睡眠時の聴性緩反応に対する刺激時間の影響*

加 納 有 二・小 寺 一 興

Effect of Duration of Tone Bursts on Slow Vertex Response under Sleeping Condition

Yuji Kanoh and Kazuoki Kodera

(Teikyo University)

The effect of the duration of tone bursts on the slow vertex response was studied under awake and sleeping conditions. Two kinds of 1,000 Hz tone bursts were used as stimuli. The rise-times, plateaus and decay-times of the tone bursts were 5-32-5 msec and 5-2-5 msec, respectively. The slow vertex response to the tone bursts was recorded in 6 subjects. Under the awake condition, the N_1 - P_2 amplitudes to the 5-32-5 msec tone bursts were significantly larger than those to the 5-2-5 msec tone bursts. However, during sleep stage IV, there were no differences in the N_1 - P_2 , P_2 - N_2 and N_2 - P_3 amplitudes between the responses to the two kinds of tone bursts. These results indicated that the positive duration effect observed in the awake condition disappeared in the sleeping condition. The frequency-selectivity of the slow vertex response may not be significantly better than that of early components under the sleeping condition.

は じ め に

聴性緩反応の性質に関する研究は、刺激音の性質の反応への影響と被検者の状態の反応への影響の2側面から進められてきた¹⁾²⁾。刺激音の音響的性質による反応への影響の研究は、聴力検査に適した刺激音と刺激法を選択することを目的に進められた。音響的性質の検討項目には、1. 刺激音の持続時間³⁾、2. 立上り時間³⁾⁴⁾、3. 周波数⁵⁾、4. 刺激間隔などがあり、研究結果が刺激音と刺激法決定に利用された。聴力検査に適した刺激音を決定する場合には、上述の音響的性質による反応への影響と、刺激音の周波数分析の結果の、両者が考慮された。

刺激音決定のための要求項目は、1. 周波数スペクトラムが狭いこと（周波数選択性の優れていること）、2. 振幅の大きい反応を得ることであった。この2つの要求項目に合致する現象として、positive duration effect が発見され³⁾、利用された。positive duration effect とは、短音の持続時間が音開始から 30 msec の範囲で反応振幅の増加に有効であるという現象である。

短音の持続時間が延長すると周波数スペクトラムは純音のそれに近づく。そして、30msec の持続を持つ短音は、立上り時間が適切であれば聴力検査上、純音に十分近いと考える。positive duration effect が認められることは、30msec の持続を持つ短音の全体が反応誘発に貢献すること

帝京大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：鈴木淳一教授）

*帝京大学医学部耳鼻咽喉科学教室開講10周年記念論文

を意味する。したがって、positive duration effect を利用した刺激音で得られる誘発反応は、周波数選択性（純音聴力検査に対応する周波数別の聴力測定的能力）が優れていると考え得る。ところで、positive duration effect が確認されているのは、覚醒状態の実験で、かつ N_1-P_2 を指標としていることに注目すべきであると考える。

被検者の状態の反応への影響の研究は⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾、1. 聴力検査のさいに反応観察上で必要な事項を知ることと、2. 誘発反応による病巣部位診断への利用と、3. 実験心理学における評価の手段への利用などを目的にすすめられた。他覚的聴力検査と関連する被検者の状態として、睡眠相の影響⁶⁾が重視される。ところで、他覚的聴力検査における反応の有無の指標が、深睡眠時には N_2-P_3 成分であることに注目すべきであると考える。

刺激音の音響的性質と被検者の状態との両者が、緩反応に与える影響をあわせて考えると、覚醒時に N_1-P_2 を指標として認められる positive duration effect によって決定された刺激音が、睡眠時の N_2-P_3 を指標とした反応誘発に有効であるか否かを再検討する必要があると考えられる。

本研究では、覚醒時に観察できる positive duration effect が、睡眠時にも認められるか否かを検討することを目的とした。また、聴性緩反応の周波数選択性を合わせて検討した。

方 法

正常聴力者6例（24才から29才まで）を対象とした。反応の記録は電氣的にシールドした防音室内で行なった。覚醒状態の聴性緩反応の記録は、坐位で読書中に行なった。被検者には刺激音に注意せず読書するように指示した。ついで、睡眠状態（仰臥・自然睡眠）で、脳波と聴性緩反応とを同時に記録した。

刺激音は、1000Hz 短音とし、1回ごとに位相を逆転させて、イヤホン（TDH39）を通じて与えた。短音は立上り、立下り時間をそれぞれ 5msec とし、平坦部は 32 msec と 2msec の2種類とした（Dana Japan DA 502 A）。覚醒時の刺激音強度は、平坦部 32msec の短音（5—32—5msec の短音）に対する各被検者の自覚域値を基準にして 60dBSL とした。平坦部 2msec の短音（5—2—5msec の短音）に対しては、その平坦部の振幅を 5—32—5msec の短音に一致させた。睡眠時の刺激音強度は覚醒時と同一とした。覚醒時には1秒2回刺激とし、250回毎に2種の短音を交代させた。睡眠時には1秒1回刺激とし、100回毎に2種の短音を交代させた。

電極は、脳波用の皿電極を頭頂部と検査側乳

突部に置き、非検査側乳突部に置いた電極を接地した。生体より生じた電氣的信号を、1.6Hz より 3000Hz の band pass で増幅したのち（日本光電R B—45030）、データーレコーダーに記録し（Teac R—410）、のちに再生して聴性緩反応を記録した。睡眠相を分類して誘発反応を観察するために、睡眠状態では脳波を同時に記録した。

聴性緩反応の記録は、4.6Hz から 100Hz の bandpass filter を通じて、加算平均した（Sanei Sokki 7T07）。睡眠相に対応した反応を得るために、脳波記録より2相と4相の睡眠相を選択し（Florida Group 変法）、400回加算平均して記録した。なお、覚醒時の加算平均回数は1000回とした。聴性緩反応の各成分のピーク潜時の範囲は以下のようにした。覚醒時には N_1 : 50~120msec、 P_2 : 90~175msec とし、睡眠時には N_1 : 80~170msec、 P_2 : 130~300 msec、 N_2 : 220~400msecとした。刺激音である短音の持続時間が緩反応へ与える影響について、緩反応のピーク潜時とピーク間振幅との両者を測定し、比較検討した。

結 果

1. 覚醒状態

全例において、5—32—5 msec の短音刺激による N_1 — P_2 振幅は、5—2—5 msec の短音刺激に比べて大きかった。典型的な症例の記録を図1の上方に示した。6例の平均値と標準誤差を表1に示し、図2の左側に図示した。5—32—5 msec 短音刺激による N_1 — P_2 振幅は $2.7 \mu V$ であり、5—2—5 msec 短音刺激による N_1 — P_2 振幅は $1.8 \mu V$ であって、その差は統計的に有意であった (t検定, $P < 0.05$)。すなわち、覚醒状態では、positive duration effect が認められた。

N_1 と P_2 のピーク潜時と刺激音持続時間の関係を表2に示し、図3の左側に図示した。刺激音の持続時間を延長すると、ピーク潜時は短縮した。

2. 浅睡眠相 (Stage II)

典型的な浅睡眠時緩反応の記録を図1の中央に示した。6例の N_1 — P_2 , P_2 — N_2 および N_2 — P_3 の各ピーク間振幅の平均値と標準誤差を表1に示し、図2の中央に図示した。ピーク間振幅の平均値は刺激音の持続時間を延長すると増加した。しかし、約半数で 5—32—5 msec 短音刺激の反応振幅が 5—2—5 msec 短音刺激の反応振幅に比べて減少した。統計的検定の結果では、有意差は認めなかった。

N_1 , P_2 , N_2 の各ピーク潜時について、6例の平均値と標準誤差を表2に示し、図3の中央に図示した。刺激音の持続時間を延長するとピーク潜時は延長する傾向が認められたが、統計的には有意ではなかった (t検定, $P > 0.05$)。

3. 深睡眠相 (Stage IV)

図1 持続時間の異なる刺激音による覚醒時、浅睡眠時および深睡眠時の聴性緩反応。反応の左に、刺激音の立上り時間—平坦部—立下り時間を示した。23才男性。

図2 持続時間の異なる刺激音による緩反応のピーク間振幅の変化。左より、覚醒時、浅睡眠時および深睡眠時を示す。6例の平均値と標準誤差を示した。同一意識状態における結果を線で結んで対比した。

典型的な深睡眠時緩反応の記録を図1の下方に示した。6例の N_1-P_2 、 P_2-N_2 および N_2-P_3 の各ピーク間振幅の平均値と標準誤差を表1に示し、図2の下方に図示した。ピーク間振幅の平均値は刺激音の持続時間を延長しても変化しなかった。半数では5—32—5msec 短音刺激の反応振幅が、5—2—5msec 短音刺激の反応振幅に比べて減少した。

N_1 、 P_2 、 N_2 の各ピーク潜時について、6例の平均値と標準誤差を表2に示し、図3の下方に示した。刺激音の持続時間を延長すると、 P_2 と N_2 のピーク潜時は延長する傾向が認められ

図3 持続時間の異なる刺激音による緩反応のピーク潜時の変化。左より、覚醒時、浅睡眠時および深睡眠時を示す。6例の平均値と標準誤差を示した。同一意識状態における結果を線で結んで対比した。

たが、統計的には有意ではなかった (t 検定, $P>0.05$)。

4. 睡眠状態が各成分波に及ぼす影響

N_1-P_2 振幅は深睡眠へ移行するにつれて減少した。 P_2-N_2 振幅は睡眠時に著明に増大した。 N_2-P_3 振幅は、深睡眠時に P_2-N_2 振幅よりも増大した。深睡眠に移行するにつれて、各ピーク間振幅の標準誤差が大きくなり、個人間のばらつきが大きくなった。

各成分波のピーク潜時は、覚醒状態に比べて

表1 持続時間の異なる刺激音による緩反応のピーク間振幅の変化。覚醒時、浅睡眠時、深睡眠時の6例の平均値と標準誤差を示した。

	刺激音平坦部 (msec)	N_1-P_2 (μV)	P_2-N_2 (μV)	N_2-P_3 (μV)
覚 醒 時	2	1.8 ± 0.6	1.4 ± 0.4	
	32	2.7 ± 0.7	2.0 ± 0.8	
浅 睡 眠 時	2	1.6 ± 0.2	3.2 ± 1.0	2.9 ± 0.7
	32	2.1 ± 0.5	4.0 ± 0.8	4.0 ± 0.8
深 睡 眠 時	2	1.8 ± 0.7	4.0 ± 1.0	4.2 ± 1.1
	32	1.9 ± 0.9	4.0 ± 1.2	4.2 ± 1.4

表2 持続時間の異なる刺激音による緩反応のピーク潜時の変化. 覚醒時, 浅睡眠時, 深睡眠時の6例の平均値と標準誤差を示した.

	刺激音平坦部 (msec)	N ₁ (msec)	P ₂ (msec)	N ₂ (msec)
覚 醒 時	2	85±8	137±10	
	32	79±9	134±10	
浅 睡 眠 時	2	114±11	182±16	275±22
	32	125±10	189±19	289±18
深 睡 眠 時	2	118±10	180±23	289±27
	32	125±13	191±22	297±20

睡眠状態で約 30~60msec の範囲で延長した。また、深睡眠状態に移行するにつれて、潜時の

標準誤差が大きくなり、個人間のばらつきが大きくなった。

考 按

本実験の結果は、覚醒状態では positive duration effect が認められるが、stage IV の睡眠相では positive duration effect が認められなくなることを示した。なお、stage II は移行型を示した。睡眠下の positive duration effect の存在を検討した報告は、著者らの調べた範囲ではこれまで認められない。本実験結果では、stage IV の睡眠相で持続時間の異なる2種の短音による反応振幅に差がなかった。したがって、2種の短音に共通する音開始より7msec以内の刺激音の部分のみが、反応誘発に貢献したと考えられる。

Positive duration effect は、刺激音の持続時間を延長すると緩反応の N₁—P₂ 振幅が増加する現象で、1968年に temporal integration という名称で Onishi らによって報告された³⁾ また、刺激音の持続時間の延長にともない、N₁ 潜時が短縮することも同時に報告された。本実験の覚醒状態における結果は、Onishi らの報告とよく一致した。Onishi らは、positive duration effect と聴覚心理学で確立している temporal summation¹⁰⁾ とを関連づけて、両者

は同一ではないが相似性があると述べた。

Temporal summation は、音の持続時間の延長により loudness が増加するという聴覚心理現象である¹⁰⁾。positive duration effect と temporal summation との相異は、positive duration effect が N₁—P₂ 振幅の増加する現象であるのに対し、temporal summation が音の心理量である loudness の増加する現象であることである。さらに、positive duration effect では、N₁—P₂ 振幅の増加に有効な刺激音の持続時間の範囲が 30 msec であるのに対して、temporal summation では、loudness の増加に有効な音の持続時間の範囲が 200msec であることも大きく異なっている。

ところで、positive duration effect は、前述のように誘発反応上で N₁—P₂ 振幅の増加と N₁ 潜時の短縮として認められる現象である。同一の現象を反応上で引き起こす条件として、被検者の意識状態の変化がよく知られている。被検者が刺激音に対して注意を集中すると、N₁—P₂ 振幅は増加し、N₁ 潜時は短縮する⁷⁾。したがって、positive duration effect は被検

者の音への関心の程度と関連する現象である可能性が高い。

覚醒状態では、音の持続時間の延長により生じる temporal summation のために、loudness が増加する。これが刺激音にたいする関心を増加させる。こうして、 N_1 — P_2 振幅の増加と N_1 潜時の短縮を引き起こすのであろう。本実験結果では、stage IV で positive duration effect がなく、stage II では stage IV と覚醒状態の移行形を示した。stage IV では刺激音を知覚しないので、刺激音の持続時間を延長しても睡眠レベルが変動せず、positive duration effect は認められないのであろう。stage II では loudness の増加により睡眠レベルが変動する傾向がある。睡眠レベルの変動は、個人により浅睡眠に向かう場合と深睡眠に向かう場合とがあり、一定の変動傾向を示さない。しかし、本実験では平均値を比較しているために、覚醒時と深睡眠相との結果の移行形を示したものと説明できる。

なお、睡眠深度の反応への影響は、Suzuki ら (1968) の報告に従えば、以下のように要約できる⁶⁾。覚醒時に比較して、1. P_1 と N_1 成分の振幅は、stage II の睡眠相までは増加し、その後の睡眠相ではほぼ一定となる。2. P_2 成分の振幅は、stage III の睡眠相までは変化しないが、stage IV の睡眠相では減少する。3. N_2 成分の振幅は、stage I から stage III の睡眠相の間で、増加しつつける。4. P_3 成分は、stage II で出現し、この振幅は stage III と stage IV で著明になる。5. 緩反応の最大振幅は、stage III と stage IV の睡眠相で認められ、 N_2 — P_3 成分である。6. 緩反応のピーク潜時は、stage II から stage IV の睡眠相の間、延長しつつける。以上の要約と本実験の結果を比較するとよく一致していた。

さて、本実験は、聴性誘発反応を利用した他覚的聴力検査の周波数選択性と密接に関連する。他覚的聴力検査に利用できる聴性誘発反応として、緩反応の他に、脳幹反応 (ABR) や

中間反応 (MLC: Na, Pa, Nb) が挙げられる。これら脳幹反応や中間反応では、覚醒状態でも duration effect は認められない¹¹⁾。一方、Davis(1976)¹¹⁾ は、緩反応では positive duration effect を利用した刺激音を用いていることから、他の聴性誘発反応に比べて、周波数選択性が優れていると述べている。しかし、本実験結果は、睡眠状態では覚醒状態で認められる positive duration effect が認められないことを示した。

睡眠状態の緩反応では positive duration effect が認められないので、立上り部と平坦部と立下り部からなる刺激音 (トーンバースト) のうち、睡眠状態で反応誘発に貢献するのは、刺激音の立上り部と考えられる。一方、ABR—Na を指標とする他覚的聴力検査では、立上り部と立下り部からなる刺激音 (トーンピップ) が用いられる¹²⁾。また、刺激音の立上り時間の緩反応と脳幹反応、中間反応への影響が同様であることが報告されている⁴⁾。したがって、睡眠状態では緩反応も ABR—Na もともに刺激音の立上り部で誘発されるので、両者の間に周波数選択性に差があるとする明確な根拠は認められないと考えられる。

なお、緩反応と ABR の間の性質の差と従来考えられている事項として、positive duration effect の他に、周波数応答がある²⁾。周波数応答に差があるという見解の根拠は、緩反応では、低・中音域の刺激で誘発される反応の振幅が高音域の刺激による反応振幅より大きいと報告され、ABR では、初期の研究段階で、逆に高音域の刺激による反応振幅が記録しやすいと報告されたことに基づいている²⁾。しかし、鈴木ら (1977) が報告したように¹³⁾、増幅器の渡波帯域を低域まで十分に広げて ABR—Na 成分を観察する場合には、立上り 2 周期半のトーンピップによる反応において、500Hz から 4000 Hz までの間で低・中音域の応答性の低下は認められない¹³⁾。さらに、Stapells ら (1981)¹⁴⁾ によれば、立上り時間が同一のトーンピップで

は, 500Hz と 1000Hz の反応振幅は, 2000Hz や 4000Hz の反応振幅に比べて大きい¹⁴⁾. した

がって, 緩反応と ABR—Na 成分の周波数応答は同様であると考えられる.

結 論

睡眠状態の聴性緩反応では, 覚醒状態と異なり, positive duration effect は認められない. したがって, 聴性緩反応の周波数選択性は覚醒状態に比べて, 睡眠状態では劣っていると考えられる. また, 睡眠状態における緩反応の周波数選択性は, 脳幹反応や中間反応と同様である可能性が高い.

稿を終るにあたり, 鈴木淳一教授のご校閲とご指導に深く感謝致します.

参 考 文 献

- 1) Davis H: Principles of Electric Response Audiometry. Ann Otol Suppl 28: 4~96, 1976.
- 2) Picton TW, Woods DL, Baribeau-Braun J and Healey TMG: Evoked Potential Audiometry: Journal of Otolaryngology, vol. 6, No.2: 90~119, 1977.
- 3) Onishi S. and Davis H: Effects of duration and rise time of tonebursts on evoked V-potentials. J Acoust Soc Am 44: 582~591, 1968.
- 4) Kodera K, Hink RF, Yamada O and Suzuki J-I: Effects of rise time on simultaneously recorded auditory evoked potentials from the early, middle and late ranges, Audiology 18: 395~402, 1979.
- 5) Antinoro F, Skinner PH and Jones JJ: Relation between sound intensity and amplitude of the AER as a function of stimulus frequency. J Acoust Soc Am 46: 1433~1436, 1969.
- 6) Suzuki T and Taguchi K: Cerebral evoked response to auditory stimuli in young children during sleep: Ann. Otol. 77: 102~110, 1968.
- 7) Picton TW and Hillyard SA: Human auditory evoked potentials. II. Effects of attention. Electroenceph Clin Neurophysiol 36: 191~200, 1974.
- 8) Skinner P and Shimota J: A comparison of the effects of sedatives on the auditory evoked cortical response. J Amer Audiol Soc 1: 71~78, 1975.
- 9) Barnet AB, Ohlrich ES and Shanks BL: EEG evoked response to repetitive auditory stimulation in normal and Down's syndrome infants. Develop Med Child Neurol 13: 321~329, 1971.
- 10) Zwislöcki J: "Theory of Temporal Auditory Summation," J. Acoust. Soc. Am. 32: 1046~1060, 1960.
- 11) 小寺一興, 山田修, ロバート・ヒンク, 鈴木淳一: 聴性速反応による聴力検査の刺激法, 日耳鼻 82: 470~475, 1979.
- 12) Kodera K, Yamane H, Yamada O and Suzuki J-I: Brain stem response audiometry at speech frequencies. Audiology 16: 469~479, 1977.
- 13) 鈴木篤郎, 平井靖人, 堀内潔子, 小泉智: 聴性脳幹反応および頭頂部中間反応による他覚的純音聴力測定法の検討, 耳喉科 49: 105~112, 1977.
- 14) Stapells DR and Picton TW: Technical aspects of brainstem evoked potential audiometry using tones. Ear and Hearing: In press, 1981.

原稿到着: 昭和56年10月1日

別刷請求先: 加納有二

〒173東京都板橋区加賀2-11-1
帝京大学医学部耳鼻咽喉科学教室