児 童 の 事 象 関 連 電 位 の 特 徴

金田 健史¹⁾ 西平賀 昭²⁾ 八田 有洋²⁾ 麓 正樹¹⁾
下田 政博³⁾ 時任真一郎¹⁾ 秋山 幸代¹⁾

FEATURE OF EVENT-RELATED POTENTIALS IN DEVELOPING CHILDREN

TAKESHI KANEDA, YOSHIAKI NISHIHARA, ARIHIRO HATTA, MASAKI FUMOTO,
MASAHIRO SHIMODA, SIN-ICHIRO TOKITOH and SACHIYO AKIYAMA

Abstract

We examined here, changes in event-related potentials (ERPs) in eighteen children from 7 to 12 years and twelve adults. In addition to ERPs, we examined changes of EMG-RT. Subjects performed an auditory target discrimination task, in which 1000 Hz tones (target) and 2000 Hz tones (standard) were randomly presented with probabilities of 0.2 and 0.8.

We found P300 as most consistent component of ERPs since childhood. P300 latency and EMG-RT in children was significantly prolonged than in adults ($p < 0.01$). P300 amplitude in children was significantly larger than in adults ($p < 0.05$). We concluded that both stimulus evaluation time and response selection time in children are more prolonged than that in adults, although ERPs is confirmed in children.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2000, 49: 307~314)

key words : P300, Event-related potentials (ERPs), EMG-RT, Children

I. 緒 言

各種運動の競技者は、小学校の時期から運動経験を開始し、現在までに10年以上の長期的な運動・トレーニングを行ってきたものが大半であり、そのため、神経・筋系や心血管系、呼吸器系において運動・スポーツ活動に対する適応状態が形成されている。特に、骨格筋の肥大や筋線維組成の変化¹⁾等が起こることがよく知られており、また心血管系や呼吸器系においては、スポーツ心臓²⁾や最大酸素摂取量の増大等が挙げられる。また骨格筋を支配している運動神経や心臓、血管などを支配している自律神経系は中枢神経系の支配下にあることが今日明らかにされている。した

がって体育・スポーツ科学の研究領域において、ヒトの運動や行動に関して研究するためには、中枢神経系について調べることが重要な課題であると考ええる。

ヒトの中枢神経系に関する研究には、脳波周波数 (Electroencephalography frequency) を用いた研究が知られており、その他に事象関連電位 (Event-related Potentials: ERPs)、脳磁図 (Magnetoencephalography: MEG)、ポジトロン放射断層撮影 (Positron-emission tomography: PET) や筋電図反応時間 (Electromyogram reaction time: EMG-RT) 等が用いられている。その中でも ERPs は中枢内のより高次の認知、情報処理過程を実体的に評価する指標とされている。ERPs と

¹⁾ 筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

³⁾ 東京農工大学
〒183-8506 東京都府中市幸町3-5-8

*Doctoral Program in Health and Sports Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8574, Japan.*

*Division of Physiology, Institute of Health and Sports Sciences, University
of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8574, Japan*

*Division of Ecoregion Science, Faculty of Agriculture, Tokyo University
of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu 183-8509,
Tokyo, Japan*

は、被検者が呈示された種々の感覚刺激にかかわる課題を行なった場合に頭皮上に誘発される電位の総称であり、ヒトが外部からの情報を知覚し、それを処理したのち、反応が生じるといった中枢内で行なわれる情報処理過程に対応した大脳活動を反映すると考えられている。ERPs 成分のうち、特に刺激後 250～500 ms の間に出現する陽性波は P 300 (P 3) と呼ばれており、1965年に Sutton ら³⁾によって、刺激の不確かさに関する電位として初めて報告された。また P 300 は刺激の識別が困難である場合や難易度が増す場合にその潜時が増長すること⁴⁾、刺激が被検者にとって意味を持つ場合や被検者の注意・集中度が高い場合はその振幅が増加すること^{5,6)}が報告されている。これらから、P 300 は中枢内で行なわれる情報処理過程の中でも刺激の認知から刺激評価までの過程を反映すると考えられている^{7,8)}。

これまで P 300 潜時や振幅は、ヒトの加齢や発達とともに変化する^{9,10)}という報告がなされており、Brown ら¹¹⁾や Picton ら¹²⁾は、P 300 潜時は成人から歳をとるにつれて加齢による影響から延長していく¹³⁾と報告している。発達に関しては、Goodin ら¹⁴⁾や椋¹⁵⁾が P 300 潜時は15, 16歳を臨界点として、発達とともに短縮する¹⁶⁾と報告している。しかしながら、小児期から小学校高学年や思春期にかけての中枢神経系についての研究では、脳波周波数解析を用いた研究^{17～19)}がなされているが、ERPs を指標とした認知機能に関する研究^{9,16,20)}ではまだその特徴が十分に明らかにされていない。それは、スキヤモンの発育曲線に示されるように、身長・体重・筋肉等が含まれる一般型の変化とともに、神経系の発達が思春

期までの間に急激に変化していく特徴があるためと考えられる。それゆえ、中枢神経系の発達を基盤とするより高次の認知機能も、いくつかの段階を経て、この時期に急激に変化していくことが考えられる。

そこで本研究では、中枢内の認知、情報処理の指標とされる ERPs と、反応に関わる情報処理の指標とされる EMG-RT を用いて、児童期の中枢内で行なわれる情報処理過程の特徴について検討することを目的とした。

Ⅱ. 方 法

A. 対 象

Table 1 は被検者となった児童・成人の身体的特徴を示した。被検者は神経疾患のない健康な児童18名(9.3±1.5歳)、成人12名(20.9±2.6歳)であり、実験主旨を説明したうえで実験参加の同意を得た。被検者は22～25℃に空調されたシールドルーム内の安楽椅子に腰掛け、安静開眼状態でできるだけ瞬きしないように指示した。

B. 手 順

最初に、被検者は実験環境に慣れるために安静座位、開眼状態での安静脳波を3分間記録した。続いてオドボール課題を用いて ERPs の測定を行なった。脳波及び ERPs は国際10-20法による Fz, Cz, Pz, C3, C4 の5部位から、両耳朶連結を基準とし、Ag/AgCl 電極を用いて単極導出した。また眼球運動(EOG)も同時にモニタし、EEG と EOG を脳波計(EE1000 A, NEC)に紙記録し、得られたアナログデータは DAT テープに記録した。オドボール課題では、被検者に3～5秒の間

Table 1. Characteristics of each group.

group	age	sex	dominant hand	height (cm)	weight (kg)
children n=18	9.27±1.45	male (10) female (8)	right (17) left (1)	135.95±9.79	31.99±8.12
adults n=12	20.92±2.63	male (12)	right (12)	169.54±5.36	61.08±7.16

Values are Mean ± SD.

隔でヘッドホンから呈示される 1000 Hz と 2000 Hz の純音刺激(duration : 50 ms plateau, rise/fall : 10 ms)が 2 : 8 の割合でランダムに与えられた。被検者はそのうち 1000 Hz の音を識別した場合に、なるべく早く利き腕の肘関節の伸展動作を行ない、2000 Hz の音は無視した。このとき、被検者の動作肢の上腕三頭筋より得られた筋電図(EMG)を脳波計に紙記録し、得られたアナログデータは DAT テープに記録した。実験では、あらかじめ被検者にこれらの 2 種類の音刺激を与えて、音刺激を十分に認識させ、反応動作を行なさせた後、課題を行なうよう指示した。実験 diagram については Fig. 1 に示した。

C. 記録・解析

1. ERPs

ERPs 測定での bandpass filter は 0.15~100 Hz とした。記録時間は、児童のデータに関しては刺激前 200 ms から刺激後 1000 ms までとし、成人のデータは刺激前 200 ms から刺激後 600 ms までとした。解析は A/D 変換したデータを 250 Hz のサンプリング周波数で、波形解析ソフト (EPLIZER, キッセイコムテック)を用いて行なっ

た。解析処理において、 $\pm 100 \mu V$ 以上の EOG が出現した試行を除き、1000 Hz の音刺激をトリガーとして 12~20 試行分を加算平均し²⁰⁾、ERP 波形を求めた。そして誘発された波形と極性から P 300 (刺激後 250~500 ms に生じる最大陽性電位)を同定し、潜時と振幅の測定を行った。また潜時は刺激点から頂点までの時間とし、振幅は刺激前 100 ms から刺激点までの平均電位を基線とし、基線からその頂点までの値とした。

2. EMG-RT

EMG は、表面双極導出法により上腕三頭筋に約 3 cm 間隔で電極を装着した。bandpass filter は 0.05~1500 Hz とした。EMG-RT は、刺激点から P 300 加算時に記録した EMG 原波形の EMG onset までを測定し、その平均値を被検者個々の EMG-RT として用いた。

D. 統計処理

P 300 の潜時・振幅に関しては、年齢群(児童・成人)と記録部位(Fz・Cz・Pz・C3・C4)の二元配置の分散分析を行い、各水準間で有意差が見られた場合に、下位検定を行なった。また EMG-RT については年齢群により、t-test : Un-

Fig. 1. Block diagram of experiment and analysis.

paired を行なった. 有意差検定での有意水準は 5 % 未満とした.

Ⅲ. 結 果

A. 波 形

Fig. 2 は, 児童と成人の被検者の総加算平均した ERPs の波形を示している. 本研究では全ての被検者において, P 300 を確認できた. また, P 300 の出現前に注意に関連するといわれる N 100 や P 200, N 200 に相当する頂点を確認することができた.

B. P 300 成分

児童の P 300 潜時は, 成人と比較して年齢群間に有意差が見られ, 児童から得られた潜時が有意に遅かったが, 部位間には有意差が見られなかつ

た (Table 2).

また児童の P 300 振幅は, 成人と比較して年齢群間・部位間ともに有意差が見られ, 部位ごとにみた結果, 全ての部位で有意に大きな値を示した (Table 3). さらに P 300 振幅の頭皮上分布を検討した結果, P 300 振幅は頭頂部 (Pz) 優位に出現し, 児童と成人のどちらにおいても, Pz の値が他の部位 (Fz, Cz, C3, C4) と比べて有意に大きかった (Table 3).

C. EMG-RT

児童, 成人のどちらにおいても, 標的刺激に対して, ほぼ全試行で EMG がみられた. Fig. 2 には, 得られた EMG の一例を示した. EMG-RT は, P 300 の加算に用いた試行から得られた値を平均化したものであった. その結果, 児童の EMG-

Fig. 2. Grand average of ERPs at children and adults, and EMG in one child. P 300 was identified.

Table 2. Mean P 300 latencies with standard deviations at all sites (Fz, Cz, Pz, C 3 and C 4) from stimuli onsets between children and adults.

	children	adults	
P300 latency (msec)			
average at all electrode times	379.80 ± 65.13	324.20 ± 29.95	**

Values are Mean±SD.

** indicates a significant difference between children and adults at $p<0.01$.

Table 3. Mean P 300 amplitudes with standard deviations at Fz, Cz, Pz, C 3 and C 4 from the smoothed baseline to peak measurement between children and adults.

	children		adults		
P300 amplitude (μ V)					
Fz	19.60 ± 11.38		8.01 ± 4.97		*
Cz	21.45 ± 9.93		7.04 ± 4.65		**
Pz	32.61 ± 9.96	##	11.91 ± 4.50	##	**
C3	22.39 ± 10.58		7.24 ± 3.66		**
C4	18.25 ± 8.17		8.15 ± 3.67		**

Values are Mean±SD.

*, ** indicates a significant difference between children and adults at $p<0.05$, $p<0.01$.

indicates a significant difference among 5 sites (Fz, Cz, Pz, C 3, C 4) at $p<0.01$.

Table 4. EMG-RT from stimuli onsets between children and adults.

	children	adults	
EMG-RT (msec)	385.27 ± 121.22	274.58 ± 48.57	**

Values are Mean±SD.

** indicates a significant difference between children and adults at $p<0.01$.

RT は、成人と比較して、有意に遅い値を示した (Table 4).

IV. 考 察

本研究では、ERPs の中の P 300 成分と EMG-RT を指標として、児童の中枢内で行なわれる情報処理過程の特徴を明らかにすることを目的とした。

A. 波 形

本研究では、児童・成人の被検者それぞれから得られた加算平均波形から全被検者で P 300 を確認できた^{21,22)}。また、P 300 に先行して出現する注意に関連するといわれる N 100 や P 200, N 200 に相当する成分²³⁾を同様に確認できた。ERPs 波形の中には、P 300 以外にもいくつかの成分が認められており、N 100 成分は注意に関連する陰性電位²⁴⁾と考えられ、そのため N 100 に

相当する成分がみられたことから、児童においても選択的注意機能が適切にはたっていると推測することができる。また N200 成分は与えられている課題を遂行するために、被検者が積極的に行っている刺激のカテゴリー知覚・カテゴリー認識に関連する電位といわれている²⁴⁾。そこで児童の ERPs 波形において、成人とほぼ同様の波形がみられたことに加えて、P300 のみならずその他の電位成分がみられたことから、中枢内の一連の情報処理に関わる機能が、児童期においてすでに現われているものと考えられる。

B. P300 成分

1. 潜 時

本研究において、児童の P300 潜時は、成人と比較して、有意に遅い値を示した。Kutas ら⁷⁾は P300 潜時は刺激に対する刺激評価過程を、また Magliero ら⁸⁾は反応選択や実行から独立する刺激評価過程の時間的指標として用いることができると報告している。Kutas ら⁷⁾によると、刺激の評価を完全に終えてから反応する場合の反応時間と P300 潜時では高い相関が得られるのに対し、刺激の評価が不完全なままの状態、つまりできるだけ早く反応することに重点をおいた状態で刺激に対する反応を開始した場合の反応時間と P300 潜時では相関が低くなるため、中枢内で行なわれる課題に対する反応選択・実行過程と P300 が反映する過程が異なると述べており、そのため P300 によって示される処理過程は、刺激評価に関わる過程であるとしている。さらに、P300 潜時は刺激の識別が困難な場合に延長する報告がある⁴⁾。

また発達や加齢に関する研究において、Brown ら¹¹⁾や Picton ら¹²⁾、Pfefferbaum ら¹³⁾は、成人を過ぎると加齢とともに P300 潜時は延長していくと述べており、Goodin ら¹⁴⁾や椋¹⁵⁾は P300 潜時は発達によって短縮し、15、16歳で最短になると報告している。この P300 潜時の発達による変化について、Goodin ら¹⁴⁾、Courchesne²⁵⁾は、中枢神経系の髄鞘化に関連するものとして説明している。P300 の起源については、海馬^{26,27)}や視床²⁸⁾などの関与が示唆されているが、Yakovlev

と Lecours²⁹⁾によると、補足運動野を含む網様体、海馬、視床の一部、終脳の白質では、その髄鞘形成の完成は10歳以降であるとされている。また、脳の機能的側面を髄鞘化よりもよりよく反映するといわれるシナプス形成は樹状突起の発達と相互に関連しあうとされている³⁰⁾が、他の部位と比較して連合野ではその発達が遅く、前頭連合野のシナプス密度は15歳頃に成人値に達するという報告³¹⁾がある。これらのことから、本研究で対象とした児童は7～12歳であり、身体的変化だけでなく、中枢神経系の働きに関わる部位においてもその完成までの発達段階であるために、中枢神経系も大きな変化を遂げている時期にあたると考えられる。また脳の可塑性の変化は発達時期の脳で最も顕著であるため、本研究における児童においても外部から受ける多くの情報や刺激によって起こる中枢神経系での変化が成人に至るまでの過程において大きいと考えられる。その結果、児童期では刺激評価に関わるとされる P300 潜時が成人と比較して遅くなることが考えられる。

2. 振 幅

本研究における P300 振幅は、成人と比較して、児童では有意に高い振幅が得られた。ERPs の振幅に関して、一般に成長にともない、ヒトの頭蓋骨、皮下組織は肥厚する傾向にあるが、これに伴い頭皮電極と脳表の間のインピーダンスは増大し、振幅は低下するものと推察される³³⁾。そのため本研究における児童の P300 振幅の結果は、この成長による振幅の変化の影響を受け、成人の値よりも大きい値を示したことが考えられる。

さらに、先行研究において、P300 振幅は記憶更新時の課題に対する処理資源の分配量に依存し³²⁾、被検者の精神状態によって大きく左右される^{5,6)}という報告がなされている。また P300 振幅の発達による変化に関する研究では、個人差が大きく、一定の傾向が認められない^{14,16)}とする報告が多く、年齢との相関関係が低いとされ、この点に関して十分にわかっていない。その理由として、P300 振幅それ自体個人差が大きいことと、対象個々の課題に対する注意の程度にばらつきが大きいなどの要因が考えられている。そこで

本研究の児童の内省報告をみると、「楽しかった、面白かった」等の報告が非常に多くみられ、児童は課題に対して非常に多くの処理資源を分配していたことが予想される。

3. 頭皮上分布

P 300 振幅の頭皮上分布は、成人、児童のどちらにおいても、頭頂部(Pz)が他の4部位よりも有意に大きな値を示した。頭頂部(Pz)は、大脳皮質の頭頂葉に当たる。頭頂葉は、中心溝から後ろの部分で、一次感覚野や感覚の連合野に当たる部分であり、この頭頂葉の連合野は知覚及び空間の認知に基づく思考に関する統合を行なっている。すなわち頭頂葉連合野は聴覚野や体性感覚野、視覚野などからの感覚情報が記憶され、あるいはすでにある記憶と照合され、認知し、理解し、判断されるといった高次の情報処理過程及びその過程の操作に関わっている^{34,35)}と考えられる。本研究の結果は、P 300 振幅の頭皮上分布に関する報告^{14,25)}と同様に、児童においても、頭頂部優位であった。このことから、児童期においても、高次の情報処理に関わっているとされる頭頂葉連合野が、成人と同様に働いていると推測することができる。

C. EMG-RT

EMG は被検者全員で確認された。しかし児童の EMG-RT は被検者内においても一試行ごとにかなりのばらつきがみられた。本研究から得られた EMG-RT は、成人の値と比較して、有意に延長していた。これは P 300 潜時と同様に児童期では、中枢内の認知情報処理に関わる中枢部位が完成まで至っていないため、刺激処理過程と並んで、反応実行過程を反映すると考えられている⁷⁾ EMG-RT も成人と比較するとかなり延長したと考えられる。

V. 結 語

本研究では、児童の中枢内で行なわれる情報処理過程の特徴について、中枢内の認知、情報処理の指標とされる ERPs, EMG-RT を指標に用いて、明らかにすることを目的とした。

結果は、以下の通りである。

児童の ERPs 波形、P 300 潜時・振幅、頭皮上分布に関する検討から、児童においても、成人と同様に中枢内の認知、情報処理過程が存在すると考えられる。しかしながら児童期では、その完成は十分ではなく、発達による変化の過程にあると考えられる。また EMG-RT が成人と比較して児童において遅いことから、P 300 潜時が反映するであろう刺激処理過程と同様に、反応処理過程も児童期では完成に至っていないと考えられる。

(受理日 平成12年1月20日)

文 献

- 1) Andersen, P. and Henriksson, J. Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man : adaptive response to exercise. *J. Physiol.*, (1977), **270**, 677-690.
- 2) Huston, T. P., Puffer, J. C. and Rodney, W. M. The athletic heart syndrome. *N. Engl. J. Med.*, (1985), **313**, 24-32.
- 3) Sutton, S., Braren, M. and Zubin, J. Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, (1965), **150**(26), 1187-1188.
- 4) Goodin, D. S., Squires, K. C. and Starr, A. Variations in early and late event-related component of the auditory evoked potential with task difficulty. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1983), **55**, 680-686.
- 5) Campbell, K. B., Courchesne, E., Picton, T. W. and Squires, K. C. Evoked potential correlates of human information processing. *Biol. Psychol.*, (1979), **8**, 45-68.
- 6) McCarthy, G., Wood, C. C., Williamson, P. D. and Spencer, D. D. Task-dependent field potentials in human hippocampal formation. *Journal of Neuroscience*, (1989), **9**(12), 4253-4268.
- 7) Kutas, M., McCarthy, G. and Donchin, E. Augmenting mental chronometry : The P 300 as a measurement of stimulus evaluation time. *Science*, (1977), **197**, 792-795.
- 8) Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. H. and Donchin, E. On the dependence of P 300 latency on stimulus evaluation Processes. *Psychophysiology*, (1984), **21**(2), 171-186.
- 9) Martin, L., Barajas, J. J., Fernandez, R. and Torres, E. Auditory event-related potentials in well-characterized groups of children. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1988), **71**(5), 375-381.
- 10) 音成隆司, Barrett, G., 柴崎浩. 大脳誘発電位後期陽性成分(P 300)の正常所見及び加齢の影響. 脳波と筋電図, (1986), **14**(3), 177-183.

- 11) Brown, W. S., Marsh, J. T. and LaRue, A. Exponential electrophysiological aging : P 3 latency. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1984), **55**(3), 277-285.
- 12) Picton, T. W., Stuss, D. T., Champagne, S. C. and Nelson, R. F. The effects of age on human event-related potentials. *Psychophysiology*, (1984), **21**(3), 312-25.
- 13) Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Wenegrat, B. G., Roth, W. T. and Kopell, B. S. Clinical application of the P 3 component of event-related potentials. I. Normal aging. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1984), **59**(2), 85-103.
- 14) Goodin, D. S., Squires, K. C., Henderson, B. H. and Starr, A. Age-related variations in evoked potentials to auditory stimuli in normal human subjects. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1978), **44**, 447-458.
- 15) 榎日出夫. 事象関連電位 P 300 の発達及び加齢に伴う変動に関する研究. *脳波と筋電図*, (1990), **18**(1), 60-67.
- 16) 佐藤隆美, 澤立子, 宮尾益知, 清水夏絵, 二瓶一夫, 鴨下重彦. 小児における P 300 の検討. *脳と発達*, (1990), **18**, 373-379.
- 17) 尾崎久記. 脳波基礎リズムの発達 (I) 脳波周波数及び成分の優勢部位. *臨床脳波*, (1994), **36**(2), 123-126.
- 18) Walter, W. G. Chapt. VII in Hill and Parr, (ed) *Electroencephalography*. 1st edition, Mac Donald, London, (1950).
- 19) 吉田治美. 脳波等電位図法による小児脳波の発達に関する研究. *脳波と筋電図*, (1984), **12**(4), 248-260.
- 20) 藤川貞敏, 大府正治, 藤川麻衣子, 満留昭久. 小児 (8 ~ 14歳) の事象関連電位 P 300 の加算回数に関する研究. *脳波と筋電図*, (1995), **23**(4), 389-394.
- 21) 日本脳波・筋電図学会. 誘発電位測定指針 (1997年改訂). *脳波と筋電図*, (1998), **26**(2), 185-200.
- 22) 下河内稔, 投石保広, 楊井一彦, 小山幸子. P 300 の基礎. *神経進歩*, (1988), **32**(1), 149-162.
- 23) 投石保広, 下河内稔. 内因性 ERP の成分同定と主成分分析. *臨床脳波*, (1984), **26**(10), 623-628.
- 24) 下地恒毅. 誘発電位. 西村書店, 新潟, (1992), 152-168.
- 25) Courchesne, E. Neurophysiological correlates of cognitive development : changes in long-latency event-related potentials from childhood to adulthood. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1978), **45**(4), 468-482.
- 26) Halgren, E., Squires, N. K., Wilson, C. L., Rohrbaugh, J. W., Babb, T. L. and Crandall, P. H. Endogenous potentials generated in the human hippocampal formation and amygdala by infrequent events. *Science*, (1980), **210**, 803-805.
- 27) Okada, Y. C., Kaufman, L. and Williamson, S. J. The hippocampal formation as a source of the slow endogenous potentials. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1983), **55**(4), 417-26.
- 28) Yingling, C. D. and Hosobuchi, Y. A subcortical correlate of P 300 in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, (1984), **59**(1), 72-76.
- 29) Yakovlev, P. I. and Lecours, A. R. The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain, In minkowski A (ed) : *Resional Development of the Brain in Early Life*. Blackwell, Oxford, (1967), 3-70.
- 30) Holmes, G. L. Morphological and physiological maturation of the brain in the neonate and child. *J. Clin. Neurophysiol.*, (1986), **3**, 209-238.
- 31) Huttenlocher, P. R. Synaptic density in human frontal cortex : Developmental changes and effect of aging. *Brain Res.*, (1979), **163**, 195-205.
- 32) Picton, T. W. The P 300 wave of the human event-related potential. *J. Clin. Neurophysiol.*, (1992), **9**(4), 456-479.
- 33) 小川和則. 運動関連脳電位の年齢発達に伴う変化に関する研究. *脳波と筋電図*, (1996), **24**(4), 260-267.
- 34) 真島英信. 生理学. 文光堂, 東京, (1990), 175-202.
- 35) 田代信雄. 脳—その構造と機能. 世界保健通信社, 大阪, (1993), 120-135.