

総説

全身振動の職業的曝露と健康の関連性—主に背腰部症状について

西山勝夫¹, 原田規章², 辻村裕次¹, 石竹達也³, 榎原久孝⁴, 松本泰尚⁵¹ 滋賀医科大学社会医学講座衛生学部門² 山口大学大学院医学系研究科環境保健医学分野³ 久留米大学医学部環境医学講座⁴ 名古屋大学保健学科看護学専攻⁵ 埼玉大学理工学研究科環境科学・社会基盤部門

抄録: 全身振動の職業的曝露と健康の関連性—主に背腰部症状について: 西山勝夫ほか. 滋賀医科大学社会医学講座衛生学部門—目的: 1975年に制定された日本産業衛生学会の全身振動に関する現行許容基準の改訂の必要性ならびに改訂案の検討に資することのできる全身振動の健康影響を明らかにすることを目的とした. **対象と方法:** 全身振動に関する現行許容基準については主に以前に行われたレビュー結果に基づき検討した. 全身振動曝露と背腰部症状の関連に関する研究のレビュー論文とそれらのレビュー論文で抽出された英文原著論文ならびに著者がMEDLINEで抽出した2002-2010年の全身振動と背腰部症状の量反応関係に関する英文および邦文の原著論文を対象とし, 知見について吟味した. **結果:** 全身振動に関する現行許容基準の改訂は可及的速やかに行うべき状況にある. 全身振動と健康影響に関する研究では, 背腰部症状との関連を示す疫学研究が圧倒的に多い. 全身振動の職業的曝露の有無と背腰部症状の有無の関連を示す疫学研究は28文献30研究である. 全身振動, 背腰部症状とも様々な指標により, 全身振動の曝露と背腰部症状の量反応関係が示されている. 全身振動の曝露量として $A_{sum}(8)$ (x, y, z 軸の合成振動値の8時間周波数補正加速度実効値)を指標にして背腰部症状の量反応関係を検討している文献はわずかであるが, いずれも量・反応関係を示しているといえる. **考察:** 全身振動の曝露の有無と背腰部症状の有無が関連していることは明らかである. 最近のレビューでは全身振動 0.5 m/s^2 を背腰部症状リスクの閾値として検討されているが, その根拠は薄弱である. $A_{sum}(8)$ に着目すると, 0.30 m/s^2 を超えると背腰部症状のリスクが増大することが示唆されているの

で, 0.30 m/s^2 前後に着目したさらなる疫学研究等が待たれる. **結論:** 全身振動に職業的に曝露される場合の健康影響についての疫学研究は非曝露の場合に比べて, 背腰部症状のリスクを増大させることを明らかにしており, 背腰部症状のリスクを指標にして許容基準を検討できるといえる. 全身振動と背腰部症状の関連については $A_{sum}(8)$ を全身振動の許容値の指標として勘案できる知見があるといえる.

(産衛誌 2012; 54 (4): 121-140)

doi: 10.1539/sangyoeisei.A11004

キーワード: Combined vibration value, Dose response relationship, Equivalent 8-h frequency-weighted r.m.s. acceleration value, Low back pain, Occupational Exposure Limits

緒言

全身振動に関する許容基準が日本産業衛生学会において提唱されたのは1975年である. すなわち, 日本産業衛生学会許容濃度等委員会(1974年6月26日)から「全身振動の許容基準」が提案され, 翌1975年の学会総会で, 「全身振動の許容基準(以下, 1975年の基準¹⁾)」が許容濃度等の勧告に加えることが承認され, 現在に至っている.

1975年の基準¹⁾は, 提案理由²⁾によれば, 当時ISOにおいて全身振動の測定と評価についての国際規格が制定されようとしていたISO/DIS 2631を基に策定されたものとされている(以下, 当時のISO/DIS 2631をISO/DIS 2631と記す). その後ISOの全身振動の人体影響に関する規格ISO 2631は改訂を重ね, 特に1997年の改訂(ISO 2631-1: 1997³⁾)は大幅であり, 後の定期的見直しでも基本的な変更はなく現在に至っている.

日本産業衛生学会振動障害研究会は, 2000年に, 1975年の基準¹⁾の基となったISO/DIS 2631が大幅に改訂されたことを主な理由として, 許容濃度等委員会

受付 2011年2月10日受付; 受理 2012年5月2日受理
J-STAGE 早期公開日: 2012年6月4日

連絡先: 西山勝夫 〒520-2192 大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学社会医学講座衛生学部門
(e-mail: nisiyama@belle.shiga-med.ac.jp)

に対し 1975 年の基準¹⁾の見直しを提起することとし、同年 4 月に全身振動に関する許容基準改訂案検討ワーキンググループを設置し、許容基準改訂案の検討を始めた。その際に、全身振動の職業的曝露と健康の関連性に関する研究に焦点をあてた文献レビューが不可欠とされた。

西山は、全身振動と健康との関連性に関する研究論文(2004 年 5 月における MEDLINE および Journal of Sound and Vibration から抽出)をレビューし、背腰部症状との関連性を焦点にした研究が圧倒的に多数を占めることを示した⁴⁾。さらに同レビュー⁴⁾で、1975 年の基準¹⁾の勧告以降の ISO における全身振動に関する基準改訂の経緯とその問題点を述べた。その後、同レビュー⁴⁾について論じたり、新たなレビューを行ったりした同種の論文は出版されていない。したがって、本稿は、同レビュー⁴⁾を前提にして、1975 年の基準¹⁾の問題点ならびに全身振動の職業的曝露と健康特に背腰部症状との関連性を明らかにすることを目的として、文献レビューを行った。

対象と方法

1975 年の基準¹⁾の改訂の必要性を確認するために、その問題点を文献レビュー⁴⁾において述べられた ISO 2631-1: 1997³⁾の問題点に沿う方法で検討した。

まず、全身振動の曝露の有無と背腰部症状の有無の関係を、1975 年の基準¹⁾の制定以降 2006 年までの全身振動と背腰部症状との関連に関する研究のレビューとそれらのレビューで抽出された MEDLINE 掲載の英文原著論文に基づき検討した。

ついで、全身振動の曝露量と背腰部症状の量反応関係を、以上で抽出された文献において量反応関係があるとされた文献に加えて、2002 年以降 2010 年 12 月までの全身振動と背腰部症状の量反応関係を検討した英文および邦文の原著論文を MEDLINE および Journal of Sound and Vibration にて検索(キーワードは whole body vibration)・抽出し、検討した。

結 果

1. 1975 年の基準¹⁾の問題点

1975 年の基準¹⁾は、ISO/DIS 2631 に準じて、安全率を考慮して、痛みの閾値のほぼ半分をとったとされている曝露限界の、さらに半分をとった疲労・能率減退境界を許容値として採用し、「1 日 8 時間の作業に従事する際」「健康な成年男子に生理機能の障害や著しい能率の低下をきたさないことが期待されるものである」としている。

しかし、文献レビュー⁴⁾に沿うと、1975 年の基準¹⁾の問題点として以下のことがあげられる。

1) 曝露される全身振動の測定位置などの測定方法が明示されていない。

1975 年の基準¹⁾は曝露される全身振動の測定位置などの測定方法を明示していない。しかし、ISO 2631-1: 1997³⁾では、健康についての適用範囲を座位、基本中心座標系・測定位置を人体座面・座席表面と規定している。

2) 「1 Hz 以下は動揺病に関係し」「ここでは問題にしない」としている。

ISO 2631-1: 1997³⁾は健康についての適用範囲を 0.5–80 Hz とし、0.4–100 Hz の帯域制限フィルターの使用を定めている。また動揺病に対する評価方法についても ISO 2631-1: 1997³⁾は規定している。

3) 「暫定的に連続衝撃型振動にも適用」しているものの、許容波高率を示していない。

1975 年の基準¹⁾が依拠したとされる ISO/DIS 2631 では許容波高率は 3 程度と規定されていることと整合していない。

1975 年の基準¹⁾によれば過度な波高率の全身振動の場合、曝露を過小評価する可能性があり、衝撃振動として測定・評価する必要があるとして懸念されてきたが、ISO 2631-1: 1997³⁾は許容波高率については 9 程度まで許容されると規定している。

4) 1/3 オクターブバンド分析結果をもとに優勢成分を同定し基準値と比較評価することとしている。

1975 年の基準¹⁾によれば広帯域ランダム振動に曝露されている場合には過小評価(場合によってはレベルでは 1/4.5、許容時間では 100 倍)となる。ISO 2631-1: 1997³⁾は、周波数補正フィルターを使用することとし、人体に影響する帯域全体の評価をすることとしている。

5) 「三方向振動成分が同時に存在するときは、各方向別々に「評価する」としているが、優勢軸がない場合の評価法が示されていない。

1975 年の基準¹⁾では単軸評価を前提としている。したがって、主要な振動方向を決定できない場合の評価値は過小評価となる可能性がある。ISO 2631-1: 1997³⁾は「健康、安全性に対する評価の際、主要な振動方向を決定できないときには、各方向の補正加速度を合成した振動合計算、またはベクトル和を用いることが提案されている」としている。

6) 「等価全曝露時間」の計算手続きが実用上複雑すぎる。

1975 年の基準¹⁾の等価全曝露時間を指標にした健康影響に関する実地調査研究がほとんど見当たらないのは「等価全曝露時間」の計算手続きが実用上複雑すぎたためと考えられる。1980 年代以降なされた全身振動曝露量に関する研究の多くが、マイクロエレクトロニ

クスの発展により比較的容易となった等価周波数補正加速度実効値を指標にしている。

7) 1日の許容時間の下限が1分である。

1975年の基準¹⁾によれば1分未満の大振幅の振動・衝撃振動(z《鉛直》軸: $\geq 2.8 \text{ m/s}^2$, x, y《水平》軸: $\geq 2 \text{ m/s}^2$)に対し、健康への影響を過小評価する危険性がある。ISO 2631-1: 1997³⁾は周波数補正加速度実効値について10分以下では同一レベルに制限し、大振幅振動・衝撃振動の影響が過小に評価される危険性を避けている。

8) 1日間の許容時間の上限が8時間である。

ISO/DIS 2631は24時間まで基準を示しているので、1975年の基準¹⁾の表で上限時間が8時間とされていることは整合していない。

ISO 2631-1: 1997³⁾によれば1日間の曝露が8時間以上の場合でも8時間換算値A(8)を用いて評価できる。

9) ISO/DIS 2631の疲労・能率減退境界を許容基準としている。

1975年の基準¹⁾は、前述したように、ISO/DIS 2631における安全率をみて痛みの閾値のほぼ半分をとった曝露限界と快適減退境界の間にある疲労・能率減退境界を採用したとされている²⁾。ところがISO 2631-1: 1997³⁾では、ISO 2631の従来の考え方は、その後の研究結果で裏付けられなかったとして削除した旨がForwardに記され、全身振動にさらされる健康な人間に対する脊柱障害などの健康上の危険に焦点を当てており、測定・評価・判定の方法も大幅に変更され、以前のISO 2631の数値基準の痕跡を見出しがたい。

10) 全身振動の人体影響に関する日本工業規格JISの制定文献レビュー⁴⁾後、わが国では全身振動にかかわる国際規格ISO 2631-1: 1997³⁾およびISO 8041: 2003⁵⁾の対応規格としてJIS B 7760-1: 2004⁶⁾およびJIS B 7760-2: 2004⁷⁾が、全身振動の人体影響に関する日本工業規格JISとして初めて制定された。全身振動の健康上の危険に関する測定・評価は同JIS(以下、JIS)に従わなければならないようになった。しかし、JIS^{6,7)}に従うならば、1975年の基準¹⁾が規定している全身振動の測定・評価・判定を行うことは不可能である。

2. 全身振動と健康との関連性に関する研究

1975年の基準¹⁾の勧告後も、全身振動による健康障害・健康影響についての研究がさまざまな領域においてなされてきたことは、文献レビュー⁴⁾のとおりである。Griffin⁸⁾は、不快、活動妨害、健康、知覚、動揺病、身体力学について網羅的かつ系統的なレビューを行なっている。健康影響については、生理学的反応、病理学的反応、労働衛生上の問題の特質にわたっている。その後も多数の研究が行われ、人の健康への影響としては、腰部、

頸肩部、胃腸部、女性生殖器、末梢血管、蝸牛前庭系などに対する影響に整理することができる⁴⁾。

これらの研究では、背腰部症状との関連性を焦点にした研究が圧倒的に多数を占め、疫学的証拠も豊富であるという状況は、文献レビュー⁴⁾以降も変わらない。そこで、以下では全身振動曝露の背腰部症状への影響に焦点を当てることとする。

3. 全身振動の曝露の有無と背腰部症状の関係

Hulshofとvan Zanten⁹⁾は、全身振動による急性影響、不快感の惹起、能率の減退に比べると職業的曝露による傷害・疾病の惹起は明確に実証されていないとしている。そして、ほとんど解明されていない長期にわたる全身振動曝露の健康影響を検討するために、全身振動曝露に関する疫学研究文献を、3指標、すなわちexposure data, health effect data, methodologyの質についてスコア化し、系統的なレビューを進めている。評価・判定の尺度としては、exposure dataについては4項目8点満点、health effect dataについては5項目8点満点、methodologyについては7項目10点満点、各指標について50%以上を適格とする基準を定めている。その結果、最も多く報告された悪影響は、low-back pain(以下LBP)、early degeneration of the lumbar spinal system, herniated lumbar discであり、大部分の研究が類似の傾向を示していたが、3つの全ての指標について50%以上の評点を得た研究は認められず、曝露と健康影響の関係についての確たる結論を得るためにはさらなる疫学研究が必要であるとし、疫学研究における曝露の測定・解析はISO 2631-1: 1985¹⁰⁾のガイダンスによることが望ましいと述べている。

ところで、同ガイダンス¹⁰⁾は従前のISO 2631をPart 1からPart 4と評価対象ごとに分けている。従前のISO 2631に対応する部分はこの時、ISO 2631-1¹⁰⁾とされることになった。このISO 2631-1¹⁰⁾では、広帯域振動の場合の電子回路フィルターを用いた周波数補正加速度実効値による評価や優勢軸が認められない場合のベクトル和による評価などについて定めている。その後Hulshofとvan Zanten⁹⁾が示唆した方向で全身振動と背腰部症状の関係を明らかにする研究がなされ、レビュー文献¹¹⁻¹⁶⁾も出版された。

BurdorfとSorock¹¹⁾はMEDLINE(1966-1998)、CISDOC、EMBASE(1988-1998)、HSELINE、CISDOC、Ergowebのデータベースおよび筋骨格器系障害の疫学研究が掲載される学術雑誌を対象に、職業集団の背腰部症状の発生を記載したり、地域住民中の特定の労働条件と背部痛の関連を検討したりしている文献を検索(キーワードは記されていない)し、140文献を抽出した。第1段階では作業関連性のリスクファクターに関

する量的情報が欠如している 68 文献を除外し、第 2 段階では作業関連性のリスクファクターに関するリスク推測が適切でなかったり、十分な情報を得るに足るリスク推測計算に欠けたりする 30 文献を除外し、第 3 段階ではレビュー目的にとって方法論的に深刻な問題がある 7 文献を除外した。その結果として残った 35 文献について、物理的あるいは心理的要因および重要な個人属性の視点から作業関連性をレビューした。物理的要因としては、手作業による物の扱い、頻繁な前屈・捻転、重量物負荷、静的作業姿勢、反復動作、全身振動への曝露の有無が取り上げられている。全身振動について有害性を認めたものは 12 文献¹⁷⁻²⁸⁾ 13 研究 (Pietri ら²⁷⁾ について、2 種類の手法が同一文献にあるとして 2 研究に数えられている)、関連が認められなかったものは 1 文献²⁹⁾ であったとされている。

Bovenzi と Hulshof¹²⁾ は、Hulshof と van Zanten⁹⁾ の研究を受け継いで 1986-1997 年に出版された疫学原著文献を、MEDLINE, CISDOC, EMBASE, the Human Response to Vibration Literature Collection at the Institute of Sound and Vibration Research of the University of Southampton, United Kingdom のデータベースから、(low) back pain, sciatic pain, spinal disorders, herniated lumbar disc, (whole-body) vibration, postural load, epidemiology, occupation, driving のキーワードにて検索し、さらに検索された文献中の引用文献も検索し、合計 83 文献を抽出した。彼らは、これらから、Hulshof と van Zanten⁹⁾ の系統的方法に沿って 37 文献を選択し、さらに Bovenzi と Hulshof¹²⁾ により新たに定められた基準に基づき他の 3 人の研究者が個別に評価した。その基準は、exposure data については 3 項目 25 点満点、health effect data については 2 項目 15 点満点、methodology については 4 項目 30 点満点、これらの 3 つの指標ごとに 1/3 以上の点数を適格としている。その結果、16 文献^{17-22, 24, 26, 30-37)} 17 研究 (Boshuizen ら²⁰⁾ について、2 種類の手法が同一文献にあるとして 2 研究に数えられている。しかし Boshuizen ら²⁰⁾ の文献を検討しても、2 研究に分類できる根拠は見いだせず、誤った文献の引用がなされていると考えられた) が抽出されている。背腰部症状と全身振動の有無の関係についてのメタ解析の結果は、過去 1 年間における LBP 経験については、9 文献中 7 文献に有意性を認め、pooled analysis により、オッズ比 (以下、OR) は 2.3* であり、sciatic pain については、7 文献中 4 文献に有意性を認め、pooled analysis により、OR は 2.30* であった。しかし、herniated lumbar disc については、4 文献とも有意性を認めず、pooled analysis でも有意性を認めていない (*: $p < 0.05$)。年齢調整済みの発症率については、back disorders では 3 文献各々においても pooled analysis で

も有意性を認めていないが、lumbar disc disorders では 3 文献中 1 文献と pooled analysis で有意性を認めている。さらに、他に比べて多数調査されているトラクター運転手の LBP 有症率の点推定値 OR と生涯全身振動曝露量 ($\text{yr m}^2/\text{s}^4$) の関係^{18, 22)} を図示することによって量反応関係が示唆されると述べている。Bovenzi と Hulshof¹²⁾ はレビュー結果に基づき、「量反応関係の疫学的証拠は不十分であるが、全身振動が LBP, sciatic pain, herniated lumbar intervertebral disc を含む degenerative changes のリスクファクターであることを明確に示している」「本レビューに含まれていた産業車両の大部分は European Union Directive for physical agents³⁸⁾ により提案されている action level (要対策値) 0.5 m/s^2 を超え、中には exposure limit (限界値) 0.7 m/s^2 を超えるものもあった」「1986 年以前に比べると疫学研究は前進している」と述べている。

Lings ら¹³⁾ は、Kjellberg ら³⁹⁾ のレビューを受け継ぎ、1992-1999 年の MEDLINE, OSHROM, TOXLINE, 私信の疫学文献をレビューし、抽出された 24 文献中で、判定基準 (対照群の明確性、疑問の余地のない標本抽出、回答率の明記、LBP の明確な定義、曝露量に対応する LBP 有症率の記載) を満たしたのは 7 文献^{22, 36, 40-44)} のみ、さらに、量反応関係を認めたのは、その内 Bovenzi と Betta²²⁾, Schwarze ら⁴³⁾ の 2 文献のみであったと述べている。Lings ら¹³⁾ はレビューの結果に基づき、「明確な根拠には欠けるものの、全身振動曝露の低減を可能な最低のレベルにすることが必要な理由は十分あること」「従来以上の新知見を得ようとすれば、明確な定義と細分類を伴う前向き研究が必要である」と述べている。しかし、「進行中の技術的予防対策の開発により、全身振動問題の大きさはすでに減少傾向にあると思われるので、この領域のその他の研究は断念し、資源をもっと重要な予防問題に利用した方がよい」と主張している。

Barondes¹⁴⁾ は、曝露群と非曝露群についての採否基準が明確に定義されていること、回答率が 70% 以上であること、健康影響については筋骨格器系障害のうち back disorders, 頸部障害, 上肢障害に関するものであり研究前に明確にされている基準で観察されていること、曝露量が明確であること、英文で刊行されていること、査読を受けていることを抽出条件にして過去 20 年間の疫学文献を、MEDLINE, NIOSHTIC, HSELINE, CISDOC, Ergoweb, Psychinfo, OSHROM, Ergonomics Abstracts, ArbLine のデータベースおよび NIOSH comprehensive review を用いて検索している。抽出された文献は back disorders については、物理的要因に関し 255 あり、そのうち選択条件を満足したものは 41、心理的要因に関しては 975 あり、そのうち選択

条件を満足したのは21であった。取り上げられた物理的要因項目はBurdorfとSorock¹¹⁾と同一であり、全身振動について関連が認められなかったものが1研究²⁹⁾、正の関連が認められたものは14文献^{17-23, 25-28, 44, 46, 47)}、16研究(Boshuizen¹⁹⁾については、2種類のコホート研究によるhealth effect dataが2研究と数えられ、Pietriら²⁷⁾については、BurdorfとSorock¹¹⁾と同じく2種類の方法が同一文献にあるとして2研究に数えられている)であった。16研究のRelative Riskの点推定値の範囲は1.26-9.00、寄与危険度が得られた11研究の寄与危険度の範囲は18-80% (95% CI)であった。なお、表示されている寄与危険度は、BurdorfとSorock¹¹⁾と同値である。Barondes¹⁴⁾はレビューの結果に基づき、全身振動がLBPに関連していることは明白であるが、大部分の研究が全身振動の曝露量について2分法を採用しているため量反応関係についての根拠は乏しく、例えばBoshuizenら²⁰⁾、BovenziとZadini²¹⁾の研究をまとめて量反応関係を見ようとしても、分割の仕方が異なり困難なので、今後の研究に期待したいと述べている。

Löttersら¹⁵⁾は、BurdorfとSorock¹¹⁾、Barondes¹⁴⁾、Hoogendoorn⁴⁸⁾による広範なレビューがあることを前提にして、文献選択条件として、(i) 非特異的LBPの発症を1年以下の期間における有病率あるいは発症率により記述している文献であり、かつ、(ii) 非特異的LBPと作業に関連する物理的(重量物取り扱い、躯幹の前屈・捻転の反復、全身振動)あるいは心理社会的リスク要因(仕事上の不満、単調作業)への曝露との関連を示している疫学文献とし、2000年1月から2002年9月までのMEDLINEおよびEMBASEのデータベースを用いて、low-back pain AND risk factors AND (lifting OR posture OR vibration OR workload OR job satisfaction OR monotonous work)を抽出条件として検索した。さらに、国際的に認められているガイドライン⁴⁷⁻⁵⁰⁾に従って決めた分割点(全身振動の場合0.5 m/s² during a workday)を下まわるレベルでリスク要因に曝露されている研究を除外した結果、40文献を抽出している。その中でリスク要因として全身振動を含む文献数は13^{18, 20-23, 25-28, 44, 45, 51, 52)}であった。ORあるいは相対危険度の推定結果によれば、Boshuizenら¹⁸⁾の調整済みORを除いて13研究ともORは1以上($p < 0.05$)であったとしている。さらに、Löttersら¹⁵⁾は抽出した文献について、調整の有無別にpooled analysisを行っている。そのうちの全身振動要因については、非調整のoverall pooled risk estimateは調整済みのpooled risk estimateとは大差がなく、ORはおよそ1.39 ($p < 0.05$, 95% CI: 1.24-1.55)であるという結果を示している。

BurdorfとHulshof¹⁶⁾も上述のレビュー¹¹⁻¹³⁾に基づき、全身振動がLBP発症のリスクファクターであるこ

とは文献的に明らかであると述べている。また、優勢軸の8時間等価周波数補正加速度実効値が0.5 m/s²を超える全身振動が背腰部障害に有意に寄与することが示唆されるとも述べている。

全身振動と背腰部症状の関連に着目したレビュー文献¹¹⁻¹⁶⁾によりレビューされたMEDLINE掲載の英文文献の中で、有意な関連が認められたのは、重複を除くと、Table 1に示すように28文献^{17-28, 30-37, 40-47)}30研究である。これらの文献を用いて行われているメタ解析研究^{15, 16)}では0.5 m/s²が全身振動の曝露の有無の分割点とされ、解析の結果0.5 m/s²以上の全身振動曝露ではLBPのリスクが認められるとしている。

しかし、引用文献を個別に検討するとTable 1に示すようにWBVの尺度あるいは分割点の数値は様々であり、全身振動の測定値が示されておらず質問紙調査における曝露の有無の回答のみに基づいているものが9文献^{23, 25, 26, 28, 30, 40, 42, 44, 46)}、質問紙調査における曝露時間の回答で分割しているものが3文献4研究^{27, 41, 51)}ある。また、全身振動の大きさを数値で示している研究では、z軸のみのものが5文献^{21, 24, 35, 43, 46)}、ベクトル和で評価しているものが10文献^{17-20, 22, 32-34, 36, 37)}11研究である。このうち8時間等価周波数補正加速度実効値を指標として明示しているのは1文献⁴³⁾のみであり、その算術平均値は0.55 m/s²、範囲は0.13-1.90 m/s²であったもののz軸が優勢軸であったかどうかは述べられていない。ベクトル和で評価している研究では、分割点を0.3 m/s²としているものが1文献¹⁸⁾、0.5 m/s²としているものが3文献^{19, 20, 22)}にすぎず、8時間等価値と述べられている研究はない。Löttersら¹⁵⁾は、国際的に認められているガイドライン⁴⁹⁻⁵²⁾に従って全身振動曝露の分割点をlow exposureについては0.5 m/s² during a workday、high exposureについては1 m/s² or an equivalent vibration doseとしている。しかし、ガイドライン⁴⁹⁻⁵²⁾にはそのような数値やその決定方法は示されていない。Table 1に示すように、Löttersら¹⁵⁾が引用している原著論文の分割点にはWBV (yes/no)の文献^{21, 23, 25, 26, 28, 40, 47)}がある。このような分割点からどのように分割点として0.5 m/s² during a workdayを導いたかについて、Löttersら¹⁵⁾は具体的に示していない。Burdorfら¹⁶⁾も具体的に示していない。したがって、検索された文献から優勢軸の8時間等価周波数補正加速度実効値0.5 m/s²を分割点として、この数値を超える全身振動曝露の背腰部障害への有意な寄与が示されていると解釈することは困難である。

4. 全身振動の曝露量と背腰部症状の量反応関係

レビュー文献¹¹⁻¹⁶⁾で量反応関係を認めたとしているのはLöttersら¹⁵⁾である。すなわち、Löttersら¹⁵⁾は、

Table 1. 全身振動, その他の作業関連リスクファクターの曝露の有無と背部症状の有無との関連が認められた原著論文の総括 (Barondes¹⁴⁾に習い作成)

筆頭著者	出版 年	文献 番号	曝露群あるいは対象	対照群	症状と有病率(%)		要因	対照	作業関連リスクファクター	OR	曝露の 95% (1.90%) 寄与危 険度*	
					症状と有病率(%)	対照						
特定の職業集団の横断研究で得られたオッズ比 (OR)												
Brendstrup	1987	30	169 fork-lift drivers	399 working men	Work absence because of low-back trouble in past 12 mo	17**	7	WBV (yes/no)	-	-	-	
Bongers	1988	37	743 crane operators	662 maintenance workers	Incidence of disability pensioning for intervertebral disc disorders (10 yr cohort)	61	21	WBV ($a_{vs} 0.25-0.67 \text{ m/s}^2$ at least 6 h exposure a day)	2.0	1.07-3.74†		
Bongers	1990	17	133 helicopter pilots	228 non-flying officers	Regularly experienced LBP	55	11	WBV ($a_{vs} > 0.5 \text{ m/s}^2$)	9.0	4.9-16.4†	80%	
Bongers	1990	32	341 crane operators	3,130 metal workers/bench fitters	All back disorders			$a_{vs} 0.3-0.5 \text{ m/s}^2$ (estimated)	1.0	0.67-1.7†		
Bongers	1990	34	47 wheel loaders	52 not exposed or little exposed workers	Regular LBP	47	39	$a_{vs} 0.95 \text{ m/s}^2$ 10 yr	1.3	0.6-2.7†		
Boshuizen	1990	18	450 tractor drivers	110 agriculture workers	Regularly experienced LBP	31	19	WBV ($a_{vs} > 0.3 \text{ m/s}^2$)	1.9	1.1-3.4†	39%	
Burdorf	1991	23	114 concrete workers	52 maintenance workers	LBP in past 12 mo	59	31	WBV (yes/no) Bends and twists	3.1 2.8	1.3-7.5 1.3-6.0	30%	
Johanning	1991	24	492 subway train operators	92 control tower operators	Sciatica in past 12 mo	22	8	WBV ($a_z > 0.4 \text{ m/s}^2$)	3.9	1.7-8.6	65%	
Pietri	1992	27	1,709 commercial travelers (含む女性)	LBP in past 12 mo	LBP in past 12 mo			WBV (20-24 h vs. < 10 h)	2.0	1.3-3.1	39%	
Boshuizen	1992	20	242 fork-lift and freight-container tractor drivers	210 operators	LBP in past 12 mo	51	42	WBV ($a_{vs} > 0.5 \text{ m/s}^2$)	1.7	1.1-2.8	18%	
Bovenzi	1992	21	234 bus drivers	125 maintenance workers	Low back symptoms in previous 12 mo	83	66	WBV ($a_z > 0.6 \text{ m/s}^2$) Awkward posture (frequent)	3.6 2.3	1.6-8.2 1.2-4.3	NA	
Burdorf	1993	36	94 crane operators 95 straddle carrier drivers	86 office workers		40 31	20 20	$a_{vs} 0.31 \text{ m/s}^2$ 8.1 yr 0.40 m/s^2 7.6 yr	3.3 2.5	1.5-7.1 1.2-5.4		
Bovenzi	1994	22	1,155 tractor drivers	220 office workers	LBP in past 12 mo	67	35	WBV ($a_{vs} > 0.5 \text{ m/s}^2$) Awkward posture (hard)	2.4 2.2	1.5-3.8 1.3-3.8	NA	
Sandover	1994	35	100 tractor drivers	31 poultry workers	1 yr LBP	46	16	$a_z: 0.35-1.45 \text{ m/s}^2$ 16 yr				
Magnusson	1996	26	228 drivers	137 sedentary workers	LBP in past 12 mo	58	42	WBV (yes/no) Lifting (frequent vs. none) Lifting > 10 kg (frequent vs. none)	1.8 1.6 1.9	1.2-2.8 1.0-2.4 1.2-2.8	27%	
Burton	1996	41	2,600 policeman		Succumbed to low back trouble during the 10-year period	4.3	6.3	WBV ($\geq 2 \text{ h vs. } < 2 \text{ h a day}$) without 8.5 kg body armor WBV ($\geq 2 \text{ h vs. } < 2 \text{ h a day}$) with 8.5 kg body armor	logistic解析なし			
Kumar	1999	46	50 tractor driving farmers	50 non tractor driving farmers		8.2	7.8	WBV ($a_z > 0.5 \text{ m/s}^2$)	2.6	1.1-6.2		
Alcouffe	1999	45	7,010 workers (含む女性)		LBP in past 12 mo (56%)			Lifting (every day > 10 kg) Whole-body vibration (> 4 h/day vs. never) Awkward postures (yes/no)	1.4 1.3 2.0	1.2-1.6 1.0-1.6 1.7-2.2	NA	

労働人口・住民全体を対象にした横断研究で得られたオッズ比 (OR)	
Saraste	1987 28 2,872 Swedish (含む女性) LBP (36%) Bends & twists (always/no) Daily heavy lifting (yes/no) WBV (yes/no) Repetitive work (always/no) Lifting heavy loads (yes/no) Awkward postures (yes/no) Vibration (yes/no) 2.6 2.1-3.3 56% 1.9 1.6-2.3 40% 2.1 1.3-3.5 52% 2.0 1.6-2.4 41% 1.8 1.5-2.1 NA 2.2 1.8-2.6 1.8 1.5-2.2
Linton	1990 47 22,180 Swedish workers (含む女性) LBP in past 12 mo with medical consultation (16%) 1.7 1.3-2.2 39% 1.5 1.1-1.9 32% 1.8 1.3-2.7 46% 2.3 1.7-3.2 57%
Liira	1996 25 8,020 Canadian blue-collar workers (含む女性) Long-term back problems (8.4%) 2.0 1.7-2.4 32% 2.5 1.6-3.9 35% 1.8 1.2-2.7 23% 1.6 1.3-1.8 22%
Xu	1997 44 5,940 workers (含む女性) LBP in past 12 mo (43%) 2.0 1.7-2.4 32% 2.5 1.6-3.9 35% 1.8 1.2-2.7 23% 1.6 1.3-1.8 22%
コホート研究で得られたincidenceのオッズ比 (OR)	
Bongers	1988 31 743 crane operators 662 floor workers Intervertebral disc disorders WBV(測定軸記載無) 0.2-1.0 m/s ² 2.0 (p<0.05) NA
Boshuizen	1990 19 689 tractor drivers Sickness absence > 28 days due to back disorders WBV (a _{vs} > 0.4 m/s ² vs. ≤ 0.4 m/s ²) 1.5 1.0-2.1 32% Sickness absence > 28 days due to intervertebral disc WBV (a _{vs} > 0.4 m/s ² vs. ≤ 0.4 m/s ²) 3.1 1.2-8.3 68%
Boshuizen	1990 33 347 drivers of the transportation industry 105 all other occupations in transportation industry Incidence of all selected back disorders 3.03 / 1.94 / WBV (a _{vs} 0.4-1.0 m/s ² , BovenziとHulshof ¹²⁾ による 100 yr. 100 yr. 1.5 1.02-2.10 [†]
Pietri	1992 27 601 commercial travelers (含む女性) LBP WBV (> 20 h vs. < 10 h) 3.3 1.0-10.5 70%
Jensen	1995 42 71,145 professional drivers from 11 branches First time hospitalization for the diagnosis "lumbar disc prolapse" WBV (yes/no, according to occupational group) NA
Bergkvist	1998 40 157 men (18-year follow-up) Low back problems WBV (yes/no) 5.1 1.4-18.8 NA
Schwarze	1998 43 388 different drivers from different driving jobs Lumber syndrome WBV (a _z (8) ≥ 0.6 m/s ² vs. < 0.6 m/s ²) 1.5 1.3-2.0 NA

LBP = low-back pain, WBV = whole-body vibration, NA = not available, a_{vs} = 3 軸合成周波数補正加速度実効値, a_z = z 軸周波数補正加速度実効値, * = (RR-1)/RR, RR は relative risk あるいは prevalence rate ratio (Burdorf ら¹¹⁾, Barondes¹⁴⁾による), ** = p < 0.001 (曝露群と対照群についての multiplicative statistical model¹⁰⁾).

特に調整の有無の区別をせずに、全身振動曝露群について低度曝露群 (0.5 m/s^2 – 1.0 m/s^2) と高度曝露群 (1.0 m/s^2 以上) の全身振動への5年曝露あるいはそれと等価な全身振動曝露量として抽出することのできた文献^{18, 21, 22)}について pooled analysis を行い、わずかながら量反応関係を認めたとしている。しかし、前述したように、分割点を 0.5 m/s^2 , 1.0 m/s^2 とする根拠は薄弱であり、メタ解析で量反応関係が認められているとは言い難い。

そこで、レビュー文献^{11–16)}により抽出された28文献および著者が2011年12月に、MEDLINEを用いて抽出した2002年以降の全身振動と背腰部症状に関する疫学調査文献(英文および邦文)12文献^{53–64)}(前掲の28文献との重複分は除外)において、全身振動の曝露量を対照群も含めて3分割以上行い、ロジスティック解析で得られている種々の背腰部症状に関するORの点推定値と全身振動の種々の曝露指標との間に、単調増加関係あるいは傾向性検定で有意性が認められた研究を量反応関係が比較的明らかなものとして、横断研究4件についてはTable 2に、コホート研究4件についてはTable 3にまとめて示した。同表の症状の指標の欄には当該研究で調査されたすべての背腰部症状をあげた。WBVの指標の欄では、何らかの量反応関係が認められた指標のみを引用した。ORの点推定値、信頼区間の欄ではWBVの指標欄と有意な量反応関係が認められた背腰部症状のみを引用した。なお、low back symptoms (LBS), LBPのORについては点推定値と全身振動の曝露量との間の単調増加関係の有無にかかわらずTable 2, 3に引用した。以下では量反応関係が認められた研究を個別に検討する。

(1) 横断研究 (Table 2)

Bongersら¹⁷⁾の横断研究はヘリコプター4機の全身振動をISO 2631-1: 1985¹⁰⁾により測定・評価し周波数補正等価振動値(ベクトル和)の平均値が 0.38 – 60 m/s^2 であったことを示し、振動測定値が得られなかった機体については全て 0.5 m/s^2 と定め、ロジスティック解析(全身振動についての指標はvibration dose in m^2/s^4 , 1日当たりの曝露時間および総飛行時間)を行っている。1日当たりの飛行時間について2時間未満, 2–4時間, 4時間以上で区分した場合, LBPの有症率のORが $5.6^{##}$, $10.3^{##}$, $14.4^{##}$ ($##: p < 0.01$, 片側検定)であることなどから, transient (several hours) back painが1日当たりの曝露時間の長さとの間で最も強い関連があるとBongersら¹⁷⁾は示唆している。

Boshuizenら¹⁸⁾の横断研究では、耕作・道路・堤防・運河・建築現場などでトラクター・収穫機などの運転に従事する者450人について、全身振動をISO 2631-1: 1985⁵³⁾により測定・評価し、ロジスティック解析(年齢、曝露年数、身長、喫煙、姿勢、重量物負荷、精神的負

荷などについて調整、対照は全身振動曝露のない農民)を行っている。全身振動の指標にはvibration dose in $\text{year m}^2/\text{s}^4$, equivalent vibration magnitude (a_{eq} in m/s^2 , ベクトル和, 全曝露年数に関する周波数補正等価振動値)が用いられている。Equivalent vibration magnitudeの大きさを 0.3 – 0.55 m/s^2 ($n = 66$), 0.55 – 0.7 m/s^2 ($n = 121$), 0.7 – 0.9 m/s^2 ($n = 117$), $> 0.9 \text{ m/s}^2$ ($n = 22$)に区分した場合、頻発あるいは持続するback painの有症率の相対危険度については、 $3.9^{\#}$, $5.2^{###}$, $6.1^{#####}$, $5.3^{\#}$, 頻発あるいは持続するLBPの有症率の相対危険度については、 5.8 , 6.3 , $8.4^{###}$, $7.4^{\#}$ ($\#: p < 0.05$, $###: p < 0.005$, $#####: p < 0.0005$, 片側検定)であるが、量反応関係が示唆されると記されている。量反応関係が明瞭でない理由として、①用いられた振動の大きさが必ずしも代表値といえないこと、②振動の大きさの推定が1985年に使用されていたごくわずかの場面での測定値に基づいていること、③振動の大きさは車両の保守状態、土壌や路面の状態、運転スタイルや速度、タイヤのタイプ、運転席のタイプなどに依存することなどがあるとし、vibration dose in $\text{year m}^2/\text{s}^4$ の方が良好な量反応関係を示すように思われると述べている。

BovenziとZadini²¹⁾はバス運転手の種々の腰部症状について検討するために、全身振動をISO 2631-1: 1985⁶⁵⁾により測定・評価しz軸方向の振動測定値を用いて、車両の保守点検作業で全身振動に曝露されない者を対照とし、年齢、不良姿勢、BMI、精神的負荷、教育、喫煙、運動、LBP発症前の職歴を共変数として腰部症状と全身振動の関連のロジスティック解析とともに、傾向性検定を行っている。全身振動の指標にはvibration dose in $\text{year m}^2/\text{s}^4$, equivalent vibration magnitude (a_{eq} in m/s^2 , ベクトル和, 全曝露年数に関する周波数補正等価振動値), 曝露年数が用いられている。Equivalent vibration magnitudeについては $< 0.50 \text{ m/s}^2$, 0.50 – 0.60 m/s^2 , $> 0.60 \text{ m/s}^2$ に区分した場合、 $< 0.50 \text{ m/s}^2$ においてprevious 12 months low back symptomsの経験率については有意性を認めなかったものの、傾向性検定では有意な関係($p < 0.0001$)を認めると共に、lifetimeにおけるlow back symptomsとLBP, within previous 12 monthsにおけるleg painとlong lasting LBP ($> 30 \text{ d}$)の経験率については $< 0.50 \text{ m/s}^2$ においても有意性($p < 0.005$ – 0.05)を認めている。また、傾向性検定で有意な影響傾向($p < 0.0001$ – 0.03)を認めた症状として、lifetimeについては、LBPの他にlow back symptoms, leg pain, acute LBP, within previous 12 monthsについては、low back symptoms, leg pain, acute LBP, LBP, long lasting LBP ($> 30 \text{ d}$), treated LBP, previous 7 daysについてはlow back symptomsがあげられている。Vibration doseについて 1.0 – $2.5 \text{ yr m}^2/\text{s}^4$ 未満, 2.5 – 4.5

yr m²/s⁴, > 4.5 yr m²/s⁴, 曝露年数について5-10年, 10-15年, > 15年に区分して同様の解析を行った場合も類似の影響傾向を認めている。

Bovenzi と Betta²²⁾ は事務作業者を対照としてトラクター運転手 (トラクター運転手としての雇用期間が5年以下の者あるいは散発的な運転経験の者を除外) について, 全身振動を ISO 2631-1: 1985¹⁰⁾ により測定・評価し, 前述と同じ全身振動の曝露指標を用いて, 年齢, BMI, 教育, 運動, 乗用車運転, 婚姻, 精神的ストレス, 気候, 脊部外傷, 姿勢負荷で調整した腰部症状と全身振動の関連のロジスティック解析を, 場合によっては傾向性検定も行っている。Equivalent vibration magnitude について 0.5-1.00 m/s², 1.00-1.25 m/s², > 1.25 m/s² に区分した場合に, 0.5-1.00 m/s² において LBP within 12 months, LBP during lifetime の prevalence について有意性 ($p < 0.05$, OR が 1 以上) を認めた他, transient LBP, sciatic pain, acute LBP, sick Leave due to LBP でも有意性を認めているが, 単調増加関係は認められず, 傾向性検定も行われていない。Vibration dose について < 15 yr m²/s⁴, 15-30 yr m²/s⁴, > 30 yr m²/s⁴ に区分した場合の傾向性検定 (全身振動曝露の無い者を対照群としている) の結果では, back pain, LBP during lifetime, LBP within 12 months, transient LBP, sciatic pain, acute LBP の有症率について傾向に有意性 ($p < 0.0001-0.02$) を認めている。曝露年数について < 5年, 5-15年, 16-25年, > 25年に区分した場合の結果では back pain, lifetime LBP prevalence, 12-months LBP prevalence, transient LBP, sciatic pain, acute LBP の有症率について5-15年における有意性 ($p < 0.05$, OR が 1 以上) を認めている。単調増加関係は LBP within 1 month, chronic LBP, sciatic pain, acute LBP, disc protrusion について認めているが, 傾向性検定は行われていない。また, vibration dose と姿勢負荷 (順序尺度) の複合影響についてのロジスティック解析結果においても両要因とも単調増加関係が認められており, 量反応関係が示唆される。

(2) コホート研究 (Table 3)

Schwarze ら⁴³⁾ は種々の運転手の全身振動曝露を z 軸の 8 時間等価周波数補正加速度実効値 $A_z(8)$ で評価し, 腰部症状については lumbar X-ray を含む医学的検査により 4 年間の追跡をしている。 $A_z(8)$ が 0.6 m/s² を超えることを経験したことがない者を低曝露群 (対照群), $A_z(8)$ が 0.6 m/s² を超えることを経験した群については, 振動曝露量 1,414 m²/s⁴ × 日 ($A_z(8) = 0.6$ m/s² を 17.8 年間あるいは $A_z(8) = 0.8$ m/s² を 10 年間に相当) を分割点にして, 「中度」と「高度」の群に, さらに振動曝露量 2,828 m²/s⁴ × 日を超える群を「非常に高度」の群に区分している。横断研究によれば, 腰部の病的症状

の PVR_{MH} (prevalence ratio adjusted for age by Mantel-Haenzel estimate) の相対危険度は高度群 (非常に高度を含む) で, 1.55* (*: $p < 0.05$), 寄与危険度 35%, 中度群でも 1.49* であり, LBP の生涯経験率の PVR_{MH} の相対危険度は 1.50*, 1.35*, LBP の治療経験では 1.54*, 1.43*, LBP による一時的労働不能では 1.45*, 1.44* であった。追跡中に $A(8) = 0.6$ m/s² を超える曝露を受けていた群の高度群と中度群をそうでない群に比べると local lumbar syndrome の PVR_{MH} の相対危険度は 2.38*, 2.00* で, lumbar radicular syndrome の場合は 1.52*, 1.53* であった。しかし, 4 年間の追跡研究における発症では lumbar radicular syndrome の場合, 高度群の中度群に対する相対危険度は 2.27* で, local lumbar syndrome と比べて強い関連が明白であったことから, 横断研究では lumbar radicular syndrome の相対危険度の増加を見落とす危険があるとしている。

舟越⁵⁵⁾ はタクシー運転手の腰痛の実態と腰痛に関わる労働要因を明らかにするために, 福岡市内某タクシー事業所の男性運転手を対象に 1999 年 (n = 280, 以下第 1 回調査) と 2001 年 (n = 284, 以下第 2 回調査) に腰痛と労働実態に関する質問紙調査を実施している。調査は, 1) 第 2 回調査時における腰痛の有訴率と腰痛に関わる労働要因についての断面研究と, 2) 第 1 回調査で腰痛の既往がなく, かつ, 腰痛の訴えがなかった運転手で, 第 2 回調査時に「最近 1 年間の腰痛あり」と新規に回答した者を腰痛の罹患例とし, 腰痛の罹患率と腰痛罹患にかかわる第 1 回調査時点の労働要因についての縦断研究行っている。この結果, タクシー運転手の腰痛の有訴率は 45.8% で, 腰痛多発が報告されている他の職業運転手と同様に高率であり, タクシー運転手にとって腰痛が重要な問題であると述べている。また, 2 年間の腰痛の罹患率を 25.9% と推定し, 断面研究と縦断研究の結果, 腰痛と有意な関連を認めた労働要因として「運転席座面 (以下, 座面) の適合性」, 「車両の延べ走行距離」, 「全身振動」, 「職務ストレス」および「タクシー運転手としての乗務経験年数」をあげている。有意な関連を認めた労働要因などを投入したロジスティック解析の結果, 腰痛罹患と「車両の延べ走行距離」の間には有意な量反応関係の傾向を認めている。なおその後, Funakoshi ら⁶⁶⁾ は同事業所の 12 人のタクシー運転手について ISO2631-1: 1997³⁾ に基づき全身振動を測定・評価し, a_{vs} (3 方向の合成周波数補正加速度実効値) が 0.44 m/s², 平均乗務時間が 11 時間 53 分 (範囲: 6 時間 45 分 - 16 時間 31 分) であったと述べている。

Bovenzi⁶⁰⁾ は, 12-month LBP, high pain intensity, LBP disability の発症を背腰部症状の指標とし, x, y, z 軸の合成振動値の 8 時間等価周波数補正加速度実効値

Table 2. 横断研究で調査された背腰部症状および全身振動との間に量反応関係が認められた全身振動の曝露指標と症状、オッズ比 (OR) の点推定値, 信頼区間に関する総括

筆頭著者	出版年	文献番号	曝露群	症状の指標	対照群	WBVの指標	指標の区分	LBPあるいはLBSに関するOR
Bongers	1990	17	133 helicopter pilots, regularly LBP	Complaints by questionnaire: 1 Symptoms: Back pain, Low back pain, Low back pain > 2 wk, lumbago, sciatica, prolapsed disc 2 Treatment duration: Hours, Days, > wk 3 Pattern: Alternating, periodical, mild, long or frequent	228 non-flying officers	総飛行時間 (h)	< 1,000	13.8 ^{##}
							1,000–2,000	7.5 ^{##}
							2,000–4,000	6.0 ^{##}
						振動量 (m ² h/s ⁴)	≥ 4,000	13.4 ^{##}
							< 400	12.0 ^{##}
							400–800	5.6 ^{##}
						1日当たり飛行時間 (h/d)	800–1,200	6.6 ^{##}
							≥ 1,200	39.5 ^{##}
							< 2	5.6 ^{##}
						2–4	10.3 ^{##}	
≥ 4	14.4 ^{##}							
Boshuizen	1990	18	450 tractor drivers, regularly LBP	Complaints by questionnaire: 1 Back pain 2 Back pain, lasting several days or longer 3 Back pain, treated 4 Back pain, radiating to a leg 5 Frequent or long lasting back pain 6 Low-back pain 7 Frequent or long lasting low-back pain 8 Has had a prolapsed disc	110 agriculture workers	a _{sum} , m/s ²	0.3–0.55	1.98
							0.55–0.7	1.66
							0.7–0.9	2.10 [#]
							> 0.9	1.38
						yr m ² /s ⁴	0–2.5	1.80 [#]
							2.5–5	1.78 [#]
							> 5	2.8 ^{###}
							<i>p</i> value (one-sided) of trend test (logistic modeling)	
						Years of full time exposure	0–5	2.44
							5–10	2.5
> 10	3.6 [#]							
Bovenzi	1992	21	234 bus drivers, symptoms in previous 12 mo	Complaints by questionnaire: 1 Lifetime: Low back symptoms, leg pain, acute low back pain, LBP 2 Previous 12 mo: Low back symptoms, leg pain, acute low back pain 3 LBP: Long lasting LBP (> 30 d), treated LBP 4 Previous 7 days: Low back symptoms	125 maintenance workers	Equivalent vibration magnitude, a _z , m/s ²	< 0.50	2.3
							0.50–0.60	3.77 ^{***}
							> 0.60	1.76
						<i>p</i> value (two-sided) of trend test		0.002
						Total vibration dose (yr m ² /s ⁴)	1.0–2.5	1.67
							2.5–4.5	3.46 ^{***}
							> 4.5	2.63 ^{**}
						<i>p</i> value (two-sided) of trend test		0.0003
						Total time exposure (yr)	5–10	1.73
							10–15	3.08 ^{***}
> 15	2.90 ^{***}							
<i>p</i> value (two-sided) of trend test		0.0001						
Bovenzi	1994	22	1,155 tractor drivers, symptoms in previous 12 mo	Complaints by questionnaire: 1 Back pain 2 Low-back pain (LBP): Lifetime prevalence, 1-month prevalence, 12-month prevalence 3 Transient LBP 4 Chronic LBP 5 Sciatic pain 6 Acute LBP 7 Treated LBP 8 Sick-leave 9 Disc protrusion	220 office workers	Equivalent vibration magnitude, a _{vs} , 0.5 m/s ²	0.5–1.0	2.39
							1.0–1.25	2.87
							> 1.25	2.29
						Total vibration dose (yr m ² /s ⁴)	< 15	2.33 [*]
							15–30	3.04 [*]
							> 30	2.36 [*]
						<i>p</i> value (two-sided) of trend test		0.0002
						Tractor driving years	5–15	2.65 [*]
							16–25	2.31 [*]
							> 25	2.74 [*]

LBP = low-back pain. Bongers¹⁷⁾ について: mild = back pain lasting several hours for less than 50 times a year or back pain lasting several days for less than ten times a year, long or frequent pattern = back pain for more than 50 times a year or back pain lasting several days for more than ten times a year or back pain lasting several weeks or longer. 両側検定については *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.005$, 片側検定については #: $p < 0.05$, ##: $p < 0.01$, ###: $p < 0.005$, ####: $p < 0.001$, #####: $p < 0.0005$.

95% (†: 90%) 信頼区間	症状	OR	95% (†: 90%) 信頼区間	症状	OR	95% (†: 90%) 信頼区間	症状	OR	95% (†: 90%) 信頼区間	症状	OR	95% (†: 90%) 信頼区間
5.1-37.4†												
3.0-18.7†												
2.9-14.6†												
5.7-32.0†												
4.8-29.8†	Sciatica	1.4	0.2-10.0†									
2.5-12.5†		1.5	0.3-7.1†									
2.9-15.1†		3.3#	1.1-10.0†									
10.8-15.6†		5.6	1.5-21.2†									
2.7-11.6†	Back pain	5.6###	2.7-11.6†	Lumbago	1.7	0.6-5.3†	Mild pattern	4.1###	2.0-8.5†			
4.6-23.1†		10.3###	4.6-23.1†		3	0.9-10.1†		7.7###	3.5-17.1†			
5.4-38.4		14.4###	5.4-38.4†		4.2#	1.4-12.9†		7.8###	3.2-19.3†			
0.97-4.0†	Frequent or	3.9#	1.19-13†	Frequent or	5.8	1.48-23†						
0.82-3.4†	long lasting	5.2###	1.64-16†	long lasting	6.3	1.63-24†						
1.07-4.1	back pain	6.1#####	1.97-19†	LBP	8.4#####	2.24-32†						
0.52-3.7†		5.3#	1.8-20†		7.4*	1.58-34†						
1.11-2.9†	Frequent or	4.3###	1.84-10†	Back pain	1.37	0.88-2.1†	Back pain,	1.76#	1.08-2.9†	Frequent or	4.3###	2.0-9†
1.04-3.1†	long lasting	4.7###	2.0-12†		1.57	0.97-2.5†	lasting	2.0#	1.17-3.4†	long lasting	4.5###	2.0-10†
1.64-5.0†	long-back	6.0###	2.4-15†		2.3###	1.38-3.8†	several days	2.8###	1.58-4.9†	back pain	5.5#####	2.4-12†
	pain						or longer					
		0.02			0.009			0.006				
1.02-29†	Has had a	4.0	0.63-25†									
0.85-7.6†	prolapsed	5.3	0.81-34†									
1.21-11†	disc	6.8#	1.05-44†									
0.99-5.28	Low back	2.39	0.99-5.75	Acute low	0.98	0.42-2.31	Treated	1.13	0.53-2.41			
2.01-7.09	symptoms	2.97**	1.52-5.80	back pain	2.07*	1.11-3.85	LBP	1.6	0.91-2.82			
0.86-3.58		3.62***	1.60-8.22		2.39**	1.21-4.71		2.27**	1.19-4.31			
		0.0001			0.001			0.015				
0.78-3.56	Acute low	1.41	0.63-3.03	Treated	1.13	0.57-2.24						
1.80-6.62	back pain	2.03*	1.07-3.86	LBP	1.71	0.95-3.09						
1.35-5.12		2.08*	1.10-3.34		2.29**	1.24-4.25						
		0.009			0.004							
0.82-3.64												
1.55-6.13												
1.54-5.46												
1.52-3.76												
1.83-4.49												
1.43-3.68												
1.48-3.67	Chronic	1.48	0.87-2.50	Sick leave	1.61	0.78-3.30						
1.92-4.82	LBP	1.90*	1.13-3.20		2.08	1.04-4.16						
1.48-3.74		2.00*	1.17-3.40		2.14	1.08-4.24						
		0.012			0.02							
1.65-4.18	Chronic	1.56	0.92-2.63	Acute LBP	2.84*	1.62-4.96						
1.46-3.64	LBP	1.87*	1.10-3.17		3.06*	1.75-5.33						
1.69-4.45		2.13*	1.21-3.75		3.08*	1.71-5.57						

Table 3. コホート研究で調査された背腰部症状および全身振動との間に量反応関係が認められた全身振動の曝露指標と症状、オッズ比 (OR) の点推定値, 信頼区間に関する総括

筆頭著者	出版年	文献番号	曝露群あるいは対象	症状の指標	対照群	WBVの指標	指標の区分	LBPあるいは腰痛に関するOR	95%信頼区間	症状	OR	95%信頼区間	
Schwarze	1998	43	388 different drivers from different driving jobs	1 Prevalence: Lifetime prevalence of LBP, with medical treatment, with temporary disability to work, low back pain today	$A_x(8) \leq 0.6 \text{ m/s}^2$	$\text{m}^2/\text{s}^4 \times \text{days}$	< 1,414	-		Lumber syndrome	1.49*	1.31-1.96	
				2 Incidence: Local lumber syndrome, lumbar radicular syndrome			> 1,414	-		1.55*	1.24-1.95		
舟越	2003	55	タクシー運転手	腰痛の新規罹患者：調査開始時点で腰痛の既往がなく、かつ、腰痛の訴えがなかった運転手で、2年後に「最近1年間の腰痛あり」と新規に回答した者	$\leq 50,000$	総走行距離 km	50,001-100,000	1.15	0.48-2.73				
							100,001-150,000	1.00	0.40-2.48				
							150,001-200,000	2.48	0.92-6.84				
							200,000 <	2.54*	1.00-6.61				
Bovenzi	2009	60	628 professional drivers	Interview, Incidence: 1 12-month LBP 2 high pain intensity in the previous 12 mo 3 LBP disability in the previous 12 mo	$A_{sum}(8) < 0.30 \text{ m/s}^2$	$A_{sum}(8), \text{ m/s}^2$	Model		Transition				
							0.30-0.34	0.79	0.48-1.29				
							0.35-0.45	1.61*	1.05-2.47				
							> 0.45	1.46	0.94-2.26				
							Likelihood ratio test for trend		0.027				
							Daily exposure duration < 5 h	Model		Transition		Standard	
								< 5.0	1.18	0.75-1.86	High pain intensity	1.29	0.72-2.31
								5.0-6.0	1.21	0.65-2.28		1.37	0.67-2.81
								> 7.0	1.59*	1.01-2.50		2.11*	1.15-3.88
							Likelihood ratio test for trend		0.044		0.016		
							VDVsum < 6.0 $\text{m/s}^{1.75}$	Model		Transition			
								6.0-7.5	0.74	0.47-1.18			
7.6-11.5	1.92*	1.20-3.05											
>11.5	1.42	0.89-2.26											
Likelihood ratio test for trend		0.026											
VDVmax < 5.5 $\text{m/s}^{1.75}$	Model		Transition										
	5.5-6.5	1.23	0.76-1.99										
	6.5-10.5	1.52	0.96-2.38										
	> 10.5	1.45	0.93-2.27										
Likelihood ratio test for trend		0.07											
Bovenzi	2010	64	202 professional drivers not affected with LBP in the previous 12 mo	同上	$A_{sum}(8) < 0.30 \text{ m/s}^2$	$A_{sum}(8), \text{ m/s}^2$	0.3-0.4	-	Duration of LBP	2.32*	1.22-4.44		
							> 0.4	-		1.64	0.82-3.29		
							Likelihood ratio test for trend		0.086				
							Daily exposure duration < 5 h	5-6	-	Duration of LBP	1.28	0.62-2.61	
								> 6	-		2.18*	1.07-4.21	
							Likelihood ratio test for trend		0.049				
							VDVsum < 6.5 $\text{m/s}^{1.75}$	6.5-10.5	-	Duration of LBP	2.84*	1.42-5.68	
								> 10.5	-		2.70*	1.27-5.71	
Likelihood ratio test for trend		0.028											
VDVmax < 6.0 $\text{m/s}^{1.75}$	6.0-9.1	-											
	> 9.1	-											
Likelihood ratio test for trend													

LBP = low-back pain; $A_z(8)$ = 8時間等価周波数z軸補正加速度実効値; $A_{sum}(8)$ = 8時間等価周波数補正3軸合成加速度実効値; VDV_{sum} = Vibration dose value (summation over axes); VDV_{max} = vibration dose value (highest axis); *: $p < 0.05$, 両側検定.

症状	OR	95% 信頼区間	症状	OR	95% 信頼区間	症状	OR	95% 信頼区間	症状	OR	95% 信頼区間	症状	OR	95% 信頼区間
Lifetime prevalence of LBP	1.35*	1.04-1.76	Medical treatment for LBP	1.43*	1.031.98	Temporary disability to work	1.44*	1.02-2.04	Incidence of radicular syndrome	1.53*	1.04-2.24			
	1.50*	1.19-1.88		1.54*	1.15-2.06		1.45*	1.06-2.00		1.52*	1.07-2.15			

	Standard		Time-lag		Transition			
LBP disability	1.8	0.89-3.64	LBP disability	1.87*	1.00-2.82	LBP disability	1.32	0.72-2.41
	3.50*	1.72-7.13		5.97*	1.31-3.23		2.66*	1.60-4.41
	3.05*	1.3-6.66		2.5	0.57-1.54		1.4	0.82-2.40
	0.0008			0.006			0.043	

	Time-lag		Transition		Standard		Time-lag		Transition		
High pain intensity	1.65	0.71-3.87	High pain intensity	1.26	0.76-2.07	LBP disability	1.55	0.79-3.06	LBP disability	1.51	0.62-3.68
	2.96	0.95-9.27		1.78	0.91-3.51		1.43	0.62-3.31		2.17	0.65-7.19
	3.90*	1.64-9.31		1.88*	1.15-3.06		3.48*	1.72-7.03		6.16*	2.47-15.4
	0.0006			0.005			0.0009			0.0001	

	Standard		Time-lag		Transition			
LBP disability	2.09*	1.03-4.25	LBP disability	1.87	0.72-4.84	LBP disability	1.15	0.64-2.06
	4.29*	1.92-9.57		7.00*	2.52-19.5		2.57*	1.47-4.47
	3.73*	1.57-8.85		3.62*	1.30-10.1		1.81*	1.02-3.21
	0.001			0.0028			0.012	

	Time-lag		Transition		Standard		Time-lag		Transition		
High pain intensity	2.99*	1.16-7.70	High pain intensity	1.52	0.97-2.70	LBP disability	1.41	0.68-2.93	LBP disability	1.75	0.64-4.70
	3.20*	1.21-8.46		1.63	0.99-2.66		2.99*	1.35-6.60		7.45*	2.59-21.5
	2.86*	1.07-7.65		1.65*	1.02-2.69		4.74*	2.03-11.0		4.30*	1.54-12.0
	0.018			0.038			0.0002			0.0008	

LBP pain intensity	2.38*	1.24-4.55		LBP disability
	1.79	0.89-3.60		4.08*
	0.048			1.31-12.7
				2.58
				0.94-7.05
				0.02

LBP pain intensity	1.46	0.55-3.88		LBP disability
	2.75	0.85-8.95		2.12
	0.032			0.65-6.94
				6.23*
				1.50-25.0
				0.0006

LBP pain intensity	3.22*	1.61-6.44		LBP disability
	3.05*	1.43-6.50		6.45*
	0.012			1.53-27.1
				5.74*
				127-25.9
				0.006

				LBP disability
				4.94*
				1.39-17.5
				4.14*
				1.12-15.3
				0.041

$A_{sum}(8)$ を含む全身振動の曝露量に関する11種類の評価指標を用い、ホイールローダー、掘削機、岩盤破碎機、連結式ダンプカー、オフロード車、クレーン車、フォークリフト、ブルドーザー、コンテナ・トラクター、ゴミ収集車、バスなどの運転に従事する者で2年間追跡できた317人をそれぞれの指標について四分位分割し、最上位4分位群を対照群として、どの評価指標がより単調な量反応関係を示すかを、ロジスティック解析(年齢、姿勢、重量物負荷、精神的負荷などについて調整、対照は $< 0.30 \text{ m/s}^2$)、time-lag model ロジスティック解析(前述変数の他に、前年の指標症状の有無を追加、対照は $< 0.30 \text{ m/s}^2$)自己回帰ロジスティック解析(transient model, 前述変数の他に前々年の指標症状の有無を追加、対照は $< 0.30 \text{ m/s}^2$)、全身振動曝露量を連続変数として投入したlikelihood ratio chi-square test for trend [χ^2 , 1 df] (true null hypothesisは「傾向が認められないあるいは減少傾向がある」。以下、LR検定)を行った。その結果に基づき、Bovenzi⁶⁰⁾はVDVおよび $\sum [a_{wqi}^m \cdot t_i]$ (a_{wqi} = x, y, z軸の3方向の合成振動値の周波数補正加速度の4乗積分値の4乗根値, t_i = lifetime exposure duration for vehicle i , $m = 0, 1, 2$ or 4) がよい指標であると結論しているが、 $A_{sum}(8)$ についても量反応関係が認められる。すなわち、 $A_{sum}(8)$ については $< 0.30, 0.30\text{--}0.34, 0.35\text{--}0.45, > 0.45 \text{ m/s}^2$ で4群に分割し、自己回帰ロジスティック解析を行った結果では、直近12ヶ月以内におけるLBPの経験についてのOR (*: $p < 0.005$, 以下同じ)は0.79, 1.61*, 1.46, LR検定で $p = 0.027$, 直近12ヶ月以内におけるLBPによるdisability episodeの経験についてのORは、1.32, 2.66*, 1.40である。ORの点推定値は $0.35\text{--}0.45 \text{ m/s}^2$ で最高値を示しているものの、4群のLR検定が $p = 0.043$ であることから正の量反応関係の傾向が示されているといえる。Time-lag model ロジスティック解析でも同様の正の量反応関係の傾向が示されているといえる。開始時点の横断研究⁶⁷⁾では対照群として非曝露群についても調査がなされていることが示されているにもかかわらず、非曝露群を対照とした研究結果は示されていない。なお、Bovenzi⁶⁰⁾は最大の加速度実効値を示す方向の8時間等価周波数補正加速度実効値 $A_{max}(8)$ についても指標にして検討しているが、量反応関係が認められていないので、その結果をTable 3には示していない。

Bovenzi⁶⁴⁾は、上記と同様の検討を行うために、上記研究と同一の対象集団から直近12ヶ月以内においてLBPの経験を有しない者202名のみを抽出して1年間追跡し、5種類の評価指標について上記と同様の分析を試みている。 $A_{sum}(8)$ については $< 0.30, 0.30\text{--}0.4, > 0.4 \text{ m/s}^2$ の3群に分割し、ロジスティック解析(年齢、姿勢、重量物負荷、精神的負荷、1年前の過去12ヶ月

以内におけるLBPの経験などについて調整、対照は $< 0.30 \text{ m/s}^2$)および3群のLR検定を行った結果では、直近12ヶ月以内における強いLBPの経験についてのORは、2.38*, 1.79, LR検定で $p = 0.048$, 直近12ヶ月以内におけるLBPによるdisability episodeの経験についてのORは、4.08*, 2.58, LR傾向性検定で $p = 0.020$ という有意な正の量反応関係が示されている。なお、Bovenzi⁶⁰⁾と同様に最大の加速度実効値を示す軸の8時間等価周波数補正加速度実効値 $A_{max}(8)$ についてはすべて量反応関係が認められていないのでTableには示していない。

5. 全身振動曝露の累積的影響

Boshuizenら²⁰⁾は20年間にわたる全身振動曝露の累積的影響について検討し、 $6 \text{ yr m}^2/\text{s}^4$ per yearの大きさの場合、ハザード比が曝露5年目にピークに達した後、漸減する傾向がみられるが、これは健康労働者影響があるとすれば説明できると示唆している。

BurdorfとHulshof⁶⁾は、一般人口ではLBPの有症率が高く、LBPがしばしば再発し、症状の起伏も大きいことが知られているにもかかわらず、全身振動の寄与度は未解明であるとして、全身振動曝露の累積的影響を検討するために、マルコフモデルの適用を試みている。すなわち、前掲の文献^{12, 15, 27, 37, 43)}およびBovenziら⁶⁸⁾を総括して、男性について、全身振動の8時間等価周波数補正加速度実効値の大きさ別(0.5 m/s^2 未満: 無/低度曝露, 0.5–1.0 m/s^2 : 中度曝露, 1.0 m/s^2 以上: 高度曝露)に曝露期間1年の中でのLBPの発症および有症の推定率を算出している(Table 4はその転載である)。この総括によれば、annual incidence LBP, annual incidence sick leave LBP, annual incidence disability pension (> 52 wk sick leave), LBP disability (原職復帰不可LBP, 52週を超える病休LBPを経験し翌年に原職復帰することが不可と判定されたLBP), 1-year prevalence LBPのいずれにおいても有意な($p < 0.05$)全身振動の影響が認められ、1-year prevalence LBPについては単調増加の関係が認められる。

BurdorfとHulshof⁶⁾は、さらにマルコフ連鎖解析のために、同算出結果を用いて「No LBP (年間LBP経験無し)」「LBP (年間に病休を伴わないLBPの経験有り)」「LBP with sick leave (病休LBP, 年間に病休を伴うLBPの経験有り)」「LBP disability」別に、No LBP, LBP, LBP with sick leave, LBP disabilityを経験する者の割合(経験者率)の遷移確率を算出している(Table 4)。なお、状態遷移確率の算出に当たっては、「LBP中に病休LBPの占める割合を無/低度曝露では28%, 中度以上曝露では48%とする」、「文献報告がない場合、高度曝露のリスクは中度曝露に比べて1.2倍とする」、「原職

Table 4. Burdorfら¹⁶⁾の“Table 2 overview of estimated incidence and prevalence of low-back pain (LBP) and associated sick leave in occupational populations with exposure to whole-body vibration (WBV), based on a pooled analysis of selected studies in table 1”を転載(文献番号整合済み)

Measure	Exposure level ^a	Weighted level (%)	(95%, CI)	Included studies
Information from selected studies				
Annual incidence LBP	No/low WBV exposure	6.7	(6.4–6.9)	27, 43
	Moderate WBV exposure	13.0	(13.4–14.5)	27, 43
Annual incidence sick leave LBP	No/low WBV exposure	14.8	(13.0–16.6)	68
	Moderate WBV exposure	36.4	(30.3–42.4)	68
Annual incidence disability pension (> 52 wk sick leave)	No/low WBV exposure	0.47	(0.45–0.49)	37
	Moderate WBV exposure	0.85	(0.81–0.89)	37
1-year prevalence LBP	No/low WBV exposure	30.4	(30.1–30.6)	12, 15
	Moderate WBV exposure	45.6	(45.3–45.9)	12, 15
	High WBV exposure	61.0	(60.6–61.4)	12

^a: No/low WBV exposure < 0.5 m/s², moderate WBV exposure 0.5–1.0 m/s², high WBV exposure > 1.0 m/s².

復帰不可 LBP は病休 LBP の経験を経てのみ発症する」と仮定している。算出した遷移確率を用いて、過去1年間 LBP 経験のない群について、全身振動の大きさ別にマルコフ連鎖解析を行い、40年間の曝露による病欠を伴わない LBP、病欠を伴う LBP および原職復帰不可 LBP の有症率についての年次推移を図示し、全身振動の曝露開始後 8–12 年の間に LBP の有症率が 26–50% の頂点に達することを示し、パラメータを変更した場合の年次推移への影響を検討している。それらの結果に基づき再発しやすい LBP に対する全身振動の長期にわたる曝露の潜在的影響をマルコフモデルは説明できる方法であると結論している。

考 察

1975 年の基準¹⁾について明らかになった問題点は、その解決のために、日本産業衛生学会が 1975 年の基準¹⁾を可及的速やかに改訂することの必要性を示しているといえる。

全身振動の健康影響については様々な研究がなされてきたが、背腰部症状との関連性を焦点にした研究が圧倒的に多数を占め、全身振動の曝露の有無と背腰部症状の有無が関連していることが示されたが、全身振動曝露の有無の分割点(優勢軸あるいはベクトル和)を 0.5 m/s² とすべき根拠は薄弱といえる。

全身振動の曝露量と背腰部症状の量反応関係については、全身振動曝露量と背腰部症状について様々な指標を用いて研究がなされており、Hulshof と van Zanten⁹⁾によるレビュー以前に比べると、全身振動が背腰部症状を惹起することや全身振動と LBP の量反応関係を示す文献は格段に多い。

Table 2, 3 によれば、背腰部症状についても自覚症

状と他覚症状・所見に大別されるが、他覚症状・所見に関するものは少なく、いずれが有効な指標であると判断できるほどの根拠を見出しがたい。自覚症状については様々な症状の有無、症状の重症度、症状のある期間、症状の反復などについての組み合わせで多様な検討がなされてきたことがうかがわれる。それらの概念は、英語を母国語としない国々の調査であることを考慮すればさらに多様であろう。いずれにしても、最近の研究では、直近 12 ヶ月間および以前における LBP の経験の有無は共通して確認されようとしていることが Table 2–4 からうかがわれる。

Bovenzi^{60, 64)} は、同一のコホートについて全身振動曝露量の様々な指標との関連性を研究し、VDV および $\sum [a_{wq}^m \cdot t_i]$ が良い指標であると結論しているが、決定的な指標とまでは言い難い。実効値より VDV をベースにした値の方がよいという結果は、 $A_{sum}(8)$ が同じ大きさでも、より衝撃性のある振動あるいは短時間の大きい振動の曝露の方が背腰部症状により大きな影響を与えることを示していると考えられる。この点については、1 日当たりの曝露時間をパラメータとした実効値と $A_{sum}(8)$ 、VDV の関連性に関する研究などが必要であろう。

実効値をベースにした量反応関係の研究はかなり以前から行われてきたにもかかわらず、 $A_{sum}(8)$ を用いた量反応関係の研究は最近 Bovenzi ら^{60, 64, 67)}により報告されるようになったばかりといえる。実効値を用いて量反応関係を研究した Boshuizen ら¹⁸⁾が、3 方向の合成振動値の周波数補正加速度実効値が 0.3–0.55 m/s² の区間では、多くの腰部症状における有意性と LBP も含む多くの症状に関する傾向性検定で正の関連を認めていることから、0.3–0.55 m/s² は背腰部症状のリスクを増大させると推察できる。しかし、曝露時間情報が

記載されていないので8時間換算値を計算ができないなどの問題がある。すなわちBoshuizenら¹⁸⁾の結果を $A_{sum}(8)$ で表わすことはできず、Boshuizenら¹⁸⁾に基づき $A_{sum}(8)$ が 0.3 m/s^2 以上で背腰部症状のリスクが増大するとは言い難い。 $A_{sum}(8)$ については、Bovenzi⁶⁰⁾によれば、 0.30 m/s^2 未満を対照群とした場合、直近12ヶ月以内におけるLBPの経験および直近12ヶ月以内におけるLBPによるdisability episodeの経験は 0.35 m/s^2 を超えると、また直近12ヶ月以内における強いLBPの経験は 0.30 m/s^2 を超えるとリスクが増大するといえる。さらに、Bovenzi⁶⁰⁾によれば、 0.30 m/s^2 未満を対照群とした場合、直近12ヶ月以内における強いLBPの経験および直近12ヶ月以内におけるLBPによるdisability episodeの経験については 0.30 m/s^2 を超えるとリスクが増大するといえる。しかし、Bovenzi⁶⁰⁾は非曝露群を対照とした結果を示していない。Bovenzi⁶⁰⁾のコホートの追跡開始時点の横断研究⁶⁷⁾では非曝露群を対照とした調査結果が示されており、座位作業者を対照群とした場合の運転手の直近12ヶ月以内におけるLBPのORは4.49 (95% CI: 1.05–19.2)であり、附図は $A_{sum}(8)$ の最下位4分位に入る群(中央値 0.27 m/s^2)でも約59%と対照群の36.7%に比べてLBPの有症率がかなり高いことを示している。このことから $A_{sum}(8)$ については 0.5 m/s^2 ではなくて 0.30 m/s^2 前後に着目し、非曝露群を対照としたさらなる疫学研究が待たれるといえる。

衝撃性のある振動あるいは短時間の大きい振動の曝露の方が背腰部症状により大きな影響を与えるとの考えが議論されてきたことから、全身振動の曝露指標をequivalent vibration magnitudeや $A_{sum}(8)$ とする場合、衝撃性のある振動や大きい振動の曝露の有無(たとえば同類の車種別)に関するパラメータを導入し、量反応関係を研究することも必要であろう。

全身振動曝露の累積的影響については、ハザード比が曝露5年目にピークに達した後に漸減することを示したBoshuizenら²⁰⁾等の研究結果を説明するために、マルコフ連鎖モデルの適用が試みられているが、その際、状態遷移確率の根拠とされた文献は、直近1年間のLBPの年間経験率についてはBovenziとHulshof¹²⁾、Löttersら¹⁵⁾、直近1年間のLBP年間発症率についてはPietriら²⁷⁾、Schwarzeら⁴³⁾、直近1年間の病休LBPの年間発症率についてはBovenziら⁶⁸⁾、次に原職復帰不可(年金受給)のLBPに罹患する率についてはBongersら³⁷⁾と種々の研究からの抽出であるという点で一貫性に問題があらう。振動が測定されていない文献^{23, 25, 26, 28, 30, 40, 42, 44, 47)}に依拠しているにもかかわらず、 0.5 m/s^2 以上の曝露があるものとみなしている点で、すでに述べたメタ解析^{15, 16)}と同様の問題がある。さらに、これらの 0.5 m/s^2 以上の曝露群には 1.0 m/s^2 を超え

る高度曝露を受けていた者も含まれていると考えられ、中度・高度の分割にも曖昧性がある。高度曝露群のリスクについてはpooled analysisの対象とされた文献^{18, 21, 22)}にはベクトル和でないものや1日の曝露時間による調整がなされていないものがある。LBPの年間発症率についてはPietriら²⁷⁾およびSchwarzeら⁴³⁾の両結果を用いて算出しているが、Schwarzeら⁴³⁾の曝露指標はz軸の $A_z(8)$ として、種々の運転手の中で 0.6 m/s^2 を超えることを経験したことがない者を対照群としている。またPietriら²⁷⁾の曝露指標は振動が測定されていないにもかかわらず、 0.5 m/s^2 を分割点として統合している問題があり、前述の年間経験率に関する対照群と同類とは言い難い。さらに、52週の病休を要するLBPを経験した者は翌年にdisabilityとして扱われているが、原職からの離職となるかどうかということは各国の社会的要因に左右されるもので普遍性があるとはいえないであろう。以上の問題点があるにしても、8–12年間にLBPの有症率が26–50%の頂点に達する分析結果などはマルコフモデルの適用可能性を示しているの、状態遷移確率を得ることのできるような疫学研究が今後必要といえよう。

レビューにより得られた結果に基づき全身振動に関する主な基準について最後に触れたい。ACGIHのTLVs and BEIsの現行基準⁶⁸⁾は、1分から8時間までについては、1975年の基準¹⁾とほぼ同じであるが、ISO 2631-1:1985¹⁰⁾に準じた周波数補正加速度実効値と3方向の合成振動値による能率・疲労減退時間を許容値としているので、前述した1975年の基準¹⁾の問題点で指摘したことと同じ問題がある。

ISO 2631-1:1997³⁾(対応規格JIS B 7760-1:2004⁶⁾)は、全身振動による人体影響について、長期間で高強度の全身振動の影響についての関連文献によるとlumbar spineおよびconnected nervous system of the segments affectedへの健康上の危険が増大するとし、警告域下限の優勢軸の8時間周波数補正加速度実効値 $A(8)$ 値として 0.47 m/s^2 を示している。さらに、備考では2つ以上の軸の援動が類似している場合、このベクトル和を健康上の危険の推定に使用する場合があると記している。しかし、引用されている文献の中には、 $A(8)$ を指標にした文献はなく、周波数補正加速度実効値を指標としている引用文献でも1日の曝露時間を明記しているのは1文献(平均曝露時間のみ)²¹⁾しかなく、引用されているBoshuizenら¹⁸⁾、その他の文献が警告域の決定にどのよう適用されたかは記されていないので明らかでない。

EU加盟国に全身振動規制の法制化を促した欧州指令⁶⁹⁾は、当初の案³⁸⁾以来長きにわたる検討の末、lower-back morbidityおよびtrauma of the spineのリス

ク軽減という観点から、優勢軸の全身振動の8時間等価振動加速度実効値 0.5 m/s^2 を action value として、同 1.15 m/s^2 を limit value として定めたが、その妥当性を示す文献、その他の学術的根拠を記してはいない。欧州指令⁶⁹⁾については欧州の加盟各国で法制化が図られ、施行されつつあるので、その効果はいずれ疫学的にも明らかにされ、前述で提起した問題も解明されるかもしれない。

結 論

全身振動に職業的に曝露される場合の健康影響についての疫学研究は非曝露の場合に比べて、背腰部症状のリスクを増大させることを明らかにしており、背腰部症状のリスクを指標にして1975年の基準¹⁾の改訂を検討できる状況にあるといえる。全身振動と背腰部症状の関連については $A_{sum}(8)$ (x, y, z 軸の合成振動値の8時間等価周波数補正加速度実効値) および LBP を指標として全身振動の許容値を勘案できる知見はわずかであるが認められる。

文 献

- 1) 日本産業衛生学会. 全身振動の許容基準. 許容濃度等の勧告 1975.
- 2) 日本産業衛生学会許容濃度等委員会. 全身振動の許容濃度等についての提案. 1974年6月26日. 産業医学 1974; 16: 235-9.
- 3) International Organization for Standardization. Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part 1: General requirements, 1997; ISO 2631-1.
- 4) 西山勝夫. 全身振動の生体影響研究の進歩と許容基準改訂の課題. 労働科学 2005; 81: 72-84.
- 5) International Organization for Standardization. Human response to vibration—Measuring instrumentation, 2003; ISO 8041.
- 6) 日本工業規格. JIS B 7760-1. 全身振動—第1部: 測定装置 2004.
- 7) 日本工業規格. JIS B 7760-2. 全身振動—第2部: 測定方法及び評価に関する基本的要求 2004.
- 8) Griffin MJ. Handbook of human vibration. London, San Diego: Academic Press, 1990.
- 9) Hulshof C, van Zanten BV. Whole-body vibration and low-back pain. Int Arch Occup Environ Health 1987; 59: 205-20. [Medline] [CrossRef]
- 10) International Organization for Standardization. Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part 1: General requirements 1985; ISO 2631-1.
- 11) Burdorf A, Sorock G. Positive and negative evidence for risk factors of work-related back disorders. Scand J Work Environ Health 1997; 23: 243-56. [CrossRef]
- 12) Bovenzi M, Hulshof CTJ. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). Int Arch Occup Environ Health 1999; 72: 351-65. [Medline] [CrossRef]
- 13) Lings S, Leboeuf-Yde C. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. Int Arch Occup Environ Health 2000; 73: 290-7. [Medline] [CrossRef]
- 14) Baronides JA. (Chair National Research Council). Musculoskeletal disorders and the workplace: low back and upper extremities. Panel on Musculoskeletal Disorders and the Workplace, Commission on Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council and Institute of Medicine. Washington (DC): National Academy Press, 2001.
- 15) Lötters F, Burdorf A, Kuiper J, Miedema H. Model for the work-relatedness of low-back pain. Scand J Work Environ Health 2003; 29: 431-40. [Medline] [CrossRef]
- 16) Burdorf A, Hulshof CTJ. Modelling the effects of exposure to whole-body vibration on low-back pain and its long-term consequences for sickness absence and associated work disability. J Sound Vib 2006; 298: 480-91. [CrossRef]
- 17) Bongers PM, Hulshof CTJ, Dijkstra L, Boshuizen HC, Groenhouout HJM, Valken E. Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots. Ergonomics 1990; 33: 1007-26. [Medline] [CrossRef]
- 18) Boshuizen HC, Bonges PM, Hulshof TJ. Self-reported back pain in tractor drivers exposed to whole body vibration. Int Arch Occup Environ Health 1990; 62: 109-15. [Medline] [CrossRef]
- 19) Boshuizen HC, Hulshof CT, Bongers PM. Long-term sick leave and disability pensioning due to back disorders of tractor drivers exposed to whole-body vibration. Int Arch Occup Environ Health 1990; 62: 117-22. [Medline] [CrossRef]
- 20) Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CTJ. Self-reported back-pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. Spine 1992; 17: 59-65. [Medline] [CrossRef]
- 21) Bovenzi M, Zadini A. Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole body vibration. Spine 1992; 17: 1048-59. [Medline] [CrossRef]
- 22) Bovenzi M, Betta A. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. Appl Ergon 1994; 25: 231-41. [Medline] [CrossRef]
- 23) Burdorf A, Govaert G, Elders L. Postural load and back pain of workers in the manufacturing of prefabricated concrete elements. Ergonomics 1991; 34: 909-18. [Medline] [CrossRef]
- 24) Johanning E. Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. Scand J Work Environ Health 1991; 17: 414-9. [Medline] [CrossRef]
- 25) Liira JP, Shannon HS, Chambers LW, Haines TA. Long-term back problems and physical work exposures in the 1990 Ontario Health Survey. Am J Public Health 1996; 86: 382-7. [Medline] [CrossRef]
- 26) Magnusson ML, Pope MH, Wilder DG, Areskoug B. Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders? Spine 1996; 21: 710-7. [Medline] [CrossRef]
- 27) Pietri F, Lecerc A, Boitel L, Chastang JF, Mocrete JF, Blondet M.

- Low-back pain in commercial travellers. *Scand J Work Environ Health* 1992; 18: 52–8. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 28) Saraste H, Hultman G. Life conditions of persons with and without low-back pain. *Scand J Rehabil Med* 1987; 19: 109–13. [[Medline](#)]
- 29) Riihimäki H, Viikari-Juntura E, Moneta G, Kuha J, Videman T, Tola S. Incidence of sciatic pain among men in machine operating, dynamic physical work, and sedentary work. *Spine* 1994; 19: 138–42. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 30) Brendstrup T, Biering-Sorensen F. Effect of fork-lift truck driving on low-back trouble. *Scand J Work Environ Health* 1987; 13: 445–52. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 31) Bongers PM, Boshuizen HC, Hulshof CTJ, Koemeester AC. Long-term sickness absence due to back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 1988; 61: 59–64. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 32) Bongers PM, Boshuizen H, Hulshof CTJ. Disability due to back disorders in crane operators in a metal construction company, short communication. *Academische Proefschrift. Universiteit van Amsterdam*, 1990: 145–52.
- 33) Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CT. An explorative case-referent study disability due to back disorders in relation to driving. *Academische Proefschrift. Universiteit van Amsterdam*, 1990: 95–105.
- 34) Bongers PM, Boshuizen H, Hulshof CTJ. Self-reported back pain in drivers of wheel-loaders. *Academische Proefschrift. Universiteit van Amsterdam*, 1990: 205–20.
- 35) Sandover J, Gardner L, Stroud P, Robertson N. Some epidemiological issues regarding vibration and tractor driving. *Proceedings of United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration. Alverstoke, Gasport: Institute of Naval Medicine*, 1994: 1–21.
- 36) Burdorf A. Naaktgeboren, de Groot HCWM. Occupational risk factors for low back pain among sedentary workers. *J Occup Med* 1993; 35: 1213–20. [[Medline](#)]
- 37) Bongers PM, Boshuizen HC, Hulshof CTJ, Koemeester AC. Back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 1988; 60: 129–37. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 38) Council for the European Union Directive. *Official Journal of the European Communities, Brussels 94/C 230/03, No C 230/3-29. Amended proposal for a Council Directive on the minimum health and safety requirement regarding the exposure of workers to the risks arising from—Individual Directive in relation to Article 16 of the Directive 89/391/EEC* 1994.
- 39) Kjellberg A, Wikström BO, Landström U. Injuries and other adverse effects of occupational exposure to whole-body vibration. A review for criteria documentation. *Arbetsmiljöinstitutet: Arbete Hälsa*, 41. 1994.
- 40) Barnekow-Bergkvist M, Hedberg GE, Janlert U, Jansson E. Determinants of self-reported neck-shoulder and low back symptoms in a general population. *Spine* 1998; 23: 235–43. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 41) Burton AK, Tillotson KM, Symonds TL, Burke C, Mathewson T. Occupational risk factors for the first onset and subsequent course of low back trouble. A study of serving police officers. *Spine* 1996; 21: 2612–20. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 42) Jensen MV, Tuechsen F. Occupation and lumbar disc prolapse. *Ugeskr Laeger* 1995; 157: 1519–23. [[Medline](#)]
- 43) Schwarze S, Notbohm G, Dupuis H, Hartung E. Dose-response relationships between whole-body vibration and lumbar disk disease—A field study on 388 drivers of different vehicles. *J Sound Vib* 1998; 215: 613–28. [[CrossRef](#)]
- 44) Xu Y, Bach E, Orhede E. Work environment and low back pain: the influence of occupational activities. *Occup Environ Med* 1997; 54: 741–5. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 45) Alcouffe J, Manillier P, Brehier M, Fabin C, Faupin F. Analysis by sex of low back pain among workers from small companies in the Paris area: severity and occupational consequences. *Occup Environ Med* 1999; 56: 696–701. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 46) Kumar A, Varghese M, Mohan D, Mahajan P, Gulati P, Kale S. Effect of whole-body vibration on the low back: a study of tractor-driving farmers in north India. *Spine* 1999; 24: 2506–15. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 47) Linton SJ. Risk factors for neck and back pain in a working population in Sweden. *Work Stress* 1990; 4: 41–9. [[CrossRef](#)]
- 48) Hoogendoorn WE, van Poppel MNM, Bongers PM, Koes BW, Bouter LM. Physical load during work and leisure time as risk factors for back pain [review]. *Scand J Work Environ Health* 1999; 25: 387–403. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 49) Washington State Department of Labor and Industries. *Ergonomics. Olympia (WA): Washington State Department of Labor and Industries*, 1994.
- 50) Carter JT, Birrell LN (editors). *Occupational health guidelines for the management of low back pain at work—principal recommendations*. London: Faculty of Occupational Medicine, 2000.
- 51) Waddell G, Burton AK. *Occupational health guidelines for the management of low back pain at work—evidence review*. London: Faculty of Occupational Medicine, 2000.
- 52) Fallentin N, Viikari-Juntura E, Wærsted M, Kilbom Å. Evaluation of physical workload standards and guidelines from a Nordic perspective. *Scand J Work Environ Health* 2001; 27 (Suppl 2): 1–52. [[Medline](#)]
- 53) Battié MC, Videman T, Gibbons LE, et al. Occupational driving and lumbar disc degeneration: a case-control study. *Lancet* 2002; 360: 1369–74. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 54) Issever H, Aksoy C, Sabuncu H, Karan A. Vibration and its effects on the body. *Med Princ Pract* 2003; 12: 34–8. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 55) 舟越光彦, 田村昭彦, 埜田和史, 辻村裕次, 西山勝夫. タクシー運転手の腰痛に関連する要因の研究. *産衛誌* 2003; 46: 235–47.
- 56) Chen JC, Chang WR, Chang W, Christiani D. Occupational factors associated with low back pain in urban taxi drivers. *Occup Med (Lond)* 2005; 55: 535–40. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 57) Lis AM, Black KM, Korn H, Nordin M. Association between sitting and occupational LBP. *Eur Spine J* 2007; 16: 283–98. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 58) Tiemessen IJ, Hulshof CT. Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern. *Occup*

- Environ Med 2008; 65: 667–75. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 59) Palmer KT, Harris CE, Griffin MJ, et al. Case-control study of low-back pain referred for magnetic resonance imaging, with special focus on whole-body vibration. *Scand J Work Environ Health* 2008; 34: 364–73. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 60) Bovenzi M. Metrics of whole-body vibration and exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study. *Int Arch Occup Environ Health* 2009; 82: 893–917. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 61) Miranda H, Viikari-Juntura E, Punnett L, Riihimäki H. Occupational loading, health behavior and sleep disturbance as predictors of low-back pain. *Scand J Work Environ Health* 2008; 34: 411–9. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 62) Rozali A, Rampal KG, Shamsul Bahri MT, et al. Low back pain and association with whole body vibration among military armoured vehicle drivers in Malaysia. *Med J Malaysia* 2009; 64: 197–204. [[Medline](#)]
- 63) Milosavljevic S, Bergman F, Rehn B, Carman AB. All-terrain vehicle use in agriculture: exposure to whole body vibration and mechanical shock. *Appl Ergon* 2010; 41: 530–5. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 64) Bovenzi M. A longitudinal study of low back pain and daily vibration exposure in professional drivers. *Ind Health* 2010; 48: 584–95. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 65) International Organization for Standardization Guide for the evaluation of human exposure to whole body vibration, ISO 2631/E, Geneva, 1985.
- 66) Funakoshi M, Taoda K, Tsujimura H, Nishiyama K. Measurement of whole-body vibration in taxi drivers. *J Occup Health* 2004; 46: 119–24. [[Medline](#)]
- 67) Bovenzi M, Rui F, Negroa C, et al. An epidemiological study of low back pain in professional drivers. *J Sound Vib* 2006; 298: 514–39. [[CrossRef](#)]
- 68) American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs based on the documentation of the threshold limit values for chemical and physical agents and biological exposure indices 2009.
- 69) European Parliament and the Council of the European Union. Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) (sixteenth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC)—Joint Statement by the European Parliament and the Council, *Office Journal L177*, 06/07/2002; 13–20.

Relatedness of Occupational Exposure to Whole-body Vibration and Health, Principally Back Symptoms

Katsuo NISHIYAMA¹, Noriaki HARADA², Hiroji TSUJIMURA¹, Tatsuya ISHITAKE³, Hisataka SAKAKIBARA⁴ and Yasunao MATSUMOTO⁵

¹ Division of Occupational and Environmental Health, Department of Social Medicine, Shiga University of Medical Science, Seta Tsukinowa-cho, Otsu, Shiga 520-2192, Japan

² Department of Hygiene, Yamaguchi University School of Medicine, Japan

³ Department of Environmental Medicine, Kurume University School of Medicine, Japan

⁴ Department of Health Sciences, Nagoya University School of Medicine, Japan

⁵ Department of Civil and Environmental Engineering, Saitama University, Japan

Objectives: Discussion is continuing about whether or not to update the Occupational Exposure Limit for Whole Body Vibration exposure (OELWBV) which was established in 1975 as a part of the Recommendation of Occupational Exposure Limits (OEL), issued by the Japan Society for Occupational Health. The objectives of this study were to clarify the necessity of the update and the adverse health effects of whole-body vibration by reviewing the literature and to help to compile a for detailed revisions. **Subjects and Methods:** Mainly referring to our preceding review, the current OELWBV exposure was examined. The relatedness of adverse health effects, principally back symptoms and occupational exposure to whole-body vibration (WBV) was examined by reviewing review papers, the original English papers referred to in those papers, and original English and Japanese references from 2002 to 2010 retrieved through a MEDLINE search. **Results:** The results show the necessity of updating the present OELWBV as soon as possible. The overwhelming majority of the literature consists of epidemiological studies showing the relatedness of WBV to back symptoms. Thirty epidemiological studies out of 28 literatures clearly show the presence of a relation-

ship between WBV and back symptoms. Various indices of exposure to WBV and back symptoms show the dose response relationships. Among these, a few studies used $A_{sum}(8)$ (equivalent 8-hour r.m.s. acceleration value for the combined frequency-weighted vibration of three diagonal, that is x, y and z, axes) as the exposure index. All of these studies reported some dose-response relationship between WBV exposure and back symptoms. **Discussion:** Despite the clear presence or absence of a relationship between WBV and back symptoms, 0.5 m/s^2 seems to be the unconfirmed threshold of risk. Focusing on data of $A_{sum}(8)$, we suggest that the risk increases over the magnitude of 0.30 m/s^2 . To clarify this, further epidemiological studies and others should focus on $A_{sum}(8)$ around 0.30 m/s^2 . **Conclusions:** The present OEL of WBV should be examined from the viewpoint of the risks of back symptoms referring to the epidemiological studies that show the larger risks of back symptoms in comparison with unexposed referent workers. We conclude that when updating the present OELWBV, $A_{sum}(8)$ should be taken into account for back symptoms, referring to the findings of epidemiological studies. (*San Ei Shi* 2012; 54: 121–140)