耳音響放射の蝸牛交流電位による記録

竹田 泰三・小桜 謙一
齋藤 春雄・青山 好希*

Electrical Recording of Otoacoustic Emission

Taizo Takeda, Kenichi Kozakura and Haruo Saito
(Kochi Medical School)

Yoshiki Aoyama
(Toshin Jitsugyo Co.)

Many lines of evidence support the hypothesis that spontaneous otoacoustic emissions (SOAE) are produced by spontaneous mechanical oscillation within the cochlea, and perhaps motile properties of the outer hair cells. If this is the case, SOAE, emitted acoustically in the external auditory meatus, could also be recorded electrically as cochlear AC-potential. In the present study, SOAE were recorded both acoustically and electrically in the guinea pigs to examine the correlation between electrically recorded SOAE (ER-SOAE) and acoustically recorded SOAE (AR-SOAE).

1) In 4 out of 20 guinea pigs (20%), SOAE could be detected both acoustically and electrically.

2) Electrical signals of SOAE had a better S/N ratio than acoustical signals. Generally, only some ER-SOAE could be detected acoustically.

3) Almost without exception, the prominent frequencies (PF) of multiple ER-SOAE correspond to the intermodulation distortion product, or harmonics.

4) ER-SOAE were suppressed by asphyxia or intense sound exposure and reappeared upon re-breathing or discontinuation of the external tone. During recovery PF showed a transient downward shift in frequency.

5) SOAE were synchronized in phase with the external tone in the spectral neighborhood of SOAE. The averaged waveform of SOAE synchronized with the external tone was the same with either acoustic or electrical signals.

Key words: spontaneous otoacoustic emission, cochlear AC-potential, prominent frequency, distortion product, harmonics

はじめに

自発耳音響放射 (SOAE) が, electrically recorded SOAE (以下 ER-SOAE と略す) として正円窓より電気的に記録できることは, 既に Evans ら¹⁾ が報告している. また, 最近では弱音刺激で, 遅延する CM (CM 遅延反応) が記録されることより, この CM 遅延反応と誘発耳音響放射 (EOAE) との関連性が注目されている²⁾. 外耳道から記録される耳音響放射 (OAE) 現象が, 一般に考えられているように外有毛細胞を中心とした蝸牛微小機械系の微細振動の放射であれば³⁾, OAE が蝸牛交流電位として記録される可能性は十分有り得るものと想定される. 本報告では, モルモットを用い, 蝸牛交流電位の記録を行うと同時に, 外耳道より OAE の同時記録を行い, 蝸牛交流電位による OAE 記録の可能性を探ったので報告する.

方 法

実験動物は, 体重250から400 g の正常モルモット20匹を用いた. 実験は, pentobarbital sodium 腹腔内注射 (30 mg/kg) による全身麻酔下で気管切開を施し, 人工呼吸管理の下で, pancuronium bromide (0.1 mg/kg) により不動

化して行った. OAE 記録のため耳介は切除して軟骨部外耳道を筒状に露出する. その後, 切除した外耳道断端を周辺組織に瞬間接着剤 (アロンアルファ[®]) で接着し, プローブと外耳道が十分密着するように外耳道端を漏斗状に形成した. また, 蝸牛交流電位計測 (CM 記録を含む) のために, 外耳道後部より中耳骨胞を開放し, 正円窓および蝸牛基底回転骨壁を明視下に置いた. 音刺激および OAE 誘導には, イヤホン (Rion 製, RK-63B) とミニチュアマイクロホン (Rion 製, Eu-08) から構成される人 EOAE 記録用プローブを用いたが, 電磁誘導による CM 電位へのアーチファクト混入を極力避けるため, システムは音入出力部位を除いてすべて電磁シールドを施した. また, プローブ先端形状はモルモット外耳道に適合するよう一部改良を加え, マニピュレータに固定の後, 漏斗状に形成した軟骨部外耳道に密着させた. 蝸牛交流電位は, 電磁シールドを施した銀ボール電極をマニピュレータにより基底回転蝸牛骨壁に密着させて誘導し, 同じくシールドを施した Ag-AgCl 電極を頭頂部皮下に留置して不関電極とした.

図1 耳音響放射と蝸牛交流電位の記録・解析システムの模式図

音刺激に用いた EOAE 用プローブと記録用電極は電磁シールドを十分施し, 交流や音刺激の電気パルス混入による CM 様アーチファクトは極力避けた.

OAE と蝸牛交流電位の計測システムの模式図を図1に示す。誘導したOAE, 蝸牛交流電位はそれぞれ前置増幅器(日本光電社製, physiological response recorder MEB-3102, bioelectric amplifier AB-600 G)で増幅後, デジタルデータレコーダ(Sony 社製, PC-108 M)に収録した。

外耳道より音響的に記録した自発耳音響放射(acoustically-recorded SOAE, 以下AR-SOAEと略す), およびER-SOAEの分析は, データレコーダより再生した波形をFFTアナライザー(Rion製SA-74)により構成周波数の分析およびその振幅を求めると同時に, 加算器(日本光電averager DAT-3102)をストレージオシロスコープとして用い, 原波形の記録も行った。一方, EOAEおよびCM電位の記録は, 同じくデータレコーダより再生した波形を平均加算処理して行ったが, CM電位の記録では, 位相の異なる音刺激の反応をデータレコーダに収録し, それらを減算することによりAP, SP電位を消去しCM電位のみを分離した。音刺激は, 音

発生装置(ダナジャパン製, model DA-502 A)より発生させた電気信号を自家製の減衰器を介し, 前述したプローブのイヤホンに入力する事によって行った。なお, 測定はすべて, 無響室内でなされ, 人工呼吸は室外に置かれた人工呼吸器(シナノ製作所, respirator SN-480-7)より5 m長のビニールチューブを介して行われた。

結 果

1) ER-SOAE と AR-SOAE の関係

20匹中4匹にSOAEが外耳道より記録された。これらの動物では, 音負荷のない状態で, 蝸牛交流電位としてSOAE様波形が記録された。図2にその一例を示す。蝸牛交流電位では, 原波形でも明確に確認できるSOAE様波形(ER-SOAE)が記録されている。この交流波形は, FFT分析より明らかなように1025.0 Hzと2062.5 Hzからなる二つの卓越周波数から構成されている。これら二つの交流成分のうち, 大きな振幅を持つ交流成分は, 外耳道よりも正確に一致した周波数で, SOAEとして検出可能であった。しかし, 電位の小さい2062.5

図2 ER-SOAE と AR-SOAE の対比

蝸牛交流電位記録では, 原波形でも明確なSOAE波形が確認できるが, SOAEを音響的に記録した場合は, 原波形でSOAEが存在することを確認することは難しい。実際, FFT分析でも電氣的に記録した方がSOAEの検出率が高く, 音響的に記録されるSOAEは, 電氣的に記録されたSOAEの一部であることが分かる。

Hz の周波数で構成される SOAE の音圧は小さく、暗騒音に埋没して確認不能である。実際、外耳道放射音の原波形でも、蝸牛交流電位の原波形でみられた様な交流波形の確認は不可能であった。

SOAE が検出された 4 例の ER-SOAE の卓越周波数とその振幅の実効値(RMS) および AR-SOAE の音圧を表 1 にまとめるが、ER-SOAE の卓越周波数が単一であったものは 1 例もなく、全例複数検出された。また、その振幅は 0.4 μ V から 32 μ V とかなりのばらつきが認められた。しかし、これら交流波の間には一定の関係がみられ、振幅では、1 kHz 前後の比較的低い周波数よりなる ER-SOAE の振幅が大きく、それより高い周波数では振幅は減少する傾向にあった。また、周波数に関しては、FFT の分解能が 12.5 Hz であることを考慮すれば、振幅が卓越して大きい ER-SOAE を中

心として、整数比もしくは $2f_1-f_2$, $f_1\pm f_2$ の様な非線形機構によくみられる関係が存在した。なお、振幅が大きい ER-SOAE は、外耳道よりも AR-SOAE として記録されたが、振幅の小さい ER-SOAE は外耳道の暗騒音に埋没して確認できなかった。なお、記録された AR-SOAE は、交流電位の振幅が大きいほど、その音圧も大きい傾向がみられた。

2) ER-SOAE の出現様式

ER-SOAE の出現様式は、個体差があると同時にその生理条件で大きく異なる。図 3 は負荷実験を含めて本実験中に観察された代表的な ER-SOAE の出現様式を示す。無負荷の状態では、4 例中 2 例で、図上段に示す様なほぼ振幅が一定した ER-SOAE 波形が観察されるが、1 例では振幅が周期的に変化する AM 変調を示す波形(図 3 中段)も観察された。振幅や周波数の異なる波形群が不規則にバースト状に出現

表 1 ER-SOAE と AE-SOAE の対比

動物番号	ER-SOAE		AR-SOAE
	周波数	振幅 (RMS)	音 圧
GP-4	S_1 : 1025.0 Hz	11.1 μ V	10.1 dB SPL
	S_2 : 2062.5 Hz	0.8 μ V	—
	$S_2/S_1=2.01$		
GP-8	S_1 : 625.0 Hz	1.5 μ V	—
	S_2 : 750.0 Hz	6.6 μ V	13.5 dB SPL
	S_3 : 1362.5 Hz	0.8 μ V	—
	S_4 : 1500.0 Hz	0.9 μ V	—
	$S_3/S_1=2.18$, $S_4/S_2=2.00$		
GP-14	S_1 : 925.0 Hz	32.0 μ V	19.7 dB SPL
	S_2 : 1862.5 Hz	7.2 μ V	4.7 dB SPL
	S_3 : 2787.5 Hz	1.6 μ V	—
	$S_2/S_1=2.01$, $S_3/S_1=3.01$		
GP-16	S_1 : 887.5 Hz	0.7 μ V	—
	S_2 : 987.5 Hz	1.9 μ V	5.2 dB SPL
	S_3 : 1087.5 Hz	1.5 μ V	4.3 dB SPL
	S_4 : 1962.5 Hz	0.4 μ V	—
	S_5 : 2075.0 Hz	0.4 μ V	—
	$S_4/S_2=1.99$, $2\times S_2-S_3=S_1$, $S_1+S_3=S_4$, $S_2+S_3=S_5$		

※ RMS は root mean square の略

する ER-SOAE は負荷実験の回復期によく見られるが、無負荷の状態でもこの様な不規則性を示す ER-SOAE を有する動物も 1 例であるが存在した。

3) 窒息負荷

実験動物は全例、最終的には窒息による低酸素負荷を加え、SOAE の変化を検討した。一般に、SOAE は窒息負荷後数十秒で消失する。しかし、3 分前後の短期間の窒息負荷では、一旦消失した SOAE は再び出現可能であった。図 4 は 2 分間の窒息負荷後、再び強制呼吸を開始した過程での代表的な ER-SOAE の経時変化を示す。本例では、窒息による ER-SOAE の変化は比較的急速で、人工呼吸器停止 10 秒後より明らかな振幅の減少がみられ、15 秒前後で ER-SOAE はほぼ完全に消失をみた。呼吸再開直後しばらくは、ER-SOAE の出現は見ないが、1 分前後よりバースト状の ER-SOAE が散発するようになり、その後唐突に持続する ER-SOAE が出現する。この例での ER-SOAE の出現は呼吸再開 1 分 7 秒後に生じたが、回復に要する時間は個体によってかなりの差がみられ

た。回復直後の ER-SOAE の卓越周波数は、一般に低い周波数に変移し、かつ構成する卓越周波数の数も減少する傾向を持つ。本例でも、ER-SOAE が再出現した直後こそ、その最も振幅が大きい主周波数は 737.5 Hz で、負荷前のそれと異ならなかったが、呼吸再開 1 分 30 秒前後より主周波数は 500 Hz 台に減少した。一方、ER-SOAE の振幅は、いわゆる反跳現象を示し、この主周波数の減少時期と一致して著明な増大がみられた。そして、この反跳現象の消褪と共に主周波数は増大し、呼吸再開 7 分前後で窒息負荷前の値に復帰した。なお、複数個出現した卓越周波数の間には、窒息負荷の回復期でも、主周波数を中心として整数比もしくは $nf_1 \pm mf_2$ の関係が、一部の例外を除いて維持された。また、外耳道からも 1 周波数で構成される AR-SOAE が検出され、ER-SOAE の主周波数に一致した変化を示したが、ER-SOAE 回復直後の振幅が小さい時点では、AR-SOAE は暗騒音に埋没して確認不能であった。

4) 音響負荷

ER-SOAE は、70 dB pe SPL 程度の中等度の短音刺激によっても 4 msec ほど抑制されたが(図 5)、更に強大音刺激では、刺激音の強さによって数秒から数十秒にわたって ER-SOAE は消失する。図 6 は 1 kHz 100 dB SPL、5 分間の強大音曝露による ER-SOAE の代表的経時変化を示す。この図に示すように、音曝露直後は ER-SOAE は完全に消失しているが、10 秒前後より ER-SOAE 様の波形が散発するようになり、音刺激終了 1 分後にはほぼ持続する ER-SOAE に回復する。この再出現した ER-SOAE の周波数も、窒息負荷の時と同様、主周波数は低周波数に変移する。そして、ER-SOAE の振幅の増大につれて、2 倍音、3 倍音の ER-SOAE も回復した。しかし、この ER-SOAE の回復は、窒息負荷に見られたような、振幅の反跳現象を伴わなかった。

また、この SOAE 現象は、位相の一定した音負荷によって同期し、ER-SOAE としても、

図 3 ER-SOAE の出現様式

ER-SOAE の出現様式を大別すると、定常型、ビート型、バースト型の 3 型に分類できる。バースト型は低酸素負荷や音響負荷後によく出現するので、内耳(外有毛細胞)の何らかの障害を反映している可能性がある。

図 4 窒息負荷による ER-SOAE の代表的変化

窒息負荷によって ER-SOAE は消失，呼吸再開で ER-SOAE は再出現する．再出現した ER-SOAE は振幅の一次的増大，および卓越周波数の低周波数域への移行を伴う反跳現象を示す．回復期でも，多発する ER-SOAE の卓越周波数間には，高次の高調波，もしくは $nf_1 \pm mf_2$ からなる結合音の関係が一部の例外を除いて存在する．

図 5 短音刺激による ER-SOAE の一過性抑制

立ち上がり，立ち下がり 0.25 msec，持続時間 4.0 msec の短音刺激でも，70 dB pe SPL 前後の中等度の音圧であれば ER-SOAE は 4.0 msec ほどの抑制を受ける．

AR-SOAE としても加算記録が可能である。その波形は、電氣的に記録しても、音響的に記録しても極めて類似しており、個体によって異なるが、一定の持続する波形か(図7), ビートして増減を繰り返す波形として記録された。

考 案

SOAE は、人^{4)~7)}や霊長類⁸⁾では、さほど稀な現象とはいえないが、モルモット¹⁾⁹⁾¹⁰⁾やチンチラ¹¹⁾のような小実験動物では SOAE を記

録することは難しく、報告例も少ない。SOAE がモルモットでも記録可能なことを報告したのは Evans ら¹⁾が最初である。彼は、更に、外耳道より放射されるこの SOAE 現象が、蝸牛交流電位として電氣的にも記録可能であることを報告した。我々も、20匹中4匹(20%)で、SOAE が音響的に外耳道より記録できると同様に、電氣的にも蝸牛骨壁より交流電位として導出可能であることを確認した。この

図6 強音曝露下の ER-SOAE の変化

強音被曝では、ER-SOAE はその刺激の強さおよび持続時間によって数秒から数十秒にわたって一過性に抑制を受ける。再出現した ER-SOAE の卓越周波数は一時的に低周波数域に移行するが、振幅は明確な反跳現象を示さない。この例でも、多発する ER-SOAE の卓越周波数の中には2次、3次の高調波が含まれている。

SOAE の検出率である20%は, モルモット124匹, 248耳と膨大な耳数について SOAE の検出率を検討した大山らの報告値とみじくも一致する¹²⁾. 電氣的に記録した ER-SOAE と音響的に記録した AR-SOAE を対比すると, ER-SOAE では原波形の段階で特定の周波数からなる交流波によって構成されていることが分かるように, SOAE は電氣的に記録した方が S/N 比は格段に良好である. この S/N 比が電氣的記録で良好なことは大山らも指摘しているが¹²⁾, 今回の実験で, AR-SOAE が単一周波数であっても, ER-SOAE でみると複数の周波数から構成されていることより, 外耳道より記録される AR-SOAE は, 電氣的に記録できる ER-SOAE の一部であることが判明した. しか

し, 複数の周波数から構成される ER-SOAE の周波数間には, 基本周波数を中心に整数比, もしくは $nf_1 \pm mf_2$ の関係がみられた. この SOAE 自身によって生じる 2 次, 3 次の高調波 (harmonics) や結合音は, 外耳道よりも記録されることがあり, 高坂¹³⁾ も指摘しているが, 蝸牛のような非線形機構を有するシステム¹⁴⁾ が持つ一つの特徴と考えられる. そこで問題となるのは, プローブを含めた記録系の非線形機構が関与している可能性である. しかし, この ER-SOAE は, 窒息負荷や強大声曝露で消失することに加え, 電極位置を蝸牛から遠位に移動すると消失することより, その起源は蝸牛にあることはまず間違いないものと思われる. 人で電氣的に SOAE を記録する試みは未だなされていないので, 同様の現象が人にもあるのかどうかは不明であるが, 少なくとも外耳道より誘導される人 SOAE では, この様な高調音が記録されたり, 耳音響放射による 2 次の結合音が生じた報告はない. しかし, SOAE 自身によって生じる結合音としては最もポピュラーな 3 次の結合音が, 稀ではあるが, 人にも見られることが報告されている¹⁵⁾. この様な結合音がみられるのは, 一次音となる自発耳音響放射の f_1/f_2 比が 1.2 前後にある場合で, 外来音で生じる従来の結合音と同様の規則性があるという¹⁴⁾. 今回の実験でも, 自発耳音響放射による結合音がみられた GP-17 動物では, f_1/f_2 比は 1.1 で, この規則性を概ね満たしている. いずれにしても, 本実験で得られた ER-SOAE の特性は, モルモットでより特徴的なものであるかも知れないが, SOAE の成因を探るには興味深い現象である.

SOAE を電氣的に記録する利点は, 音響的に記録するのに比して S/N 比が格段に優れるため, SOAE の微細な変化も詳細に追跡できることにある. 実際, SOAE が窒息負荷による低酸素状態で消失し, 呼吸再開によって回復して来る過程でも, 電氣的に記録すると SOAE 様波形が断片的に散発したのち, 唐突に連続す

図7 音響的および電氣的に記録された SOAE の同期現象

60 dB pe SPL, 1 kHz トーンピップ(立ち上がり・立ち下がり時間 0.25 msec, 持続時間 3 msec)刺激による SOAE の 64 回加算波形. SOAE は位相の整った音刺激によって同期し, 音響的にも, 電氣的にも類似した波形として記録される.

る SOAE に変化する経過がよく分かる。再出現した ER-SOAE の周波数は、既に Evans ら¹⁾ が報告しているように、一過性に低音域に移行する。この低音域への移行は、ER-SOAE の振幅の増大も伴い、SOAE 現象も反跳現象を示すことが分かる。そして、この反跳現象は、呼吸再開後 3 分頃より 5 分前後に生じ、丁度 AP, SP などの蝸牛電位が反跳現象を示すとされる時期におおよそ一致する¹⁶⁾。一般に、反跳現象が生じる機序の詳細には不明な点も多いが、ER-SOAE と蝸牛電位に見る反跳現象はその発現時期がほぼ一致していることより起源を同じくしているものと推測される。

SOAE が外来音で強く影響を受けることはよく知られている^{4)7)11)17)~19)}。今回の実験シリーズでは、その周波数特性については検討しなかったが、ER-SOAE は、短音のような過渡性の強い外来音の存在でも音圧が中等度以上であれば、4 msec ほどの抑制を受け、外耳道より記録される SOAE と同じ性質を持つことが確認された。この ER-SOAE は、TTS が生じるほどの強大声に晒されると、刺激の強さによって数秒から数十秒にわたって強い抑制を受ける。しかし、注意深く原波形を観察すると、完全に ER-SOAE が消失しているのは刺激終了後 10 秒以内に、断片的な ER-SOAE 様波形が散発している。この様な状態がしばらく続いた後、比較的唐突に持続する ER-SOAE に変化するのは、窒息負荷後の ER-SOAE の回復過程に似た一面を持っている。再出現した ER-SOAE の卓越周波数も、窒息負荷と同様、一過性に低周波数に移行する。しかし、振幅の反跳現象を伴わないことで、窒息負荷後の回復過程と異なる。この音響被曝による ER-SOAE の振舞いも、人 SOAE で観察される変化と極めて類似している¹⁹⁾。

外来音の負荷によって生じる SOAE への重要な影響の一つに位相の同期化があげられる¹¹⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。この同期化は、刺激音が SOAE の周波数に近いほど低い音圧で生じ¹⁷⁾¹⁸⁾、持続す

る誘発耳音響放射として記録される。今回の実験でも、AR-SOAE は持続する誘発耳音響放射として記録された。しかし、ER-SOAE でも極めて類似性の高い波形が記録されることが分かった。しかも、ER-SOAE では、入力音に由来する CM が当然記録されるが、その波形は外耳道反響による波形歪をほとんど受けず、プローブの入力音波形にはほぼ一致している。よって、潜時の短い現象を検出するにはきわめて都合な性質を持っているといえる。同期して加算された ER-SOAE にみる持続する波形が直ちに人にみる誘発耳音響放射を反映しているとは断定できないが、少なくとも、外来音が関与して生じた現象が、外耳道よりは音響的に、蝸牛骨壁よりは電気的に記録する事が可能である事を意味する。この事実は、誘発耳音響放射も蝸牛交流電位とし記録される可能性があることを強く示唆する。一般に、モルモットの誘発耳音響放射は極めて潜時が短く、刺激音の外耳道反響に埋没されるため記録されないとされている⁹⁾¹⁰⁾。しかし、蝸牛交流電位記録では、この点、外耳道反響の影響を受ける事がきわめて少なく、更に、S/N 比も音響的に記録するより格段優れているので、誘発耳音響放射を記録する新しい可能性を開くものとして期待される。

結 語

1) 20匹中 4 匹(20%)のモルモットで自発耳音響放射が、外耳道よりは音響的に、蝸牛骨壁よりは電気的に誘導可能であった。

2) 自発耳音響放射は電気的に記録する方が格段に S/N 比が良好で、音響的に記録される自発耳音響放射は、電気的に記録される音響放射の一部を反映しているに過ぎない。

3) 電気的に記録される自発耳音響放射の卓越周波数間には、基本周波数を中心に整数比、もしくは $nf_1 \pm mf_2$ の関係がみられた。

4) 電気的に記録される自発耳音響放射も窒息負荷や音響負荷で抑制され、負荷の解除で回復する。回復過程で耳音響放射の周波数は低音域に一時的に移行する。

5) 自発耳音響放射は, 外来音で同期し, 音響的にも, 電氣的にも, ほぼ同一波形の誘発耳音響放射として記録できる.

本研究は文部省科学研究費補助金 No. 04671045 の援助によって行われた.

参考文献

- 1) Evans EF, Wilson JP and Borerwe TA : Animal models of tinnitus. Tinnitus (ed by Evered D and Lawrenson G). Ciba Foundation symposium 85. pp 108~138, Pitman, London, 1981.
- 2) 西田裕明, 岡田真由美, 田中康夫 : 蝸電図 CM の遅れと AP (N1) 潜時曲線. Otol Jpn 1 : 46~50, 1991.
- 3) Kim DO : Active and nonlinear cochlear biomechanics and the role of outer-hair-cell sub-system in the mammalian auditory system. Hear Res 22 : 105~114, 1986.
- 4) Zurek PM : Spontaneous narrowband acoustic signals emitted by human ears. J Acoust Soc Am 69 : 514~523, 1981.
- 5) Wier CC, Norton SJ and Kincaid GE : Spontaneous narrow-band otoacoustic signals emitted by human ears ; a replication. J Acoust Soc Am 76 : 1248~1250, 1984.
- 6) Strickland EA, Burns EM and Tubias A : Incidence of spontaneous otoacoustic emissions in children and infants. J Acoust Soc Am 78 : 931~935, 1985.
- 7) 菅澤 正, 仙波哲雄, 室伏利久, 他 : 正常者の自発耳音響放射について. Audiology Japan 30 : 203~208, 1987.
- 8) Martin GK, Lonsbury-Martin BL, Probst R, et al : Spontaneous otoacoustic emissions in a nonhuman primate ; 1. Basic features and relations to other emissions. Hear Res 33 : 49~68, 1988.
- 9) Zwicker E and Manley G : Acoustic responses and suppression-period patterns in guinea pigs. Hear Res 4 : 43~52, 1981.
- 10) Avan P, Lotth D, Menguy C, et al : Evoked otoacoustic emissions in guinea pig ; basic characteristics. Hear Res 44 : 151~160, 1990.
- 11) Zurek PM and Clark WW : Narrow-band acoustic signals emitted by chinchilla ears after noise exposure. J Acoust Soc Am 70 : 446~450, 1981.
- 12) Ohyama K, Wada H, Kobayashi T, et al : Spontaneous otoacoustic emissions in the guinea pig. Hear Res 56 : 111~121, 1991.
- 13) 高坂知節 : 蝸牛の微細構造と音受容機構. Otol Jpn 1 Suppl 2 : 97~127, 1991.
- 14) Dallos P : Nonlinear distortion. Chapt. 6 The Auditory Periphery (ed by Dallos P). Biophysics and Physiology. pp 391~464, Academic Press, New York, 1973.
- 15) Burns EM, Strickland EA, Tubis A, et al : Interactions among spontaneous otoacoustic emissions ; 1. Distortion products and linked emissions. Hear Res 16 : 271~278, 1984.
- 16) Konishi T, Butler A and Fernandez C : Effect of anoxia on cochlear potentials. J Acoust Soc Am 33 : 349~356, 1961.
- 17) Wilson JP and Sutton GJ : Acoustic correlates of tonal tinnitus. Tinnitus (ed by Evered D and Lawrenson G). Ciba Foundation symposium 85. pp 82~107, Pitman, London, 1981.
- 18) Zwicker E and Schloth E : Interrelation of different oto-acoustic emissions. J Acoust Soc Am 75 : 1148~1154, 1984.
- 19) Fritze W and Köhler W : Our present experience on spontaneous cochlear emissions. Scand Audiol Suppl 25 : 129~137, 1986.

(原稿受付 : 平成 4 年 3 月 6 日
 原稿採択 : 平成 4 年 4 月 16 日 急載
 別刷請求先 : 竹田泰三
 〒783 南州市岡豊町小蓮
 高知医科大学耳鼻咽喉科学教室)