AN ANALYSIS OF NEURO-PSYCHO-PHYSIOLOGICAL PROCESSES IN RAPID REPETITION

SHIGETADA SUZUKI, B. A., MASAKO NOTOYA, B. A.,
SATOSHI SUGIMORI, M. D. and TAMEO MIYAZAKI, M. D.

Department of Otorhinolaryngology, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa
(Director: R. Umeda, M. D.)

The aim of the present study was to analyze human neuro-psycho-physiological processes in rapid repetition of a syllable /pa/. In Experiment 1, middle latency responses (MLR) and slow vertex responses (SVR) to auditory stimuli were recorded in 2 normal adults during rest and rapid repetition of /pa/ in response to the stimuli. In Experiment 2, reaction times (RT) of rapid repetition were measured in 10 normal young adults on three tasks; the first was to utter /pa/, /ta/ or /ka/ rapidly to a corresponding stimulus /pa/, /ta/ or /ka/ (RT_A). The second was to utter only /pa/ from the condition of preparing for /pa/ production in response to only /pa/ stimulus of them (RT_B). The third was to utter /pa/ from the same condition of the second task in response to only /pa/ stimulus (RT_C). As the results in Experiment 1, the latency of P₁ shifted from 75 msec to 60 msec, while there was no discernible change in MLR. In Experiment 2, the obtained RT were; 323.6 msec (RT_A), 295.5 msec (RT_B), and 240.9 msec (RT_C), respectively.

The results suggest the following:

- 1) The auditory sensorineural process takes 60 msec. This value seems to correspond to the latency of P₁ in SVR.
- 2) The auditory discrimination takes 60 msec. This value seems to correspond to the latency from P₁ to N₁.
- 3) Motor programming process takes 30 msec. This value is larger than N₁.
- 4) "Motor neuron time" is 80 msec.
- 5) Latency from activation of the speech muscles to voice onset is 100 msec.

It is concluded that the RT paradigm would be useful for the study of language and speech disorders.

A85—1437—11092

正常者における 1 音節復唱過程の分析

金沢大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：梅田良三教授）

鈴木重忠，能登谷晶子，杉盛 恵，宮崎為夫

I はじめに

復唱が行われるにはいくつかの過程が想定されている。入力側からみると、物理的信号を神経 impulse に

変えて高次中枢へ運ぶ聴神経伝導路の過程、入力信号を弁別する過程、入力信号に対応する構音運動を選別、企画する過程、さらにその構音の出力信号 impulse が運

動神経伝導路を経て末梢器官を作動させる過程などである。これらの過程に要する時間は、sensory time (Miller & Glickstein, 1966)¹⁴⁾, organization time (Vangham et al, 1965²⁰⁾; Netsell & Daniel, 1974)¹⁶⁾, perceptual choice, processing gesture organization phase (Porter et al, 1980)¹⁷⁾, motor time (Vangham, et al 1965)²⁰⁾とも呼ばれ、それぞれの測定値が得られている。しかし、これらは、サルの EEG や EMG によるものか、あるいはヒトとサルとの測定値を組み合わせで計算したものである。ヒトの音声入力から出力までの全過程を解析したものではなく、ヒトでは部分過程を解析したものがあるのみである (Netsell, 1974¹⁶⁾; Porter, 1980¹⁷⁾)。

本研究ではヒトにおけるこれらの過程の測定、分析を目的とした。

Ⅱ 実験 1

1) 対象: 薬物・煙草・アルコールの重症中毒がなく、聴力正常、神経学的および言語病理学的に問題のない健康な右利き成人女性 2 名 (30歳, 31歳)。

2) 方法: ERA system DANAC/8 で、前額頭毛のはえぎわに陽極、左耳垂に陰極、鼻根部に接地の血電極を置いた。刺激音は立ち上り下り各 10ms, 100ms 持続の 4000Hz tone burst 80dB(SL) を 3 秒間隔で右耳に聴

取させた。10Hz~200Hz ろ波で分析時間 204.8ms の SVR 30回加算波形を求めた。次いで、2000Hz tone pip 80dB(SL) の刺激音にて、30~500Hz ろ波の MLR 150 回加算波形を記録した。

被検者はシールドされた防音室内のベッドに仰臥位、閉眼、覚醒の状態、刺激音を聴いているときの SVR

MLR と、/pa/ を発する構音準備 (両口唇を閉じ口腔内圧を高めたまま待つ) をして刺激音をきき、刺激音を感じたしただけはやく /pa/ を発した時の SVR - MLR を記録した。

Ⅲ 実験 2

1) 対象: 薬物・煙草・アルコールの重症中毒がなく、聴力正常、神経学的および言語病理学的に問題のない右利き、健康成人 10 名 (男 5 名, 平均年齢 27.4歳: 24~32歳, 女 5 名, 平均年齢 27.0歳: 24~33歳)。

2) 方法: 防音室内で音間隔測定器 (図 1) により、刺激音の子音破裂部立ち上りと復唱 (発語) 音の子音破裂部立ち上りとの間隔 reaction time (RT) を ms 単位で求めた。RT の測定は 3 つの実験によった。実験 A—ランダムに録音した /pa/, /ta/, /ka/ の音節をきき、できるだけ早く復唱した際の RT_A を測定。実験 B—予め /pa/ を発する構えをして待ち、実験 A の刺激音のうち

図 1 測定装置のブロックダイアグラム

図 2 各実験方法

図 3 実験方法のブロックダイアグラム

/pa/ のみにできるだけ早く復唱した際の RT_B を測定。実験C—予め /pa/ の発する構えをして待ち、実験Aの刺激音 /pa/ のみを聞いた録音にできるだけ早く /pa/ を発するまでの RT_C を測定。この時は刺激音として /pa/ のみしか用いられていないことが被験者に予め知らされている(図 2)。練習は、各実験の前に被験者が要領を会得するまで口頭で行った。実験順序はC, B, Aの順で行った。刺激音: 各音節の長さは 160ms 以下、prestimulus interval は 1000ms~3000ms でランダム、被験者の右方約 50cm から与え耳元で 65 ± 5 dB (A) の大きさとした(図 3)。実験A, Bの /pa/, /ta/, /ka/

図 4 実験1の1例

表 1 実験成績

対象	RT_A	RT_B	RT_C	$RT_B - RT_C$	$RT_A - RT_B$
1 M	306	269	220	49	37
2 M	354	327	273	54	27
3 M	302	228	207	21	74
4 M	316	286	253	33	30
5 M	310	295	253	42	15
Mean	317.6	281	241.2	39.8	36.6
S. D.	52.3	32.5	24.1	11.7	11.7
1 F	258	251	220	31	7
2 F	339	319	245	74	20
3 F	332	308	237	71	24
4 F	429	411	299	112	18
5 F	290	261	202	59	29
Mean	329.6	310	240.6	69.4	19.6
S. D.	57.7	56.9	32.7	26.2	7.3
Total	3236	2955	2409	546	281
Mean	323.6	295.5	240.9	54.6	28.1
S. D.	45.7	51.2	30.3	26.5	18.2

RT_A , RT_B , RT_C 群間で $F=63.4$

$F_{.99}(2 \cdot 18)=6.01$ $p < 0.01$

最小有意範囲 (K)=15.13ms

$$\left. \begin{array}{l} RT_A - RT_B \\ RT_B - RT_C \\ RT_A - RT_C \end{array} \right\} p < 0.01$$

の音節数は各10個、実験Cの /pa/ は10個であり、/pa/ は実験A, B, Cとも同じサンプルを使用。測定値の処理は各実験における /pa/ の RT のうち大きな値 2 個を除いた 8 個の平均値とした。

IV 結 果

1) 実験の結果: 2例ともに安静時の SVR の P_1 は 75ms, N_1 は 130ms であった。/pa/ の構音時には2例ともに SVR の P_1 は 60ms, N_1 は 100ms にシフトした。MLR は変化しなかった(図 4)。

2) 実験2の結果: 各実験測定値ともに性差は有意の差を示さなかった。10例の RT の平均は, $RT_A=323.6 \pm 45.7$ ms, $RT_B=295.5 \pm 51.2$ ms, $RT_C=240.9 \pm 30.3$ ms, $RT_A - RT_B=28.1 \pm 18.2$ ms, $RT_B - RT_C=54.6 \pm 26.5$ ms であった(表 1)。 RT_A , RT_B , RT_C 群間には $F=$

63.4, $F_{99}(2, 18) = 6.01$ で有意の差, RT_A と RT_B 間
 RT_A と RT_C 間・ RT_B と RT_C 間の最小有意範囲
 $(K) = 15.13$ で有意の差を示した。

V 考 察

実験1で P_1 の潜時は /pa/ の音を発することでおおよそ 60ms にまでシフトした。過去における報告が SVR の潜時と振幅の変化について一致した結果を示していない理由として Mononen & Seiz (1977)¹³⁾ は、刺激音の質と反応行動との両面から検討し、SVR の N_1 の振幅は刺激音の性質によって異なり、潜時は刺激音の与え方と反応 task によって異なることを明らかにした。さらに潜時が異なる理由として pathway の相互作用によるものであろうと指摘している。本研究の実験1では、SVR の N_1 のみならず P_1 も task の負荷により明らかに潜時が短縮した。したがって、 P_1 も反応 task によって影響を受ける範囲内にあると考えられ、少なくとも 60ms 以降は皮質レベルの機能を示すものと推測される。しかし、Mononen らの研究では、相互作用により潜時が延長するのに対して、本研究では逆に短縮している点が異なるので、今後検討を要する問題といえよう。

一方、上丘および大脳皮質の第1次聴領を包含すると推測される潜時 10~50ms の MLR には、構音 task の有無による変化が認められなかったこと、さらにわれわれが経験した聴神経伝導路はインタクトであるにもかかわらず、弁別過程の障害によって発症すると考えられている純粋聴聾の例の MLR も正常であった¹⁹⁾ ことから 50~70ms 以前は弁別や発語 task の影響が及ばない聴神経伝導路に相当すると推測される。

RT で最も短い値を得ている Luschel, et al (1976)¹⁸⁾ は、聴刺激に対する指の反応の際、二頭筋の EMG までの RT が 80ms であったという。この値は、聴神経伝導路のほかに motor neuron time を含んだものであるから、聴神経伝導路の過程はこの値を越えないことになる。われわれの聴神経伝導過程が SVR の P_1 まですなわち 60ms 未満であるという値は、この 80ms 以内にあるので無理のない数値と考えられる。したがって、 P_1 以降に弁別、企画過程が存在すると推測される。

以上のように、ヒトの聴神経伝導路は 50~60ms という値を他の動物のものと比較すると、サルは 30~40ms (Miller & Glickstein, 1966)¹⁴⁾ よりもヒトの方がおよそ 20ms 長い。実験条件や種の違いによるのかも知れないが、やや長すぎる感も否めない。今後さらに検討を

要するところであらう。

実験2-Aの値 323ms は、復唱の全過程を含んでいる。すなわち、聴神経伝導路、弁別、構音企画および motor 過程のすべてである。Davis, et al (1961)⁶⁾ は、数字、アルファベットの聴刺激から喉頭コンタクトマイクの音声立ち上がりまでの RT を測定し、200ms であったという。Saslow (1958)¹⁸⁾ は、CV 音節の復唱 RT は、200~220ms としている。これらの値に比し本研究ではおよそ 100ms 長い。しかし、弁別や運動企画を要しない後述の simple RT である諸家の値やわれわれの実験2-Cの値が 200ms を越えるにもかかわらず、弁別や企画過程を含む復唱の RT が 200ms~220ms という Saslow と Davis らの値は不自然といえよう。むしろ、Brennan & Cullian (1975)⁵⁾ の 337ms とする値が、われわれに近く妥当と思われる。

性差については、Izdebski (1980)¹¹⁾ と Porter & Xavier (1980)¹⁷⁾ は男性が女性よりも短かい傾向を示すが、有意の差ではなかったと報告している。本研究でも同様の結果であった。

年齢差については、Birren & Bolwinick (1955)³⁾ の報告があり、18歳~36歳群は61歳~91歳群よりも、指、顎、足の RT が有意に短かったという。今後、RT の比較に当っては、重要な因子として考慮すべき点と思われる。とくに高齢者の多い脳血管障害を対象として RT を求める際には、同年齢の健康人のデータとの対比をするべきであらう。

実験2-BのRT 296ms は、すでに構音の準備をして待っているから、実験2-Aに比し企画過程の分だけ短縮していることになる。したがって両者の差 323ms - 296ms = 27ms は企画過程に要する時間と推測される。この企画過程を測定している研究としては、Porter ら (1980)¹⁷⁾ の 113~132ms がある。この値は、彼らが刺激音声である /V₁CV₂/ のうち /V₁/ 波形の消失時と反応音声である /CV₂/ のうち /C/ 波形の起始時および刺激音声である /V₁CV₂/ のうち /V₁/ 波形の消失時と反応音声である /V₁CV₂/ のうち /V₁/ 波形の消失時を RT としているための誤りによるものである。

実験2-CのRT は、simple reaction time と呼ばれ¹⁸⁾、音声刺激に対する音声反応のものとしては、Saslow (1959)¹⁸⁾、Davis et al (1961)⁶⁾、Fry (1975)⁷⁾ Porter (1980)¹⁷⁾ の測定がある。時間は 200~296ms の範囲である。本研究での測定値 241ms は、これらの平均値に近く妥当な結果といえよう。

音刺激－音声反応の RT としては, Izdebski & Shipp (1978)¹⁰⁾ の 190.5ms, Izdebski (1980)¹¹⁾ の 239ms がある. 音声刺激一指の反応としては, Fry (1975)⁷⁾ の 180ms, Izdebski (1980) の 188ms がある. 音刺激一指の反応では, Bellis (1933)²⁾ の 190ms, Gaskill (1928)⁸⁾ の 245ms, Beh & Nix-James (1974)¹⁾ 210.9ms がある. 光刺激一指の反応では Bellis (1933)²⁾ の 220ms がある. 以上は, 刺激の種類および反応形式も同一でないので単純な比較はできないが, 音声で反応するよりも指の反応時間がやや短かい傾向を示すようである. Fry (1975)はこの差を voice と finger のメカニズムの違いによるものであろうと推測している.

実験 2-B と 2-C との差 56ms は /pa/ を /ta/, /ka/ から弁別を要するかしないかの違いであるから, 弁別過程に相当すると推測される. 比較の対象として Porter (1980)¹⁷⁾ の 30~80ms があるが, 先にも述べたように計測上の誤りがあるので論じられない. 聴神経伝導路の過程がおよそ 60ms の P₁ までとすると, 56ms を加えた 116ms は N₁ に相当し, SVR 上では P₁ から N₁ で弁別過程が行われると推測される.

実験 2-A の 324ms から聴神経伝導過程の 60ms, 弁別過程の 56ms および企画過程の 28ms 合計を引いた残り 180ms は, 運動神経伝導過程と末梢構音器官から音声が発せられるまでの motor 過程の所要時間に相当する. この 180ms と聴神経伝導路の 60ms を合計した 240ms は諸家の simple reaction time の値 188~296 ms の中間に位置するので妥当なものであろう. motor 過程のうち運動神経伝導路は, Netsell ら (1974)¹⁶⁾ の音刺激から口輪までの neuron time 142ms から本研究の聴神経伝導路 60ms を引いたおよそ 80ms と推測される. この値は, Ladeforged (1960)¹²⁾ の, tap 音から /ma/- を発する内肋間筋までの最短の simple reaction time である 140ms から聴神経伝導路の 60ms を引いた残りの 80ms とよく一致する. したがって, 末梢器官の作動から音声の onset までの RT は, 180ms から 80 ms を引いた残りの 100ms ということになる. この値は Ladeforged (1960) の 48ms よりも長い. その理由は, 反応に用いられた構音の違いによるものと考えられる.

弁別過程と企画過程の合計は 84ms となる. Porter ら (1980) は, われわれの方法とよく似た 3 つの task 別 RT の差から, 弁別に相当する perceptual choice が 30~80ms, 企画に相当する gesture organization phase

が 116~132ms としている. 両者を合計すると 146~212ms となり, われわれの測定値 84ms を大きく上まわる. その理由は, Porter らが前述のように計測方法を誤っていることによる. 正しくは刺激音の子音波形と反応子音波形の起始部の差によるべきである. 試みに Porter らの図中の数字で /b/ の弁別, 企画を計算すると, それぞれ 88ms, 11ms 合計 99ms となり, われわれの値と近くなる. Netsell & Daniel¹⁶⁾ (1974) も自を行ったヒトの neuron time と Humphrey (1970)⁹⁾ や Vangham, et al (1965)²⁰⁾ のサルの実験 RT から, 60~72ms と計算しているが, 本研究の値に近いものである.

図 5 復唱の神経・心理・物理過程

以上, /pa/ の復唱全過程に要するおよその時間を列举すると, 聴神経伝導路 60ms, 弁別過程 60ms, 構音企画過程 30ms, 運動神経伝導路 80ms, 構音末梢器官から voice の立ち上りまで 100ms 計 330ms である (図 5). これらの神経, 心理, 物理過程のいずれかに障害がおこれば, その過程の RT は延長あるいは短縮を示すと考えられる. したがって, Scripture (1927) が予想したように, RT の研究は neuromuscular speech disorders の障害過程を明らかにする 1 つの方法として有用と思われる. 今後, 失認, 失語, 先行, 運動障害性などの言語障害についての検討が期待されよう.

結 論

健康成人女子 2 名の SVR と MLR の記録と健康成人男女 10 名の /pa/ 刺激に対する /pa/ の 3 つの task 別 RT 測定から, 1 音節 /pa/ の復唱過程の分析を行いつつ結論を得た.

1. 聴神経伝導過程は 60ms で SVR の P₁ 以前.
2. 弁別過程は 60ms で, SVR の P₁ から N₁ まで.
3. 構音運動企画過程は 30ms で N₁ 以降.
4. 運動神経伝導過程は 80ms.
5. 末梢構音器官から音声の立ち上りまでは 100ms.

6. 以上の過程の分析は、言語障害の障害部位検索に有用と予想される。

参 考 文 献

- 1) Beh M C and Nix-James D R: The relationship between respiration phase and reaction time. *Psychophysiology* 11: 400-401, 1974.
- 2) Bellis C J: Reaction time and chronological age. *Proc Soc Exptl Biol & Med* 30: 801-803, 1933.
- 3) Birren J E and Bolwinick J: Age differences in finger, jaw and foot reaction time to auditory stimuli. *J Gerontol* 10: 429-432, 1955.
- 4) Bowers D and Heilman K M: Material specific hemispherical arousal. *Neuropsychologia* 14: 123-127, 1976.
- 5) Brennan D C and Cullinan W L. The effect of word length and visual complexity on verbal reaction times. *J Speech & Hearing Research* 19: 141-155, 1976.
- 6) Davis R, Moray M and Treisman A: Imitative responses and the rate of gain of information. *Q J Exp Psychol* 13: 78-89, 1961.
- 7) Fry D B: Simple reaction times to speech and non speech stimuli. *Cortex* 11: 355-360, 1975.
- 8) Gaskill H V: The relation of reaction time to phase of breathing. *J Exptl Psychol* 11: 364-369, 1928.
- 9) Humphrey D R: Predicting measures of motor performance from multiple cortical spike trains. *Science* 170: 758-762, 1970.
- 10) Izdebski K and Shipp T: Minimal reaction times for phonatory initiation. *J Speech & Hearing Research* 21: 638-651, 1978.
- 11) Izdebski K: Effects of prestimulus interval on phonation initiation reaction times. *J Speech & Hearing Research* 23: 485-489, 1980.
- 12) Ladeforged P: The regulation of sub-glottal air pressure. *Folia Phoniatica* 12: 169-175, 1960.
- 13) Luschel E S, Saslow C and Glickstein M: Muscle potentials in reaction time. *Exptl Neurol* 18: 429-442, 1967.
- 14) Miller J F and Glickstein M: Neural circuits involved in visuomotor reaction time in monkeys. *J Neurophysiol* 29: 399-414, 1966.
- 15) Mononen L J and Seitz M R: An AER analysis of contralateral advantage in the transmission of auditory information. *Neuropsychologia* 15: 165-173, 1977.
- 16) Netsell R and Daniel B: Neural and mechanical response time for speech production. *J Speech & Hearing Research* 17: 608-618, 1974.
- 17) Porter R J Jr and Xavier C F: Speech-production measures of speech perception; rapid shadowing VCV syllables. *J Acoust Soc Am* 67: 1349-1356, 1980.
- 18) Saslow M G: Reaction time to consonant-vowel syllables in ensembles of various sizes. *MIT Q Prog Rep* 50: 143-144, 1958.
- 19) 鈴木重忠 能登谷晶子: 小児の純粹語聲の1例 音声言語医学 19: 164-173, 1978.
- 20) Vangham H G et al: Identification of sensory and motor components of cerebral activity in simple reaction-time task. *Proc 73rd Conv Amer Psychol Ass* 1: 179-180, 1965.

稿を終えるに当たり、ご助言とご校閲を載きました梅田良三教授に深謝致します

(原稿受付 昭和 57. 3. 5日)

別刷請求先 〒920 金沢市宝町 13-1

金沢大学医学部耳鼻咽喉科学教室 鈴木重忠