

低周波空気振動の睡眠影響に関する実験的研究

金沢大学医学部公衆衛生学講座 (主任: 岡田 晃教授)

小 森 谷 豊

(昭和62年3月2日受付)

低周波空気振動の睡眠への影響を検討する目的で、10, 20, 40, 63 Hzの低周波空気振動に各種の音圧レベルで健常大学生を20分間隔で30秒ずつ暴露した。実験第1夜では、初夜効果と考えられる不眠が認められたので実験第2夜を対照夜とした。低周波空気振動による反応率は、Non REM睡眠においては、睡眠段階1 (S1)で最も高く、睡眠段階3+4 (S3+4)で最も低かった。REM睡眠での反応率は睡眠段階2 (S2)とほぼ同率であった。低周波空気振動による反応率が初めて50%以上となる音圧レベルをその低周波空気振動による睡眠への影響の発現閾値と考えた場合、10および20 Hzに関しては反応率が低かったため、閾値を評価することができなかった。しかし、40 Hz, 63 Hzについては、閾値をそれぞれ95 dB, 90 dBと設定することができた。低周波空気振動に暴露しても、睡眠率、睡眠段階移行回数、睡眠段階別出現率に特記すべき変化は認められなかった。以上の結果より、(a)睡眠が浅い程低周波空気振動による影響を受けること、(b)低周波空気振動に暴露しても本研究の条件下では睡眠パターンはほとんど影響を受けないことが示唆された。

Key words infra- and low frequency sound, sleep, EEG

生活環境のさまざまな因子は、人間の健康に影響を及ぼし、時には疾病の原因となり、あるいは生活妨害を惹起して公害問題として注目されている。新しい技術の登場、あるいは科学的知見の集積によってある時点まではよく知られていなかった要因が疾患や公害の原因として注目され、社会問題として提起されることがある。低周波空気振動はまさにそれに類する環境要因である。

人体にとって、20 Hzの空気振動は、音として感知することのできる下限であるとされ、騒音としては取り扱われず、その影響についてはほとんど関心が持たれていなかった。諸外国においても1970年前後に漸く低周波空気振動の実態および影響に関する報告がみられるようになり、1973年におけるパリでのInfrasoundのコンコルディアムにおいて0.1~20 Hzの周波数の空気振動を超低周波音 (infrasound, infrasonics) と定義された^{1)~3)}。しかし、実際には20 Hz以下の空気振動のみが発生しているわけではなく、多くの場合20 Hz以上の低周波数域の可聴音も含まれており⁴⁾、この可聴音

を除外しては影響を判断することができないことから、これをも含めて我が国の環境庁では低周波空気振動と呼称してそれを取り扱っているのが実状である⁵⁾。ただし、その周波数の上限についてもすでに定まっているわけではなく、周波数の上限として周波数の高いところでは90 Hz, 100 Hzを採用して、それ以下を低周波空気振動と称し³⁾、必ずしも20 Hz以下のいわゆる超低周波音のみを対象としているわけではない³⁾。

この低周波空気振動の発生源は、海の波、地震、雷、風などの自然現象にも求めることができ、爆発、ダムの放流等でも発生するが、近年、産業の高度な発展に伴い、工場機械として圧縮機、振動ふるい、送風機、集じん機等により、またボイラーの燃焼によっても発生し、産業職場でも暴露する機会が増加してきた。生活環境においてもこれらの工場機械からの発生のほかに、トンネル突入時の鉄道車輛において、自動車走行時の橋梁などでも低周波空気振動が発生することが注目され、さまざまな苦情が訴えられてきて公害問題として社会的な関心をもたれるようになってきた。苦情

Abbreviations: SEI, Sleep efficiency index; SPT, Sleep period time; TIB, Time in bed; TST, Total sleep time.

の主なものは建具、窓ガラスがゆれるという物的被害のほかにはいららす、考えごとが邪魔される、睡眠妨害などの被害であるが、これらの影響、被害が低周波空気振動に起因するものであるかについてはすでに明白な結論が得られているわけではない。

本研究ではこの低周波空気振動を対象として、種々の周波数、音圧の低周波空気振動の暴露によって睡眠影響が発現するかどうかを実験的に追究することを目的とした。以下その結果について報告する。

対象および方法

I. 対 象

被験者は既往歴に精神神経疾患並びに耳鼻科的疾患のない年齢が20～25歳(平均20.3歳)の健康男子大学生12名である。被験者を6名ずつ2分し、2回に分けて実験を行った。被験者に実験期間中、日中の過激な運動、飲酒、昼寝等を禁止した以外は、平常の生活をさせた。なお、実験は同時に2名ずつ行った。

II. 方 法

1. 低周波空気振動の暴露方法

実験は下記のごとく、被験者をかえて2回行った(以下、実験1、実験2と略記)。

被験者は20時までに実験室に集合させ、直ちにポリソムノグラフィのための各電極を装着した。実験1では低周波空気振動無暴露2夜、同暴露3夜の計連続5夜、総計30回のポリソムノグラフィ(①脳波EEG; C₃またはC₄とO₁の単極誘導, ②頰筋表面筋電図, ③眼球運動, ④心電図, ⑤実験室内音, ⑥暴露音)を記録した。実験2では低周波空気振動無暴露2夜、同暴露4夜の計連続6夜、総計36回のポリソムノグラフィ(内容は実験1と同じ)を記録した。

脳波用電極はコロジオン、その他のポリグラフ用電

極は両面接着カラーを用いて装着した。装着後の電極は中継コネクタに一括して接続し、被験者自身が自由に取り外せるようにした。記録には三栄測器株式会社製多用途型脳波計1A75を使用した。記録時間は22時より翌朝6時30分までの510分間である。

暴露した低周波空気振動は実験1および2ともに、10, 20, 40および63 Hzの4種類である。振動の波形(スピーカーを駆動する増幅器に入力した波形)は正弦波である。これらの低周波空気振動を種々の音圧レベル(後述)でランダムに20分間隔で正確に30秒、計25回/夜の暴露をした。本研究で使用した音圧レベルは10 Hzでは60, 70, 80, 90, 100および105 dB, 20 Hzでは60, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, および105 dB, 40 Hzでは60, 70, 80, 90, 95および100 dB, 63 Hzでは50, 60, 70, 80, 85および90 dBである。

図1に実験に使用した低周波音実験室(小林理学研究所)の模式図を示した。この実験室は半密閉になっており、外部からの騒音を受けることはないように設計されている。天井に16個の低音用30 cmスピーカーを配置してある。測定中は空調により、室温22～24°Cの範囲内に維持した。

2名の被験者は前述した実験室内にマットレスと布団を敷き、毛布および布団各一枚で就寝させた。

2. データの整理方法

データの整理は以下のごとく行った。

1) 睡眠段階の判定

睡眠段階の判定は、Rechtschaffen and Kalesの基準⁹⁾に従い、1区画20秒の記録を分析し、3区画分を合計して、その50%以上を占める睡眠段階を1分間の睡眠段階とした。

2) 体動の判定

脳波、筋電図、眼球運動の全誘導に高振幅の筋電図が混入し、基線の動揺がある場合を体動と判定した。

3) 睡眠変数の整理

Williamsの方法⁹⁾に準じて、全就床時間(Time in bed, TIB)、睡眠時間(Sleep period time, SPT)、全睡眠時間(Total sleep time, TST)、睡眠率(Sleep efficiency index, SEI; TSTをSPTで除した値)、睡眠段階移行回数、各睡眠段階出現時間、睡眠段階別出現率(各睡眠段階出現時間のTIBに占める割合)等を算出した。なお、S3, S4に関しては必要に応じて深睡眠S3+4として検討した。

4) 各睡眠段階における刺激音に対する反応の判定

低周波空気振動の暴露中30秒間を含めた1分間の睡眠段階が直前1分間の睡眠段階より浅化した場合、刺激音暴露前1分間のREM睡眠がNon REM睡眠のいずれかの睡眠段階へ移行した場合および刺激音暴

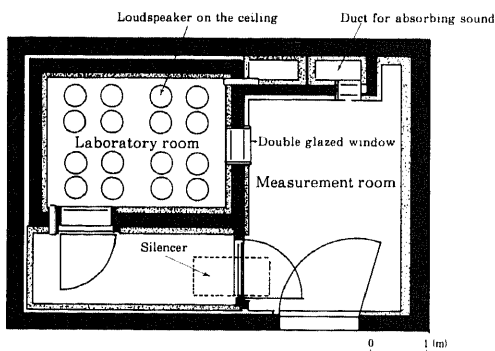


Fig. 1. Schematic presentation of the laboratory room used for the exposure to infra- and low frequency sound.

露30秒間を含めた1分間に体動が出現した場合を反応ありと判定した。

III. 統計処理

有意差検定にはt検定または χ^2 検定を用いた。

成 績

I. 対照夜について

本研究では対照夜を設定するために実験第1夜と2夜の2日間は低周波空気振動に暴露せずポリソムノグラフィを記録した。表1に実験1の被験者の実験第1夜および2夜の睡眠段階別出現率、睡眠率および睡眠段階移行回数を示した。SW出現率は有意差はないものの実験第1夜では $18.5 \pm 13.2\%$ (平均値 \pm 標準偏差, 以下同じ)と第2夜の $8.1 \pm 5.9\%$ の約2倍の値になっていた。S1, S2, S3およびSREMの出現率については、実験第1夜と2夜で差はみられなかった。深睡眠のS4およびS3+4の出現率は、実験第1夜ではそれぞれ $6.4 \pm 1.8\%$, $10.7 \pm 3.0\%$ と第2夜の $8.7 \pm 2.3\%$, $15.3 \pm 4.5\%$ より低い傾向 ($p < 0.10$) を認めた。睡眠率についても、有意差はないものの第1夜では $83.6 \pm 13.6\%$ と第2夜の $94.2 \pm 6.1\%$ より低かった。睡眠段階移行回数については、第1夜、2夜で差がなかった。一方、実験2の被験者については、表には示さなかったが、実験第1夜と第2夜の間での睡眠段階別出現率の相違に関して、SREMの出現率が実験第1夜では $20.0 \pm 4.9\%$ と第2夜の $26.5 \pm 4.9\%$ より有意に低かった ($p < 0.05$)。その他の出現率には第1夜と2夜の間で差が認められなかった。睡眠率および睡眠段階移行回数についてはいずれについても第1夜

と2夜の間で特記すべき差は認められなかった。これらの結果は、実験第1夜では実験第2夜に比して、実験1, 2のいずれの被験者でも不眠傾向が認められたことを示している。そこで、本研究では、低周波空気振動の一晩の睡眠のパターンへの影響を検討する際の対照夜としては実験第2夜を用いた (詳細は後述)。

II. 暴露夜の睡眠段階別出現率と各睡眠段階への低周波空気振動の挿入率との関係

本研究では、20分間隔で30秒間の低周波空気振動に暴露するという実験条件を設定した。この実験条件では、低周波空気振動の暴露がいずれかの睡眠段階に片寄って挿入された可能性がある。そこで被験者全体での暴露夜の睡眠段階別出現率と各睡眠段階への低周波空気振動 (以下、暴露音と略記) の挿入率との関係を検討した。図2は、この関係を実験1について検討した結果を図示したものである。図からも明らかのように、暴露音は各睡眠段階の出現率とほぼ一致した割合で各睡眠段階に挿入されており、暴露音の挿入はある睡眠段階に片寄っていなかった。実験2についても、図には示さなかったが、実験1の場合と同様の結果を得た。

III. 低周波空気振動暴露による反応率

暴露した低周波空気振動の周波数および音圧レベルを無視したときの、各睡眠段階での暴露音に対する被験者全体の反応率 (総反応数/総暴露回数) を実験1と2の成績を合計して図3に示した。Non REM睡眠における反応率はS1で43.8%と最も高く、S2での15.7%, S3+4での9.2%より有意に高い反応率であった ($p < 0.01$)。一方、REM睡眠 (SREM) にお

Table 1. Sleep patterns of the subjects in the 1st and 2nd nights in the experiment 1.

		First night	Second night
Proportion to time in bed (%)	SW	18.5 ± 13.2	8.1 ± 5.9
	S 1	8.9 ± 4.8	8.0 ± 2.6
	S 2	46.5 ± 9.0	51.5 ± 7.3
	S 3	4.4 ± 1.7	6.7 ± 3.4
	S 4	6.4 ± 1.8 sug.	8.7 ± 2.3
	S 3 + 4	10.7 ± 3.0 sug.	15.3 ± 4.5
	S REM	15.5 ± 9.4	17.1 ± 6.0
Sleep efficiency index (%)		83.6 ± 13.6	94.2 ± 6.1
Numbers of changes of sleep stage		57.2 ± 8.5	63.8 ± 7.6

Each value represents the mean \pm SD.

sug. $P < 0.10$, compared with the second night.

る反応率は19.8%で、S2とほぼ同様の反応率であった。さらに、SREMでの反応率はS1での反応率より有意に低く ($p < 0.01$)、S3+4での反応率より有意に高かった ($p < 0.05$)。

低周波空気振動暴露による反応率に対する音圧レベ

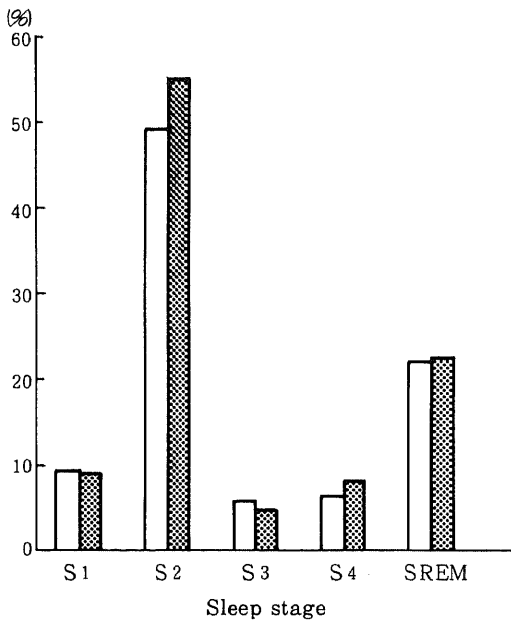


Fig. 2. Relationship between the proportion of each sleep stage to time in bed and the insertion rate of infra- and low frequency sound in each sleep stage in the nights exposed to infra- and low frequency sound in the experiment 1.

□ : proportion of each sleep stage to time in bed.
 ▨ : insertion rate of infra- and low frequency sound in each sleep stage.

ルの影響を周波数ごとに検討し、実験1と2の成績を合計して図4に示した。10 Hzの低周波空気振動暴露による反応率は、音圧60 dBで8.3%、70 dBで15.0%、80 dBで16.1%、90 dBで7.1%、100 dBで23.7%、105 dBで8.3%であった。20 Hzによる反応率は音圧60 dBで8.3%、70 dBで5.0%、75 dBで20.8%、80 dBで11.5%、85 dBで36.4%、90 dBで8.3%、95 dBで22.6%、100 dBで23.9%、105 dBで45.5%であった。40 Hzによる反応率は60 dBで13.0%、70 dBで16.7%、80 dBで36.1%、90 dBで21.4%、95 dBで75.0%、100 dBで81.8%であり、95 dB以上の音圧の時、反応率は50%を越えていた。63

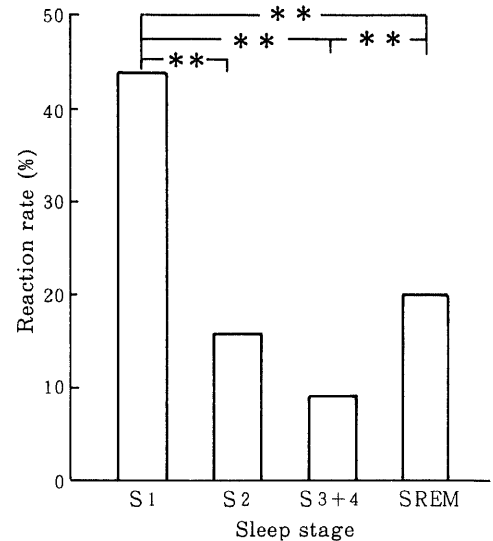


Fig. 3. Reaction rate after exposure to infra- and low frequency sound at each sleep stage. ** $p < 0.01$.

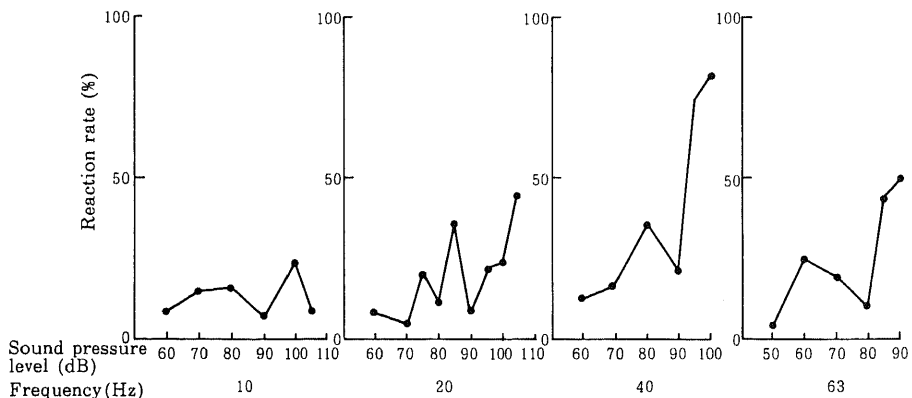


Fig. 4. Reaction rate after exposure to infra- and low frequency sound at each sound pressure level.

Hzによる反応率は50 dBで4.3%, 60 dBで25.0%, 70 dBで19.4%, 80 dBで10.5%, 85 dBで44.4%, 90 dBで50.0%であった。

IV. 低周波空気振動暴露の睡眠率, 睡眠段階移行回数および睡眠段階別出現率への影響

低周波空気振動暴露が一晚の睡眠パターンに及ぼす影響を検討するために, 低周波空気振動暴露による睡眠率, 睡眠段階移行回数および睡眠段階別出現率の変化を検討した。実験1での成績を図5~7に示した。その結果, 低周波空気振動に暴露した実験第3~5夜の睡眠率(図5), 睡眠段階移行回数(図6), 睡眠段階別出現率(図7)のいずれについても対照夜(実験第2夜)と有意な差は認められなかった。実験2についても, 図に示さなかったが, これらの3つの指標はいずれも, 低周波空気振動に暴露した第3~6夜と対照夜の間で特記すべき差はみられなかった。

考 察

近年, 低周波空気振動によると考えられる頭痛, 不眠, イライラ等の苦情が各地で訴えられており, 問題化している¹⁾。これらの苦情のうち, 睡眠妨害に関して, 池田ら⁷⁾は西名阪自動車道高架橋により発生する低周波空気振動の健康影響について調査し, 大型車走行量の多い日には一睡もできない被験者がいたと報告している。永井⁸⁾も同地区で睡眠妨害の調査を行い, この地区で発生していた低周波空気振動が人びとに感じ

られることは少く, 睡眠妨害を直接ひきおこすとは考えられないとしている。いずれにせよ, 騒音による睡眠影響に関する研究報告は多数あるにもかかわらず^{9)~14)}, 低周波空気振動による睡眠影響に関する詳細な実験的検討はほとんどないといつてよい現状にある。そこで, 今回, 著者は低周波空気振動の睡眠への影響を解明するための実験的研究の一環として, 10, 20, 40 および 63 Hz の低周波空気振動を健常大学生を種々の音圧で暴露した際の睡眠影響を検討した。

本研究では対照夜を設定するために実験第1夜と2夜には低周波空気振動に暴露せずポリソムノグラフィを記録した。Agnewら¹⁵⁾は43名の正常被験者を用いて4日間の終夜睡眠ポリソムノグラフィを記録し, 実験第1日と2日目以後の成績を比較し, 第1日では覚醒(SW)とS1が有意に長く, SREMが有意に短い, 睡眠段階移行頻度が多い等の特徴があり, また2日目と4日目の成績の間には統計学的に有意差がみとめられなかったとしている。この成績から彼らは睡眠研究においては不眠傾向(初夜効果)のみられる第1夜の成績を用いないことを提唱している。本研究でも実験1の被験者では, 実験第1夜と第2夜における睡眠段階別出現率を比較してみると第2夜に比べ第1夜では, SWの出現率が有意差はないものの約2倍となっ

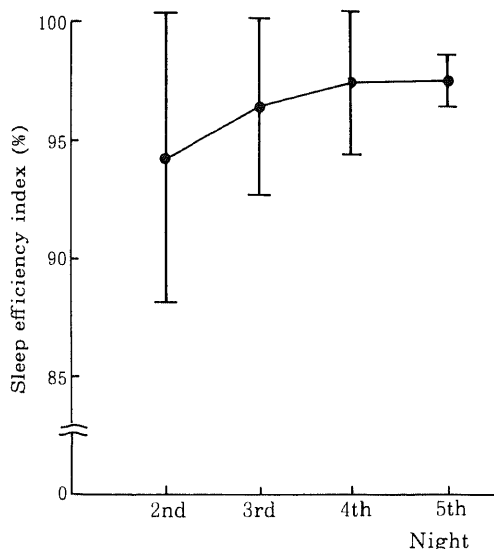


Fig. 5. Effects of infra- and low frequency sound on the sleep efficiency index in the experiment 1. The 2nd night indicates a control night. Each value represents the mean \pm S.D.

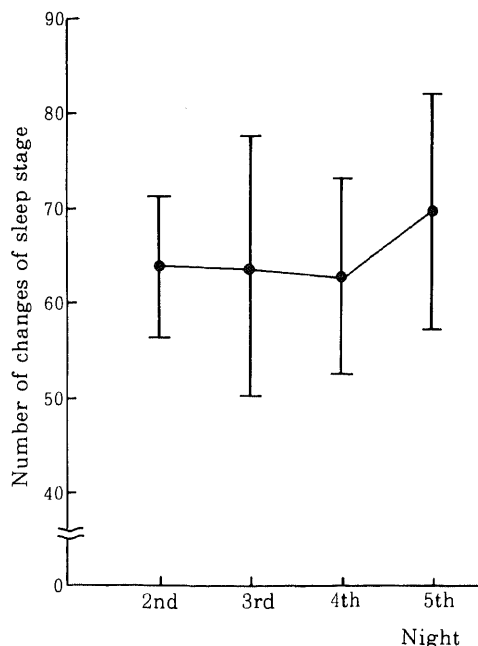


Fig. 6. Effects of infra- and low frequency sound on the changes of sleep stage in the experiment 1. The 2nd night indicates a control night. Each value represents the mean \pm S.D.

ていた。また、第1夜では深睡眠のS3±4およびS4の出現率は、第2夜より低い傾向が観察された(表1)。実験2の被験者ではSREMの出現率が第1夜で第2夜より有意に低かった。これらの結果は実験第1夜における各被験者の睡眠が十分でなかったことを示唆している。そこで、本研究でも、Agnewら¹⁹⁾の原則に従い実験第2夜を低周波空気振動の睡眠影響を検討するための対照夜とした。

本研究では、20分間隔で30秒ずつ低周波空気振動に暴露するという実験条件を設定した。しかし、この実験設定では、暴露音がいずれかの睡眠段階に片寄って挿入された可能性がある。そこで、低周波空気振動暴露夜の睡眠段階別出現率と各睡眠段階への暴露音の挿入率とを比較したところ、実験1, 2のいずれの場合も、両者はほぼ一致した割合であることが判明した。この結果は、暴露音の挿入がある睡眠段階に片寄っていないことを示唆している。したがって、被験者を20分間隔で低周波空気振動に暴露するという今回の実験条件は適切なものであったといえる。

本研究では、10, 20, 40 および 63 Hz の低周波空気振動に50~105 dBで暴露したが、暴露した音の周波数および音圧を無視して、各睡眠段階での、暴露音に対する反応率を検討したところ、Non REM睡眠においてはS1で反応率が43.8%と最も高く、S2, S3+4の順で反応率が低くなっていた(図3)。この結果は睡眠が浅い程、反応率が高いことを示している。井奈波ら¹⁶⁾は25 Hz~1600 Hzの周波数域(音圧のピークが25

Hz)をもつ交通騒音に40~60 dBで暴露し、反応率を本研究と同様の方法で検討している。それによると、S1では50%以上、S3+4で20%以上の反応率であった。本研究では、井奈波ら¹⁶⁾の報告よりかなり高い音圧レベルで低周波空気振動に暴露しているにもかかわらず、反応率がこれらの値より低かった。したがって、低周波空気振動の睡眠への影響は可聴域音より小さいといえよう。

本研究では、10, 20, 40, 63 Hzの周波数で音圧レベルを変化させた際の反応率も検討した。これは反応率によって、周波数ごとの睡眠への影響の発現閾値を検討することを目的としている。反応率によって、睡眠への影響の発現閾値を評価するためには、何%以上の反応率をもって、閾値とするかが問題となる。ここでは、仮りに始めて50%以上の反応があった音圧レベルをその周波数による睡眠への影響の発現閾値と考えた場合を想定してみる。この判定を基準とすれば10および20 Hzに関しては共に本研究の条件内では反応率は50%未満にとどまったので(図4)、本研究の結果からは閾値を評価することはできない。しかし、40 Hzでは閾値が95 dB、63 Hzの閾値は90 dBと設定することが可能であった(図4)。また、105 dBでの反応率に関しては、20 Hzでの反応率が10 Hzより高く、45.5%であったことから、20 Hzの閾値が10 Hzの閾値より低い音圧であると推定できる。したがって、本研究の結果は、10~63 Hzでは周波数が高い程、閾値となる音圧レベルが低いことを示している。低周波空気振動の

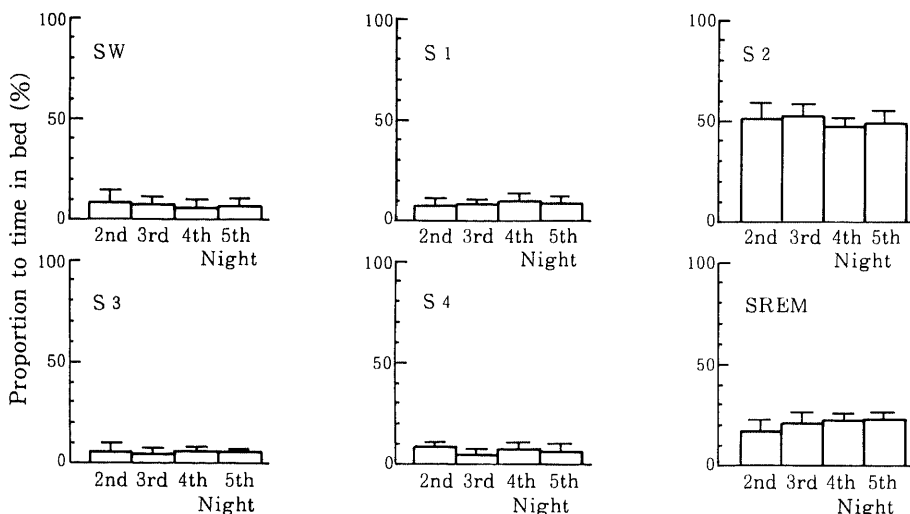


Fig. 7. Changes of the proportion of each sleep stage to time in bed induced by the exposure to infra- and low frequency sound in the experiment 1. The 2nd night indicates a control night. Each value represents the mean \pm S.D.

感知レベルに関しても、睡眠への影響の発現閾値と同様周波数が高い程、低くなる事が報告されていることは¹⁷⁻¹⁹⁾、低周波空気振動の睡眠への影響の発現機序を考える際にも参考となろう。また、これらの報告による50%感知レベルは、本研究の睡眠への影響の発現閾値より、かなり低くなっていることは、注目に値する。この点に関して、時田¹⁹⁾も一般に言われている低周波音妨害レベルと知覚閾値とでは大きな差があることを知っておかねばならないとのべていることは興味深い。

低周波空気振動の睡眠への影響を評価する際、低周波空気振動暴露による反応率を観察するだけでなく、低周波空気振動暴露によって一晩の睡眠のパターンが変化するかどうかを検討することも重要である。この方法は騒音の睡眠への影響をみた報告にもしばしば用いられている¹⁹⁻²¹⁾。本研究では、睡眠のパターンを示す指標として、睡眠率、睡眠段階移行回数および睡眠段階別出現率を用いた。その結果、20分ごとに30秒ずつ低周波空気振動に暴露しても、睡眠率、睡眠段階移行回数、睡眠段階別出現率は、対照夜と暴露夜でいずれについても有意な差は観察されず(図5~7)、低周波空気振動の睡眠への直接の影響は小さいことが示唆された。この点に関しては、Fecciら²⁰⁾は低周波音を暴露すると睡眠率が上昇したと報告している。この報告は低周波音は睡眠にとってかえって効果的であることを示唆しており興味深い。また、永井⁸⁾も、前述のごとく、高速道路周辺の健康実態調査を行い、低周波空気振動による睡眠妨害の発生機序に関して、低周波空気振動の直接作用によるというより、むしろ低周波空気振動による建物のゆれやがたつき、すなわちこれによって発生する騒音が重要で、これが睡眠妨害をもたらすのではないかと推定しているが、本研究の成績は、実験的にこの仮説を裏づけたものと理解することもできよう。

さて、本研究では被験者として男子大学生を用いた。低周波空気振動に対する感受性には大きな個人差があり、中年の女性で特に敏感な者が多いという報告があり²¹⁾、睡眠影響にも性差および年齢を考慮する必要がある。また、低周波空気振動の暴露間隔を本研究よりさらに短くすれば、睡眠パターンが変化する可能性が残される。したがって、低周波空気振動の睡眠への影響については、これらの点を考慮して、さらに追究されることが期待される。

結 論

低周波空気振動の睡眠への影響を実験的に明らかにする目的で、健常男子学生を低周波音実験室に寝かせ、

各種の音圧レベルで10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 63 Hzの低周波空気振動に20分間隔で1回につき30秒間暴露した際の睡眠影響を検討し、以下の結果を得た。なお、実験第1夜では、初夜効果と考えられる不眠が認められたので実験第2夜を対照夜とした。

1. 低周波空気振動の暴露夜において、暴露音は各種睡眠段階の出現率とほぼ一致した割合で各睡眠段階に挿入されていたことから、被験者を20分間隔で低周波空気振動に暴露した今回の実験条件は適切であったと考えられる。

2. 低周波空気振動の暴露中30秒間を含めた1分間の低周波空気振動への反応率は、Non REM睡眠においてはS1で43.8%と最も高く、睡眠が深くなるに従い低下していた。REM睡眠での反応率は19.8%でS2とほぼ同様の反応率であった。

3. 低周波空気振動の暴露中30秒間を含めた1分間の低周波空気振動への反応率が50%以上となる音圧レベルをその周波数の低周波空気振動による睡眠への影響の発現閾値と考えた場合、10および20 Hzに関しては評価することができなかった。しかし、40 Hzでは閾値が95 dB、63 Hzの閾値は90 dBと設定することができた。

4. 低周波空気振動に暴露しても、睡眠パターンの指標となる睡眠率、睡眠段階移行回数、睡眠段階別出現率に特記すべき変化は認められなかった。

以上の結果より本研究の条件下では低周波空気振動の睡眠への直接の影響は小さいことが示唆された。

謝 辞

稿を終るにあたり、御指導、御校閲を頂きました恩師岡田晃教授に深甚なる謝意を表します。また、終始御指導いただきました財団法人東京都精神医学総合研究所精神薬理研究室、諸治隆嗣博士、本学、井奈波良一博士に深く感謝の意を表します。

本研究は、一部、昭和61年度文部省科学研究費補助金(課題番号 61480168)により行われた。

文 献

- 1) 時田保夫：低周波音公害問題をめぐって。日音学会誌，35(7)，395-401 (1979)。
- 2) 岡田 晃：低周波音障害。医科学大事典，33巻115頁，講談社，東京，1983。
- 3) 岡田 晃：低周波空気振動。産業保健 I，561-563頁，篠原出版，東京，1986。
- 4) 時田保夫：低周波音における課題。騒音制御，8(3)，111-112 (1984)。
- 5) Rechtschaffen, A. & Kales, A.: A Manual of

- Standardized Terminology, Technique and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. NIH Publication. No. 204, Public Health Service, US Government Printing Office, Washington DC, 1968.
- 6) Williams, R. L., Karacan, I. & Hirsch, C. J. : Electroencephalography (EEG) of Human Sleep; Clinical Applications. John Wiley and Sons Inc., New York, 1974.
- 7) 池田和子, 荒地秀明, 山下晶子, 山下節義, 山本信弘: 西名阪自動車道路橋より発生する低周波空気振動の健康に対する影響について (その2), 日衛誌, 36, 162 (1981).
- 8) 永井尚子: 超低周波音を含む低周波騒音による人体影響の発現機序をめぐって, 第1報. 調査研究からの検討. 和歌山医学, 35, 243-253 (1984).
- 9) Osada, Y., Tsunashima, K., Yoshida, K., Asano, M., Hirakawa, A., Nakamura, K. & Haruta, K. : Sleep impairment caused by short time exposure to continuous and intermittent noise. Bull. Inst. Publ. Health, 18, 1-9 (1969).
- 10) 長田泰公, 網島清三, 吉田敏一, 小川庄吉, 大久保千代次: 列車および航空機騒音の睡眠への影響. 公衆衛生院研究報告, 21, 133-138 (1972).
- 11) Scott, T. D. : The effects of continuous, high intensity white noise on the human sleep cycle. Psychophysiology, 9, 227-232 (1972).
- 12) Townsend, R. E., Johnson, L. C. & Muzet, A. : Effects of long term exposure to tone pulse noise on human sleep. Psychophysiology, 10, 369-376 (1973).
- 13) Thiessen, G. J. & Lapointe, A. C. : Effect of continuous traffic noise on percentage of deep sleep, waking, and sleep latency. J. Acoust. Soc. Am., 73, 225-229 (1983).
- 14) Wilkinson, R. T. & Campbell, K. B. : Effects of traffic noise on quality of sleep: Assessment by EEG, subjective report, or performance the next day. J. Acoust. Soc. Am., 75, 468-475 (1984).
- 15) Agnew, H. W. J., Webb, W. B. & Williams, R. L. : The first night effect: An EEG study of sleep. Psychophysiology, 2, 263-266 (1966).
- 16) 井奈波良一, 樋口亮一, 安齊 勲: 交通騒音と低周波音の睡眠に及ぼす影響の比較. 日衛誌, 41, 247 (1986).
- 17) Yeowart, N. S., Bryan, M. E. & Tempest, W. : The manual M. A. P. threshold of hearing at frequencies from 1.5 to 100 c/s. J. Sound Vib., 6, 335-342 (1967).
- 18) Johnson, D. L. : Auditory and physiological effects of infrasound. Inter-Noise 75, Sendai, 475-482 (1975).
- 19) Tsunekawa, S., Kajikawa, Y., Nohara, S., Ariizumi, M. & Okada, A. : Study on the perceptible level for infrasound. J. Sound Vib., 112, 15-22 (1987).
- 20) Fecci, R., Barthélemy, R., Bourgoin, J., Mathias, H., Eberle, A., Mountel, A., & Julien, G. : The action of infrasounds on the body. Medicina del Lavoro, 62, 130-150 (1971).
- 21) 武田真太郎: 低周波騒音の現状と健康障害. 公衆衛生, 46, 446-451 (1982).

Study on the Effects of Infra- and Low Frequency Sound on Sleep Yutaka Komoriya, Department of Public Health, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. J. J. Med. Soc., 96, 439—447 (1987)

Key words : infra- and low frequency sound, sleep, EEG

Abstract

This study was performed to investigate the effects of infra- and low frequency sound on sleep. Healthy students were exposed to four kinds of sounds with frequencies of 10, 20, 40 and 63Hz at various sound pressure levels for 30 seconds per 20 minutes through their sleep. In this study, the 2nd night was used as the control night, because on the 1st night, sleep disturbance considered to

be "First night effect" was observed in the subjects. In non-REM sleep, the reaction rate was the highest in sleep stage 1 (S1) and the lowest in sleep stage 3+4 (S3+4). The reaction rate in REM (SREM) was almost the same as that in sleep stage 2 (S2). In this experiment, the sound pressure level which causes the reactions over 50% for the first time was used as the threshold level signifying the occurrence of sleep disturbance. The threshold levels of 10 and 20 Hz could not be evaluated. The threshold levels of 40 and 63 Hz were 95 and 90 dB respectively. The sleep efficiency index, the numbers of changes of sleep stage or the proportion of each sleep stage to time in bed were not affected by the exposure to infra- and low frequency sound. These results suggest (a) the lighter the sleep, the more affected by the exposure to infra- and low frequency sound it is. (b) So far as the present experimental conditions are concerned, the pattern of sleep is little affected by the exposure to infra- and low frequency sound.