

平成 21 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2006～2008
課題番号：18390181
研究課題名 (和文) 手腕振動曝露による生体影響評価の確立と曝露基準・作業基準の体系化
研究課題名 (英文) Evaluation of human response to occupational vibration and systematic guideline for the work with hand-arm vibration exposure
研究代表者 原田 規章 (HARADA NORIAKI) 山口大学・大学院医学系研究科・教授 研究者番号：70116747

研究成果の概要：

上肢末梢機能を指標とする急性振動負荷実験を系統的に行ない、ISO 標準化法を主とする機能検査成績について解析した。急性振動負荷影響は環境温や振動周波数、防振手袋等で異なり、無毛部と有毛部で異なる生理学的機序が示唆された。末梢機能検査は有効であるが、病歴、理学所見、その他所見と併せて総合的に診断を行なう必要がある。関連学会・研究会、国際学術誌に発表し、体系的な曝露基準・作業基準について解析・討議を継続している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2007 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2008 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：社会医学・衛生学

キーワード：手腕振動 振動障害 手腕振動症候群 末梢循環障害 末梢神経障害
急性振動負荷 血流 振動感覚閾値

1. 研究開始当初の背景

広範な産業分野において振動工具が使用されており、先進工業国では国民の2～3%が職業性振動曝露による健康障害のリスク下にあると推定されており、短時間曝露を含めると英国では男性の20%が職業的な振動曝露の経験を持つと報告されている。

わが国では産業現場での多くの研究の展開から、振動障害（手腕振動症候群）の予防対策と健康管理に関する基本的な体系が 30

年以上前に確立され、大きな変更がないままに行政通達として活用されてきている。しかし、その後も国内外において数々の研究と実践の蓄積が行なわれ、わが国における研究成果も含めて国際標準化機構（ISO）などでの検討が深まってきた。

手腕振動の曝露基準は 1970 年代から ISO において検討・改訂され 2001 年に新ガイドラインが策定された。周波数補正特性を含めたその考え方はわが国の産業衛生学会勧告

を含めて各国の許容基準に反映されており、EU の振動工具規制に関する機械指令 (EC Directive, 2002) にも採用されている。手腕振動症候群の診断方法に関しても ISO において標準化作業が行われており、わが国においては厚生労働省による振動障害の検査指針検討会が 2004 年に設置され新しい診断法が検討されている。

以上の経過のなかで、手腕振動曝露の生体影響評価と予防対策に関し、特に解決を要する課題として、手腕振動の生体影響における振動特性と生理学的機序、手腕振動症候群の病態、特に臨床所見との関連、信頼性の高い診断方法の検討が残されている。

2. 研究の目的

人を対象とする急性振動負荷実験、手腕振動症候群患者と健常対照者による検査方法の検討により、振動影響における周波数依存性と環境影響、手腕振動症候群の病態機序、特に ISO において標準化された検査法を含めて検討し信頼性の高い検査法について明らかにし、これまでの知見及び欧米関連研究者との研究交流により、振動生体影響評価方法と曝露基準・作業基準の体系化をはかる。

3. 研究の方法

室温制御が可能な実験室において、把持力と温度の調節が可能な加振ハンドルを用い、手指血流および手指皮膚温、手指振動感覚閾値を指標として、人を対象とした急性振動負荷実験を系統的に行なった。測定には熱勾配式血流計とサーミスタ温度計を使用した。また、さらにレーザー血流計および振動感覚閾値計を用いた実験を遂行中である。

手腕振動症候群患者と健常対照者を対象として、ISO 方式を主とした 12°C と 10°C の冷水を用いる手指皮膚温検査、30°C、15°C、10°C の片手 4 指中節冷却負荷による手指血圧検査、4Hz、31.5Hz、125Hz の 3 周波数による手指尖振動感覚閾値検査、部位を区分した上肢神経伝導検査を行なった結果について、感度、特異度、ROC 曲線等を用いた解析を行い、さらに継続中である。

4. 研究成果

4-1 急性振動負荷実験

① 実験室温を 15°C、20°C、25°C、30°C に変化させ、加振ハンドルを 20°C に制御して、125Hz の正弦波で 40m/s² の右手腕振動負荷を 5 分間行い、左右の第 3 指中節背側の手指血流を熱勾配式血流計で測定した。その結果、振動負荷中に負荷側の手指血流増加が有意にみられ、15°C 室温下で最も大きく 30°C 室温下で最も小さかった。振動影響は低温環境下で大きいことが確認された。

② 実験室温 21°C、加振ハンドル 21°C の条

件、防振手袋着用の有無の条件で、31.5Hz および 250Hz、周波数補正加速度 5.5 m/s²rms の手腕振動を 5 分間負荷し、第 3 指中節背側の手指血流と手指皮膚温を熱勾配式血流計とサーミスタ皮膚温度計で測定した。その結果、防振手袋着用時でも 250Hz 負荷では血流、皮膚温とも有意な変化なく、31.5Hz 負荷では血流で有意な変化があり防振手袋着用時に小さいことが認められた。このことは特に高周波数振動における防振手袋の有用性も示している。

③ 実験室温 21°C、加振ハンドル 21°C の条件下で、31.5Hz、125Hz、250Hz の周波数補正加速度 5.5 m/s²rms の手腕振動の 15 分間負荷と同一条件下で振動のみを負荷しない実験を行った。熱勾配式血流計とサーミスタ皮膚温度計を用いて、第 2 指中節掌側、第 3 指中節背側の末梢循環を測定した。その結果、振動負荷中には各周波数とも、背側で皮膚血流増加、掌側で皮膚温低下、負荷終了後には、背側で皮膚血流、皮膚温とも増加、掌側で減少がみられた。急性振動負荷による手指循環影響は背側 (有毛皮膚) と掌側 (無毛皮膚) で異なる方向であることが観察された。

④ 実験室温 25°C、加振ハンドル 25°C の条件下で、31.5Hz、250Hz の周波数補正加速度 5.5 m/s²rms の手腕振動の 5 分間負荷と同一条件下で振動のみを負荷しない実験を行った。レーザー Doppler 血流計とサーミスタ皮膚温度計を用いて、左 (非負荷側) 第 3 指掌側と第 4 指背側の手指血流、右手掌の皮膚温、HVLab 製振動覚計を用いて 125Hz の振動感覚閾値を、右第 3、5 指尖と第 2、4 指中節背側で測定した。振動負荷中には両負荷周波数とも、背側で皮膚血流増加、掌側で皮膚温低下、負荷終了後には、背側で皮膚血流、皮膚温とも増加、掌側で減少がみられ、急性振動負荷による手指循環影響は背側と掌側で異なる方向であることが観察され、さらに解析中である。

⑤ 以上、急性振動負荷は末梢循環と末梢知覚に影響を与えるが、環境温度や振動周波数、防振手袋の使用、また、手指の部位すなわち掌側 (無毛皮膚) と背側 (有毛皮膚) で異なる影響がみられ、異なる生理学的機序の存在が示唆される。このことは手腕振動症候群の予防対策や診断において考慮せねばならない。

4-2 新しい検査の診断意義の検討

① 冷水浸漬手指皮膚温

ISO 方式に準拠した冷水浸漬手指皮膚温検査 (12°C5 分法、10°C5 分法)、わが国で一般に行われている労働省通達に準拠した冷水浸漬手指皮膚温検査 (10°C10 分法) の比較検討を行なった。ISO 方式 12°C5 分法は、同 10°C5 分法、労働省通達 10°C10 分法より判別性は低

かった。これらの成績は、産衛学会振動障害研究会 10°C10 分法判定基準論文、1986 年ストックホルムワークショップ報告成績とほぼ同様であった。以上から、冷水浸漬手指皮膚温検査法は、12°C5 分法ではなく 10°C冷水を使用する方法、特にわが国で一般に行われており広く普及している 10°C10 分法が望ましいと判断された。

② 冷却負荷手指血圧検査

ISO 方式に基づいた 30°C、15°C、10°Cの片手 4 指中節冷却負荷による負荷手指血圧検査の成績を過去の関連文献と併せて比較検討した。白指を有する手腕振動症候群患者と健常対照者の判別性はかなり高く診断に寄与すると考えられた。ただし、欧米ではさらに高い判別性を示したとの報告もあり、気候条件や白指有症率における人種差などが関与しているのか検討が必要である。また、白指症状を有していても低い手指血圧値を示さない偽陰性者が一定割合で存在することに留意する必要があると考えられた。

③ 振動感覚閾値検査

ISO 方式による手指尖振動感覚閾値検査を 4Hz、31.5Hz、125Hz の 3 周波数を用いて行った成績を解析した。31.5Hz、125Hz の両閾値は高い判別性を示し 4Hz 閾値がそれに続いた。手指尖において、4Hz 閾値、31.5Hz 閾値、125Hz 閾値はそれぞれ、SA I、FA I、FA II の異なる機械受容器を介する知覚とされる。振動曝露による知覚障害が受容器により異なることや、障害の判別性が受容器により異なる可能性などさらに検討が必要である。振動感覚閾値は主観的な応答による検査であるが皮膚の機械受容器の機能を含めた評価が可能で手腕振動症候群の診断に有効であると判断された。特に ISO 方式では検査指からの圧迫力などの測定条件を制御し厳密に閾値測定ができる特徴がある。

④ 上肢神経伝導検査

手指部および手掌部に区分して測定された上肢の神経伝導速度検査成績を解析・検討した。手腕振動症候群患者において神経伝導速度の低下が見られたが振動感覚閾値検査と比べて低い判別性であり、これまでの研究成績と類似していた。通常の神経伝導検査と異なりより末梢の特定区間の神経伝導検査であるが、知覚受容器の機能を評価できないなど、神経伝導検査自体の特性から振動障害診断における判別性には限界があると考えられた。しかし、自覚的な応答によらない客観的な検査であることから、自覚症状や、振動感覚閾値検査などと併せて総合的な評価に用いる意義があると考えられた。

⑤ 以上、手腕振動症候群診断には、経験ある医師による自覚症状評価、症状と振動曝露歴の関連、理学所見、上肢の各種機能検査、骨関節障害のレントゲン検査、鑑別診断のた

めの末梢血検査などによって総合的に行なわれる必要があると判断された。

4-3 研究発表と研究交流

得られた研究成績は日本産業衛生学会、日本衛生学会、国際手腕振動学会、英国人体振動学会などの関連学会に報告・討議するとともに、国際学術誌に論文として発表した。日本産業衛生学会振動障害研究会や同ワーキンググループにおいて討議を重ねるとともに、スウェーデンで開催された第 2 回手腕振動症候群診断に関するワークショップにおいて基調報告を行なった。また、同国イェーテボリィ大学医学部のハグバーク教授を日本に招聘し同国における手腕振動症候群診断に関する特別講演と研究交流を行った。手腕振動症候群予防のための体系的な曝露基準・作業基準と新しい診断体系について、過去の研究知見を併せた総合的解析を行ない、国内外研究者との研究討議を継続している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① Mahbub MH, Hiroshige K, Tanigawa K, Kan H, Takahashi Y, Togari T, Harada N, Acute effects of vibration on blood flow and vibrotactile perception in palmar and dorsal skin of fingers and hand among healthy subjects. In: Proceedings of the 17th Japan Conference on Human Response to Vibration, Tokyo, Japan, August, 2009 (in press)
- ② Harada N, Mahbub MH, Diagnosis of vascular injuries caused by hand-transmitted vibration. Int Arch Occup Environ Health, 81:507-518, 2008
- ③ Mahbub MH, Harada N, Digital blood flow and temperature responses in palmar and dorsal skin induced by short-term vibration exposure while grasping a vibratory handle, Int Arch Occup Environ Health, 81: 889-897, 2008
- ④ Mahbub MH, Inoue M, Yokoyama K, Akebi T, Tanigawa K, Mizota J, Harada N, Differences in digital vascular responses between glabrous and nonglabrous skin induced by acute exposure to hand-transmitted vibration, In: Bovenzi M, Peretti A, Nataletti P, Moschioni G (editors) Proceedings of the 11th International Conference on Hand-Arm Vibration, Bologna, Italy, pp193-200, June, 2007
- ⑤ Harada N, Toibana N, Ishitake T, Kurozawa Y, Mahbub MH, Ohmura K, Wang B, A preliminary study on diagnostic significance of ISO standardized test methods for hand-arm vibration syndrome, Proceedings of the 42nd UK Conference on Human Responses to Vibration, Southampton, UK, September, pp163-167, 2007
- ⑥ Mahbub MH, Takahashi Y, Ohnari H, Akebi T, Tanigawa K, Yang G, Ohmura K, Harada N, Digital

blood flow change in healthy subjects after exposure to acute hand-arm vibration, Proceedings of the 42nd UK Conference on Human Responses to Vibration, Southampton, UK, September, pp177-183, 2007

- ⑦ Takahashi Y, Harada N, A consideration of an evaluation index for high-level low-frequency noise by taking into account the effect of human body vibration, J Low Frequency Noise Vibration Active Control, 26(1):15-27, 2007
- ⑧ Mahbub MH, Yokoyama K, Laskar MS, Inoue M, Takahashi Y, Yamamoto S, Harada N, Assessing the influence of antivibration glove on digital vascular responses to acute hand-arm vibration, J Occup Health, 49(3):165-171, 2007
- ⑨ Yamamoto S, Iwamoto M, Inoue M, Harada N, Evaluation of the effect of heat exposure on the autonomic nervous system by heart rate variability and urinary catecholamines, J Occup Health, 49: 199-204, 2007
- ⑩ Yokoyama K, Takahashi Y, Inoue M, Laskar MS, Mahbub MH, Nakayama T, Ohnari H, Harada N, Effect of handle temperature on temporary threshold shift of fingertip vibration sensation induced by acute,,, CD-ROM 1:pp147-152, 2006
- ⑪ Inoue M, Suizu K, Yoshimura M, Shirono S, Morita H, Kan H, Yamamoto S, Harada N, Effects of cold-stress test using different covering methods on heart rate variability in healthy subjects, CD-ROM 1:pp249-254, 2006
- ⑫ Laskar MS, Ohmura K, Inoue M, Yokoyama K, Inagaki J, Takahashi Y, Mahbub MH, Ohnari, H, Harada N, Influence of room temperature on finger systolic blood pressure response to finger cooling in healthy,, CD-ROM 1:pp375-382, 2006
- ⑬ Mahbub MH, Inoue M, Yokoyama K, Takahashi Y, Akebi T, Tanigawa K, Mizota J, Harada N, Finger blood flow responses in glabrous and nonglabrous skin induced by vibration exposure while grasping a vibratory handle, In: Proceedings of the 14th Japan Conference on Human Response to Vibration, Tokyo, Japan, pp99-109, August, 2006
- ⑭ Mahbub MH, Inoue M, Yokoyama K, Laskar MS, Ohnari I H, Suizu K, Inagaki J, Takahashi Y, Harada N, Assessment of room temperature influence on finger blood flow response induced by short-term grasping of vibrating handle, Int Arch Occup Environ Health, 79:22-26, 2006

[学会発表] (計 11 件)

- ① Mahbub MH, Takahashi Y, Ohnari H, Akebi T, Tanigawa K, Yang G, Ohmura K, Harada N, Digital blood flow change in healthy subjects after exposure to acute hand-arm vibration, 42nd UK Conference on Human Responses to Vibration, Southampton, UK, 2007.9.11
- ② Harada N, Toibana N, Ishitake T, Kurozawa Y, Mahbub MH, Ohmura K, Wang B, A preliminary study on diagnostic significance of ISO standardized test methods for hand-arm vibration syndrome, 42nd UK Conference on Human Responses to Vibration, Southampton, UK, 2007.9

- ③ Mahbub MH, Inoue M, Yokoyama K, Akebi T, Tanigawa K, Mizota J, Harada N, Differences in digital vascular responses between glabrous and nonglabrous skin induced by acute exposure to hand-transmitted, 11th International Conference on Hand-Arm Vibration, Bologna, Italy, 2007.6
- ④ Mahbub MH, 大村佳代, 井上正岩, 原田規章, 手腕振動障害における末梢循環異常の定量化, 産業衛生学雑誌, 49 増刊: 397, 2007.4.26. 大阪, 日本衛生学会総会
- ⑤ Wang B, Kuroki K, Mahbub MH, Ohmura K, Harada N, Evaluation of vibrotactile perception thresholds among patients with hand-arm vibration syndrome: A preliminary report, 日本衛生学雑誌, 62:2, 720, 2007.3.26-27. 大阪, 日本衛生学会総会
- ⑥ Takahashi Y, Harada N, A consideration of an evaluation index for high-level low-frequency noise by taking into account the effect of human body vibration, 12th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, Bristol, UK, 18-20, 2006.9
- ⑦ Harada N, Diagnosis of vascular injuries caused by hand-transmitted vibration, Diagnosis of injuries caused by hand-transmitted vibration- 2nd International workshop, Gothenburg, 2006.9
- ⑧ Mahbub MH, Inoue M, Yokoyama K, Takahashi Y, Akebi T, Tanigawa K, Mizota J, Harada N, Finger blood flow responses in glabrous and nonglabrous skin induced by vibration exposure while grasping a vibratory handle, 14th Japan Conference on Human Response to Vibration, Tokyo, Japan, 2006.8
- ⑨ Mahbub MH, 横山健治郎, Laskar MS, 井上正岩, 高橋幸雄, 原田規章, 加振ハンドル把持時における防振手袋使用が末梢循環反応に及ぼす影響, 産業衛生学雑誌, 48 増刊:372, 2006.5.10. 仙台, 日本産業衛生学会総会
- ⑩ 井上正岩, 横山健治郎, Laskar MS, Mahbub MH, 山本真二, 涌井忠昭, 原田規章, 手腕振動曝露が及ぼす末梢循環反応におけるハンドル表面温度影響の検討, 産業衛生学雑誌, 48 増刊: 373, 2006.5.10. 仙台, 日本産業衛生学会総会
- ⑪ Laskar MS, Mahbub MH, 井上正岩, 横山健治郎, 大村佳代, 原田規章, 手腕振動症候群診断のための冷却負荷手指血圧検査における冷却用ブラケット使用の影響, 産業衛生学雑誌, 48 増刊: 375, 2006.5.10. 仙台, 日本産業衛生学会総会

[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) 研究代表者

原田 規章 (HARADA NORIAKI)
山口大学・大学院医学系研究科・教授
研究者番号：70116747

(2) 研究分担者

平成 18 年度
井上 正岩 (INOUE MASAIWA)
山口大学・大学院医学系研究科・准教授
研究者番号：20335722

平成 18 年度
横山 健治郎 (YOKOYAMA KENJIROU)
山口大学・大学院医学系研究科・助教
研究者番号：70346550

(3) 連携研究者

Hossain Mahbub (HOSSAIN MD. MAHBUB)
山口大学・大学院医学系研究科・助教
研究者番号：80535336