

全身振動の許容基準

1 常習的な曝露に対する全身振動の許容基準を、
2 腰痛予防の立場から次のように定める。

1. 許容基準

3 8 時間等価周波数補正加速度実効値 $A(8)$
4 0.5 m/s^2 を許容値とする。この基準未満であれば、
5 1 日 8 時間、週 40 時間の全身振動への曝露が常習
6 的に 1 年間続いた場合に、 $0.5 \sim 1.0 \text{ m/s}^2$ の全身振
7 動に曝露される場合に比べて、腰痛未経験者が腰
8 痛を経験する相対危険度を 0.5 未満にとどめるこ
9 とが期待できる。また、同様の曝露が 3 年以降
10 40 年目まで続いた場合に、原職復帰不可腰痛
11 (52 週を超える病休を伴う腰痛) 発症の相対危険
12 度を 0.5 未満で推移させることも期待できる。

2. 適用範囲

15 通常の健康状態にある椅座位の作業者が、座席
16 面からでん部を通して人体全体に伝達する振動
17 (全身振動) に、1 日 10 分以上常習的に曝露され
18 る場合に適用し、その際、評価する周波数範囲は
19 $0.5 \sim 80 \text{ Hz}$ とする。また、乗物の衝突時に発生す
20 るような激しい単発衝撃に対しては除外する。

3. 適用方法

22 (1) この基準では、1 日の曝露時間が 10 分以上
23 の場合、表 1 に示すように、8 時間曝露を想定し
24 た等価変換値、すなわち 8 時間等価周波数補正加
25 速度実効値 $A(8)$ をもって評価するものとする。

26 (2) $A(8)$ は、振動源あるいは振動曝露条件(以下、
27 振動源) i の 3 軸の振動における周波数補正加速度
28 実効値 (a_{wxi} , a_{wyi} , a_{wzi}) 中の優勢軸の値 a_{vi} 、およ
29 び 1 日の曝露時間 T_i (hour) より、式 (a) および
30 式 (b) を用いて計算する。周波数補正において、
31 水平振動については W_d 周波数補正特性^{1,2)}を、鉛直
32 振動については W_k 周波数補正特性^{1,2)}を用いる。

$$a_{vi} = \text{Max.}(1.4 \times a_{wxi}, 1.4 \times a_{wyi}, a_{wzi}) \quad (\text{a})$$

$$A(8) = \sqrt{\left(\sum_i^n a_{vi}^2 \times T_i \right) / 8} \quad (\text{b})$$

2 軸以上で周波数補正加速度が同程度の場合は、
38 式 (c) により求めた合成振動値を a_{vi} とすること
39 を推奨する。

$$a_{vi} = (1.4^2 \times a_{wxi}^2 + 1.4^2 \times a_{wyi}^2 + a_{wzi}^2)^{1/2} \quad (\text{c})$$

なお、全身振動への曝露時間が 1 日 4 時間未満
の場合や、波高率 (crest factor) が 9 以上の繰り返
し衝撃型の全身振動への適用について、曝露を過
小評価するおそれがある³⁾とされているので、 A
(8)による判定は慎重でなければならない。

表 1. 全身振動の曝露時間別許容値

曝露時間 / 日	周波数補正 加速度実効値 (m/s^2)
24 時間	0.29
16 時間	0.35
12 時間	0.41
10 時間	0.45
8 時間	0.50
7 時間	0.53
6 時間	0.58
5 時間	0.63
4 時間	0.71
3 時間	0.82
2 時間	1.00
1 時間	1.41
50 分	1.55
40 分	1.73
30 分	2.00
20 分	2.45
10 分	3.46

4. 測定方法

(1) 測定装置は「JIS B 7760-1:2004 全身振動—
第 1 部：測定装置⁴⁾」(ISO 8041⁵⁾) を満足するも
のとする。

(2) 測定は、振動源ごとに「JIS B 7760-2:2004
全身振動—第 2 部：測定方法及び評価に関する基
本的要求²⁾」(ISO 2631-1¹⁾) の規定にそって、座
席面を通じて人体に伝達する振動が入力すると考
えられる位置を原点とした座標系にしたがって 3

59 軸について行う。
60 (3) 振動測定が代表値を得る目的の場合、振動00
61 源ごとの計測時間は、十分な精度の統計値を得る01
62 ために、また、対象振動源の振動が典型的な曝露02
63 状態である事を確かめるために、十分に長くなければ03
64 ならない。 104
65 (4) 振動源の代表値を用いて A (8)を求める場合05
66 振動源ごと 1 日の曝露時間は、当該振動源から作06
67 業者が振動に曝露されている時間の 1 日の累積値07
68 とする。 108

70 提案理由

71 全身振動の人の健康に及ぼす影響については、111
72 現許容基準⁷⁾が 1975 年に制定された後も様々な研12
73 究や規格の更新がなされてきたにもかかわらず、113
74 まだ未解明な点が多々ある。そのもとでも、許容14
75 基準の改訂が必要とされる主な理由としては、115
76 1975 年の基準における問題点の解決、および全身16
77 振動と腰痛に関してこの間になされてきた多数の17
78 調査研究の成果が、腰痛を主とする健康障害防止18
79 に反映されなければならないことがあげられる。119

80 1. 1975 年の基準⁷⁾の問題点

81 1975 年の基準⁷⁾は、日本産業衛生学会許容濃度21
82 委員会が当時の ISO/DIS 2631 を基にして制定した22
83 ものとされている。安全率をみて、痛みの閾値の23
84 ほぼ半分をとったとされている曝露限界の、更に24
85 半分をとった疲労・能率減退境界を許容値として25
86 採用し、「1 日 8 時間の作業に従事する際、」「健26
87 康な成年男子に生理機能の障害や著しい能率の低27
88 下をきたさないことが期待されるものである。」128
89 としている。当時の ISO/DIS 2631 はさらに、疲労 129
90 能率減退境界の 1/3.15 を快適減退境界としていた30
91 ISO 2631-1:1997¹⁾では、当時の ISO/DIS 2631 の31
92 ような考え方は、その後の研究結果で裏付けられ32
93 なかったとして削除されている。ISO33
94 2631-1:1997¹⁾では、当時の ISO/DIS 2631 と異なつ34
95 て、全身振動にさらされる健康な人間に対する脊35
96 柱障害などの健康上の危険に直裁に焦点が当てられ36
97 れており、測定・評価・判定の方法も大幅に変更37
98 されている。 138

わが国では ISO 2631-1:1997¹⁾ および ISO
8041:2005⁵⁾ の対応規格として JIS B 7760-1:2004²⁾
および JIS B 7760-2:2004⁴⁾が、全身振動の人体影響
に関する JIS として初めて制定されたので、全身振
動の人体影響の関する測定・評価は同 JIS (以下、
JIS)に従わなければならないとなった。しかし、JIS
に従うならば 1975 年の許容基準が規定している
全身振動の測定・評価・判定を行うことは不可能
である。

2. 全身振動と腰痛との関連性に関する研究

1975 年の基準制定後も、全身振動による障害・
影響についての研究はさまざまな領域においてな
されてきた。

Griffin³⁾により、不快、活動妨害、健康、知覚、
動揺病、身体力学について網羅的なレビューが行
なわれている。同レビューで、Healthについては、
生理学的反応、病理学的反応(動物の研究、人間の
研究)、労働衛生上の問題の特質(対照群、攪
乱要因、徴候と症状)にわたってレビューされて
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。これらの研究では、LBP
(Low Back Painの頭文字、以下、腰痛)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⁸⁾。腰痛との関連性を焦点に
した研究のレビューについては以下のものが着目
される。

Teschke⁹⁾は Medline (1966-1998)、EMBASE
(1988-1998、3500 の国際雑誌)、NIOSH TIC (1998
年まで)、Ergoweb (1920-1995 の 3288 のオンラ
イン文献カタログ)、Arblin (1980-1998) のデー
タベースの表題と要約において用語「whole body
vibration, WBV, vibration, back, spine, low back,
lumbar, disc, vertebral, intervertebral, spondylitis,
spondylolisthesis, sciatica, injury, skeletal stress,
driver, driving, forklift, coach, crane, pilot, operator,
operating, machine, vehicle, tractor, train, subway,
heavy equipment, motor vehicle, heavy equipment」を
検索した。また、Human Factors Association of

139 Canada, Ergonomics Association of the UK, Human Factors and Ergonomics, International Ergonomics Association等のwebサイトのセミナー情報・会議録や“Musculoskeletal Disorders (MSDs) and Workplace Factors. A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back”¹⁰⁾や“Back Disorders and Whole-Body Vibration in Equipment Operators and Truck Drivers Epidemiology, Pathology and Exposure Limits”および同付録の参考文献を探索している。最終的に人に関する文献 400 を抽出してレビューし、疫学的因果関係（関連の一致、関連の強さ、量反応関係、時間性、整合性）を確認し、曝露 5 年以上の場合にリスクの上昇を認めている。また、実験的研究では座位姿勢やねじり姿勢が振動伝達を増強するという示唆を得ている。BovenziとHulshof¹¹⁾は、1986-1997年における全身振動の脊柱影響に関する疫学的研究論文 83 編から 37 編を抽出し、さらに独自の判定基準を満たした 16 編についてメタ解析を行っている。過去 180 析により、Odds Ratio (OR) について、2.3 (95% CI: 1.8-2.9) という結果が得られている。また、座骨神経痛については、7 文献中 4 文献で触れられているが、統合分析により、ORについて、2.30 (95% CI: 1.3-2.9)という結果が得られている。しかし、椎間板ヘルニアについては、4 文献とも有意差が認められず、統合分析でも有意差が認められていない。これらのレビューに基づき、著者らは「全身振動が腰痛、坐骨神経痛、退行性変化、椎間板障害のリスクファクターであることを示しているが、量反応関係の疫学的証拠は不十分である」「しかしながら 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¹⁹⁾は、Kiellbergら²⁰⁾のレビューを受け継ぎ、1992-1999 のMEDLINE, OSH-ROM, TOXLINE, 私信の疫学文献をレビューし、抽出された 24 編中で、判定基準を満たしたのは 7 編のみ、さらに、量反応関係を認められたのはその内BovenziとBetta¹⁸⁾, Schwarzeら²¹⁾の 2 編のみであったと述べている。著者らはこれらを踏まえ、「明確な根拠

表2. BovenziとHulshof¹¹⁾から再掲、ただし文献番号のみ改変。

Table 3. Results on the meta-analysis or cross-sectional epidemiologic studies of low back pain (LBP) and occupations with exposure to whole-body vibration from industrial vehicles (1986-1997)

Occupational group	Reference	Prevalence exposed group (%)	Prevalence control group (%)	POR (95% CI)	Study Weight
Fork-lift truck drivers	12	65	52	1.7 (0.9-3.1)	7.3
Tractor drivers	13	31	19	2.0 (1.2-3.4)	9.2
Wheel loaders	14	47	39	1.3 (0.5-3.2)	4.0
Fork-lift truck drivers	15	57	16	7.3 (2.5-22.2)	2.9
Freight-container tractor drivers	15	41	29	1.6 (1.0-2.6)	10.6
Bus drivers	16	83	66	3.0 (1.8-5.1)	9.2
Crane operators	17	40	20	3.3 (1.5-7.1)	5.1
Straddle-carrier drivers	17	31	20	2.5 (1.6-5.4)	5.4
Tractors drivers	18	72	37	2.4 (1.6-3.7)	11.9
Summary POR (95% CI)				2.3 (1.8-2.9)	
Homogeneity χ^2				11.2	
Homogeneity degrees of freedom				8	
Homogeneity <i>p</i> value				0.19	

One-year prevalence or LBP in the exposed and control groups, point estimates of the prevalence odds ratio (POR) and 95% confidence intervals (CI), adjusted at least for age, are given for each study. Random effects of the summary POR (95% CI) and test for homogeneity between studies are reported.

159 年間における腰痛経験については、表 2 に示すように 81 には欠けるものの、全身振動曝露の低減を可能な
160 うに 9 文献中 7 文献に有意差が認められ、統合分 82 最低のレベルにすることが必要な理由は十分ある

183 こと」「従来以上の新知見を得ようとすれば、明95
 184 確な定義と細分類を伴う前向き研究が必要であ96
 185 る」と述べている。しかし、「進行中の技術的予97
 186 防の開発により、全身振動問題の大きさは既に減98
 187 少傾向にあると思われるので、この領域のその他99
 188 の研究は断念し、資源をもっと重要な問題に利用00
 189 したほうがよい」という論調も見受けられるよ01
 190 になった。202
 191 BurdorfとHulshof²²⁾は、前掲のBovenziとHulshof²⁰⁾
 192 ¹¹⁾、Lingsら¹⁹⁾とともにBurdorfとSorock²³⁾のレビ024

いる。

3. 8時間等価周波数補正加速度実効値 0.5 m/s²を許容値とする根拠について

Löttersら²⁴⁾は、文献選択基準として、(i) 非特異的腰痛の発症を1年以下の期間における有病率あるいは1年以下の発症率により記述している文献であり、かつ、(ii) 非特異的腰痛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

表3. Löttersら²⁴⁾のTable 1. Characteristics of the included studies (N=40). When odds ratios (OR), or relative risks, are presented in both boldface and italics, they have been adjusted for each other; odds ratios or relative risks presented only in italics are adjusted for one of the other risk factors, but no value for those risk factor(s) is given. When both the adjusted and unadjusted OR are given, the adjusted was used in the meta-analysis. (95% CI=95% confidence interval, NA=not applicable)より、1年以内に腰痛を経験した率と全身振動に関するメタ解析結果のみを抽出した結果、ただし文献番号のみ改変

Authors	Reference	Design	Study population	Whole-body vibration OR (95% CI)
Alcouffé et al, 1999	29	Cross-sectional	7010 workers (male & female)	1.3 (1.7–2.2)
Boshuizen et al, 1990	13	Cross-sectional	450 tractor drivers & 110 agriculture workers (male)	1.5 (1.0–2.1)
Boshuizen et al, 1992	15	Cross-sectional	242 drivers (male) 210 operators (male)	1.3 (0.6–2.6) 1.7 (1.1–2.8)
Bovenzi & Zadini, 1992	16	Cross-sectional	234 bus drivers & 125 maintenance workers (male)	3.6 (1.6–8.2)
Bovenzi & Betta, 1994	18	Cross-sectional	1155 tractor drivers & 220 office workers (male)	1.6 (1.0–2.4)
Burdorf et al, 1991	30	Cross-sectional	114 concrete workers & 52 maintenance workers (male)	3.1 (1.3–7.5)
Kumar et al, 1999	31	Cross-sectional	50 tractor driving farmers & 50 non tractor driving farmers	2.6 (1.1–6.2)
Liira et al, 1996	32	Cross-sectional —population	8020 Canadian blue-collar workers (male & female)	1.8 (1.4–2.7)
Linton, 1990	33	Cross-sectional	22180 Swedish workers (male & female)	1.8 (1.5–2.2)
Magnusson et al, 1996	34	Cross-sectional	228 drivers & 137 sedentary workers (male)	1.8 (1.2–2.8)
Pietri et al, 1992	35	Cross-sectional	1709 commercial travelers (male & female)	2.0 (1.3–3.1)
Saraste & Hultman, 1987	36	Cross-sectional —population	2872 Swedish population (male & female)	2.1 (1.3–3.5)
Xu et al, 1997	37	Cross-sectional —population	5940 workers (male & female) [with Manual handling]	1.3 (1.0–1.6) 1.8 (1.2–2.7)

193 一に基づき、全身振動が腰痛発症のリスクファク05
 194 ターであることは文献的に明らかであると述べ06
 示している文献とし、2000年1月から2002年9
 月にMEDLINEおよびEMBASEのデータベースを

207 用いて、戦略をlow-back pain AND risk factors AND
 208 (lifting OR posture OR vibration OR workload OR job
 209 satisfaction OR monotonous work) として検索した
 210 さらに、曝露群が、国際的に認められているガイド
 211 ドライン²⁵⁻²⁸⁾に従って分割点を決め、分割点（全
 212 身振動の場合 0.5 m/s²）を下まわるレベルで
 213 ク要因に曝露されている研究を除外した結果、
 214 文献を抽出している。その中でリスク要因として
 215 全身振動を含む文献数は 13 であった。それらの
 216 ヅズ比あるいは相対危険度の推定結果（表 3）
 217 よれば、Boshuizenら¹³⁾の調整済みORを除いて
 218 研究ともORは 1 以上（ $p < 0.05$ ）である。
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246

を統合したOverall pooled risk estimateは調整研究
 を統合したrisk estimateとは大差がなく、およそOR
 は 1.4 である。
 以上を踏まえてLöttersら²⁴⁾は、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/s²～1.0 m/s²）と高度曝露群（1.0 m/s²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できた文献、
 Boshuizenら¹³⁾、BovenziとZadini¹⁶⁾、BovenziとBetta
¹⁸⁾の統合分析をした。その結果によれば、表 5 に
 示されるように、僅かながらであるが量反応関係
 が認められる。

表 4. Löttersら²⁴⁾のTable 2. Results of the meta-analysis for six occupational risk factors for low-back pain and the effect of age on low-back pain より、1 年以内に腰痛を経験した率と全身振動に関するメタ解析結果のみを抽出した結果

Risk factor	Pooled risk estimate		Pooled risk estimate after correction		Overall pooled risk estimate	
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Whole-body vibration						
Eight studies ^b	1.83	1.63-2.06	1.38	1.15-1.66	1.39	1.24-1.55
Five studies ^a	1.43	1.19-1.71	1.43	1.19-1.71	-	-

a Adjusted

b Unadjusted

表 5. Löttersら²⁴⁾のTable 3. Analysis of studies presenting risk estimates for both low and high exposure. より、1 年以内に腰痛を経験した率と全身振動曝露量に関するメタ解析結果のみを抽出した結果

Risk factor	Overall pooled risk estimate				Ratio Risk (high or low risk estimate)	Risk estimate (high exposure in the model)
	Low exposure		High exposure			
	OR	95% CI	OR	95% CI		
Whole-body vibration	2.3	2.01-2.52	2.6	1.69-4.10	1.17	1.63

注：Low exposure は 0.5 m/s²-1.0 m/s²，High exposureは 1.0 m/s²以上

244 さらに、Löttersら²⁴⁾は抽出した文献について、
 245 調整の有無別に統合分析を行った。その中の全身
 246 振動に関する結果（表 4）によれば、非調整研究

260 BurdorfとHulshof²²⁾は、前掲のBovenziとHulshof³⁰⁾ Annual incidence sick leave LBP (年間病休腰痛発症
 261 ¹¹⁾, Schwarze²¹⁾, Lötters²⁴⁾の他に、Pietri³⁵⁾ 301 率), Annual incidence disability pension (> 52 weeks
 262 Bongers³⁸⁾, Bovenzi³⁹⁾を総括して、男性につき302 sick leave) (原職復帰不可腰痛, すなわち 52 週を
 263 て、全身振動の 8 時間等価周波数補正加速度実効03 超える病休腰痛を経験し翌年に原職復帰すること
 264 値の大きさ別 (0.5 m/s²未満: 無/低度曝露, 0.5-1.004 が不可と判定された腰痛), 1-year prevalence (年
 265 m/s²: 中度, 1.0 m/s²以上: 高度) に曝露期間 1 年05 間腰痛有症率) のいずれにおいても、有意な ($p <$
 266 の中で腰痛の発症および有症の推定率を表 6 の306 0.05) 全身振動の影響が認められ、年間腰痛有症
 267 ようにまとめた。この総括によれば、Annual07 率については、有意な ($p < 0.05$) 量反応関係が認
 268 incidence LBP (年間腰痛発症率), 308 められる。

269
270
271

272 表 6. BurdorfとHulshof²²⁾ のTable 2 overview of estimated incidence and prevalence of low-back pain
 273 (LBP) and associated sick leave in occupational populations with exposure to whole -body vibration
 274 (WBV), based on a pooled analysis of selected studies in Table 1 の再掲, ただし文献番号のみ改変

Measure	Exposure level ^a	Weighted level (%) (95% CI)	Included studies
<i>Information from selected studies</i>			
Annual incidence LBP	No/low WBV exposure	6.7 (6.4-6.9)	19, 14
	Moderate WBV exposure	13.0 (13.4-14.5)	19, 14
Annual incidence sick leave LBP	No/low WBV exposure	14.8 (13.0-16.6)	21
	Moderate WBV exposure	36.4 (30.3-42.4)	21
Annual incidence disability pension (> 52 weeks sick leave)	No/low WBV exposure	0.47 (0.45-0.49)	20
	Moderate WBV exposure	0.85 (0.81-0.89)	20
1-year prevalence LBP	No/low WBV exposure	30.4 (30.1-30.6)	10, 17
	Moderate WBV exposure	45.6 (45.3-45.9)	10, 17
	High WBV exposure	61.0 (60.6-61.4)	10

284 ^a No/low WBV exposure < 0.5 m s⁻², moderate WBV exposure 0.5-1.0 m s⁻², high WBV exposure > 1.0 m s⁻²

285
286

287 表 7. BurdorfとHulshof²²⁾ のTable 3. Matrix of transition probabilities for three levels of
 288 exposure to whole-body vibration (WBV) among the distinguished health states for low-back pain
 289 (LBP) during a 1year follow-up among workersの再掲

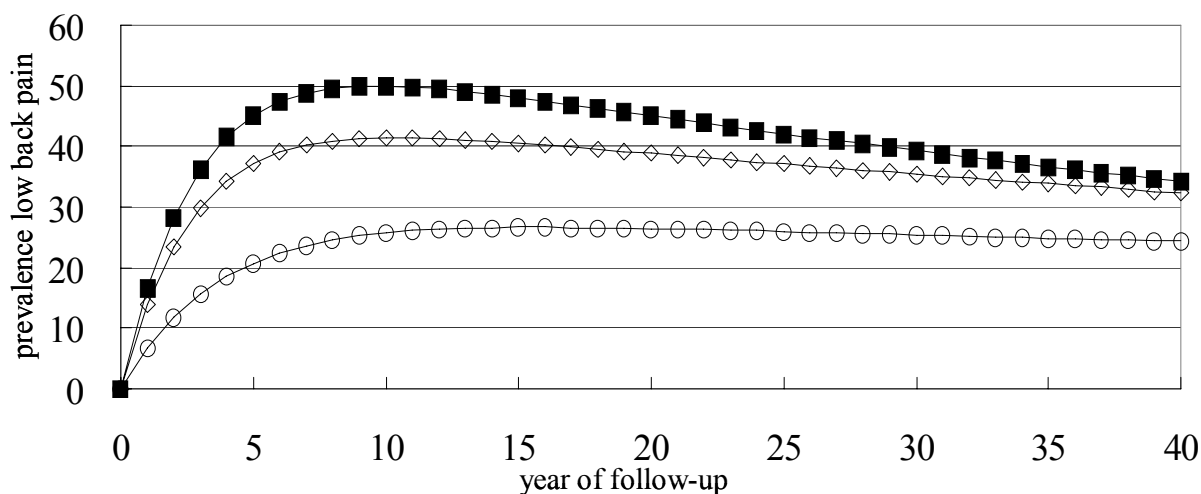
Baseline		Follow-up		
		No LBP	LBP	LBP with sick
No or low exposure <0.5 m s ⁻²	No LBP	0.933	0.048	0.019
	LBP	0.160	0.605	0.235
	LBP with sick leave	0.160	0.605	0.235
Intermediate exposure 0.5-1.0 m s ⁻²	No LBP	0.861	0.075	0.064
	LBP	0.160	0.454	0.386
	LBP with sick leave	0.160	0.454	0.386
High exposure >1.0 m s ⁻²	No LBP	0.833	0.075	0.092
	LBP	0.120	0.396	0.484
	LBP with sick leave	0.120	0.396	0.484

299

309 さらにBurdorfとHulshof²²⁾は、表6の概括に基49
 310 づき長期間にわたる全身振動曝露の影響を検討す50
 311 るためにマルコフモデルの適用を試みている。351
 312 「No LBP (年間腰痛経験無し)」「LBP (年間352
 313 病休を伴わない腰痛の経験有り)」「LBP with sick53
 314 leave (病休LBP, 年間に病休を伴う腰痛の経験有54
 315 り)」別に、No LBP, LBP, 病休LBP, LBP disability55
 316 (原職復帰不可LBP, すなわち52週を超える病休56
 317 LBPを経験し、翌年に原職復帰することが不可と57
 318 判定された腰痛)を経験する者の割合(経験者率)58
 319 の遷移確率を推測している。推測に当たっては、359
 320 「LBP中に病休LBPの占める割合を無/低度曝露で360
 321 は28%, 中度以上曝露では48%とする」, 「文献61
 322 報告がない場合、高度曝露のリスクは中度曝露に362
 323 比べて1.2倍とする」, 「原職復帰不可LBPは病63
 324 休LBPの経験を経てのみ発症する」と仮定し、原64
 325 職復帰不可LBPについてはBongersら³⁸⁾に基づき365
 326 表7のような結果を得ている。この結果によれば366
 327 1年間の観察期間中にLBPを経験する率について367
 328 は、過去1年間腰痛経験の無い群が中度以上の全68
 329 身振動曝露を受けた場合、無/低度曝露に比 369
 330 べると1.56倍、また、病休LBPを経験する率に370
 331 ついては中度曝露の場合では3.37、高度曝露の場71
 332 合では4.84倍であり、量反応関係のあることを示372

している。また、過去1年間に腰痛経験あるいは
 病休LBPの有る群が翌年1年間に病休LBPを経験
 する率は、中度曝露の場合は無/低度曝露に比べ
 ると1.64倍、高度曝露の場合では2.06倍であり、量
 反応関係のあることを示している。したがって、
 中度(0.5 m/s²)以上の曝露を受けた群の過去1年
 間の病休LBP経験の主要な要因は全身振動である
 といえる^{24,40)}。

BurdorfとHulshof²²⁾は、腰痛への罹患がしばしば再発し、
 症状の起伏も大きいことが知られているが、全身振動の寄与度は未
 解明であるとして、得られた遷移確率を用いて、さらに、過去1年
 間腰痛経験のない群について、全身振動の大きさ別にマルコフモ
 デルの適用を試みた。マルコフ連鎖解析では、40年間の曝露によ
 る病欠を伴わない「腰痛」、病欠を伴う「腰痛」および原職復帰
 不可LBPの有症率についての年次推移を求め、全身振動曝露レ
 ベル別に、LBP+病休LBPの有症率を図1、病休LBPの有症率お
 よび原職復帰不可LBPの累積率を図2のように示した。これらの
 図によれば、中度曝露であれば無/低度曝露と比べて、1日8時
 間、週40時間の曝露が常習的に続いた場合、曝露1年後の腰痛
 (LBP+病休LBP)の経験率は2倍程度、曝露3年後の原職復帰不可
 LBPの有症



346 図1. BurdorfとHulshof²²⁾より再掲

347 Fig. 2. Projected effect of three levels of WBV exposure (high, moderate, low) on the prevalence of low
 348 back pain in a hypothetical cohort with 40 years follow-up among workers exposed to whole-body
 vibration. ■ high exposure to WBV, ◇ intermediate exposure to WBV, ○ no exposure to WBV.

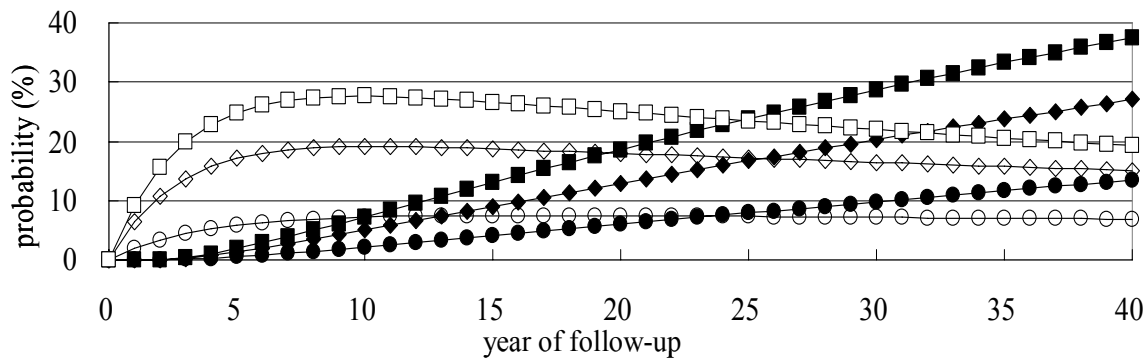


図 2. BurdorfとHulshof²²⁾より再掲

Fig. 3. Projected effect of three levels of WBV exposure (high, moderate, low) on the annual probability of sick leave due to low back pain and cumulative probability of workers with long-term sickness absence (> 52 weeks) in a hypothetical cohort with 40 years follow-up among workers exposed to whole-body vibration. □ sickness absence due to high exposure to WBV, ◇ sickness absence due to intermediate exposure to WBV, ○ sickness absence without exposure to WBV, ■ disability due to high exposure to WBV, ◆ disability due to intermediate exposure to WBV, ● disability without exposure to WBV.

率は 2.5 倍以上、曝露 40 年後の原職復帰不可 LBP は 2 倍程度と推測できるので、中度以上の曝露を受けた群の過去 1 年間の LBP 経験、原職復帰不可 LBP の主要な要因は全身振動であるといえる。なお、振動の測度として、8 時間等価周波数補正加速度実効値あるいは周波数補正加速度実効値として 0.5 m/s² 以下の値を分割値として、腰痛と

の関連を検討している研究を Teschke ら⁹⁾、Bovenzi と Hulshof¹¹⁾、Lings ら¹⁹⁾、Burdorf と Hulshof²²⁾ が抽出した論文、および 2000~2006 年の論文から抽出した結果、表 8 に示されるように、0.5 m/s² 以下の分割値で対照群に比べて腰痛の有症率が有意 ($p < 0.05$) に高いことを示す論文は見あたらない。

表 8. 諸文献における全身振動曝露と腰痛に関する研究結果の比較

筆頭著者	文献番号	発表年	研究デザイン	標本の職種とサイズ (総サンプルサイズ)		振動の測度	曝露群の振動の大きさ m/s ²	有意差
				対象	対照			
Boshuizen	13	1990	Cohort	450 tractor drivers	110 agriculture workers	Equivalent vibration magnitude _{vw}	0.3-0.55 0.55-0.7 0.7-0.9 >0.9	Only significant in 0.7-0.9 No dose response
Bovenzi	39	2002	Cohort questionnaire	219 port machinery operators	85 maintenance workers	Equivalent vibration magnitude _{vw}	< 0.46 0.46-0.79 > 0.79	Only significant in > 0.79
Bovenzi	41	2006	Cohort questionnaire	598 professional drivers	30 fire inspectors not exposed to WBV	A _v (8)	4分位点中央値 0.27, 0.36, 0.49, 0.66	曝露群内における量反応関係 ns*

注: Equivalent vibration magnitude = $(\sum a_i^2 t_i / \sum t_i)^{1/2}$, a_i: 車両 i の周波数補正加速度実効値, t_i: 車両 i の乗務年数, 添字 v: 3 方向振動のベクトル和, zw: 垂直方向の振動, ns: 有意 ($p < 0.05$) な量反応関係無
*: 対照との間の有意差検定は行われていない

404 4. 「1日の全身振動への総曝露時間が4時間未満
 405 満への適用については、曝露を過小評価するおそれ
 406 があるので慎重に適用する」とする根拠につ
 407 て
 408 これまでの研究で、振動加速度値を4乗積分値
 409 4乗根値により曝露を評価しようとする試みがな
 410 されるようになり、4時間未満の全身振動曝露の
 411 場合、実効値は、全身振動曝露を過小評価する可
 412 能性があると指摘されてき³⁾。しかし、腰痛との
 413 関連で1日の全身振動曝露時間が4時間未満の常
 414 習的曝露を検討したものは少なく、この曝露時間
 415 域において、BurdorfとHulshof²²⁾に匹敵するほど
 416 乗積分値4乗根値について考量した疫学的研究も
 417 見あたらない。
 418 また、全身振動による不快感の惹起に関する研究
 419 では、Very uncomfortableという不快感をJonesと
 420 Saunders⁴²⁾は2.2 m/s²以上、OsborneとClarke⁴³⁾は
 421 2.3 m/s²以上、ForthergillとGriffin⁴⁴⁾は2.7 m/s²以上
 422 で観察したと報告しているように、8時間等価周
 423 波数補正加速度実効値に相当する2.45 m/s²の20
 424 分間、3.46 m/s²の10分間の全身振動曝露は極度の
 425 不快感を惹起するであろうといえる。したがって
 426 4時間未満の曝露時間域における適用にあつて
 427 ては、周波数補正振動加速度値の4乗積分値4乗
 428 根値や快適性も考慮することが望まれる。
 429 5. 「波高率 (crest factor)が9以上繰り返し衝
 430 撃型の全身振動への適用については、曝露を過小
 431 評価するおそれがあるので慎重に適用する」とす
 432 る根拠について
 433 等価周波数補正加速度実効値が同じでも、繰り
 434 返し衝撃型の全身振動は、他の全身振動に比べて
 435 影響が大きいといわれている³⁾。繰り返し衝撃型
 436 の場合は、健康障害もいわゆる腰痛だけでなく、
 437 場合によっては、脊柱骨の疲労骨折を惹起する
 438 ともあるとして疫学的のみならず生体力学的な調
 439 査研究⁴⁵⁾がなされている。

用語と定義

- (1) 繰り返し衝撃型振動
 波高率が比較的高い振動が単発ではなくて、周
 期的あるいは非周期的、ランダムに繰り返される
 場合。
- (2) 原職復帰不可腰痛
 腰痛による病休が52週以上連続した年の次の
 年の腰痛の状態。
- (3) 周波数補正加速度実効値 a_w
 人体の応答特性を反映させた周波数補正曲線を用
 いて、周波数帯ごとに重み付けを行って計算し
 た振動加速度実効値。ISO 2631-1:1997¹⁾では
 weighted r.m.s acceleration (加重2乗平均加速度)、
 JIS B 7760-2:2004²⁾では補正加速度実効値という
 用語が用いられている。単位はm/s²で、次式で求
 める。

$$a_w = \sqrt{\left(\int_0^T a_w^2(t) dt \right) / T}$$

ここで、

$a_w(t)$: 周波数補正を行った加速度の瞬時値
 T : 積分時間 (s)

- (4) 周波数補正加速度4乗積分値4乗根値 VDV
 人体の応答特性を反映させた周波数補正を行っ
 た加速度の瞬時値の4乗積分値4乗根値。ISO
 2631-1:1997¹⁾ではfourth power vibration dose value
 (4乗振動量値、略語VDV)、JIS B 7760-2: 2004²⁾で
 は4乗則暴露量値という用語が用いられている。
 単位はm/s^{1.75}で、次式による。

$$VDV = \sqrt[4]{\left(\int_0^T a_w^4(t) dt \right) / T}$$

ここで、

$a_w(t)$: 周波数補正を行った加速度の瞬時値
 T : 積分時間 (s)

- (5) 波高率 (クレストファクター, crest factor)
 周波数補正加速度のピーク値と実効値の比で、
 ピークの状況を表す指標。このピーク値 (波高値)
 は計測時間すなわち積分時間 T を通じての最大値
 とする。

480	(6) 病休腰痛 (病休 LBP)	520	10) Bernard B. Epidemiologic Evidence for
481	腰痛 (LBP) が原因で仕事を休む状態.	521	Work-Related Musculoskeletal Disorders of the
482	(7) 優勢軸	522	Neck, Upper Extremity, and Low Back. National
483	周波数補正加速度実効値が最大となる軸方向の	523	Institute for Occupational Safety and Health,
484	値の 66%の範囲内に, 残りの軸の周波数補正加速	524	Cincinnati, OH. 1997.
485	度実効値が入らない場合, 周波数補正加速度実効	525	11) Bovenzi M, Hulshof CTJ. An updated review of
486	値が最大の軸を優勢軸とする ⁶⁾ .	526	epidemiologic studies on the relationship between
487	(8) 腰痛 (LBP)	527	exposure to whole-body vibration and low back
488	腰部の痛みの自覚症状. 症状の程度, 期間, 頻	528	pain (1986-1997). International Archives of
489	度, 医師の診断, 他覚所見の有無を問わない.	529	Occupational and Environmental Health 1998; 72:
490		530	351-365.
491	引用文献	531	12) Brendstrup T, Biering-Sorensen F. Effect of
492	1) International Organization for Standardization	532	fork-lift truck driving on low-back trouble. Scand
493	Mechanical vibration and shock – Evaluation of	533	J Work Environ Health 1987; 13: 445-452.
494	human exposure to whole-body vibration – Part 1	534	13) Boshuizen HC, Bonges PM, Hulshof TJ.
495	General requirements, ISO 2631-1, 1997.	535	Self-reported back pain in tractor drivers exposed
496	2) 日本工業規格. JIS B 7760-2:2004. 全身振動	536	to whole body vibration. Int Arch Occup Environ
497	第 2 部: 測定方法及び評価に関する基本的要	537	Health. 1990; 62: 109-115.
498	求. 2004.	538	14) Bongers PM, Boshuizen HC, Hulshof CTJ.
499	3) Griffin MJ. Handbook of human vibration	539	Self-reported back pain in drivers of
500	London, San Diego: Academic Press, 1990.	540	wheel-loaders. Academisch Proefschrift.
501	4) 日本工業規格. JIS B 7760-1. 全身振動一第	541	Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, 1990.
502	部: 測定装置. 2004.	542	15) Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CTJ.
503	5) International Organization for Standardization	543	Self-reported back-pain in fork-lift truck and
504	Human response to vibration – Measuring	544	freight-container tractor drivers exposed to
505	instrumentation, ISO 8041, 2005.	545	whole-body vibration. Spine 1992; 17: 59-65.
506	6) European Standard. Testing of mobile machinery	546	16) Bovenzi M, Zadini A. Self-reported low back
507	in order to determine the vibration emission value	547	symptoms in urban bus drivers exposed to whole
508	EN 1032, 2003.	548	body vibration. Spine 1992; 17(9): 1048-1059.
509	7) 日本産業衛生学会. 許容濃度等の勧告, 全身	549	17) Burdorf A, Naaktgeboren B, de Groot HC.
510	振動の許容基準. 1975.	550	Occupational risk factors for low back pain
511	8) VIBRISKS. Final Technical Report. FP5 Project	551	among sedentary workers. J Occup Med 1993;
512	No. QLK4-2002-02650, European Commission	552	35(12): 1213-20.
513	Quality of Life and Management of Living	553	18) Bovenzi M, Betta A. Low-back disorders in
514	Resources Programme Key Action 4	554	agricultural tractor drivers exposed to whole-body
515	Environment and health. 1-158. 2007.	555	vibration and postural stress. Applied Ergonomics
516	9) Teschke K, Nicol A-M, Davies H, Ju S. Whole	556	1994; 25: 231-40.
517	body vibration and back disorders among moto	557	19) Lings S, Leboeuf-Yde C. Whole-body vibration
518	vehicle drivers and heavy equipment operators	558	and low back pain: a systematic, critical review of
519	A review of the scientific evidence. 1-21. 1999.	559	the epidemiological literature 1992-1999. Int Arch

- 560 Occup Environ Health 2000; 73: 290-97. 600
- 561 20) Kjellberg A, Wikström BO, Landström U. Injuries 601
562 and other adverse effects of occupational exposure 602
563 to whole-body vibration. A review for criteria 603
564 documentation. *Arb Hälsa*, 41, 1994. 604
- 565 21) Schwarze S, Notbohm G, Dupuis H, Hartung H 605
566 Dose-response relationships between whole-body 606
567 vibration and lumbar disk disease—A field study 607
568 on 388 drivers of different vehicles. *J Sound Vibr* 608
569 1998; 215(4): 613-28. 609
- 570 22) Burdorf A, Hulshof CTJ. Modelling the effects of 610
571 exposure to whole-body vibration on low-back 611
572 pain and its long-term consequences for sickness 612
573 absence and associated work disability. *J Sound* 613
574 *Vibr* 2006; 298(3): 480-91. 614
- 575 23) Burdorf A, Sorock G. Positive and negative 615
576 evidence for risk factors of work-related back 616
577 disorders. *Scand J Work Environ Health* 2003; 29(6) 617
578 243-56. 618
- 579 24) Lötters F, Burdorf A, Kuiper J, Miedema H 619
580 Model for the work-relatedness of low-back pain 620
581 *Scand J Work Environ Health* 2003; 29(6) 621
582 431-40. 622
- 583 25) Washington State Department of Labor and 623
584 Industries. *Ergonomics*. Olympia (WA) 624
585 Washington State Department of Labor and 625
586 Industries. 1994. 626
- 587 26) Carter JT, Birrell LN (editors). Occupational 627
588 health guidelines for the management of low back 628
589 pain at work—principal recommendations 629
590 London: Faculty of Occupational Medicine. 2000 630
- 591 27) Waddell G, Burton AK. Occupational health 631
592 guidelines for the management of low back pain at 632
593 work—evidence review. London: Faculty of 633
594 Occupational Medicine. 2000. 634
- 595 28) Fallentin N, Viikari-Juntura E, Wærsted M 635
596 Kilbom Å. Evaluation of physical workload 636
597 standards and guidelines from a Nordic 637
598 perspective. *Scand J Work Environ Health*; 2003 638
599 Suppl 2: 1-52. 2001. 639
- 29) Alcouffe J, Manillier P, Brehier M, Fabin C, 600
601 Faupin F. Analysis by sex of low back pain 602
603 among workers from small companies in the Paris 604
605 area: severity and occupational consequences. 606
607 *Occup Environ Med* 1999; 56: 696-701. 608
- 30) Burdorf A, Govaert G, Elders L. Postural load and 609
610 back pain of workers in the manufacturing of 611
612 prefabricated concrete elements. *Ergonomics* 613
614 1991; 34: 909-18. 615
- 31) Kumar A, Varghese M, Mohan D, Mahajan P, 616
617 Gulati P, Kale S. Effect of whole-body vibration 618
619 on the low back: a study of tractor-driving farmers 620
621 in north India. *Spine* 1999; 24: 2506-15. 622
- 32) Liira JP, Shannon HS, Chambers LW, Haines TA. 623
624 Long-term back problems and physical work 625
626 ex-posures in the 1990 Ontario Health Survey. 627
628 *Am J Public Health* 1996; 86: 382-7. 629
- 33) Linton S. Risk factors for neck and back pain in a 630
631 working population in Sweden. *Work Stress* 1990; 632
633 4: 41-9. 634
- 34) Magnusson ML, Pope MH, Wilder DG, Areskoug 635
636 B. Are occupational drivers at an increased risk 637
638 for developing musculoskeletal disorders? *Spine* 639
640 1996; 21: 710-7. 641
- 35) Pietri F, Lecerc A, Boitel L, Chastang JF, Mocret 642
643 JF, Blondet M. Low-back pain in commercial 644
645 travelers. *Scand J Work Environ Health* 1992; 18: 646
647 52-8. 648
- 36) Saraste H, Hultman G. Life conditions of persons 649
650 with and without low-back pain. *Scand J Rehabil* 651
652 *Med* 1987; 19: 109-13. 653
- 37) Xu Y, Bach E, Orhede E. Work environment and 654
655 low back pain: the influence of occupational 656
657 activities. *Occup Environ Med* 1997; 54: 741-5. 658
- 38) Bongers PM, Boshuizen HC, Hulshof CTJ, 659
660 Koemeester AC. Back disorders in crane 661
662 operators exposed to whole-body vibration. *Int* 663
664 *Arch Occup Environ Health* 1988; 60: 129-137. 665
- 39) Bovenzi M, Pinto I, Stacchini. Low back pain in 666
667 port machinery operators. *J Sound Vibr* 2002; 668
669

640 253(1): 9-20. 652 vibration. J Sound Vibr 1972; 23(1): 1-14.

641 40) 西山勝夫, 毛利一平訳. 作業関連疾患及び作業53 43) Osborne DJ, Clarke MJ. The determination of
642 関連災害の疫学. Joint ILO/WHO Committee of 54 equal comfort zones for whole-body vibration.
643 Occupational Health. Epidemiology of 55 Ergonomics 1974; 17: 769-782.

644 work-related disease and accident, WHO. 198756 44) Forthergill LC, Griffin MJ. The subjective
645 労働基準調査会. 1991. 657 magnitude of whole-body vibration. Ergonomics
646 41) Bovenzi M, Ruia F, Negroa C, et al. A658 1977; 20: 521-33.

647 epidemiological study of low back pain in 59 45) International Organization for Standardization.
648 professional drivers. J Sound Vibr 2006; 298(3)660 Mechanical vibration and shock – Evaluation of
649 514-39. 661 human exposure to whole-body vibration – Part 5:
650 42) Jones AL, Saunders DJ. Equal comfort contour662 Method for evaluation containing multiple shocks,
651 for whole body vertical, pulsed sinusoidal663 ISO 2631-5, 1997.

664