
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

MASSIMO TREVISI

Ricerche sulla grandezza dei neuroni del ganglio spirale del Corti nella Cavia Cobaya sottoposta a stimolazioni sonore di bassa frequenza

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 33 (1962), n.6, p.
485–492.*

Accademia Nazionale dei Lincei

http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1962_8_33_6_485_0

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Istologia. — *Ricerche sulla grandezza dei neuroni del ganglio spirale del Corti nella Cavia Cobaya sottoposta a stimolazioni sonore di bassa frequenza* (*). Nota di MASSIMO TREVISI, presentata (**) dal Socio O. M. OLIVO.

I problemi inerenti l'accrescimento delle cellule nervose hanno destato da lungo tempo l'interesse degli studiosi. Numerosi sono gli Autori che si sono interessati dell'argomento, ma è noto che le ricerche più complete al riguardo appartengono al Levi [1] il quale avendo eseguito misure delle cellule nervose appartenenti a diversi vertebrati, concluse che il volume della cellula nervosa è in rapporto all'estensione del territorio innervato. Egli constatò, inoltre, in successive ricerche, che mentre gli elementi labili e stabili seguono la legge di Driesch della grandezza cellulare costante, gli elementi perenni (cellule e fibre nervose) crescono proporzionalmente alla mole corporea dell'animale. Le successive conferme a questi concetti espressi dal Levi lasciarono, tuttavia, supporre che nel determinare la diversa grandezza delle cellule nervose potesse avere anche importanza la qualità e la quantità degli stimoli funzionali che le cellule d'un determinato territorio del sistema nervoso ricevono.

Quest'aspetto del problema mi portò ad eseguire una prima ricerca sulla grandezza dei neuroni del ganglio spirale del Corti [2 a]. È dimostrato che, nella coclea, la recezione dei toni gravi avviene alla parte apicale, quella dei toni acuti alla sua parte basale. La constatata differenza di grandezza fra le cellule del segmento basale del ganglio e quelle del segmento apicale mi sembrò una conferma all'ipotesi che la grandezza delle cellule nervose fosse in rapporto alla qualità dei suoni percepiti; mi proposi, quindi, in una successiva ricerca, d'accertare se la quantità degli stimoli ricevuti dall'orecchio poteva modificare o meno la grandezza delle cellule nervose del ganglio in argomento.

A questo scopo, ho sottoposto un gruppo di cinque cavie neonate alla azione d'un suono di bassa frequenza per la durata di tre mesi, in un normale *stabularium*, in modo che l'orecchio di questi animali, oltre a ricevere gli usuali rumori dell'ambiente, potesse ricevere anche un maggior numero di stimoli sonori capaci d'interessare, almeno in prevalenza, una determinata zona dell'organo del Corti.

Il suono veniva prodotto ogni giorno in due periodi della durata di quattro ore ciascuno, intervallati da un'interruzione di quattro ore per evitare di

(*) Dall'Istituto di Anatomia Umana normale di Bologna.

(**) Nella seduta del 17 Novembre 1962.

provocare un trauma acustico che, distruggendo una data zona dell'organo del Corti, potesse determinare anche l'atrofia delle corrispondenti cellule nervose del ganglio spirale. Il suono utilizzato per l'esperimento era prodotto da un altoparlante alimentato con corrente stabilizzata di 125 V. L'intensità del suono, misurata con un fonometro « Bruel e Kiaer » è risultata di 100 db nel punto più vicino all'altoparlante e di 68 db alla massima distanza da esso alla quale gli animali potevano trovarsi nella gabbia. Mediante un analizzatore d'onda « General Radio » si è potuto stabilire che tale suono era composto, complessivamente, di 12 armoniche comprese fra 50 e 1850 hertz, la distribuzione e percentuale delle quali si può rilevare dal diagramma in scala semilogaritmica della fig. 1, sul quale si riporta anche, dal Best e Taylor [3], uno schema di Stevens, Davis e Lurie che dimostra le posizioni relative dei toni sulla membrana basilare dell'orecchio umano e della cavia.

L'armonica fondamentale, della frequenza di 50 hertz, era il 20% del suono complessivo; ad essa si sovrapponevano armoniche di 100, 150, 200, 250, 300, 450, 500, 550, 850, 1150, 1850 hertz che rappresentavano, rispettivamente, il 4,7; 24; 15; 25; 4; 1,7; 3; 0,5; 1,1; 0,8; 0,2% del suono in argomento.

Per stabilire se le cellule di un dato segmento del ganglio spirale del Corti avevano subito o meno un aumento di grandezza per azione della stimolazione sonora avevo bisogno, ovviamente, d'un termine di confronto. Non mi era possibile utilizzare soltanto la differenza delle medie dei diametri medi del segmento basale e del segmento apicale del ganglio poiché l'età del gruppo di cavie usate per questo esperimento non corrisponde a quella delle cavie della prima ricerca eseguita [2 a]. È noto, infatti (Olivo, Porta, Barberis [4]), che la grandezza delle cellule nervose varia con l'età. Per questo motivo, allo scopo di valutare meglio l'accrescimento delle cellule nervose nei diversi segmenti del ganglio ho scelto le medie dei diametri medi a cinque livelli equidistanti dall'apice della coclea (M_1, M_2, M_3, M_4, M_5); evitando, così, ogni scelta subbiettiva ho potuto calcolare il rapporto fra la differenza di ciascuna media e quella immediatamente precedente ($M_2-M_1, M_3-M_2, M_4-M_3, M_5-M_4$) col valore medio totale (M_t). Questo controllo è stato eseguito anche per tutti i casi già studiati nella ricerca precedente scelti per controllo ed i dati sono riportati nella Tabella I, insieme alla media totale, alla differenza tra la media dei diametri medi del segmento basale e del segmento apicale del ganglio, al rapporto tra questa differenza e la media totale ed al triplo dello scarto della differenza fra le medie.

Per le misure si è fatto uso d'un microscopio Reichert (lunghezza del tubo 204) d'un obiettivo Wild 100× ad immersione omogenea e d'un micrometro oculare con scala micrometrica, ciascuna divisione della quale corrispondeva ad 1 μ . L'unità di misura era 1 μ . Ulteriori particolari sulla tecnica e metodologia statistica impiegate sono esposti nella pubblicazione precedente [2 a].

TABELLA I.

Caso	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M _f	$\frac{M_2-M_1}{M_f}$	$\frac{M_3-M_2}{M_f}$	$\frac{M_4-M_3}{M_f}$	$\frac{M_5-M_4}{M_f}$	M ₅ -M ₁	3 σ _m	$\frac{M_5-M_1}{M_f}$
Casi di controllo	1	13,0	14,7	15,3	15,8	14,0	0,13	0,12	0,04	0,04	4,6	0,33	0,32
	2	13,1	13,8	15,2	16,5	14,3	0,04	0,05	0,10	0,09	4,0	0,39	0,28
	3	11,4	12,4	13,4	13,8	12,3	0,08	0,08	0,08	0,03	3,4	0,36	0,28
	4	11,7	12,8	13,9	15,0	12,8	0,09	0,09	0,09	0,09	4,5	0,21	0,35
	5	9,7	11,4	12,4	16,3	12,8	0,13	0,08	0,14	0,16	6,6	0,30	0,52
	6	9,9	11,3	13,1	14,4	14,9	0,11	0,14	0,10	0,04	5,0	0,30	0,39
Media	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	13,2	0,10	0,09	0,09	0,08	—	—	—
Casi sottop. az. suono	I	10,8	11,6	12,2	12,3	12,5	0,07	0,05	0,01	0,02	1,7	0,39	0,14
	II	11,0	12,3	12,3	12,7	13,8	0,11	0,00	0,03	0,09	2,8	0,27	0,23
	III	12,8	13,6	13,7	14,3	13,8	0,06	0,01	0,04	—	1,0	0,24	0,07
	IV	11,6	13,6	13,1	13,8	14,2	0,15	—	0,05	0,03	2,6	0,27	0,19
	V	11,6	12,6	13,2	13,4	13,8	0,08	0,05	0,02	0,03	2,2	0,21	0,17
	VI	12,9	13,0	13,1	13,6	14,7	0,01	0,01	0,04	0,08	1,8	0,15	0,14
	VII	12,9	12,8	12,8	13,4	13,4	—	0,00	0,05	0,00	0,5	0,21	0,04
	VIII	12,3	12,8	12,8	13,2	12,9	0,04	0,00	0,03	—	0,6	0,27	0,05
	IX	11,9	13,2	13,5	13,8	14,0	0,10	0,03	0,03	0,02	2,1	0,24	0,16
	X	13,1	14,2	14,2	13,7	13,7	0,08	0,00	—	0,04	0,6	0,24	0,04
Media	12,1	13,0	13,1	13,4	13,7	13,1	0,07	0,02	0,03	0,03	—	—	—

Le cifre arabe si riferiscono a cavie che non hanno subito l'azione della stimolazione sonora; con le cifre romane sono indicate le cavie utilizzate per quest'esperimento.

Dalla Tabella I si può rilevare che la grandezza media delle cellule nervose del segmento basale del ganglio (M_5), nelle cavie sottoposte all'azione del suono (indicate con cifre romane), è minore di quella degli animali di controllo. Ciò sarebbe in rapporto al fatto che si tratta di animali di qualche mese più giovani. La grandezza media dei neuroni del segmento apicale del ganglio (M_1) e di gran parte di quelli dei segmenti intermedi risulta, invece, maggiore nelle cavie sottoposte all'azione del suono, rispetto alle cavie di controllo. La differenza fra le medie basali e apicali (M_5-M_1) per quest'ultimo gruppo di animali varia da 0,6 a 2,8 μ mentre, nei controlli, sta fra 3,4 μ e 6,6 μ ; ovviamente, anche il rapporto tra questa differenza e la media totale dei diametri medi risulta abbassata intorno a valori compresi fra 0,04 e 0,23 rispetto a 0,28-0,52 dei controlli e rispetto a valori di 0,23 riscontrati nel feto di cavia a termine [2 b].

Nelle cavie sottoposte all'azione del suono, in altri termini, si può constatare che la scala delle grandezze si è modificata, nel senso che c'è stato un incremento dell'accrescimento inversamente proporzionale alla grandezza che si è constatata nei controlli.

Dalla Tabella I si può notare, inoltre, che nei casi di controllo l'accrescimento percentuale medio di un gruppo di cellule nervose rispetto a quello immediatamente precedente è pressoché costante. Dopo l'esperimento si può rilevare, invece, che il rapporto della differenza fra il secondo ed il primo dei gruppi di cellule scelti a livelli equidistanti dall'apice della coclea con la media totale, risulta inferiore rispetto ai controlli mentre, in media, è più accentuato rispetto a quello dei gruppi successivi di cellule.

Nella rappresentazione grafica della fig. 2 si nota che le curve che rappresentano la distribuzione delle medie in funzione della distanza dall'apice della coclea hanno, nei casi di controllo, una pendenza accentuata compresa, come si è detto sopra, fra il 28% e il 52%. Invece, nei gangli appartenenti alle cavie il cui orecchio è stato stimolato dal suono l'aumento di grandezza dei neuroni del segmento apicale e medio determina un appianamento generale dei grafici con una evidente diminuzione della loro pendenza che, in questi casi, è compresa fra il 4% e 23%.

Questi dati credo possano permettermi di ritenere che, nel ganglio spirale del Corti appartenente alle cavie di quest'ultimo gruppo vi è stato un maggior accrescimento diffuso dei neuroni che risulta sempre minore procedendo verso il segmento basale.

Se, ora, ci si chiede quale rapporto è possibile stabilire fra il risultato sperimentale ottenuto e il tipo di stimolazione sonora impiegato, è necessario tener presente, innanzi tutto, che per quanto la percentuale delle armoniche componenti tale suono risultasse più alta per frequenze fra 50 e 500 hertz, la gamma delle frequenze si estendeva fino a 1850 hertz. Se si confronta, quindi, la distribuzione delle varie frequenze riportate nel diagramma della fig. 1, con l'annesso schema di Stevens, Davis e Lurie, si può osservare che, con ogni probabilità, nell'esperienza eseguita la membrana basilare è stata eccitata a livello di zone corrispondenti alla quarta, alla terza e ad una parte della

seconda spira della chiocciola. Questo fatto, messo in relazione con l'appiattamento dei grafici della fig. 2 che si riferiscono alle cavie sottoposte all'azione

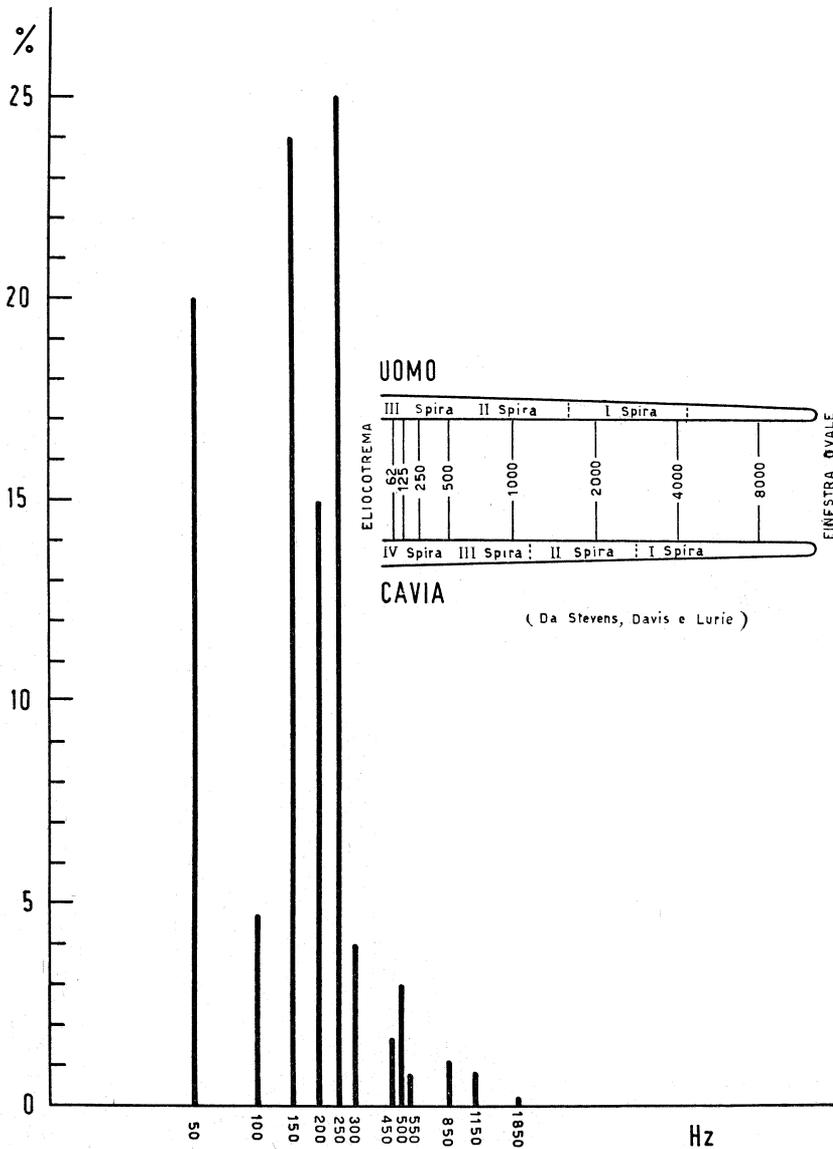


Fig. 1. - Diagramma in scala semilogaritmica della distribuzione e percentuale delle 12 armoniche componenti il suono usato per l'esperimento. Sul diagramma si riporta, dal Best e Taylor, uno schema di Stevens, Davis e Lurie che dimostra le posizioni relative dei toni sulla membrana basilare dell'orecchio umano e della cavia.

del suono, potrebbe essere il fattore determinante dell'aumento di grandezza delle cellule nervose esteso a quasi tutta la chiocciola.

C'è da osservare, inoltre, che un suono di determinata altezza mette in vibrazione non soltanto quelle corde della membrana basilare che sono accor-

date con esso, ma anche, sebbene meno sensibilmente, quelle limitrofe per una distanza variabile, proporzionale all'intensità del suono impiegato (Best e Taylor [3]; Spadolini [5]).

Vi sarà, dunque, una corda o un piccolo gruppo di corde della membrana basilare che vibrano al massimo e altre corde « fuori sintonia » che vibrano sotto il massimo, l'ampiezza della vibrazione diminuendo progressivamente con la distanza dai risuonatori « in sintonia ». S'intende che il meccanismo della membrana basilare è, certamente, più complesso quando il suono non è puro, ma risulta costituito, come nel caso presente, da una gamma di armoniche.

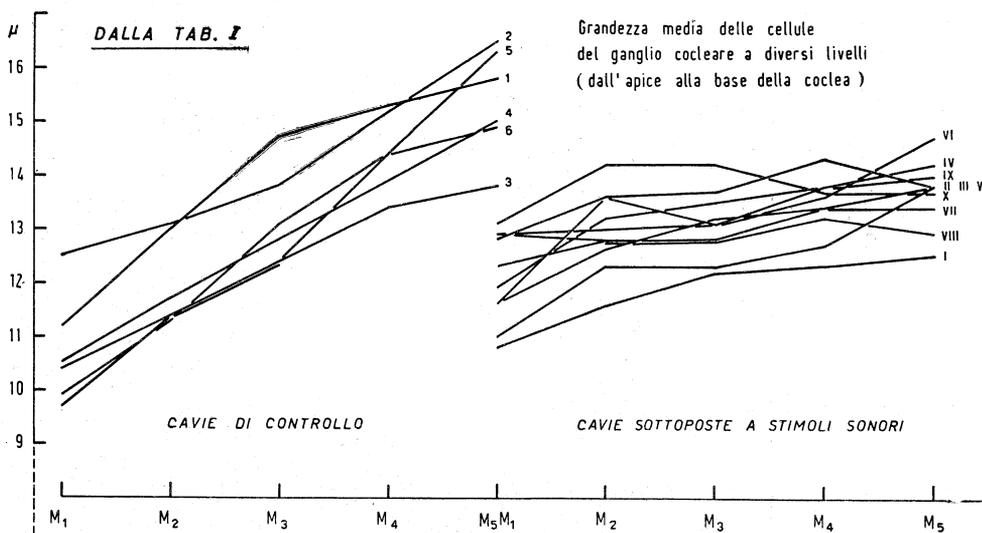


Fig. 2. - Distribuzione delle medie dei diametri medi di cinque gruppi di neuroni del ganglio spirale del Corti (M_1, M_2, M_3, M_4, M_5) in funzione della distanza dall'apice della coclea.

Le corde della zona tecta della membrana basilare, accolte in una sostanza fondamentale omogenea, d'aspetto tenuemente cotonoso non risolto nemmeno alle indagini elettroniche (Bairati [6]), possono essere praticamente considerate come sistemi oscillanti accoppiati, nei quali un'eventuale deformazione « elastica », per la struttura continua del mezzo, si propaga progressivamente di elemento in elemento, fino a raggiungere (in un tempo più o meno grande, con ampiezza più o meno apprezzabile) tutti gli altri elementi del mezzo stesso (Bernardini [7]).

I risultati da me ottenuti sarebbero in accordo con quanto è stato ora esposto; essi concordano, inoltre, con le esperienze eseguite stimolando l'orecchio con toni di alta, media o bassa frequenza e di forte intensità (60-65 db e più) per determinare lesioni dell'organo del Corti. In tali casi (Smith e Wever [8]; Davis [9]; Witmarch e Yoshii, citati da Best e Taylor [3]; Lurie, Davis e Hawkins [10]), anche usando toni puri le lesioni hanno interessato almeno tutto un giro della coclea. Esse non risultavano mai precisamente

localizzate a quella parte dell'organo del Corti corrispondente alle corde della membrana basilare accordate col suono usato nell'esperimento, ma, usualmente, erano molto estese, in special modo se prodotte da toni bassi.

Da un punto di vista strettamente anatomico, infine, le ricerche di Tasaki e coll. [11], confermate da Galambos [12], Neff e Wever [13, 14] ed accettate pienamente anche da Davis [9], consentono alcune interessanti considerazioni.

Secondo questi Autori, nel nervo cocleare le fibre non rispondono selettivamente a toni di bassa, media o alta frequenza. Alcune fibre risulterebbero eccitate solo da toni bassi, altre da toni bassi e intermedi, altre, praticamente, da tutti i toni che l'orecchio può ricevere. Ogni fibra ha un proprio limite di sensibilità (*cut-off point*) per le alte frequenze, per cui può rispondere a tutte le frequenze fino a questo limite massimo, ma non alle frequenze superiori ad esso. Neff in particolare, sostiene che i toni alti eccitano una piccola popolazione di fibre, mentre, progressivamente, i toni bassi eccitano queste fibre più altre. Per questo motivo, la distruzione di neuroni del ganglio spirale può menomare l'orecchio per i toni alti, secondo l'autore, mentre, se soltanto qualche neurone resta integro, la percezione per i toni bassi non risulta turbata.

Questi fatti consentono di ritenere, almeno in via d'ipotesi, che nel ganglio spirale del Corti vi siano pochi neuroni in rapporto con cellule acustiche che ricevono toni alti, mentre altri neuroni possono essere, ad un tempo, in rapporto con cellule acustiche che ricevono toni di alta, media e bassa frequenza.

Non mi risulta che ciò sia stato anatomicamente confermato. Tuttavia, i risultati degli esperimenti di cui si è ora riferito, mi sembrano in accordo col fatto che l'aumento di grandezza media dei neuroni del ganglio spirale del Corti, da me osservato in seguito alla stimolazione sonora dell'orecchio della *Cavia Cobaya*, interessa le cellule nervose d'una vasta zona del ganglio.

Ritengo, perciò, di poter concludere che vi è stato un effettivo aumento di grandezza, superiore al normale, di una parte dei neuroni del ganglio spirale del Corti nelle cavie sottoposte all'azione del suono. L'incremento non era, però, localizzato ad una ristretta zona del ganglio, ma piuttosto diffuso. Penso che tale aumento di grandezza possa essere stato determinato dal maggior numero d'impulsi distribuiti in misura decrescente dall'apice alla base della coclea, dalla elevata intensità del suono e dalla sua notevole durata.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] LEVI G., *a*) *Ricerche sul volume delle cellule*, «Monit. Zool. It.», 16, 381 (1905); *b*) *Wachstum und Körpergröße*, «Ergebnisse d. Anat. u. Entw. gesch.», 26, 87 (1927).
- [2] TREVISI M., *a*) *Rilievi statistici sulla grandezza dei neuroni del ganglio spirale del Corti*. (*Cavia Cobaya*). «Monit. Zool. It.», 67, Suppl., 477 (1959); *b*) *Modalità di accrescimento delle cellule nervose del ganglio spirale del Corti nella Cavia Cobaya durante la vita embrionale*, Comunic. al XXII Convegno Naz. Soc. It. Anat. Ferrara, 15-17 Ottobre 1962.

- [3] BEST C. H. e TAYLOR N. B., *Le basi fisiologiche della pratica medica*. Vallardi, Milano 1958.
- [4] OLIVO O. M., PORTA E., BARBERIS L., *Modalità di accrescimento delle cellule dei gangli spinali nel pollo durante la vita embrionale e postnatale*, « Arch. It. Anat. Embriol. », 30, 34 (1932).
- [5] SPADOLINI I., *Fisiologia Umana*, vol. II. UTET, Torino 1954.
- [6] BAIKATI A., *Trattato di Anatomia Umana*, vol. III. Minerva Medica, Milano 1961.
- [7] BERNARDINI G., *Fisica Sperimentale - Parte I - Sez. II: Moti vibratori e onde elastiche. Propagazione di perturbazioni*. Libr. Eredi V. Veschi, Roma 1956.
- [8] SMITH K. R. and WEVER E. G., *Functional and histological effects of a high-frequency stimulus*, « J. Experim. Psychol. », 39, 238 (1949).
- [9] DAVIS H., *Biophysics and Physiology of the Inner Ear*, « Physiol. Rev. », 37, 1 (1957).
- [10] LURIE M. H., DAVIS H., HAWKINS G. E. jr., *Acoustic trauma of organ of Corti in Guinea Pig*, « Laryngoscope », 54, 375 (1944).
- [11] TASAKI J., DAVIS H. and LEGOUIS J. P., *The space-time pattern of the cochlear microphonics (Guinea Pig) as recorded by differential electrodes*, « J. Acoust. Soc. Am. », 24, 502 (1952).
- [12] GALAMBOS R., *Neural mechanisms of audition*, « Physiol. Rev. », 34, 497 (1954).
- [13] NEFF W. D., citato da WEVER E. G. [14].
- [14] WEVER E. G., *Theory of Hearing*, Wiley, New York 1949.