速 報**聴性脳幹反応の第V波ピーク潜時に対する実験式（Ⅱ）
— 3次元パラメータに対する関数形の推定—**

Experimental formula for the wave V peak latency of the auditory evoked responses (Ⅱ):
Derivation of a practical formula by applying the 3
dimensional function to the experimental data.

井川信子(学生会員)* 加藤修一** 有賀正浩*** 倉田 是*
Nobuko IKAWA* Shuichi KATO** Masahiro ARUGA*** Tadashi KURATA*

Abstract

As described in the series (Ⅰ)'s paper of this study the auditory brainstem responses (ABR) is well known as being well suited for the auditory clinical application. Especially, the peak latency of the ABR wave V is a reliable index for the clinical neurologic examination.

This paper is the series (Ⅱ) of this study, and reports the derivation of a practical formula by applying the linear regression analysis method and the 3 dimensional function the type of which was estimated in the series (Ⅰ)'s paper to the experimental data of the peak latencies of the wave V of 30 normal adult subjects who were evoked by the click stimulation the parameters of which were changed within 30 and 90 ndB HL in the intensity, 12.5 to 50.0 ms in the interval, and 0.1 to 1.0 ms in the duration. It is confirmed that this experimental formula the coefficients of which were optimized within the laid parameter's ranges is a very practical index to estimate the normal peak latency of the click evoked ABR within those ranges.

Key words

auditory brainstem responses (ABR), peak latency, click stimulus parameters,
3 dimensional type of function, experimental formula

* 千葉大学大学院自然科学研究科

〒263 千葉市稲毛区弥生町 1-33

** 帝京平成大学情報学部情報工学科

〒290-01 市原市潤井戸字大谷 2289-23

*** 東海大学工学部電子工学科

〒259-12 平塚市北金目 1117

* Graduate School of Science and Technology, Chiba University

1-33 Yayoi, Inage, Chiba 263

** Department of Information Engineering,
Faculty of Informations Teikyo Heisei
University

2289-23 Ohtani, Uruido, Ichihara 290-01

*** Department of Electronics, School of
Engineering, Tokai University

1117 Kitakaname, Hiratsuka 259-12

1. はじめに

本論文は、本研究のシリーズ第Ⅱ編としての報告である。既に第Ⅰ編で述べたが¹⁾, Sohmer (1967)¹⁾, Jewett (1970)²⁾等により、聴性誘発反応 (ABR) が記録された。幾つかの特性が明かとなっており、各波の起源がほぼ特定されている事^{2)~3)}から臨床応用されている。第Ⅰ編では ABR 発生の解明に役立つ背景理論を考慮しつつ 2 次元関数形を拡張し、解析の糸口たり得る 3 次元関数形を推定した。この関数形は実用的な実験式を導出する上で役立つ事を合わせ考慮された関数形であった。

聴性脳幹反応の第V波ピーク潜時に対する実験式 (II)

本論文では第V波ピーク潜時を推定する実験式を導出するため、第I編で推定した3次元関数形を、潜時に影響を与えるパラメータ範囲で測定した実験データに適用した。一般に刺激パラメータが3次元以上になると、刺激パラメータとピーク潜時の関係を簡単に把握することは困難になり、データの存在しない補間的な値を簡単に求める事は出来ない。しかし、この範囲の実験データに3次元関数形を適用し、その最適係数値を求めて導出した本実験式はこの問題に一つの実用的な解決を与えた。

2. 関数形のデータ適用

2.1 実験の背景と実験方法

(1) 実験の背景

実験の背景は、本研究の意味から第I編で述べた事と同様である。詳細は第I編を参照して頂く事として、本論文はその背景の中「数式化をその実用性を考慮して試みる」つまり、実用的な実験式の導出を目標とするという背景に基づき、第I編で推定した3次元関数形を実験データに適用し、最適係数値を求める事で実用に耐え得る実験式を提示する。

(2) 実験方法

上述の実験の背景で述べた事と同様な意味で、実験方法も第I編と同様であるが、次節以降の説明の都合上、その要旨を列記する。

被検者は聴覚健常者18-22歳の男性30名。クリックを用い、音圧は30から90 dB nHLまで10 dB nHL毎可変。刺激幅は0.1, 0.3, 0.5, 1.0 msの4種類。刺激頻度(stimulus rate, 刺激間隔の逆数)は、20, 40, 60, 80 Hzの4種類。加算回数は2000回。導出電極を置いた頭頂(vertex, Cz)と基準電極を置いた耳朵(A1, A2)より脳波用電極Ag-AgClにて単極導出。接触抵抗は5 KΩ以下。接地電極を前額(Frontal, Fpz)

に置き、両耳刺激。両耳間は短絡して等電位。加算及び記録は、日本光電社製 Nyuropack Four mini を使用。Low Cut Filterは100 Hz, High Cut Filterは5 KHzに設定。等である。

2.2 3次元関数形のデータ適用

第I編では、ABRの音刺激パラメータを変化させてABR第V波のピーク潜時の示す特性を検討するプロセスで、クリックのパルス幅を固定して、音圧と刺激間隔を変えた場合のピーク潜時が示す特性と刺激間隔を固定して、音圧とパルス幅を変えた場合のピーク潜時が示す特性を反映する実験式を考慮した。その結果、次の様な3次元関数形を推定した。即ち、ピーク潜時をY, クリックの音圧をX, パルス幅を τ , 刺激間隔をT, とした時の、 $Y = f(X, \tau, T)$ の形の関数形であり、簡単化と同時に $Y = \exp(\gamma + \alpha \beta T - \alpha XT/\tau)$ の $\beta = (C_1 \tau / T + C_2 X / T + C_3 X)$ を考慮して任意定数を C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 と再定義した推定式

$$Y = Y_0 \exp(C_1 \tau + C_2 X + C_3 XT + C_4 XT/\tau) \quad (1)$$

である。本論文では、この(1)式を設定されたパラメータ範囲の実験データに適用しその係数のその範囲での最適値の例を提示する。先ず、聴覚健常者のクリック刺激によるABR第V波のピーク潜時の平均値、分散の実験結果を第1表に示す。又、音圧(X), パルス幅(τ), 刺激頻度($f=T^{-1}$) (刺激間隔(T)の実験都合上の代用)を3パラメータとしたデータの傾向を示すために、データの一部をグラフ化したものが第1, 2, 3, 4図である。これらの傾向を考慮して、(1)式の最適係数値を推定するため線形回帰を実行した。関数形を簡単にすると同時に第2表に示される誤差百分率(測定データと実験式から求めた潜時の差を測定データで割って百分率で示した値)を最小とする様に、補

τ		0.1(ms)		f		20(Hz)		40(Hz)		60(Hz)		80(Hz)	
x(dB)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	
30	7.07	0.24	7.13	0.10	7.30	0.10	7.33	0.10					
40	6.74	0.14	6.82	0.17	6.92	0.10	7.04	0.11					
50	6.42	0.18	6.57	0.09	6.64	0.13	6.76	0.11					
60	6.12	0.13	6.20	0.11	6.36	0.11	6.56	0.15					
70	5.80	0.07	5.94	0.10	6.14	0.08	6.22	0.16					
80	5.64	0.09	5.80	0.11	5.99	0.07	6.13	0.10					
90	5.59	0.06	5.72	0.12	5.91	0.06	6.04	0.07					

$\tau = 0.3(\text{ms})$		$f(20(\text{Hz}))$		$f(40(\text{Hz}))$		$f(60(\text{Hz}))$		$f(80(\text{Hz}))$	
x(dB)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	
30	7.10	0.14	7.15	0.16	7.33	0.10	7.37	0.12	
40	6.81	0.20	6.88	0.08	7.08	0.05	7.17	0.08	
50	6.55	0.16	6.64	0.05	6.78	0.14	6.92	0.05	
60	6.21	0.04	6.33	0.07	6.48	0.12	6.66	0.06	
70	5.93	0.14	6.04	0.06	6.29	0.02	6.41	0.04	
80	5.73	0.16	5.89	0.04	6.07	0.03	6.23	0.11	
90	5.62	0.10	5.76	0.07	5.94	0.10	6.09	0.09	

$\tau = 0.5(\text{ms})$									
$f = 20(\text{Hz})$		$f = 40(\text{Hz})$		$f = 60(\text{Hz})$		$f = 80(\text{Hz})$			
x(dB)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	
30	7.17	0.27	7.24	0.09	7.37	0.05	7.46	0.07	
40	6.85	0.08	6.96	0.09	7.12	0.13	7.17	0.08	
50	6.62	0.14	6.71	0.03	6.87	0.10	6.93	0.08	
60	6.28	0.21	6.41	0.04	6.56	0.06	6.71	0.13	
70	6.03	0.09	6.07	0.03	6.41	0.06	6.49	0.08	
80	5.78	0.02	5.91	0.08	6.13	0.09	6.25	0.09	
90	5.71	0.04	5.81	0.03	6.04	0.08	6.12	0.10	

$\tau = 1.0(\text{ms})$									
$f = 20(\text{Hz})$		$40(\text{Hz})$		$60(\text{Hz})$		$80(\text{Hz})$			
x(dB)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	MV(ms)	SD(ms)	
30	7.20	0.34	7.24	0.08	7.50	0.13	7.54	0.13	
40	6.94	0.04	6.99	0.05	7.17	0.26	7.25	0.17	
50	6.65	0.15	6.77	0.05	6.90	0.02	7.00	0.16	
60	6.34	0.06	6.44	0.11	6.65	0.07	6.75	0.05	
70	6.12	0.09	6.15	0.01	6.42	0.08	6.50	0.03	
80	5.82	0.03	5.99	0.01	6.20	0.07	6.29	0.10	
90	5.71	0.02	5.88	0.07	6.10	0.06	6.16	0.09	

Table.1 Peak latencies of wave V which are derived by various click intensities(X), durations(τ) and repetition frequencies(f). MV and SD ; means value and standard deviation of the latencies.

第1表 クリックの音圧(X), 音の持続時間(τ), 音刺激頻度(f)を変えて導出された第V波の潜時 MVおよびSD は第V波のピーク潜時の平均値と分散

第1図 クリック持続時間と第V波潜時(1)
Fig.1 click duration and wave V latency(1)

第2図 クリック持続時間と第V波潜時(2)
Fig.2 click duration and wave V latency(2)

第3図 クリック刺激間隔と第V波潜時(1)
Fig.3 click stimulus interval and wave V latency(1)

第4図 クリック刺激間隔と第V波潜時(2)
Fig.4 click stimulus interval and wave V latency(2)

聴性脳幹反応の第V波ピーク潜時に対する実験式(Ⅱ)

正項 β を考慮して、最適係数値を求めた。

即ち、実験データを測定するパラメータの設定範囲は上述の実験方法で述べた

$$\begin{aligned} 0.1 \leq \tau \leq 1.0(\text{ms}) \\ 12.5 \leq T \leq 50(\text{ms}) \\ 30 \leq X \leq 90(\text{dB nHL}) \end{aligned} \quad (2)$$

の範囲とし、この範囲で(1)式の最適係数値を求めると、一つの例として

$$\begin{aligned} Y_0 &= 8.08 (\text{ms}) \\ C_1 &= 3.46 \times 10^{-2} (\text{ms}) - 1 \\ C_2 &= -3.24 \times 10^{-3} (\text{dB nHL}) - 1 \\ C_3 &= -2.68 \times 10^{-5} (\text{ms} \cdot \text{dB nHL}) - 1 \\ C_4 &= 1.02 \times 10^{-7} (\text{dB nHL}) - 1 \end{aligned} \quad (3)$$

が得られた。(3)式を用いて比較できるデータを調べると第5図及び第6図に示すように、実験データと良く一致した結果となる。又、新たに得た男性健常者3名(18-22歳)の測定に対して、誤差百分率を求めると、いずれも

第5図 実験式の示すクリック持続時間と第V波潜時
Fig.5 Relation between click duration and wave V latency which is shown by experimental equation

第6図 実験式の示すクリック刺激間隔と第V波潜時
Fig.6 Relation between stimulus interval and wave V latency which is shown by experimental equation

τ (ms)	X (dB)	f (Hz)=20	40	60	80
0.1	30	0.171	0.918	0.757	0.883
	40	0.081	1.485	0.88	0.413
	50	0.417	1.332	1.347	0.081
	60	0.675	3.287	1.993	0.479
	70	1.526	3.7	1.839	1.287
	80	0.216	2.156	0.627	0.824
	90	3.782	0.363	1.687	2.87
0.3	30	0.004	1.284	0.549	0.762
	40	0.396	1.23	0.76	1.573
	50	1.061	0.874	0.115	1.596
	60	0.299	1.765	0.731	1.342
	70	0.248	2.569	0.022	1.091
	80	1.371	1.156	0.1	1.805
	90	3.925	0.52	1.694	3.073
0.5	30	0.313	0.294	0.408	0.252
	40	0.316	0.748	0.641	3.139
	50	1.461	0.499	0.75	0.03
	60	0.765	1.172	0.18	0.377
	70	1.268	2.747	1.184	0.617
	80	1.598	1.486	0.409	0.423
	90	4.841	0.721	2.581	1.878
1	30	0.99	2.46	0.43	0.628
	40	0.089	2.047	0.383	0.293
	50	0.217	1.322	0.536	0.349
	60	0.0187	2.428	0.54	0.287
	70	1.056	3.144	0.373	0.089
	80	0.608	1.838	0.173	0.379
	90	3.224	0.236	1.87	1.849

Table.2 Percentage error
第2表 誤差百分率

5%以下で、かつ、比較データの56%が誤差百分率1%未満であった。従って、(3)式の係数を持つ3次元関数形(1)式は(2)式の設定範囲で有用且つ実用的な実験式となり得る。そこで本論文では、(3)式の係数を持つ(1)式を(2)式の範囲で十分実用に耐え得る実験式として提示する。

3. 考察及び今後の課題

本実験式は生理学的に詳細に検討された根拠に基づいて導出された式ではない。従って、この式が生理学的性質をどの程度反映してい

るかは更に検討すべき問題である。しかし、本実験式の各係数の正負を考慮すると、ピーク潜時は刺激持続時間が長くなると増大し、刺激音圧と刺激間隔の相乗効果による影響が強くなることを示している。このことはピーク潜時に関わる実験データの示す傾向をよく反映しており、本実験式が実用性を考慮して設定された範囲で有意な式であることを示唆している。又、本実験式は線形回帰に基づいてその最適係数値の決定がなされおり、実験データが線形特性を示す部分に関してはほぼ満足した傾向を示すことが出来た。本実験式の導出に対しては、その実用性を対象範囲としているため、実験データが示す飽和特性や著しい非線形特性を考慮にいれた補正項は無視している。しかし、実用性を考慮して設定された範囲における健常者第V波のピーク潜時の予測に支障はない。すなわち、実験データにおける第1～第4図の潜時-強さ曲線は、80 dB nHLを越える音圧で飽和特性が強くなるが、本実験式は、この飽和特性を示す項を有していないので飽和特性を示すデータに対応することは十分では無い。第5～第10図の全てにおいてその傾向が認められる。しかし、この実験式は、刺激頻度40 Hzを除けば、潜時-強さ曲線の線形特性を示すデータに対しては、ほぼ満足した傾向を示しているのである。又、刺激頻度40 Hzでは90 dB nHLにおける第2表の誤差百分率が、他の刺激条件におけるものよりも著しく値が低い。この場合には、実験式とデータの一致度は全体として極端に低下しているが、この例のように非線形性を強く示すデータ、あるいは、十分な信頼性を持たないデータは、一般的な実験式を導く上で先ず一旦無視する。そして、全体との適合性を考慮し実験式を設定する。その後改めて何らかの評価基準に沿って、そうしたデータの示す要素を考慮し補償する。本実験式もこうした手順に従って導出されたのであ

る。更に、厳密な母集団としての信頼性は欠くものの、30人分のピーク潜時の測定値の平均値を真値と仮定した誤差百分率を用いて、測定値と実験式の一致度の指標とすることにより、本実験式の有用性と実用性が補償できるので、クリックの刺激パラメータが本実験で用いた範囲内であれば、本実験式は健常者の第V波ピーク潜時を予想することのできる、実用的な一つの指標となるものと考えられるのである。

今後の課題としては、クリック波形からABRを誘発するまでの生理学過程の詳細な検討、音刺激の受話器での電気信号への変換過程の詳細な検討や生理学的な三過程⁴⁾(外耳、中耳、基底膜のメカニカル過程、感覚受容器のトランスジューサ過程、さらに、第一次求心性神経から聴覚系中枢に至る神経過程)の詳細なモデルと機能、メカニズムの検討等である。特に、神経過程における、ニューロンの発火頻度、発火するニューロンの数、発火の同期性⁵⁾と刺激音圧の関係、受話器の微分効果、および周波数変換と持続時間の関係、シナプス伝達物質の拡散時間と刺激間隔のなどの詳細な検討が必要である。上述の課題を検討することにより、ABRのより本質的なモデル構成と汎用、かつ実用性のより高い第V波ピーク潜時の推定式を得ることができるものと考えられる。

4. 結 論

本論文では、ABRのピーク潜時をクリック刺激パラメータから予測するための実用的な実験式を導き、実験データと良く一致する結果を得た。この実験式の利用により、刺激幅及び刺激間隔をそれぞれに変えた場合の健常者のI-L曲線を描く事、データに無い値を求める補間操作等は不要である。本実験式を初期的基準として、更に改善して、より実用的且つ標準的な関数形が与えられれば、ABR諸特性とそれを利用した各種検査のより詳しい実用的鑑

聴性脳幹反応の第V波ピーク潜時に対する実験式(Ⅱ)

別ができるものと考えられる。

5. 文 献

- 1) H. Sohmer and Feinbesser: Cochlear action potentials recorded from the external ear in man. Ann. Otol., 76:427-436, 1967
- 2) D.L. Jewett, M.L. Romano and J.S. Williston: Human auditory evoked potentials: possible brain stem components detected on the scalp. Science, N.Y., 167:

1517-1518, 1970

- 3) 市川銀一郎: 聴性脳幹反応の成因 神経進歩 23-2:328-335, 1979
- 4) C. Elbering: Action potential along the cochlear partition recorded from the ear canal in man. Scand Audiol 3:13-19, 1974
- 5) J.E. Stockard, J.J. Stockard et al: Normal variation of brainstem auditory evoked responses as function of stimulus subject characteristics. Arch Neurol 36:823-831, 1975