診データの蓄積によって症状が発現し始める暴露量も推測が可能となってくると考えられます。振動障害を発症した場合、労働災害補償の認定が行われます。労働災害認定要件として診断業務に相当期間従事した後に、しびれなどの自覚症状に加えて、手指・前腕の末梢循環障害、末梢神経障害、運動機能障害が認められることやレイノー現象が条件として挙げられています。振動障害患者の経過を追った15年間の調査では、初回受診時から振動工具使用を中止し、神経学的検査、神経伝導検査、握力検査で有意な変化がありませんでした。これは、振動障害が比較的安定した病態で、仕事を中止することで進行が防げることが示されています。実際には、職業と振動障害の関係を明らかにするのは困難な場合もあると予想されますが、診断後は労災認定や職場配置転換によって症状の進行を抑えることが可能になります。さらに、症状のない時期でも健診項目に神経伝導検査を取り入れることで、振動障害の早期発見による予防的措置へつながると考えられました。

まとめ

私達は、累積暴露指数を用いて、前駆期末梢神経障害と累積振動暴露との関係を調べた。過去の振動暴露から、振動工具取扱者は指の自覚症状がなくても、ある段階で末梢神経病変の可能性があるかと推察されました。また、正中または尺骨神経の感覚神経活動電位の振幅の低下は、振動障害の早期発見の指標となる可能性があります。

■研究支援

本研究成果は、以下の支援によって行われました。

- ・厚生労働科学研究費補助金 労災疾病臨床研究事業費補助金 H28-H30
「振動工具作業における労働災害防止対策等に関わる研究」

■論文情報

タイトル : Evaluation of hand-arm vibration syndrome owing to nerve conduction study and cumulative exposure index -A 2.5-year cohort study

著者 : Ikegami K, Ohnari K, Shirasaka T, Michii S, Yoshitake H, Sugano R, Nozawa H, Hasegawa M, Ando H, Ogami A, Adachi H.

雑誌名 : Journal of Occupational and Environmental Medicine

DOI/URL : DOI: 10.1097/JOM.00000000000003118

URL: https://journals.lww.com/joem/abstract/9900/evaluation_of_hand_arm_vibration_syndrome_owing_to.550.aspx

■お問い合わせ先

【研究に関するお問い合わせ】

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

Email : gamisan(a)med.uoeh-u.ac.jp

産業医科大学 医学部

神経内科学講座 足立 弘明

Email : hiadachi(a)med.uoeh-u.ac.jp

【報道に関するお問い合わせ先】

産業医科大学 総務部総務課 広報係

〒807-8555 北九州市八幡西区医生ヶ丘 1 番 1 号

TEL: 093-588-2030 FAX : 093-691-7493

Email : kohokikaku(a)mbox.pub.uoeh-u.ac.jp

※ E-mail は上記アドレス(a)の部分を@に変えてご使用ください。