金沢大学十全医学会雑誌 第96巻 第3号 510−519 (1987)

低周波音および可聴音の睡眠への影響の比較

金沢大学医学部公衆衛生学講座(主任:岡田 晃教授)
入 江 哲
(昭和62年3月18日受付)

低周波音の睡眠への影響を明らかにする目的で,周波数は 10〜20 Hz, 10〜40 Hz および 10〜80 Hz の帯域,音圧は 50, 60, および 70 dB の組合せによる低周波音に健常男子大学生を暴露し,その際の睡眠脳波を記録した.さらに,低周波数域に音圧レベルのピークのある模擬交通騒音に L_{50} で 40, 50 および 60 dB(したがって低周波音と可聴音との複合効果)にて同じ被験者を暴露した.3種の帯域低周波音に暴露しても,各睡眠段階での反応の発生率はいずれの睡眠段階においても,各低周波音間で有意差はなかった.反応の発生率は一般に睡眠段階1(S1)で最も高く,睡眠段階3+4(S3+4)で最も低かった.最終暴露夜においてのみ,S1の全就床時間に占める割合は,対照夜に比べ有意に増加した.しかし,睡眠率および睡眠段階移行回数は,帯域低周波音の暴露の影響を受けなかった.これらの結果は(a)帯域低周波音の影響は音圧が 70 dB 以下の場合には,他の帯域よりも 10〜20 Hz 帯域で顕著であること,(b)睡眠が浅い程,低周波音暴露の影響を受けること,(c)帯域低周波音暴露の影響は一過性で,睡眠パターンはほとんど影響を受けないことを示唆している.一方,交通騒音に暴露した場合には,いずれの睡眠段階でも 60 dB で最も大きな影響を受け,40 dB で最も影響は小さかった.しかし,S1の場合には,40 dB の暴露に対しても,反応の発生率は51%に達した.40 dB 以外では,反応の発生率はS1で最も高く,レム睡眠時(SREM)に最も低かった.睡眠率の低下および睡眠段階移行回数の増加は観察されなかった.これに対し,全就床時間に占める S3+4 の割合は模擬交通騒音の暴露初日に対照夜より有意に低下した.これらの結果は,(a)睡眠が浅い程,交通騒音暴露の影響が大きいこと,(b)交通騒音暴露の影響は一過性のものとはいえず,睡眠パターンにかなりの影響を与えることを示唆している.

Key words infrasound and low frequency sound, audible sound, sleep disturbance, electroencephalography

近年,わが国では騒音,振動のほかに低周波音によると思われる頭痛,めまい,睡眠妨害をはじめとした精神心理的あるいは身体的な種々の愁訴が表面化し注目を集めている.低周波音の人体への影響は,最初は工場,火力発電所の周辺で問題にされていたが,最近では新幹線のトンネル,高速道路高架橋周辺でも低周波音による苦情が訴えられている[1].しかし,これらの苦情と低周波音との間にはっきりとした因果関係が成立するか否かについては未だ確定されていない現状にある.したがって,低周波音の生体への影響を実験的に検討し,明らかにしていくことが必要と思われる.

一方,騒音の人体への影響のうち睡眠に対する影響に関しては多くの報告[2)~5)]がなされている.しかし,特に低周波数域の睡眠への影響についてはなお解明すべき点も少なくない.そこで,今回,著者は低周波音の睡眠への影響を明らかにする研究の一環として,特に低周波数域に焦点をあて低周波数域に主勢力をもつ模擬交通騒音に健常男子大学生を暴露した際の睡眠への影響と低周波音に健常男子大学生を暴露した際の睡眠への影響を比較することにより低周波音の睡眠への影響を明らかにすることを試みたのでここに報告する.

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 18〜23 歳(平均 21.7 歳)の健常男子大

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

学生計12名である．各実験6名を対象とし，2種類の実験を行なった．被験者には実験期間中，日中の過激な運動，飲酒，昼寝等を禁止し，また，濃いコーヒー等は控えるように指示した以外は，平常の生活をさせた．

II．方　法

1．実験方法

実験は小林理学研究所の低周波音実験室（2.1×2.8×2.2 m）にて行ない，天井に配置した16個の低音用30 cm スピーカーから低周波音および模擬道路交通騒音を発生させた．実験では2人を1組として音に暴露し，睡眠ポリグラフ（1．脳波－国際脳波学会標準電極配置法[6]によるC_3またはC_4とO_1の単極誘導；2．頤筋表面筋電図；3．眼球運動；4．心電図）のほか実験室内音，暴露音などを記録した．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ーに一括して接続し，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．実験時間は午後10時より翌朝6時30分までの510分間とし，測定中は空調により室温を23±1℃に維持した．

本研究では2種類の暴露実験を行った．実験1は実験第1，2夜をのぞく第3～5夜に10～20 Hz, 10～40 Hzおよび10～80 Hzの3種類の帯域低周波音（各帯域低周波音のスペクトルレベルは一定）に50，60および70 dBの音圧レベルでランダムに午後10時20分より20分間隔で30秒ずつ暴露した際の睡眠への影響を観察した．実験2は実験第1，2夜をのぞく第3～6夜に周波数帯域25 Hz～1.6 KHzの道路交通騒音の模擬音（1/3オクターブバンド分析で1/3オクターブ中心周波数で25 Hzに最大音圧をもち，周波数の増大とともに音圧がほぼ直線的に低下している）に40 dB（図1），50 dB（40 dBの音を全域10 dB増幅）および60 dB（40 dBの音を全域20 dB増幅）の3種類の音圧レベル（L_{50}での音圧レベル）でランダムに午後10時20分より20分間隔で30秒ずつ暴露した際の睡眠への影響を観察した．実験2では実験1とは異なり，入眠時の睡眠段階1（S1）でその日の第1回目の暴露を行った．本研究で用いた道路交通騒音の模擬音は高架道路際の家屋内で得られた現場調査結果を基に，雑音発生器（リオン株式会社製，SF-05）を音源に用いて作成し，現場の分析結果にあわせるために，グラフィック・イコライザー（松下電器株式会社製，SH-8065）により1/3オクターブバンドごとに実験室内の音圧レベルを補正したものである．

なお，Agnewら[7]の原則に従い実験第2夜を対照夜とした．

2．データ整理

データの整理は以下のごとく行った．

1）睡眠段階の判定

RechtschaffenとKalesの判定基準[6]に準じて判定し，1区画1分間の3分の2以上を占める睡眠段階をもってその区画の睡眠段階とした．

2）体動と判定

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[8]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

刺激音暴露中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分間のレム睡眠がノンレム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露中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

結果は平均値±標準誤差で示した．また，有意差検定にはt検定またはχ^2検定を用いた．

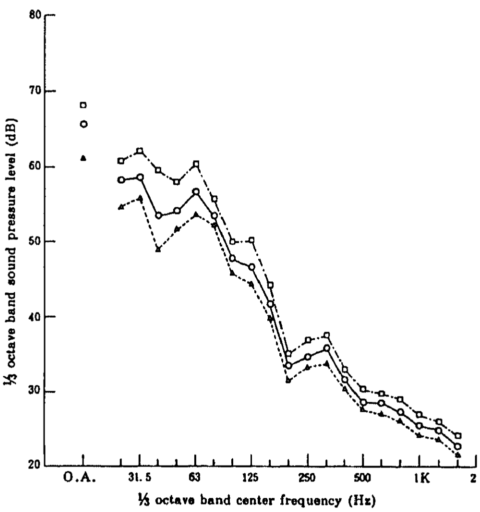

Fig. 1. Frequency analysis of the synthesized traffic noise in case of 40 dB (L_{50}). □-·-□, L_5; ○—○, L_{50}; △---△, L_{95}.

成 績

I．低周波音の睡眠への影響

1．各睡眠段階における各種帯域低周波音に対する反応の発生率（陽性率）への周波数帯域の影響

図2に各種帯域の低周波音に50，60，70 dBの音圧で暴露した際の各睡眠段階での反応の発生率を一括し，反応の発生率への周波数帯域の影響を比較して示した．各睡眠段階での反応の発生率はいずれの睡眠段階においても，10～20 Hz, 10～40 Hz, 10～80 Hzの各帯域間で有意差は認められなかった．また，10～20 Hzおよび10～80 Hzの帯域低周波音ではS1で最も反応の発生率が高く，SREM, S2の順で低下し，S3+4で最も低かった．しかし，いずれの反応の発生率も30%以下であった．これに対し，10～40 Hzの帯域低周波音では，SREMで最も反応の発生率が高く，S3+4，S2，S1の順で反応の発生率は低くなっている．

2．各睡眠段階における各種帯域低周波音暴露に対する反応の発生率（陽性率）への音圧の影響

図3に各種帯域低周波音に対する反応の発生率を音圧別に示した．10～20 Hzおよび10～80 Hzの各帯域低周波音では50，60，70 dBの音圧間で反応の発生率には差がなかった．しかし，10～40 Hzの低周波音に対する反応の発生率はそれぞれ50 dBで2%，60 dBで15%，70 dBで22%という結果が得られた．60 dBおよび70 dBでの反応の発生率は50 dBでのそれよりも有意に高かった（$p<0.01$）が，60 dBと70 dBの反応の発生率の間には有意差はなかった．また，それぞれの音圧で周波数域との関係を検討するといずれの音圧レベルにおいても3つの帯域低周波音間の反応の発生率には有意差はみられなかった．

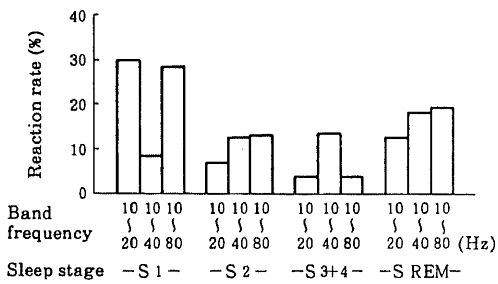

Fig. 2. Reaction rate after exposure to infrasound and low frequency sound with several band frequencies at each sleep stage. Reaction to infrasound and low frequency sound means (a) change to a lighter sleep stage in case of non-REM sleep, (b) change to non-REM sleep from REM sleep, (c) occurrence of body movement.

3．各種帯域低周波音暴露が各夜の睡眠に及ぼす影響

図4に対照夜の第2夜から実験が終了した第5夜までの睡眠率の経過を示した．各種帯域低周波音を暴露した第3～4夜の睡眠率はいずれも99%以上であったが，対照夜の睡眠率との間には有意差は認められなかった．図5に第2夜から第5夜における睡眠段階移行回数を示した．睡眠段階移行回数も睡眠率と同様に

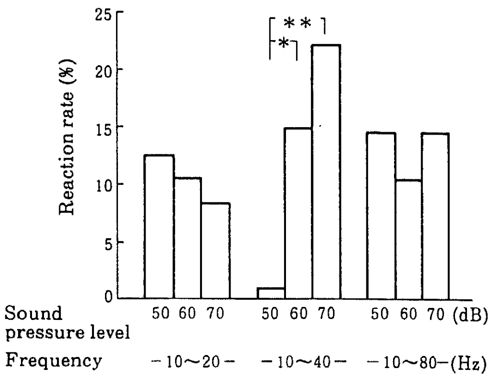

Fig. 3. Reaction rate after exposure to infrasound and low frequency sound with several band frequencies at each sound pressure level. Reaction to infrasound and low frequency sound means (a) change to a lighter sleep stage in case of non-REM sleep, (b) change to non-REM sleep from REM sleep, (c) occurrence of body movement. *, $p<0.05$, **, $p<0.01$.

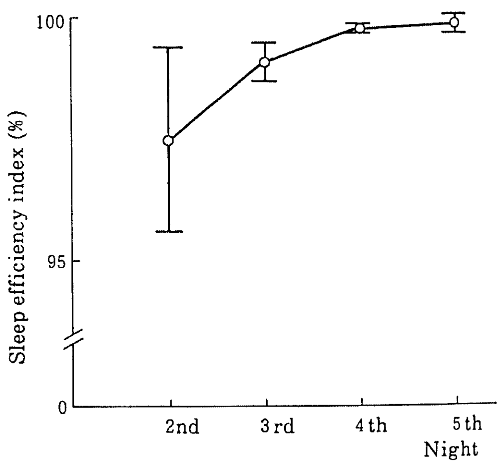

Fig. 4. Effects of exposure to infrasound and low frequency sound with several band frequencies on the sleep efficiency index (Total sleep time/Sleep period time). Sound stimulus was delivered in the 3rd, 4th and 5th night, but not in the 2nd night. Each value represents the mean±SEM.

対照夜と暴露夜との間には有意差が認められなかったが，暴露夜ではバラツキが多少増加していた．図6に第2夜から第5夜までの各実験夜における睡眠段階別出現率を示した．暴露夜の第3～5夜における SW, S2, S3+4 の各睡眠段階の出現率は対照夜の第2夜との間に差は認められなかったが，S1 の出現率は第5夜で 7.5±1.0%を示し，対照夜の 4.4±0.7%に比し有意に増加した（$p<0.05$）．

II．模擬道路交通騒音の睡眠への影響

1．入眠時の睡眠段階1（S1）での模擬道路交通騒音の暴露の影響

表1に入眠時における S1 での騒音暴露に対する睡眠段階の変化の出現率を示した．25 Hz～1.6 KHz, 音圧 40 dB の刺激に対して 33%が完全に覚醒し，50%が一過性に覚醒し，また 17%のみ S2 に移行した．50 dB では 50%が完全覚醒し，残りの 50%は一過性の覚醒を示した．また，音圧 60 dB の負荷では，100%が完全覚醒した．

2．各睡眠段階における模擬道路交通騒音に対する反応の発生率（陽性率）への音圧の影響

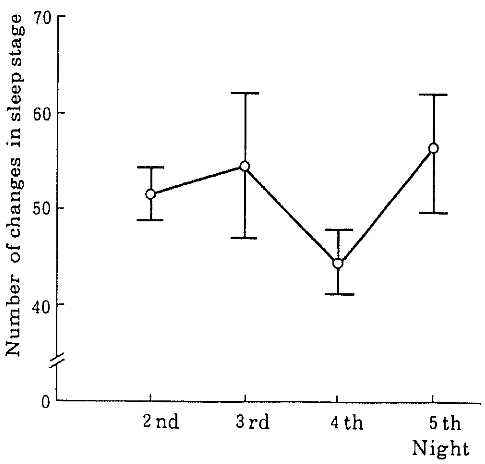

Fig. 5. Effects of exposure to infrasund and low frequency sound with several band frequencies on the changes in the sleep stage. Sound stimulus was delivered in the 3 rd, 4 th and 5 th night, but not in the 2 nd night. Each value represents the mean±SEM.

Fig. 6. Changes of the proportion of each sleep stage to time in bed induced by the exposure to infrasound and low frequency sound with several band frequencies. Sound stimulus was delivered in the 3 rd, 4 th and 5 th night, but not in the 2 nd night. Each value represents the mean± SEM. *, $p<0.05$, compared with the 2 nd night.

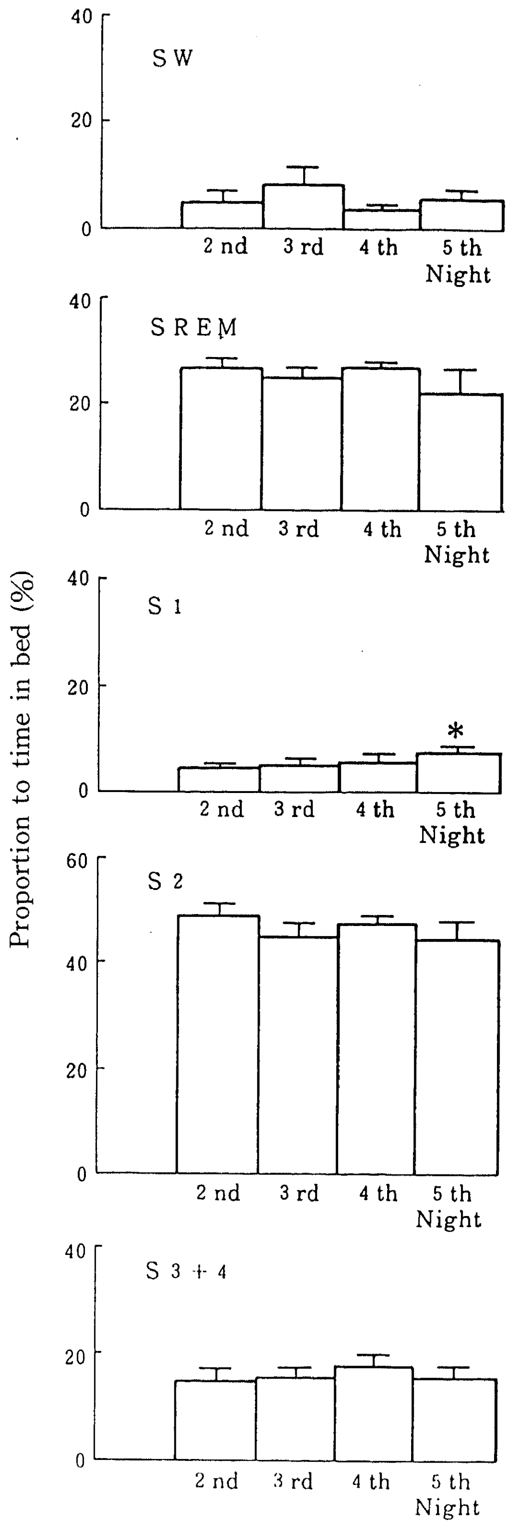

Fig. 6.

各睡眠段階ごとの模擬騒音各音圧別の反応の発生率を図7に示した．S1では周波数帯域25 Hz～1.6 KHz，音圧40 dBで刺激した時の反応の発生率は51%，50 dBに対して79%，60 dBに対して92%の反応の発生率であったが，各音圧間で有意差はみられなかった．S2では40 dBで9%，50 dBで31%，60 dBで51%の反応の発生率を示し，50 dB, 60 dBでの反応の発生率は40 dBより有意に高く（$p<0.05$または$p<0.01$），また，60 dBでの反応の発生率は50 dBより有意に高かった（$p<0.05$）．S3+4では40 dBに対して20%，50 dBでは25%，60 dBでは43%の反応の発生率を示したが，各音圧間には有意差はなかった．また，SREMでは40 dBにおいて12%，50 dBでは14%，60 dBで32%の反応の発生率が得られたが，各音圧間に有意差はなかった．また，この25 Hz～1.6 KHzの模擬道路交通騒音による結果ではS1で最も反応の発生率が高いこと，ならびにいずれの睡眠段階においても音圧レベルが高い程よく反応することが示されている．

Table 1. Frequency of awakening after exposure to synthesized traffic noise at the first sleep stage 1

	Complete awake	Transient awake
60 dB	100	0
50 dB	50	50
40 dB	33	50

(%)

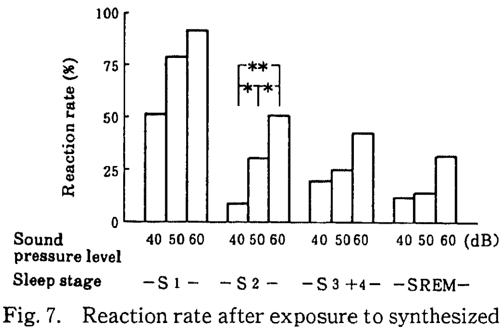

Fig. 7. Reaction rate after exposure to synthesized traffic noise at each sleep stage. Reaction to synthesized traffic noise means (a) change to a lighter sleep stage in case of non-REM sleep, (b) change to non-REM sleep from REM sleep, (c) occurrence of body movement. *, $p<0.05$, **, $p<0.01$

3．模擬道路交通騒音の暴露が各夜の睡眠に及ぼす影響

図8に対照夜の第2夜および騒音を暴露した第3～6夜における睡眠率を示した．騒音を暴露した第3～6夜の睡眠率はいずれも90%以上を示し，しかも対照夜の睡眠率との間には有意差はなかった．図9に第2～6夜までの睡眠段階移行回数の推移を示した．この睡眠段階移行回数は少い程安定した睡眠状態を示す

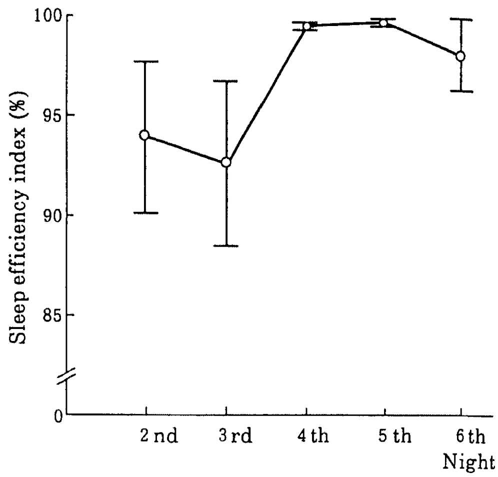

Fig. 8. Effects of exposure to synthesized traffic noise on the sleep efficiency index (Total sleep time/Sleep period time). Sound stimulas was delivered in the 3rd, 4th, 5th and 6th night, but not in the 2nd night. Each value represents the mean±SEM.

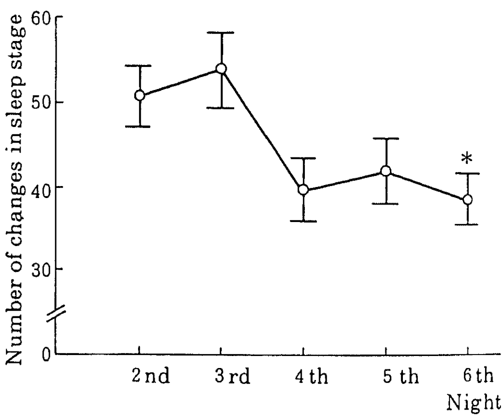

Fig. 9. Effects of exposure to synthesized traffic noise on the changes in sleep stage. Sound stimulus was delivered in the 3rd, 4th, 5th and 6th night, but not in the 2nd night. Each value represents the mean±SEM. *, $p<0.05$, compared with the 2nd night.

指標である．睡眠段階移行回数は暴露初日の第3夜で増加する傾向がみられたが，対照夜（50.7±3.6回）である第2夜との間に有意差はなかった．また，第4～6夜では逆に減少し，第6夜（38.7±3.1回）では対照夜より有意に減少した． 図10に第2～6夜までの各実験夜における睡眠段階別出現率を示した．SW, S1, S2の出現率では，実験第3～6夜と対照夜との間には有意な差はなかった．しかも，SWの出現率は第4～6夜で低値であった．しかし，S3+4の出現率は第4～6夜では対照夜（14.4±1.0%）の第2夜との間に有意差はなかったが，第3夜（11.6±0.4%）では対照夜に比し有意に減少していた（$p<0.05$）．また，SREMの出現率は第6夜（27.2±1.7%）において対照夜（19.6±2.7%）よりも有意に高かった（$p<0.05$）．

考　　察

一般に，ヒトが音として感じる周波数はおよそ20～20000 Hzの範囲で，この可聴音より低い20 Hz以下の周波数の場合を超低周波音と呼んでいる[9]．1973年のパリでの定義では超低周波音の周波数として0.1～20 Hzが対象になるとされているが，わが国には明確な取り決めはなく，周波数の下限としては0.1 Hzまたは1 Hz，上限としては20，30，50，63 Hz等を考えるものもある[9]．したがって，今回，著者は80 Hz以下の音を低周波音として取りあつかうこととした．

低周波音は広く自然界にも存在しているが，人為的発生源を時田[1]は以下の4種に分類している．すなわち，1）道路橋などの平板の振動によるもの，2）空気圧縮機などの気流の脈動によるもの，3）大型送風機の翼の旋回失速などの気体の非定常励振によるもの，4）発破などの空気の急激な圧縮によるものの4種である．

さて，近年，前述の道路橋などにおいて発生する低周波音によると考えられる不眠に関する苦情が問題化している[1]．池田ら[10]は西名阪自動車道高架橋より発生する低周波音の健康への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．しかし，低周波音の睡眠への影響に関する詳細な実験的検討はほとんどないといってよい．そこで，今回，著者は低周波音の睡眠への影響の実験的研究の一環として，低周波音のなかでも，どの周波数域が最も睡眠に影響するかを明らかにするため，健常男子大学生を10～20 Hz，10～40 Hzおよび10～80 Hzの帯域低周波音（スペクトルレベルは一定）に50，60および70 dBの音圧で暴露した際の睡眠への影響を検討した．

各種帯域の低周波音に暴露した際の各睡眠段階での

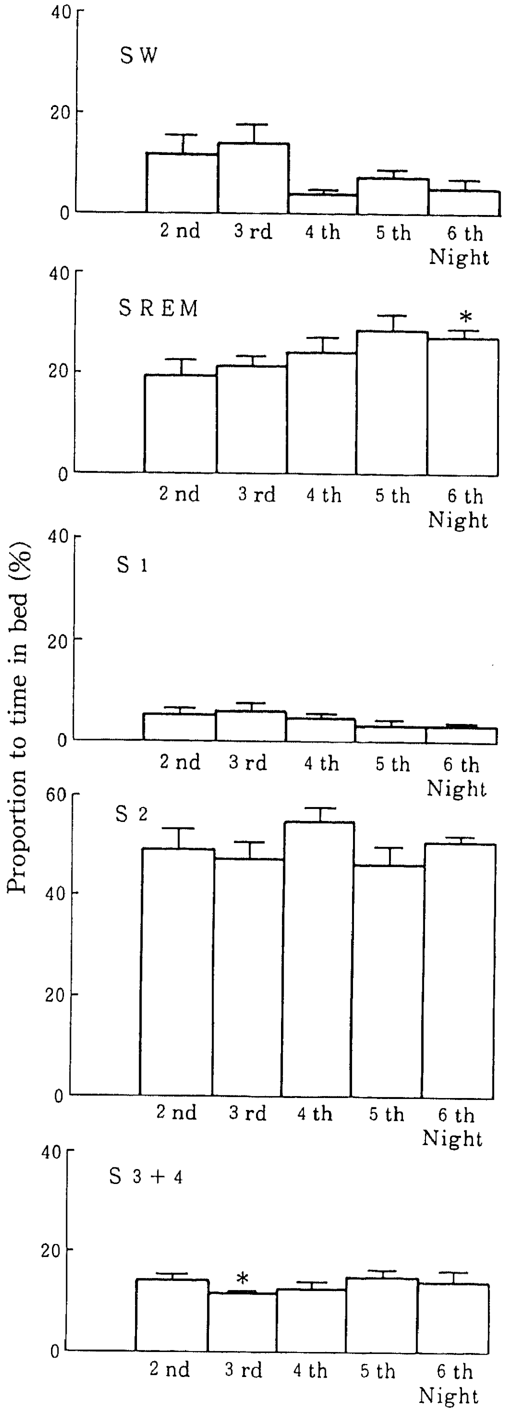

Fig. 10. Changes of the proportion of each sleep stage to time in bed induced by the exposure to synthesized traffic noise. Sound stimulus was delivered in the 3 rd, 4 th, 5 th and 6th night, but not in the 2 nd night. Each value represents the mean±SEM. *, $p<0.05$, compared with the 2 nd night.

反応の発生率を音圧を無視して検討したところ（図2），いずれの睡眠段階においても 10～20 Hz, 10～40 Hz, 10～80 Hz の各帯域の間で反応の発生率に有意差は認められなかった．また，これら3種の帯域低周波音に対する反応の発生率を音圧別に検討しても（図4），いずれの音圧レベルでも，これら3種の帯域低周波音間で反応率に有意差は認められなかった．これらの結果は，50, 60, 70 dB の音圧レベルに限定した場合，3つの帯域低周波音に共通して含まれる 10～20 Hz の周波数域で睡眠への影響が把握され得ることを示している．しかし，さらに高い音圧レベルに暴露した際には異った反応様式をとる可能性も考えられるので，この点について今後，検討をすすめる必要がある．

今回，低周波音の睡眠への影響がどの睡眠段階において最も発現しやすいかについても検討した（図2）が，10～40 Hz の帯域低周波音以外では S1 で最も反応の発生率が高く，S3+4 で最も低かった．この結果より，睡眠が浅い程，低周波音の影響をうけやすい可能性が示された．しかし，S1 での反応の発生率も 30％以下と低かった．また，各帯域低周波音暴露に対する反応の発生率への音圧の影響についても検討した．その結果，10～20 Hz, 10～80 Hz の帯域低周波音では各音圧に対する反応の発生率に各音圧間で有意差がなかったが，10～40 Hz の帯域低周波音の場合には，60 dB, 70 dB での反応の発生率が 50 dB より有意に高く，量・反応の関係が不完全ではあるが成立していた．

低周波音の睡眠への影響を明らかにするためには個々の低周波音に対する反応の発生率だけでなく，一晩の睡眠に及ぼす低周波音の暴露の影響についても検討する必要がある．そこで，一晩の睡眠の良し悪し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ついて検討した．その結果，帯域低周波音に暴露した第3～5夜と対照夜の第2夜で睡眠率と睡眠段階移行回数では対照夜と暴露夜との間に有意差は認められなかった（図4，5）．また，睡眠段階別出現率も第5夜で S1 が対照夜より有意に増加したものの S1, S3＋4，SREM の出現率には変化がなかった（図6）．したがって，今回の帯域低周波音暴露によって生じた睡眠段階の変化は一過性のもので，一晩の睡眠パターンにはそれほど大きな影響を与えなかったとすることができる．

ところで，Fecci ら[11]は，睡眠率は正常時よりも低周波音の作用を受けた時に非常に高いことを観察している．したがって，暴露日数を増加した場合，音圧をさらに強くした場合，暴露間隔を短くした場合には一晩の睡眠パターンも大きく変化する可能性がある．また，低周波音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われている[12]．よって，帯域低周波音の睡眠への影響については，これらの点を含めてさらに検討する必要性が残される．

騒音の生体への影響についてはすでに多数の報告があるが[5]，睡眠への影響に関して，長田らは連続的な工場および道路交通騒音[2][3]，列車および航空機騒音[4]およびトラック通過音[3]を男子大学生に睡眠中聞かせ，脳波の変化から 40 dB でも睡眠妨害が出現すると報告している．しかし，長田らは騒音暴露を実験第1夜より行っており，実験第1夜では初夜効果（first night effect）といわるる不眠傾向がみられるので睡眠実験のデータから除外するという Agnew ら[6]の原則を無視しており，この点で問題が残る．また，騒音の中でも低周波数域に焦点をあて睡眠への影響を検討した報告はない．従って，騒音の睡眠への影響に関してはさらに検討する必要性が認められる．そこで，今回，著者は実験第1夜の脳波のデータは用いず，第2夜を騒音を暴露しない対照夜とし，第3夜より低周波数域に音圧レベルのピークをもつ 25 Hz～1.6 KHz の帯域の模擬道路交通騒音に 20 分間に1回，30 秒間男子大学生を暴露し，騒音の睡眠への影響を検討した．

入眠時の睡眠段階1（S1）で騒音暴露を開始したところ，音圧 40 dB の騒音で 33％，50 dB では 50％，60 dB では 100％完全覚醒した（表1）．この結果は，25 Hz～1.6 KHz の道路交通騒音では，60 dB 以上の音圧の騒音に 30 秒間以上連続暴露されれば明らかな入眠障害をひきおこすこと，および 40 dB でも個人によっては入眠障害をひきおこしかねないことを指摘している．

次に各睡眠段階における騒音暴露に対する反応の発生率を検討したところ（図7），いずれの睡眠段階においても 40 dB, 50 dB, 60 dB の順で反応の発生率が高くなり，騒音の音圧レベルと反応の発生率の間に，量・反応の関係（特に S2 で著明）が成立すること，ならびに，帯域低周波音暴露の場合と同様に睡眠が浅い程よく反応することが明らかにされた．特に S1 では音圧 40 dB によっても 51％と高い反応率を示したが，このことから 40 dB 以下についてもさらに検討する必要があるといえよう．

さて，低周波音および騒音の睡眠への影響を考える際，どちらがより強く睡眠に影響するかを検討することは重要なことである．50, 60, 70 dB の帯域低周波音に暴露した場合の S1 での反応の発生率が 30％以下であったことに比し，交通騒音に対する反応の発生率は 75％以上ではるかに高かった．この結果は睡眠への影響は周波数域 25～80 Hz よりもむしろ 80 Hz 以上で

発現しやすいことを示唆している．

一晩の睡眠に及ぼす騒音の影響を検討したところ，睡眠率および睡眠段階移行回数への影響についての検討結果（図8，9）からは，騒音の暴露夜でも対照夜と同様の安定した睡眠であったことが明らかになった．しかし，睡眠段階別出現率を検討したところ（図10），S3+4の出現率は暴露初日の実験第3夜で有意に減少していた．この結果は，騒音は暴露初日には深睡眠を減少させ，睡眠に影響を及ぼす可能性を示唆している．また，SREMの出現率も暴露最終日の第6夜で対照夜より有意に高かった．Scott[13]は，白色雑音（93± 2 dB）を連続的に終夜与え，レム期は刺激下で減少し，刺激夜の次の夜の非刺激夜で増加し，いわゆる反跳現象を観察している．動物実験でこれと同様の結果を報告している研究者もいる[14][15]．また，Townsendら[16]は，3.5 KHzのパルス音（80，85，90 dB）に長時間暴露しても，レム期は不変であったとし，いずれも，著者の成績とは異なっている．最近，Crickら[17]は次のような仮説を提唱している．すなわち，レム睡眠中の夢の機能は大脳皮質の神経回路網にとって好ましくない記憶を排除することであって，夢をみると脱学習の機能が働いて無意識のうちに記憶の痕跡を消去し，脳内過程を調律しているのではないかという仮説である．今回の著者の成績を，この仮説にもとづいて考えるなら，騒音暴露夜において，すでに騒音による好ましくない記憶に対して脱学習が始まっていたと解釈できよう．また，暴露音の相違によって，結果が異なることも示唆している．したがって，20分に1回という騒音暴露によって生じた睡眠段階の変化は一過性のものといえず，一晩の睡眠パターンに多少とも影響を与えることが明らかになった．

以上の結果は，騒音の環境基準を改定するためには，今後，騒音の音圧レベルをさらに下げて睡眠への影響を検討してゆく必要性があることを指摘している．

結　　論

低周波音および騒音（低周波数域に主勢力）の睡眠への影響を明らかにする目的で各種帯域の低周波音および低周波数域に音圧レベルのピークをもつ25 Hz〜1.6 KHzの帯域の模擬道路交通騒音に種々の音圧で健常男子大学生を20分間隔で30秒間暴露した際の睡眠への影響を検討し以下の結論を得た．

1．健常男子大学生を10〜20 Hz，10〜40 Hz．10〜80 Hzの3種の帯域の低周波音に3種の音圧（50，60，70 dB）で暴露したところ，各睡眠段階での反応の発生率はいずれの睡眠段階においても，3種の低周波音間で有意差を認めなかった．また，10〜40 Hzの帯域の低周波音以外ではS1で最も反応の発生率が高く，S3+4で最も低かった．この結果より，音圧を70 dB以下に限定した場合には，共通している10〜20 Hz帯域で睡眠への影響が把握され得ること，また，睡眠が浅い程，低周波音の影響をうける可能性のあることが明らかになった．

2．健常男子大学生を帯域低周波音に暴露しても，睡眠段階別出現率では最終暴露夜の第5夜のS1が対照夜の第2夜より有意に増加したものの，睡眠率および睡眠段階移行回数では対照夜の第2夜と低周波音に暴露した第3〜5夜の間でいずれも有意差を認めなかった．この結果より，帯域低周波音暴露によって生じた睡眠段階の変化は一過性のもので，一晩の睡眠パターンにはそれほど影響を与えないことがわかった．

3．健常男子大学生を25 Hz〜1.6 KHzの帯域（25 Hzに音圧レベルのピーク）をもつ模擬道路交通騒音に40，50，60 dB（いずれもL_{50}）の音圧で暴露したところ，いずれの睡眠段階でも反応の発生率は60 dBが最高を示し，50 dB, 40 dBの順で低下していた．また，S1では40 dBの負荷に対しても51%の高い反応率を示した．40 dB以外の60 dB, 50 dBで暴露した場合，S1, S2, S3+4, SREMの順で反応の発生率が低下し，睡眠が浅い程，騒音の影響をうけやすいことがわかった．

4．対照夜の第2夜と騒音の暴露夜（第3〜6夜）との比較において騒音暴露に対する睡眠率の低下あるいは睡眠段階移行回数の増加は認めなかった．しかし，睡眠段階別出現率で検討するとS3+4の出現率は，暴露初日の第3夜で対照夜より有意に低下していた．この結果より，騒音の暴露によって生じた睡眠段階の変化は一過性のものとはいえず，一晩の睡眠パターンに多少とも影響を与えることがわかった．

謝　　辞

稿を終えるにあたり，御指導，御校閲を頂いた恩師岡田晃教授に深甚なる謝意を表する，また，終始御指導いただい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する．

本研究は，一部，昭和61度年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**：低周波音公害をめぐって．日本音響学会誌，35, 395-401 (1979).

2）**長田泰公，綱島清三，吉田敬一，浅野牧茂，小川庄吉，広川章子，仲村京子，春田清子**：騒音の睡眠におよぼす影響に関する実験的研究．公衆衛生院研究報

告，17, 208-217 (1968).

3） **長田泰公，綱島清三，吉田敬一，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).

4） **東京都衛生局**：騒音の生体影響に関する研究報告書，p.1-203, 東京都衛生局，東京，1982.

5） **騒音影響研究会編**：騒音の影響－文献抄録集 1，p.1-443 および 2，p.1-319, ナカニシヤ，京都，1980.

6） **Rechtschaffen, A. & Kales, A.**: A Manual of Standardized Terminology, Technique and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. p.1-57, NIH Publication. No. 204, Public Health Service, US Goverment Printing Office, Washington DC, 1968.

7） **Agnew, H. W. J., Webb, W. B. & Williams, R. L.**: The first night effect: An EEG study of sleep. Psychophysiology, **2**, 263-266 (1966).

8） **Williams, R. L., Karacan, I. & Hursch, C. J.**: Electroencepharography (EEG) of Human Sleep; Clinical Applications. p.1-169, John Wiley and Sons Inc., New York, 1974.

9） **岡田　晃**：低周波空気振動．医学のあゆみ，**129**, 1394 (1984).

10） **池田和子，荒地秀明，山下晶子，山下節義，山本信弘**：西名阪自動車道高架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).

11） **Fecci, R., Barthēlemy, 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).

12） **武田真太郎**：低周波騒音の現状と健康被害．公衆衛生，**46**, 446-451 (1982).

13） **Scott, T. D.**: The effects of continuous, high intensity white noise on the human sleep cycle. Psychophysiology, **9**, 227-232 (1972).

14） **Khazan, N. & Sawyer, C.**: Rebound recovery from paradoxical sleep in the rabbit. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., **114**, 536-539 (1963).

15） **Van Twyver, H. B., Levitt, R. A. & Dunn, R. S.**: The effects of high intensity white noise on the sleep pattern of the rat. Psychonomic Science, **7**, 355-356 (1966).

16） **Townsend. R. E., Johonson, L. C. & Muzet, A.**: Effects of long term exposure to tone pulse noise on human sleep. Psychophysiology, **10**, 369-376 (1973).

17） **Crick, F. & Mitchison, G.**: The function of dream sleep. Nature, **304**, 111-114 (1983).

Comparison of the Effects of Infrasound and Low Frequency Sound with those of Audible Sound on Sleep Satoru Irie, Department of Public Health, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920－J. Juzen Med. Soc., **96**, 510－519 (1987)

Key words: infrasound and low frequency sound, audible sound, sleep disturbance, electroencephalography

Abstract

This study was performed to evaluate the effects of infrasound and low frequency sound on sleep. Healthy students were exposed to sounds which consisted of 10～20 Hz, 10～40 Hz and 10～80 Hz at sound pressure levels of 50, 60 and 70 dB, and an electroencephalogram was recorded throughout their sleep. In addition, the same subjects were exposed to synthesized traffic noise with peak sound pressure level in low frequency range (combination of low and audible frequency) at 40, 50 and 60 dB (L_{50}). There were no significant differences among the three types of infrasound and low frequency sound with band frequency in the reaction rate at each sleep stage. In general, the reaction rate was the highest at sleep stage 1 (S1) and the lowest at sleep stage 3+4 (S3+4). Only on the last experimental night, the proportion of S1 to time in bed was significantly increased compared to the control night. However, the sleep efficiency index and the

numbers of changes in sleep stage were not affected by the exposure to sound used in this experiment. These results suggest that, (a) the effects of infrasound and low frequency sound with band frequency were evaluated to be remarkable in the frequency range of 10 to 20 Hz in cases of levels under 70 dB, (b) the lighter the sleep, the more affected by the exposure to infrasound and low frequency sound, (c) the effects of exposure to infrasound and low frequency sound with band frequency are transient and the pattern of sleep is little affected. When the subjects were exposed to the synthesized traffic noise at each sleep stage, the sleep was the most affected at a sound pressure level of 60 dB and the least at 40 dB. As concerns S1, however, the reaction rate reached up to 51% after exposure at 40 dB. Except for 40 dB, the reaction rate was the highest at S1 and the lowest at sleep stage REM (SREM). Neither a decrease of sleep efficiency index nor an increase in numbers of changes in sleep stage were observed. On the other hand, the proportion of S3+4 to time in bed decreased significantly at the first exposed night. These results suggest that, (a) the lighter the sleep, the more affected by the exposure to synthesized traffic noise, (b) the effects of exposure to synthesized traffic noise is not transient and the pattern of sleep is considerably affected.