

令和元年6月13日現在

機関番号：24701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05662

研究課題名（和文）振動工具取扱作業者のISO規格に準拠した手指振動感覚閾値データベースの構築と活用

研究課題名（英文）Development and application of a vibrotactile perception threshold database from industrial vibrating tool operators in accordance with ISO standards

研究代表者

竹村 重輝 (TAKEMURA, Shigeki)

和歌山県立医科大学・医学部・助教

研究者番号：70511559

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,400,000円

研究成果の概要（和文）：国際規格ISO 13091準拠の振動感覚計を用いて、振動工具取扱作業者と非作業者における手指の振動感覚閾値を9周波数で測定した。症状のある者はない者に比べて、作業者は非作業者に比べて、振動感覚閾値が高かった。振動感覚閾値の差は、冷水浸漬試験によってさらに明瞭になった。測定結果から末梢神経障害の有無を判定するためのカットオフ値を算出した。以上により、ISO 13091準拠の振動感覚計の有用性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

振動工具取扱作業者に生じる職業病である振動障害の症状の一つに、末梢神経障害がある。従来型の振動感覚計で生じていた測定上の問題を克服した、国際規格ISO 13091準拠の振動感覚計は、精密な測定が可能だが、診断基準が確立していない。本研究では、症状のある者とない者で手指の振動感覚閾値を測定した値を比較することで、ISO 13091準拠の振動感覚計における末梢神経障害の診断基準の材料となりうる情報をもたらすものである。

研究成果の概要（英文）：Vibration perception threshold (VPT) was measured among industrial vibrating tool operators and non-operators at a total of nine frequencies with an ISO 13091-based VPT meter. Symptomatic subjects had higher VPTs than asymptomatic subjects. Industrial vibrating tool operators had higher VPTs than non-operators. This difference became prominent in the cold-water immersion test. Cut-off values for peripheral neuropathy were calculated from VPTs measured. These findings showed the usefulness of the ISO 13091-based VPT meter.

研究分野：衛生学

キーワード：振動障害 手指振動感覚閾値 国際標準化機構（ISO） 健康管理 産業保健

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

振動障害とは、チェーンソー、草刈り機（ブッシュクリナー）、さく岩機、インパクトレンチ等の振動工具の使用に伴って発生する振動が人体に伝播することによって多様な症状を呈する症候群である。振動障害の主な障害は、末梢循環障害、末梢神経障害、運動器障害の3種類である。この中で末梢神経障害は、手指の知覚鈍麻・しびれ・痛み、巧緻性の低下等の症状を示し、日常生活にも職務にも支障を生じる。

振動障害防止のために、振動工具の振動値低減、作業時間の制限、特殊健康診断による患者の早期発見及び治療、労働衛生教育等が行われている。その一環として、厚生労働省の通達に基づき、振動工具取扱作業者を対象に、特殊健康診断が行われる。末梢神経障害の評価法として、手指の振動感覚閾値（VPT）測定がある。日本国内では、VPT測定装置として「AU-02」（リオン株式会社）が主に用いられている。受診者の指先を装置の振動子に接触させ、振動を感知できる最小の振動（VPT）を測定する。測定法として、小さな振動値から開始して徐々に振動を大きくし、受診者に振動を感知できた時点で申告させる「上昇法」と、大きな振動値から開始して徐々に振動を小さくし、受診者に振動を感知できなくなった時点で申告させる「下降法」がある。この装置は比較的単純で簡便に使用できるため、集団特殊健康診断のスクリーニング検査として有用であるが、精密検査に適応するには次のような問題点が指摘されている。

指の振動子に対する接触圧を一定にする機構を備えていないこと。

指を振動子に接触させる際に、測定に用いる手側の前腕を安置する構造がないこと。

上昇法で使用した場合と下降法で用いた場合で、VPTにずれが生じうること。

また、測定値は受診者の回答に依拠するため、測定客観性が担保されないこと。

振動子が発生できる振動周波数が63Hz、125Hz、250Hzの3種類に限られること。

特にについては、振動子が発生できる3周波数は、主に末梢神経受容体のFAII受容体（パチニ小体：速度・加速度に応答する速順応型で、受容野が広く境界が不明瞭）に対応している。しかしながら、FAI受容体（マイスナー小体：速度・加速度に応答する速順応型で、受容野が狭く境界が明瞭）、SAI受容体（メルケル細胞：静圧力に応答する遅順応型で、受容野が狭く境界が明瞭）には対応していない。そのため、精密な測定を行うには問題があった。そこで、これらの問題を克服するために、機械振動による神経損傷を評価するためのVPT測定に関する国際標準化機構の規格、ISO 13091が制定された。後にこれが、日本工業規格JIS B 7763となり、ISO 13091に準拠した国産の測定装置、「AU-06」（リオン株式会社）の開発に至った。上述の問題を克服するために、このAU-06には次のような改善が施されている。

振動子に圧力センサを装備し、指の振動子に対する接触圧を一定にできるようにしたこと。

測定に際して前腕部を安置する構造を設けたこと。

コンピューター制御によるベケシー法（上昇法と下降法を組み合わせた手法）を用いることで、受診者の恣意を排除した客観的な測定が可能であること。

さらに、振動子が発生できる振動周波数を9種類（3.15Hz、4Hz、5Hz、20Hz、25Hz、31.5Hz、100Hz、125Hz、160Hz）に増加したこと。

これによって、SAI（3.15Hz、4Hz、5Hz）、FAI（20Hz、25Hz、31.5Hz）、FAII（100Hz、125Hz、160Hz）の各受容体に対応する周波数でのVPT測定が可能となった。

しかしながら、ISO 13091準拠の測定装置は、わが国では振動障害の特殊健診・労働災害認定における精密検査にほとんど用いられていない。その理由の一つは、AU-06使用による診断基準が確立していないことである。

2. 研究の目的

本研究では、振動工具取扱作業者を対象に、ISO 13091準拠の測定装置を用いて、各振動受容体に対応する周波数別に手指VPTを測定する。これによって、振動工具取扱作業者のデータベースを構築し、振動障害における末梢神経機能の評価基準を確立する。

この研究を行うことで、従来のAU-02ではできなかったSAI、FAI、FAIIの各受容体に対応する周波数でのVPT測定を通じて、末梢神経障害の精密な評価が実現する。その結果として、現行の振動障害における末梢神経障害の評価・診断をさらに正確なものに改善できる。

3. 研究の方法

研究デザインは横断研究である。研究対象者は、和歌山県に在勤在住の振動工具取扱作業者（林業従事者、農場・道路整備に従事する現業公務員）と非作業者である。振動障害症状は寒冷刺激によって増強されるため、本研究の測定は秋～冬季に実施し、測定データを蓄積した。

対象者からは、自記式質問票により自覚症状（手の循環症状[レイノー現象・冷え等]・神経症状[しびれ・痛み等]をはじめとする症状）、既往歴、生活習慣、職歴、振動工具使用履歴等についての情報を得た。

検査室は20～23℃に保ち、30分以上の馴化期間を設けてVPTを測定した。ISO 13091準拠のVPT測定装置「AU-06」（リオン株式会社）を用いて、9つの周波数（SAI受容体に対応する3.15・4・5Hz、FAI受容体に対応する20・25・31.5Hz、FAII受容体に対応する100・125・160Hz）の振動刺激に対する対象者のVPTを測定した。症状がある場合は、しびれ・痛み等の自覚症状がより強い手、症状がない場合は利き手で測定した。

この測定後、10 の水に 10 分間手を浸し（冷水浸漬試験）、浸漬終了直後・5 分後・10 分後に VPT を測定した。

また、Stockholm Workshop Scale による問診と診察により自覚症状（手の循環症状・神経症状）の確認を行った。林業群データをもとに、自覚症状の有無と VPT の値から ROC 曲線を描き、AUC 値の変化を評価した。

4. 研究成果

研究期間中に、男性林業従事者（累計 53 人、年齢平均 [標準偏差] 60.5 [11.8] 歳）男性現業公務員（累計 87 人、52.7 [6.0] 歳）振動工具を取り扱わない者（非作業員、累計 25 人（男性 16、女性 9）21.8 [2.0] 歳）の協力を得て VPT 測定を実施した。

9 周波数すべてで、林業群は公務員群に比べて VPT が有意に高かった。冷水浸漬試験中も、一貫して VPT は林業群の方が高かった。林業群のデータを循環症状の有無で比較したところ、VPT に有意な差を認めなかった。一方、林業群のデータを神経症状の有無で比較したところ、FAI および FAII に対応する周波数では、冷水浸漬前後とも、VPT に有意差または境界域の有意差を認めたと、SAI に対応する周波数では、このような差は 4Hz で冷水浸漬後に認めるのみであった。公務員群のデータを循環症状の有無・神経症状の有無で比較した場合は、このような差はほとんど認めなかった。以上の結果から、各機械受容体に対応する周波数によって末梢神経障害の度合いに差異があることが示唆された。

表 1 循環症状に対する振動感覚閾値のカットオフ値（ROC 曲線から算出）

周波数 (Hz)	AUC	VPT (dB)	確率	1-特異度	感度	Youden's Index*
冷水浸漬前†						
3.15	0.48651	83.6	0.3442	0.2000	0.3889	0.1889
4	0.55397	83.7	0.3372	0.5429	0.7222	0.1794
5	0.54524	92.6	0.3540	0.1714	0.3333	0.1619
20	0.56111	97.1	0.3187	0.7143	0.8889	0.1746
25	0.50476	99.4	0.3626	0.0857	0.2778	0.1921
31.5	0.51984	113.6	0.3421	0.2000	0.3333	0.1333
100	0.52698	114.4	0.3269	0.6571	0.7778	0.1206
125	0.59365	121.6	0.3392	0.4000	0.6667	0.2667
160	0.56825	114.4	0.2884	0.8000	1.0000	0.2000
冷水浸漬後†						
0 分後						
125†	0.65278	134.6	0.3711	0.3529	0.7778	0.4248
5 分後						
125	0.65000	135.5	0.4173	0.2000	0.5000	0.3000
10 分後						
4	0.54206	76.2	0.3662	0.1143	0.3333	0.2190
31.5	0.64444	108.9	0.3375	0.2857	0.6667	0.3810
125	0.69127	128.4	0.3160	0.3714	0.7778	0.4063

AUC: 曲線下面積; VPT: 振動感覚閾値。*Youden's indexの計算式は次の通りである: Youden's index = 感度 - (1 - 特異度)。†対象者数は53人である。ただし、冷水浸漬（10 10分法）終了後0分時点では52人である。

表2 神経症状に対する振動感覚閾値のカットオフ値 (ROC曲線から算出)

周波数 (Hz)	AUC	VPT (dB)	確率	1-特異度	感度	Youden's Index*
冷水浸漬前†						
3.15	0.61040	83.6	0.5708	0.0769	0.4444	0.3675
4	0.52920	87.0	0.5377	0.1538	0.3333	0.1795
5	0.63462	90.4	0.5611	0.1538	0.4444	0.2906
20	0.62037	106.1	0.5585	0.1923	0.4074	0.2151
25	0.57336	105.3	0.5049	0.3462	0.6296	0.2835
31.5	0.59544	111.3	0.5534	0.1923	0.4074	0.2151
100	0.62322	122.3	0.5560	0.2308	0.5556	0.3248
125	0.67877	121.6	0.5161	0.2692	0.7037	0.4345
160	0.68946	132.3	0.6279	0.1538	0.4815	0.3276
冷水浸漬後†						
0分後						
125†	0.71926	135.1	0.5887	0.2400	0.6667	0.4267
5分後						
125	0.78775	132.7	0.6210	0.1154	0.6296	0.5142
10分後						
4	0.59900	82.3	0.5051	0.2692	0.5556	0.2863
31.5	0.65313	108.7	0.5128	0.2308	0.6296	0.3989
125	0.79131	132.8	0.6485	0.1154	0.5926	0.4772

AUC: 曲線下面積; VPT: 振動感覚閾値。*Youden's indexの計算式は次の通りである: Youden's index = 感度 - (1 - 特異度)。†対象者数は53人である。ただし、冷水浸漬(10 10分法)終了後0分時点では52人である。

各自覚症状を指標とした場合、9周波数のうち125Hzでは、冷水浸漬前と浸漬終了10分後の値におけるカットオフ値[AUC値、感度、特異度]は次の通りであった(表1、表2)。循環症状:121.6dB[0.59, 67%, 60%]→128.4dB[0.69, 78%, 63%] 神経症状:121.6dB[0.68, 70%, 73%]→132.8dB[0.79, 59%, 88%] 冷水浸漬試験によるAUC値の上昇を認めた。冷水浸漬試験実施で、VPTを用いた振動障害検査精度の上昇を得られると考えられた。

作業者は非作業者に比べて高いVPTの値を示した。作業者の中で自覚症状を有する者と、非作業者では、VPTの差がさらに著明であった。この傾向は、冷水浸漬試験実施後のVPTにも認められた。

以上の結果から、VPTの精密検査におけるISO 13091準拠の振動感覚計の有用性を示した。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計13件)

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、宮下和久、振動工具取扱作業における手指皮膚温低値・振動感覚閾値高値併存と体組成の関連、第88回日本産業衛生学会、2015

Shigeki Takemura, Kouichi Yoshimasu, Kanami Tsuno, Kazuhisa Miyashita: Effects of anthropometric factors on the outcome of the cold-water immersion test among vibrating tool operators and non-operators. The 23rd Japan Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2015, 第23回日本人体振動学会), 2015 (国際学会)

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、宮下和久、体格指標と体組成が冷水浸漬試験の所見に及ぼす影響: 振動工具取扱い作業者と非作業者の比較、第55回近畿産業衛生学会、2015

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、宮下和久、体格指標と体組成が皮膚温に及ぼす影響：振動工具取扱い作業者と非作業者の比較、第 89 回日本産業衛生学会、2016

Kazuhisa Miyashita, Setsuo Maeda, Shigeki Takemura: Session 2: Special Session of ISO/TC 108/SC 4 – Progress of Hand-Arm Vibration. New standard of cold provocation tests (ISO 14835-1:2016). The 24th Japan Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2016, 第 24 回日本人体振動学会), 2016 (国際学会)

Shigeki Takemura: Session 2: Special Session of ISO/TC 108/SC 4 – Progress of Hand-Arm Vibration. Vibration perception threshold (VPT) measurement (ISO 13091-1, -2). The 24th Japan Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2016, 第 24 回日本人体振動学会), 2016 (国際学会)

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、宮下和久、振動工具取扱作業者における体表面積と皮膚温・振動感覚閾値の関連、第 75 回日本公衆衛生学会総会、2016

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、宮下和久、振動工具取扱作業者における機械受容体別にみた手指振動感覚閾値、第 56 回近畿産業衛生学会、2016

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、宮下和久、振動工具取扱作業者の機械受容体別にみた手指振動感覚閾値：平成 27-28 年度調査、2017

Shigeki Takemura, Kouichi Yoshimasu, Kanami Tsuno, Setsuo Maeda, Kazuhisa Miyashita: Vibrotactile perception thresholds among industrial vibration tool operators measured in accordance with ISO 13091. The 25th Japan Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2017, 第 25 回日本人体振動学会), 2017 (国際学会)

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、宮下和久、振動工具取扱作業者における体表面積と皮膚温・振動感覚閾値の関連、第 76 回日本公衆衛生学会総会、2017

竹村重輝、吉益光一、津野香奈美、福元仁、前田節雄、宮下和久、冷水浸漬試験（10 10 分法）で誘発した林業従事者のレイノー現象、第 57 回近畿産業衛生学会、2017

Shigeki Takemura, Kouichi Yoshimasu, Kanami Tsuno, Setsuo Maeda, Kazuhisa Miyashita: Cut-off values and their accuracy of vibrotactile perception thresholds among Japanese industrial vibrating tool operators measured based on ISO 13091 with cold-water immersion test. The 53rd Annual UK Conference on Human Responses to Vibration (第 53 回英国人体振動学会), 2018 (国際学会)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等：なし

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

宮下和久、吉益光一、津野香奈美、前田節雄

ローマ字氏名：

MIYASHITA, Kazuhisa, YOSHIMASU, Kouichi, TSUNO, Kanami, MAEDA, Setsuo

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。