

合成帯域振動曝露による指尖振動感覚閾値の 一時的移動に関する実験的研究

埜田 和 史

滋賀医科大学予防医学講座

The Temporary Threshold Shift of Vibratory Sensation (TTSv) Induced by the Composite Band Vibration Exposure

Kazushi TAODA

Department of Preventive Medicine, Shiga University of Medical Science

Abstract: Eight healthy subjects were exposed to three 1/3 octave-band vibrations (63Hz, 200 Hz and 500Hz) through the hand clasping a vibrated handle in a sound-proofed and thermoregulated room. The vibratory sensation threshold at 125Hz was measured before and after the vibration exposure at a finger tip.

In Experiment I, the relationship between acceleration of the vibration and temporary threshold shift of vibratory sensation (TTSv) induced by a 1/3 octave-band vibration was investigated. TTSv increased proportionally to the power of acceleration and exponentially recovered after exposure, similarly to the result of exposure to discrete frequency vibrations.

In Experiment II, TTSv was measured after the exposure to a composite vibration composed of two 1/3 octave-band vibrations which were estimated to induce an equal magnitude of TTSv from the results of Experiment I. The TTSv induced by the composite vibration was not larger than the TTSv estimated to be induced by the component vibration. From these results it would be concluded that TTSv by a broad-band random vibration is determined by a component of the vibration which induces the largest TTSv.

Key words: temporary threshold shift, vibratory sensation, broad-band vibration, vibration exposure, vibration syndrome

結 言

振動工具を用いた作業に従事する労働者の振動曝

露による健康障害を予防する対策の一つに、許容基準に基づいた振動曝露規制があげられる。

手に伝わる振動の曝露許容基準に関する研究には、振動作業従事者からのレイノー症状出現率を指標と

平成2年12月18日受理

滋賀医科大学 〒520-21 滋賀県大津市瀬田月輪町

した疫学的研究 (三浦ら, 1959; Brammer, 1982) や振動刺激の感覚的大きさを振動が生体に与える影響の指標として用いたもの (Miwa, 1967; International Organization for Standardization, 1973; International Organization for Standardization, 1983) がある。

疫学的研究で振動が生体に与える影響を評価する指標とされたレイノー症状は、振動障害における循環器系障害のひとつの症状ではあるが、振動による障害には他にも神経障害や骨関節系の障害など (Griffin, 1990) が含まれており、必ずしも振動障害を全体的に把握する指標ではない。

Miwa (1967) が振動刺激の感覚的な大きさを生体影響の指標として求めた等感度曲線を参考として、ISO (International Organization for Standardization) は手に伝わる振動の曝露許容基準の勧告案を提案している (International Organization for Standardization, 1973)。その内容は、8Hzから16 Hzの低周波域で許容加速度レベルが最も低く、16 Hzから1000Hzにかけての周波数域では1オクターブ当り6dBづつ許容加速度レベルが上昇するものになっている。しかし、振動刺激の感覚的な大きさが、病理的障害を引き起こす振動の有害性を評価するのに適したものとはただちには考えられない。また、循環器系や、筋骨格系、神経系など生体に関する有害な影響は曝露振動の周波数によって大きく異なっているが (マリンスカヤ, 1971)、この勧告案はこうした点を考慮していない (岡田, 1984)。様々な振動工具より労働者が実際に曝露される振動は広帯域振動であるが、例えば ISO (1973) の勧告案などでも、広帯域振動を1/3オクターブ帯域あるいは、1オクターブ帯域に分割して評価することがおこなわれている。しかし、分割して評価したものを総合して、広帯域振動の有害性を表わす方法は考えられていない。

こうした観点にたつて、本研究では振動感覚に対する曝露振動の有害性に注目して、広帯域振動の振動感覚に対する影響をその分割成分個々の影響から推定する方法について検討しようとした。振動刺激曝露後の振動感覚閾値の一時的な移動 (Temporary threshold shift of vibratory sensation; TTSv) は、振動刺激により一時的に生じた生理的变化ではあるが、その変化量が長期にわたる振動曝

露によって生じる振動感覚閾値の永久的移動の程度にほぼ等しい (Radzyukevich, 1969; マリンスカヤ, 1971) ことから、TTSv は振動の振動感覚に対する有害性を衛生学的に検討する指標として適していると考えられる。原田 (1978a, 1978b)、Nishiyama and Watanabe (1981) は、TTSv を指標として実験的な研究を行ない、許容基準を検討しているが、彼らが用いた曝露振動は離散周波数振動であるため、実際の複雑な周波数成分を含む帯域振動の評価にその結果をただちに当てはめることはできない。

本研究では、1/3オクターブ帯域振動を曝露振動として用い、実験 I において、振動曝露後の TTSv の回復過程から、曝露直後の0秒の TTSv (TTSv₀) を推定し、以後 TTSv₀ を振動曝露が生体に及ぼす影響の指標として、曝露振動の振動加速度とこれとの量効果関係を明らかにした。これをもとに、実験 II では、合成する2つの1/3オクターブ帯域振動をそれぞれ暴露した場合の TTSv₀ と、合成した振動を暴露した場合の TTSv₀ との関係を検討した。

方 法

被験者は、指尖振動感覚の閾値測定に関して訓練された8人の健康で、かつ指尖振動感覚閾値が 5dB (基準振動125Hz, peak to peak 振幅 $1\mu\text{m}=0\text{dB}$) 以下にある20歳から26歳の男子学生とした。実験は、室温を23°Cに制御した防音室内に入室後、皮膚温が30°C以上で安定してから開始した。振動感覚閾値の測定は、被験者に椅座位で左前腕を肘高前方の支持台上に置かせ、我々が試作した自記式固定周波数振動感覚計を用い上昇法で行なった (埜田ら, 1990)。測定部位は左第3指指尖腹側部で、検査周波数には125Hzを用いた。測定時、指と振動子との接触圧は100g/cm²となるようにバランス法で調整し、適正圧で接触子に触れていることをパイロットランプで被験者に表示した。

実験開始後、5分ごとに振動感覚閾値を測定し、閾値の変動が連続した3回の測定で3dB以下となった後に振動曝露を開始した。この曝露開始直前3回の測定値の平均を曝露前値とした。振動曝露後の振動感覚閾値の測定は、曝露直後より2分までは30秒

表1 被験者別曝露振動周波数

被験者	単一帯域振動周波数 (Hz)			合成帯域振動周波数の 組み合わせ (Hz)		
	63	200	500	63・200	200・500	63・500
A	○	○	○	○	○	
B	○	○	○	○	○	
C	○	○		○		
D	○	○		○		
E	○		○			○
F	○		○			○
G	○		○			○
H		○	○		○	

単一帯域振動としては 1/3オクターブバンド、合成帯域振動としてはそれらを組み合わせて用いた。○は、各被験者が曝露された振動を示す。

表2 被験者別合成帯域振動の構成成分と加速度条件

被験者	周波数 (Hz)	曝露水準1		曝露水準2		曝露水準3		曝露水準4	
		加速度 (g)	TTSv _a -E* (dB)	加速度 (g)	TTSv _a -E* (dB)	加速度 (g)	TTSv _a -E* (dB)	加速度 (g)	TTSv _a -E* (dB)
A	63	2.7	17.7	3.9	20.3	5.0	22.4	7.3	25.7
	200	2.0		3.0		4.0		6.0	
	200	2.0	17.6	3.3	21.0	5.5	25.0	6.5	26.4
	500	1.0		2.0		4.0		5.0	
B	63	3.1	26.4	4.5	31.1	5.6	34.3	6.5	36.7
	200	1.0		2.0		3.0		4.0	
	200	2.0	31.1	3.0	34.3	4.0	36.7	6.0	40.4
C	500	1.6		2.7		3.6		5.5	
	63	2.1	19.3	2.7	21.3	3.1	22.9	4.0	25.3
	200	1.0		1.5		2.0		3.0	
D	63	4.0	17.1	5.1	18.7	6.4	20.1	8.0	21.7
	200	1.0		1.3		1.6		2.0	
E	63	1.3	20.5	2.0	24.4	3.2	29.0	5.0	34.5
	500	0.6		1.4		3.1		7.0	
F	63	1.3	23.6	1.9	26.4	2.9	29.5	4.4	33.0
	500	1.2		1.9		3.2		5.2	
G	63	2.4	17.4	3.3	20.0	4.6	23.0	6.3	26.4
	500	1.6		2.6		4.2		6.8	
H	200	1.0	15.2	2.0	18.4	4.0	22.4	6.0	25.1
	500	1.3		2.2		3.6		4.7	

* : 単一帯域振動曝露の場合に生じると推定される TTSv_a

各被験者ごとに、合成した曝露振動の中心周波数と曝露振動加速度を示す。

ごとに、2分より5分までは1分ごとに、その後は7分目、10分目に測定した。実験は各被験者について、午前または午後の約3時間の間に、10分、30分、10

分の休憩を挟んで4回の曝露を行った。また、実験は、曝露条件にかかわらず被験者ごとに常にほぼ同一の時刻帯に行った。同一曝露条件の実験は日を替

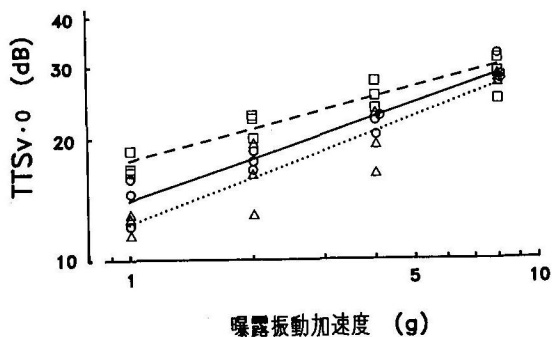


図 1 曝露振動周波数別の加速度とTTSv.0の関係の一例

1 回ごとの曝露実験結果 回帰直線

- △ : 63Hz
- ——— : 200Hz
- - - - - : 500Hz

1 回ごとの曝露実験結果より推定された TTSv.0 曝露振動の加速度との関係を、被験者 A について曝露振動の周波数別に示した。

表 3 TTSv.0 と曝露振動の加速度の回帰式 (TTSv.0) = ka^a の係数, 決定係数とその有意性

周波数 (Hz)	被験者	n	α	k	決定係数	有意性 (相関係数)
63	A	12	0.376	12.2	0.857	***
63	B	12	0.450	15.8	0.935	***
63	C	12	0.348	14.2	0.827	***
63	D	11	0.405	9.7	0.718	***
63	E	12	0.419	17.7	0.875	***
63	F	12	0.311	20.8	0.881	***
63	G	12	0.286	15.4	0.674	**
200	A	12	0.341	14.0	0.919	***
200	B	11	0.239	26.4	0.939	***
200	C	12	0.246	19.3	0.888	***
200	D	12	0.344	17.1	0.908	***
200	H	12	0.275	15.4	0.892	***
500	A	12	0.253	17.6	0.909	***
500	B	12	0.252	26.3	0.787	***
500	E	12	0.215	21.9	0.763	***
500	F	12	0.279	22.6	0.862	***
500	G	12	0.229	17.4	0.839	***
500	H	12	0.393	13.6	0.917	***

***: P<0.001

** : p<0.01

えて3回行った。同一日の実験では、一つの曝露周波数について定められた4つの異なる加速度条件の曝露を無行為な順序で行った。

振動曝露は、動電型加振機 (IMV 社製) に取り

付けられた、長軸が水平な円柱状のハンドル (φ35 mm) を、4kgの把持力で握った状態で4分間行った。曝露振動の方向は、手掌面に対し垂直方向とした。

ハンドルは、被験者の肘高水平前方に位置し、32°C

に加温された。把持力を一定に保つために、ハンドルに内蔵された歪みゲージを介して、把持力をオシロスコープおよびデジタル表示装置により被験者に示した。また、振動曝露中のハンドルの振動状態を、ハンドル部に取り付けた超小型加速度ピックアップを介してモニターした。

曝露振動は、白色雑音信号を1/3オクターブ帯域濾波器（リオン SL-03）に通して得た、中心周波数が63Hz, 200Hz, 500Hzの3種類の1/3オクターブ帯域振動を用い、実験Iではこれらを単独で曝露し、実験IIではこれら3帯域振動のうち2帯域振動を組み合わせた3種類の合成振動を曝露した。各被験者に割り当てた曝露振動は表1に示したとおりである。振動の合成には、MASTER SIGNAL CONTROLLER (IMV 社製) を用いた。

実験Iでは、曝露振動加速度は被験者や曝露振動の周波数にかかわらず1g, 2g, 4g, 8g (1g=9.8 m/sec²) の4種類とした。実験IIでは、合成する2つの振動加速度は、被験者ごとに実験Iで得られた曝露振動周波数別の曝露振動の加速度と TTSv₀ との量効果関係に基づき、それぞれが等しい TTSv₀ を惹起すると推定される加速度とし、一組の合成振動について各被験者ごとに4つの加速度条件を定めた。その加速度の範囲は、小さくとも被験者が充分 TTSv₀ を生じ、また大きくとも測定限界である40dBを越えないと思われる範囲とした。これらの加速度条件を表2に示した。

結 果

1 実験 I

1-1 単一帯域振動曝露時の TTSv₀ の測定

測定結果より、振動曝露終了後の TTSv の回復は、初期において(1)式のように近似できると仮定し、各曝露実験ごとに(1)式を用いて回帰分析を行なった。

$$TTSv \cdot t = TTSv \cdot 0 \cdot e^{-t/t_c} \quad (1)$$

TTSv₀ と t_c は定数

TTSv₀ は曝露終了後 t 秒目に観測された TTSv

曝露実験は、周波数や加速度が異なる単一帯域振動について、8人の被験者にのべ216回行なったが、実験操作上の原因で分析可能なデータが得られなかった2回は分析から除外した。また、各分析には、曝露後最大3分以内で、減少する TTSv の値が負にならない間の測定結果を用いた。回帰分析より求められた決定係数は最大1.00, 最小0.866, 平均0.978であった。回帰分析より得られた TTSv₀ を以下の振動加速度との関係の検討に用いた。

1-2 TTSv₀ と振動加速度との関係

被験者ごとの曝露振動周波数別の TTSv₀ と加速度との関係を両対数グラフで表わすと、図1に例示したように、ほぼ直線の関係が認められたので、(2)式を仮定し、被験者別、周波数別に回帰分析を行った。

$$TTSv \cdot 0 = k \cdot a^a \quad (2)$$

k と a は定数

a は加速度

被験者別、周波数別に求めた k, a, 決定係数および有意性の検定結果を表3に示した。決定係数は、最大0.935, 最小0.674, 平均0.849であった。(2)式は測定範囲において良い適合性を示しており、これらの被験者では、測定範囲内で任意の TTSv₀ を生じさせるために必要な曝露振動の加速度の推定が可能であると判断された。

2 実験 II

2-1 合成振動曝露時の TTSv₀ の推定

8人の被験者にのべ120回行った曝露実験のうち、実験操作上の原因で分析可能なデータが得られなかった2回を除いた118回の実験データについて、実験Iと同様に(1)式に基づいて回帰分析を行い、TTSv₀ を推定した。その決定係数は、最高1.00, 最低0.886, 平均0.970であった。

2-2 合成振動曝露による TTSv₀ の変動に関する検討

合成振動を構成する単一帯域振動を曝露させた場合に生じると推定される TTSv₀ (TTSv₀-E) と、合成振動曝露結果より得られた TTSv₀ (TTSv₀-C) との関係を図2に示した。図2より、

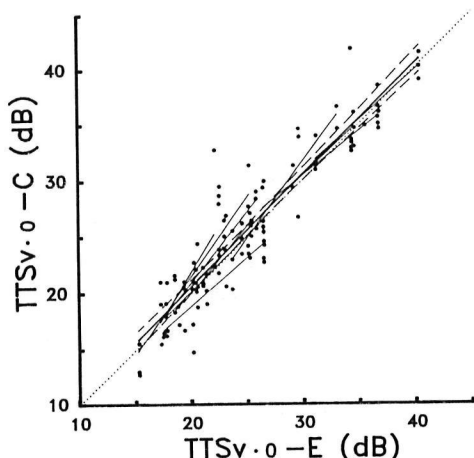


図2 合成帯域振動によるTTSv.o(TTSv.o-C)と構成成分振動によるTTSv.o推定値(TTSv.o-E)の関係
 — : 被験者別実験結果から求めた回帰直線
 - - : 全実験結果から求めた回帰直線
 ···· : 全実験結果から求めた回帰直線の95%信頼限界
 - · - · : TTSv.o-C=TTSv.o-E

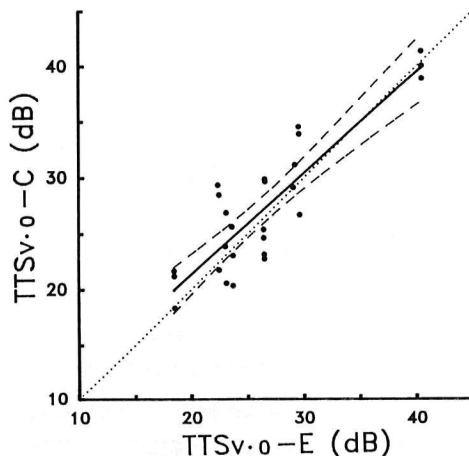


図3 合成により加速度のオーバーオール値が最も増大する合成条件についての合成帯域振動によるTTSv.o (TTSv.o-C) と構成成分振動によるTTSv.o推定値 (TTSv.o-E) の関係
 — : 回帰直線
 ···· : 回帰直線の95%信頼限界
 - · - · : TTSv.o-C=TTSv.o-E

TTSv.o-C と TTSv.o-E の関係は(3)式のように近似できると仮定し、各被験者別実験結果および全測定結果について回帰分析を行った。決定係数は、最高0.917、最低0.563、平均0.867であった。

$$TTSv.o-C = b \cdot TTSv.o-E + p \quad (3)$$

b と p は定数

得られた回帰直線は、図2のように実験条件の範囲内で TTSv.o-C と TTSv.o-E がほぼ一致することを示していたので、 $TTSv.o-C = TTSv.o-E$ と仮定し、 $b=1$ かつ $p=0$ であるか否かの判定を行ったところ、各被験者別実験結果および全測定結果とも有意水準5%では帰無仮説が棄却されなかった。

次に、合成により振動加速度のオーバーオールレベルが最も増大する合成条件、すなわち合成する2つの振動の加速度比が1.12倍以内(加速度レベルの差が1dB以下)である場合の実験結果を図3に示した。これについても(3)式を用いて回帰分析を行ったところ、決定係数は0.780であった。得られた回

帰直線は、図3のように実験条件の範囲内で TTSv.o-C と TTSv.o-E がほぼ一致することを示していたので、 $TTSv.o-C = TTSv.o-E$ と仮定し、 $b=1$ かつ $p=0$ であるか否かの検定を行ったところ、有意水準5%では帰無仮説が棄却されなかった。

これらの結果より、本実験の合成振動曝露では、合成によって TTSv.o が増加するとは判断できなかった。

考 察

1. TTSv の回復過程と TTSv.o の推定について
 本研究では、振動の影響を観察評価するために、各曝露実験ごとに TTSv の回復過程を分析して求めた回帰式より、TTSv.o を推定して用いた。TTSv は曝露後急速に減衰するため、TTSv を影響の指標として用いるためには、TTSv を測定する時点を一定にしておかなければならない。これまでの研究では、富永(1973)は、およそ曝露後30秒における TTSv を、原田(1978a, 1978b)の場合

は約6秒, Nishiyama and Watanabe (1981) の場合は約20秒経過した時点の $TTSv$ を指標として用いている。このように研究者によって指標となる $TTSv$ の測定時点が異なる理由は、振動感覚閾値の測定手順の問題の他に、振動感覚測定器の技術的制約にもよるとと思われる。従来用いられてきた振動感覚計は、振動刺激の強さを段階的に変え、被験者の応答を受けて閾値を測定する方法であるため、曝露後急速に減少する閾値の測定では、閾値を測定した時点を確認することができないという問題があった。

本研究では、この問題点を克服するために我々が試作した、無段階的に試験振動の強さを変えることができる自記式固定周波数振動感覚計(埜田ら, 1990)を用いて振動感覚閾値を測定したので、従来の測定に比べてより精度の高い閾値と測定時刻を得ることができ、 $TTSv$ の回復過程を精密に観察できた。

$TTSv$ の回復過程が経過時間の指数関数でよくあらわされることが、離散周波数振動を曝露振動としてもちいた Nishiyama and Watanabe (1981) の研究で示されているが、曝露後3分を過ぎたあたりには反跳現象が認められる場合があり、3分後からの回復過程にはそれまでの回復過程とは異なる機序が関与していると考えられた(埜田ら, 1990)。そこで、本研究では曝露終了後3分までの早期に限って指数関数的に減衰するものとして回復過程を回帰分析した結果、極めて高い決定係数をもつ回帰式がひとつひとつの曝露について得られたので、この式から $TTSv \cdot 0$ を求め、反応量の指標とした。

本研究においては、 $TTSv$ の回復過程が指数関数的であるとした。このことは、振動曝露によって機械受容器からの求心性単一神経線維に生じる興奮閾値の変化を調べた研究で、その回復過程と精神物理学的閾値の回復過程に密接な関係があることが明らかにされている(Lündstrom, 1986; Lündstrom and Johansson, 1986)ことや、比較的弱い振動刺激に対する中枢レベルでの順応現象を調べた研究で、振動感覚伝導路の楔状束核ニューロンに末梢の振動刺激で惹起された興奮性の抑制が、刺激終了後、時間の経過とともに指数関数的に減少することが明らかにされている(O'Mara et al., 1988)こととも矛盾するものではない。

2. 曝露振動の振動加速度、周波数と $TTSv \cdot 0$ の関係について

1/3オクターブ帯域振動を曝露した場合の $TTSv \cdot 0$ は、加速度を底とする累乗に比例する関係にあることが示された。この関係は、離散周波数振動を曝露した Nishiyama and Watanabe (1981) の研究結果と一致していた。

$TTSv$ に影響する曝露振動の周波数要因については、曝露振動として加速度が一定の8Hzから1000Hzの離散周波数を用いた原田(1978b)の場合は125Hz付近で、8Hzから2000Hzの離散周波数を用いた Nishiyama and Watanabe (1981) の場合は200Hz付近で最も大きな $TTSv$ が得られた。今回の実験は曝露振動の影響の周波数差を検討することを目的としていないので的確な評価を下すことはできないが、表2から読みとれるように、中心周波数が63Hz, 200Hz, 500Hzの3つの帯域振動のうち200Hz帯域振動が最も小さな加速度で同一の $TTSv \cdot 0$ を生じる傾向とはなっていない。こうした結果の違いは、 $TTSv$ の回復速度が曝露振動の周波数間で異なる(西山ら, 1990, 未発表)ことと、指標に用いた $TTSv$ が原田(1978b)では約6秒目、Nishiyama and Watanabe (1981) では約20秒目のものであるのに対し、本実験では曝露後0秒目の推定値を用いたことが関連しているのではないかと考えられる。

3. 曝露振動を合成した場合 $TTSv \cdot 0$ の変化について

広帯域振動が $TTSv$ に与える影響に関する研究は、ほとんどなされていない。前田(1988)は、白色雑音を高周波帯域濾波器あるいは、低周波帯域濾波器を通して得た1オクターブづつ帯域幅の違う16種類の振動を等しいオーバーオールレベルで曝露し、原田(1978a, 1978b)、Nishiyama and Watanabe (1981)と同様の振動感覚測定器を用いて曝露直後より3回閾値を測定し求めた $TTSv$ を検討した。その結果、高周波帯域濾波の場合も低周波帯域濾波の場合も帯域幅の広がりとともに $TTSv$ は増加し、中央周波数125Hzの帯域に達した後は、帯域が広がっても $TTSv$ が変わらないと述べている。しかし、すでに原田(1978b)、Nishiyama and Watanabe (1981)の研究から明らかのように、125Hzから

250Hz の帯域には TTS_v を最大にする周波数が含まれており、この領域を離れるにつれて TTS_v は急速に起こりにくくなる。したがって、振動の加速度レベルが等しい1オクターブ帯域振動を合成したことになる前田 (1988) の実験は、異なる TTS_v を生じさせる振動を合成し曝露させたことになる。こうした実験条件では合成により TTS_v が増大するか否かを鋭敏に検出することは困難であり、この結果からは帯域振動を合成して曝露した場合の TTS_v に与える影響を論ずることはできないだろう。

本実験では、合成した振動の曝露によって TTS_v・ σ がどう変化するかをみるには、2つの帯域振動がそれぞれ等しい TTS_v・ σ を生じるような加速度で合成するのが最適と考え、また、曝露振動の加速度と TTS_v・ σ の関係には個人差があることから、各被験者ごとに合成する振動の加速度条件を選んだ。結果は、合成によって TTS_v・ σ が増大するとは判断できなかった。念のため、合成によってオーバーオール加速度レベルの増加が最大となる合成条件、すなわち合成する振動の加速度がほぼ等しい条件のみを取り出して検討したが、やはり合成によって TTS_v・ σ が増加しているとは判断できなかった。こうした結果から、広帯域振動曝露によって惹起こされる TTS_v・ σ は、その構成成分である狭帯域振動が惹起する最も大きな TTS_v・ σ と等しくなると考えられた。

2つの振動を合成することによって、曝露振動エネルギーは明らかに増大するにもかかわらず、TTS_v・ σ が増大しない理由の一つは、増大分を検出できるほど振動感覚閾値測定精度と正確度が高いかという問題である。このことについては、機器の精度よりも精神物理学的な測定につきまとう被験者側の変動要因の方が大きな誤差因子となる。今回の実験ではあらかじめ振動感覚閾値測定に関して訓練を施した被験者を用いたが、ある程度の変動(誤差)はこういう方法をとる限り避けられない。

生理学的な面からの説明を試みたが、現状では振動刺激によって TTS_v が生じる生理学的機序に関する知見はととのっていない。しかし、Lündstrom (1986) や Lündstrom and Johansson (1986) は、Pacini 小体に由来すると考えられる単一神経線維を用いて研究し、受容器に対する振動刺激が惹起す

る神経線維の興奮性の抑制とその回復過程の検討より、振動曝露による感覚の一時的鈍麻は、主に機械的受容器の求心性単一神経線維の興奮性の抑制で説明できると述べている。一方、O'Mara et al. (1988) は、Pacini 小体に由来する神経線維と振動感覚伝導路の中継核である楔状束核のニューロンを用いて研究し、末梢レベルでも中枢レベルでも先行振動刺激によって後続振動刺激に対する反応が抑制されるが、精神物理学的に観察される TTS_v はおもに中枢レベルでの興奮性の抑制に起因すると述べている。楔状束核が介在ニューロンを介して上位中枢や末梢から抑制性入力を受ける神経回路を形成している (Andersen et al., 1964; 横田, 1982) ことから、楔状束核中継ニューロンの興奮は複雑な機序で抑制されると考えられる。今回の合成条件について得られた結果には、ランダム帯域振動に対する機械受容器の反応特性や、種々の周波数の振動の伝達に影響する局所組織の要因に加えて、こうした一次ニューロンおよび中枢神経系ニューロンの興奮性やその抑制に関する複雑なメカニズムが関与していると考えられるが、合成振動曝露によって TTS_v・ σ が増大しなかったことについての説明には、こうした要因についての更なる解明が必要である。

結 語

帯域振動を曝露した場合の TTS_v を検討する目的で、1/3オクターブ帯域振動とその合成振動を用いた実験的研究を行ない、以下のような結論を得た。

1. 帯域振動曝露によって惹起された TTS_v は、時間の経過とともに指数関数的に減衰した。また、曝露振動の中心周波数が一定の場合、TTS_v・ σ は曝露振動の加速度を底とした累乗に比例して増加した。これらの関係は、曝露振動が離散周波数である場合と一致していた。

2. 同じ大きさの TTS_v・ σ を惹起する帯域振動2つを合成して曝露しても TTS_v・ σ は増大しないことから、広帯域振動の曝露によって惹起される TTS_v・ σ は、その振動の構成成分が惹起するもつとも大きな TTS_v・ σ に等しいと考えられた。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、終始御懇篤なる御指導をいただいた、滋賀医科大学予防医学講座 渡部真也教授、西山勝夫助教授に深甚の謝意を表します。また、考察にあたり、御助言いただいた滋賀医科大学生理学第一講座 横田敏勝教授に深謝いたします。また、実験の御援助をいただいた、滋賀医科大学予防医学講座 山下尋美助手に感謝いたします。

文 献

- Andersen, P., Eccles, J.C., Schmidt, R.F. and Yokota, T. (1964) Identification of relay cells and interneurons in the cuneate nucleus. *J Neurophysiol.* 27, 1080-1095.
- Brammer, A.J. (1982) Relations between vibration exposure and the development of the vibration syndrome. Brammer, A.J. and Taylor, W., eds. *Vibration effects on the hand and arm in industry.* Wiley, New York.
- Griffin, M.J. (1990) *Hanbook of human vibration.* 594-608. Academic Press, London.
- 原田規章 (1978a) 振動負荷による手指尖振動感覚閾値の変化と負荷振動の物理的パラメータとの関係 第1報 振動負荷および振動感覚閾値測定の方法について。日衛誌, 33, 699-705.
- 原田規章 (1978a) 振動負荷による手指尖振動感覚閾値の変化と負荷振動の物理的パラメータとの関係 第2報 振動感覚の等 TTS 曲線と許容基準について。日衛誌, 33, 706-717.
- ISO/TC 180/SC 4/WC 3 (1973) Guide for the evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.
- ISO/TC 108/SC 4/WG 3 (1983) Second draft international standard ISO/DIS 5349, Guide for the measurement and assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand.
- Lündstrom, R. and Johansson, R.S. (1986) Acute impairment of the sensitivity of skin mechanoreceptive units caused by vibration exposure of the hand. *Ergonomics*, 29, 687-698.
- Lündstrom, R. (1986) Responses of mechanoreceptive afferent units in the glabrous skin of the human hand to vibration. *Scand. J. Work Environ. Health*, 12, 413-416.
- 前田節雄 久米靖文 (1989) スペクトル振動曝露による指尖振動感覚の一時的閾値移動。日経工誌, 40, 336-342.
- マリンスカヤ, エヌ. エヌ. (1971) 第2部 第2章 機械化工具使用作業者の生理機能の動態 伊藤史子訳; 産業における振動 101-123. 労働科学研究所, 川崎.
- 三浦豊彦 森岡三生 木村菊二 阿久津綾子 (1959) 振動工具による障害について (第4報) 各種振動工具の振動とその許容水準について。労働科学, 35, 760-767.
- Miwa, T. (1967) Evaluation methods for vibration effect. Part 3: Measurement of threshold and equal sensation contours on hand for vertical and horizontal vibrations. *Ind. Health*, 5, 213-222.
- Nishiyama, K. and Watanabe, S. (1981) Temporary threshold shift of vibratory sensation after clasping a vibrating handle. *Int. Arch. Occup. Health*, 49, 21-31.
- 岡田 晃 (1984) 手腕系振動の国際的基準について。産業医学ジャーナル, 7, 40-48.
- O'Mara, O., Powe, M.J. and Tarvin, R.P.C. (1988) Neural mechanisms in vibrotactile adaptation. *J. Neurophysiol.*, 59, 607-622.
- Radzyukevich, T.M. (1969) Interrelation of temporary and permanent shifts of vibration and pain sensitivity threshold under the effect of local vibration. *Gigiena i Truda i Professional'nye Zabollevanija*, 14, 20-23.
- 埜田和史 西山勝夫 渡部真也 (1990) 日記振動感覚計を用いた指尖振動感覚閾値の一時的移動の測定。人間工学, 26, 211-213.
- 富永洋志夫 (1973) 局所振動の指尖振動感覚に

- およぼす影響。労働科学, 49, 17-25.
20. 渡部真也 (1970) 局所振動の許容基準。労働の科学, 25, 58-61.
21. 横田敏勝 (1982) IV感覚 古河太郎 本田良行 編; 現代の生理学 157-189. 金原出版, 東京.