

第2章 刺激間隔を変化させた連続遂行課題における 健常成人・健常児の行動抑制の検討

第1節 健常成人・健常児における連続遂行課題の遂行成績の分析（実験7）

1. 目的

刺激出現の時間予測を困難にするために警告刺激と直後の刺激とのISIを変化させたCPT-AX課題を健常成人、健常児に実施、遂行成績を分析し、反応実行と抑制の制御能力が遂行成績に反映されるか、また異年齢群間で発達的な変化が認められるのかを検討する。

2. 方法

対象児・者

対象児・者をTable 3.2.1.1に示した。小学校、または中学校の普通学級に在籍し、視力に問題がなく、特に注意の問題が認められない84名の子どもを健常児群とした。健常児群は生活年齢によって、7歳群11名（男児7、女児4、平均年齢7歳5カ月±5カ月、年齢幅6歳4カ月～7歳6カ月）、9歳群24名（男児13、女児11、平均年齢8歳10カ月±3カ月、年齢幅8歳6カ月～9歳5カ月）、11歳群12名（男児8、女児4、平均年齢11歳2カ月±6カ月、年齢幅10歳4カ月～11歳11カ月）、13歳群27名（男児15、女児12、平均年齢13歳0カ月±7カ月、年齢幅12歳0カ月～13歳10カ月）、そして15歳群10名（男児5、女児5、平均年齢14歳7カ月±7カ月、年齢幅14歳0カ月～15歳8カ月）に分けられた。成人群は10名（男性7、女性3、平均年齢25歳2カ月±2歳8カ月、年齢幅22歳7カ月～32歳2カ月）であった。実験に先立ち、健常児については保護者と本人、健常成人については本人にその内容を説明して実験参加の承諾を得た。

課題の作成ならびに実施手順

課題にはFig. 3.2.2.1に示した、警告刺激の直後に出現する標的刺激にのみ反応を求めるCPT-AXを用いた。課題の作成と呈示にはMacintoshコンピュータまたはSTIMシステム（NeuroScan社）を用いた。いずれの装置においても刺激は白色背景、黒色の0から9の数字とした。この刺激を対象児の眼前1mに設置したCRTの中央に200msec呈示した。刺激サイズは縦4cm×横

Table 3.2.1.1 実験7の対象児・者

年齢群	人数	(男; 女)	平均年齢	年齢幅
7歳群	11	(7; 4)	7歳5カ月±5カ月	6歳4カ月~7歳6カ月
9歳群	24	(13; 11)	8歳10カ月±3カ月	8歳6カ月~9歳5カ月
11歳群	12	(8; 4)	11歳2カ月±6カ月	10歳4カ月~11歳11カ月
13歳群	27	(15; 12)	13歳0カ月±7カ月	12歳0カ月~13歳10カ月
15歳群	10	(5; 5)	14歳7カ月±7カ月	14歳0カ月~15歳8カ月
合計	84			
成人群	10	(7; 3)	25歳2カ月±2歳8カ月	22歳7カ月~32歳2カ月

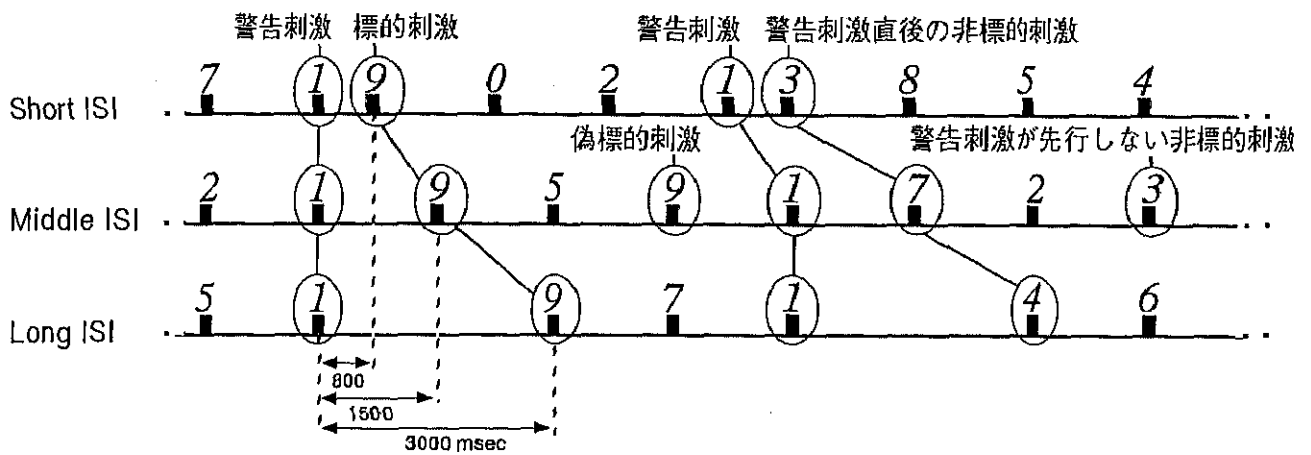


Fig. 3.2.1.1 CPT (CPT-AX) における刺激条件と ISI 条件の模式図

Table 3.2.1.2 CPT における各刺激条件の出現確率

刺激条件	ISI条件		
	短間隔条件 (800msec)	中間隔条件 (1,500msec)	長間隔条件 (3,000msec)
警告刺激	10	10	10%
標的的刺激	5	5	5
警告刺激直後の非標的的刺激	5	5	5
偽標的的刺激	-	20	-
警告刺激が先行しない非標的的刺激	-	20	-

3cmで、視角 $1.15^{\circ} \times 0.86^{\circ}$ に相当した。文字種類はいずれの装置もイタリックのセリフ書体とした。警告刺激である"1"と、それに後続する数字との間のISIは、800msec (Short ISI), 1,500 msec (Middle ISI), 3,000msec (Long ISI) のいずれかとし、これらのShort, Middle, LongのISI条件はランダムに変化させた。"1"と後続する数字の間以外のISIはMiddle ISIと同じ1,500 msecとした。対象児には"1"直後の"9"にのみ反応(ボタン押し)することを求めた。それぞれの刺激、ならびにISIの出現確率はTable 3.2.1.2に示した。"1"直後の"9"と、"9"以外の刺激の出現確率は等確率とした。練習試行を行った後、400試行(所要時間約11分)を1ブロックとし、10分間の休憩をはさんで計2ブロック実施した。

分析方法

個々の対象児について、ISI条件 (Short ISI, Middle ISI, Long ISI) 別の"1"直後の"9"に正しく反応したヒット率、ヒットの反応時間とフォールス・アラーム (以下、FA) 生起数を得たのち、健常児の各年齢群ならびに健常成人群について、平均ヒット率、平均ヒット反応時間、平均FA生起数を算出した。ヒット率は分散を一定にするために角変換を施した後に統計処理を行った。ヒット率の比較には年齢群 \times ISI条件の2要因の分散分析を用いた。分散分析で有意差があった場合の多重比較にはBonferroni/Dunn法(5%水準)を用いた。反応時間はデータの正規化を図るため対数変換を施した後に統計処理を行った。比較はヒット率と同様に2要因の分散分析を用い、多重比較にはBonferroni/Dunn法(5%水準)を用いた。

FAは全体の生起数を得るとともに、ISIが一定のCPTによる検討と同様に、以下の4種類のFAサブタイプを分け、それぞれの生起数を得た；

- 1not9 エラー…警告刺激"1"の直後の"9"以外の刺激に対して反応した場合、
- 1only エラー…警告刺激"1"そのものに対して反応した場合、
- 9only エラー…直前に"1"のない"9"に対して反応した場合、
- ランダムエラー…直前の刺激が"1"以外であり、反応した刺激が"9"以外である場合

1not9エラー、1onlyエラーはISIが変化する警告刺激"1"とその直後の刺激に対して出現するFAであることから、ISI条件 (Short ISI, Middle ISI, Long ISI) ごとの生起数も得た。FA生起数の統計処理には、ばらつきが大きくなると予想されたため、年齢群ならびにISI条件間の比較にはKruskal-Wallis検定を用い、多重比較にはWilcoxonの符号付き順位検定を用いた。

3. 結果

健常児の各年齢群、健常成人群それぞれにおいてブロック1とブロック2の成績を比較したところ、ヒット率、ヒット反応時間、FA生起数のいずれにおいてもブロック間の有意差は認められ

なかった。このため、以下の結果はすべて2ブロックを合計した遂行成績によった。

ヒット率

対象児・者のヒット率の散布図をISI条件別にFig. 3.2.1.2に示した。いずれのISI条件においても年齢の上昇にともないヒット率が上昇した。これをもとに年齢群, ISI条件ごとに平均値による分析を行った。各年齢群におけるISI条件別のヒット率をFig. 3.2.1.3に示した。健常児7歳群の平均ヒット率はShort ISI 81.8 (SD=13.4) %, Middle ISI 83.0 (SD=10.6) %, Long ISI 80.5 (SD=12.5) %であった。9歳群はShort 93.0 (SD=9.6) %, Middle 92.3 (SD=11.6) %, long 89.6 (SD=12.6) %であった。11歳群はShort 96.7 (SD=4.7) %, Middle 96.9 (SD=3.0) %, long 96.9 (SD=3.7) %であった。13歳群はShort 98.8 (SD=2.2) %, Middle 97.6 (SD=3.8) %, long 98.2 (SD=2.9) %であった。15歳群はShort 99.0 (SD=1.8) %, Middle 99.8 (SD=0.8) %, long 97.8 (SD=2.8) %であった。成人群はShort 97.7 (SD=2.6) %, Middle 97.1 (SD=2.5) %, long 98.8 (SD=3.0) %であった。このように年齢群が上がるにつれヒット率の上昇, SDの減少を示した。分散分析の結果, 年齢群の主効果が認められた ($F(5, 176) = 10.183, p < .001$)。多重比較を行ったところ, となりあう年齢群間の中でヒット率が有意に上昇したのは7歳群と9歳群の間, 9歳群と11歳群の間であった ($MSe = 4.714$)。また年齢群とISI条件の交互作用が有意であった ($F(10, 176) = 1.979, p < .05$)。単純主効果の分析の結果, 7歳群におけるShort ISIのヒット率は9歳群に比べ有意に低かった ($MSe = .056$)。これ以外のとなりあう年齢群間の差は認められなかった。ISI条件間のヒット率の差は9歳群のみに認められ, Long ISIにおけるヒット率は残る2条件より有意に低下した ($MSe = .241$)。

ヒット反応時間

対象児・者のヒット反応時間の散布図をISI条件別にFig. 3.2.1.4に示した。いずれのISI条件でも年齢の上昇にともないヒット反応時間が短縮した。これをもとに年齢群, ISI条件ごとに平均値による分析を行った。各年齢群におけるISI条件別のヒット反応時間をFig. 3.2.1.5に示した。健常児7歳群の平均ヒット反応時間はShort ISI 672.0 (SD=105.1) msec, Middle ISI 608.7 (SD=96.1) msec, Long ISI 622.1 (SD=111.2) msecであった。9歳群はShort ISI 606.1 (SD=91.4) msec, Middle ISI 558.6 (SD=89.2) msec, Long ISI 566.1 (SD=99.2) msecであった。11歳群はShort ISI 496.3 (SD=85.3) msec, Middle ISI 464.6 (SD=90.3) msec, Long ISI 451.7 (SD=80.2) msecであった。13歳群はShort ISI 484.3 (SD=88.5) msec, Middle ISI 447.4 (SD=83.9) msec, Long ISI 441.0 (SD=90.4) msecであった。15歳群はShort ISI 469.9 (SD=36.0) msec, Middle ISI 440.0 (SD=56.7) msec, Long ISI 412.4 (SD=52.9) msecであった。そして成人群はShort ISI 395.5 (SD=63.2) msec, Middle ISI 382.3 (SD=57.7) msec, Long ISI

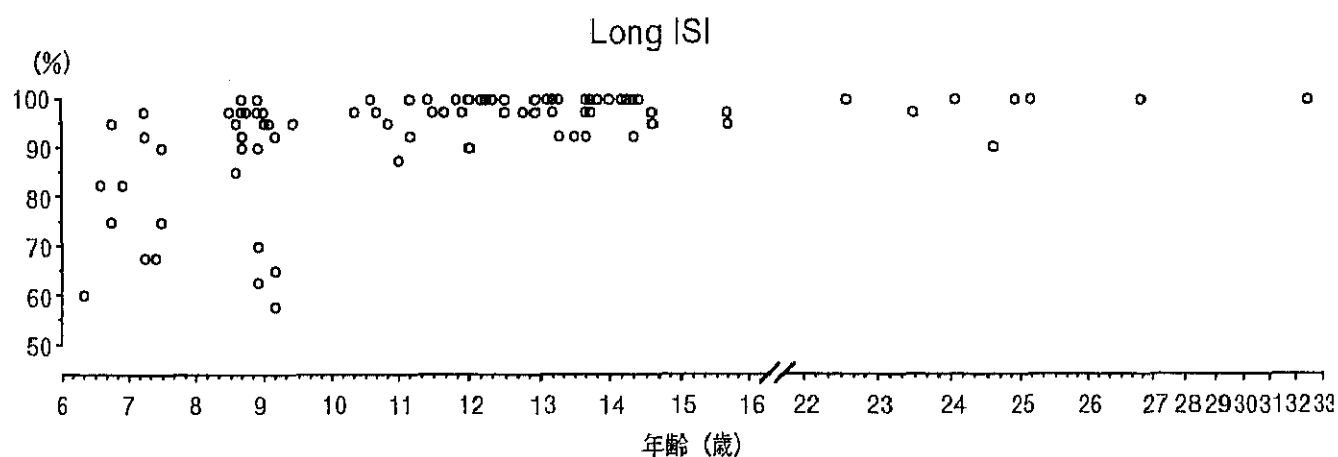
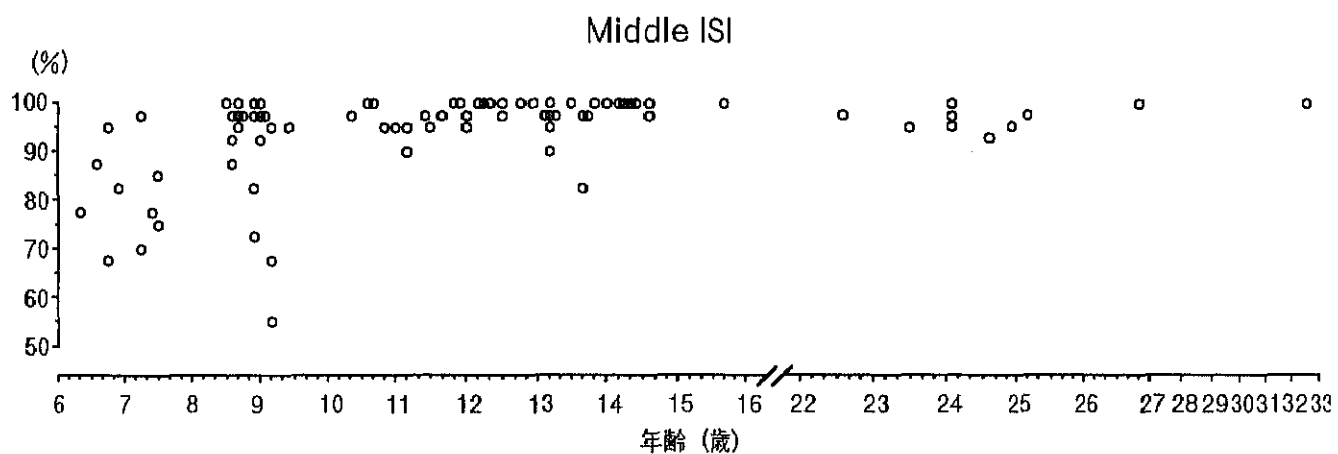
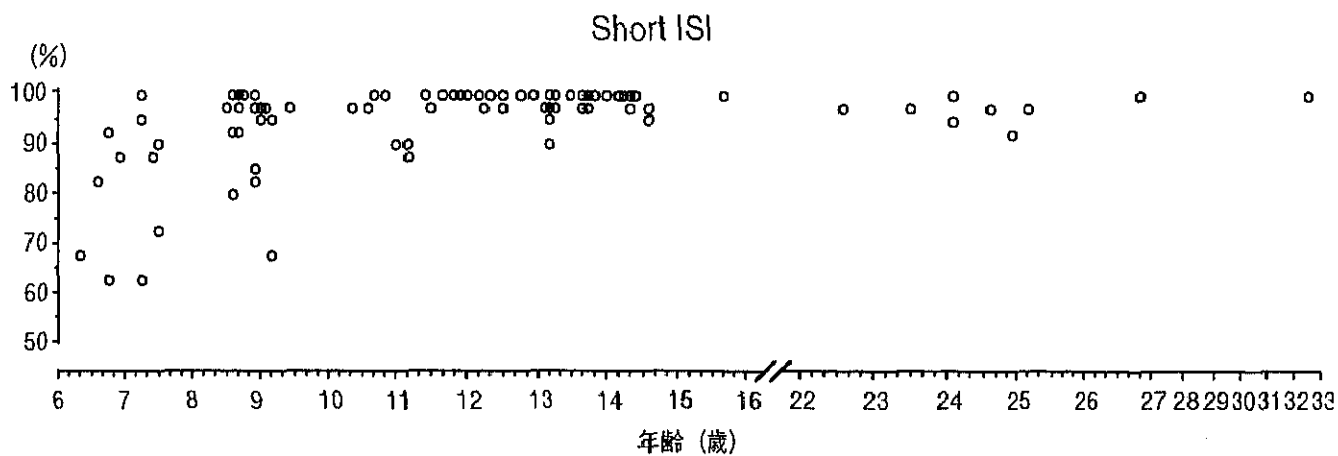


Fig. 3.2.1.2 ISI 条件ごとの全対象児・者におけるヒット率の散布図

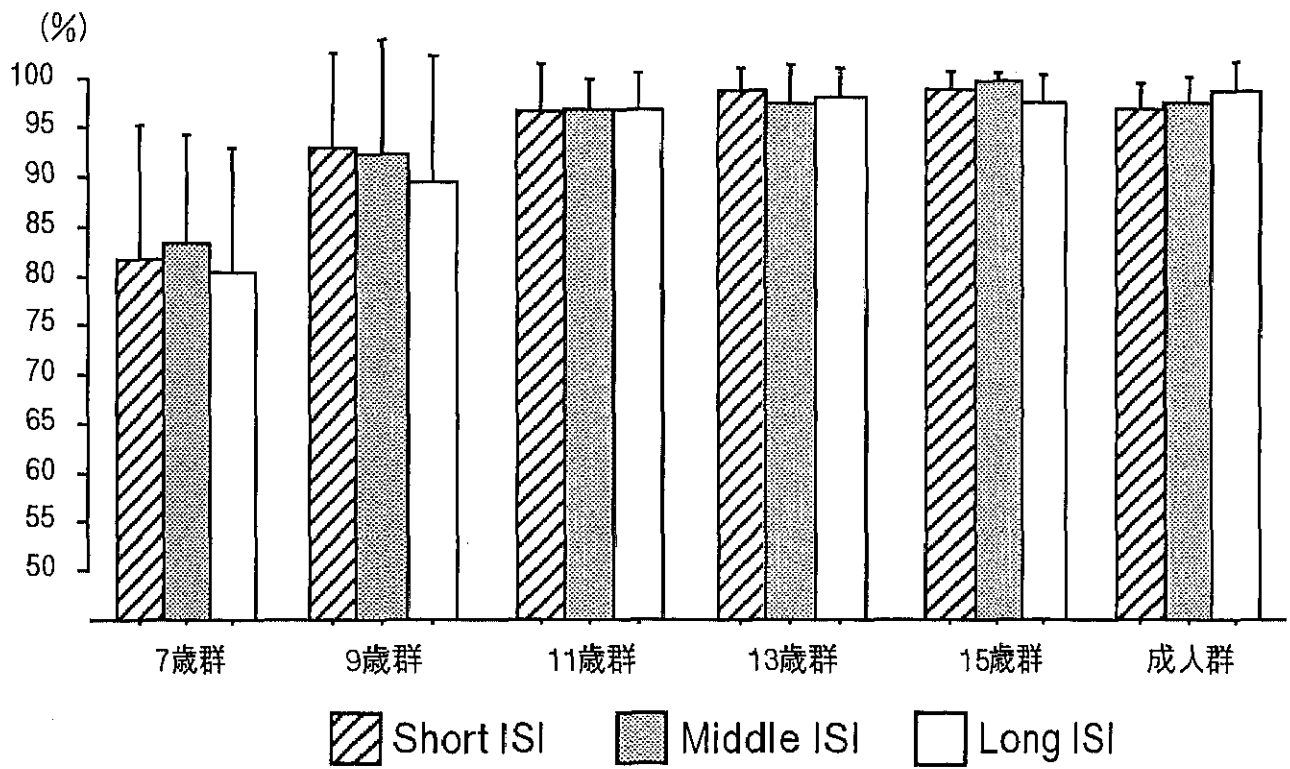


Fig. 3.2.1.3 各年齢群における各 ISI 条件ごとの平均ヒット率
上線は標準偏差をあらわす。

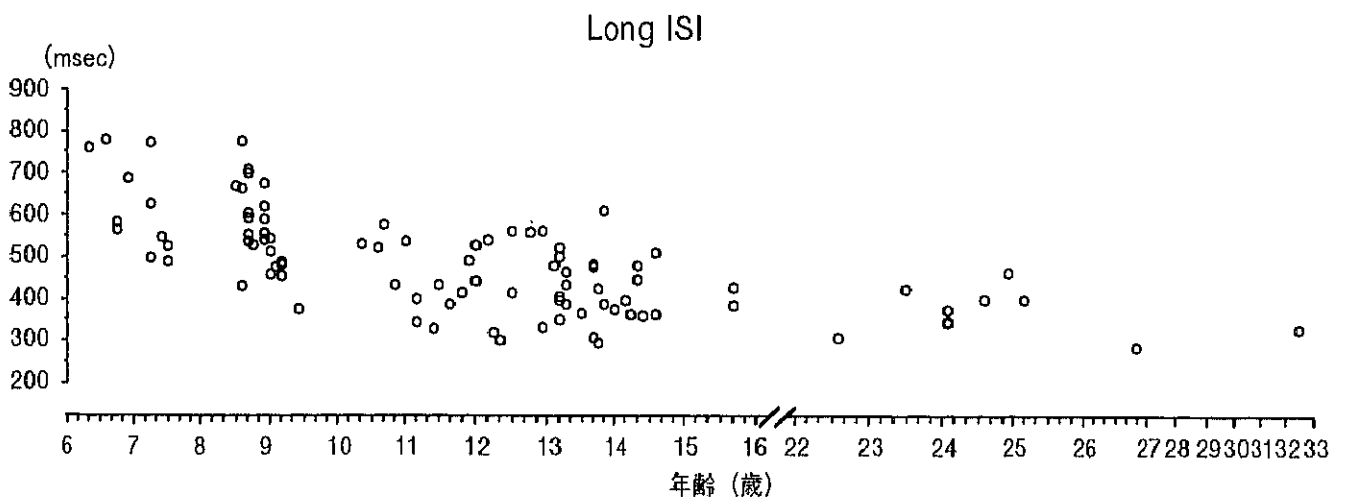
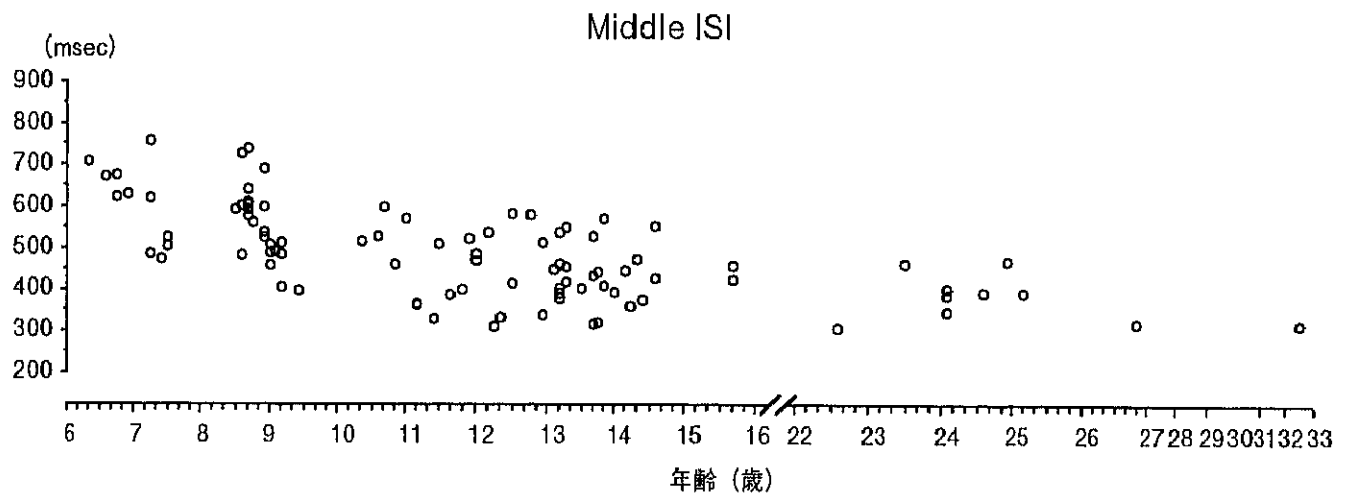
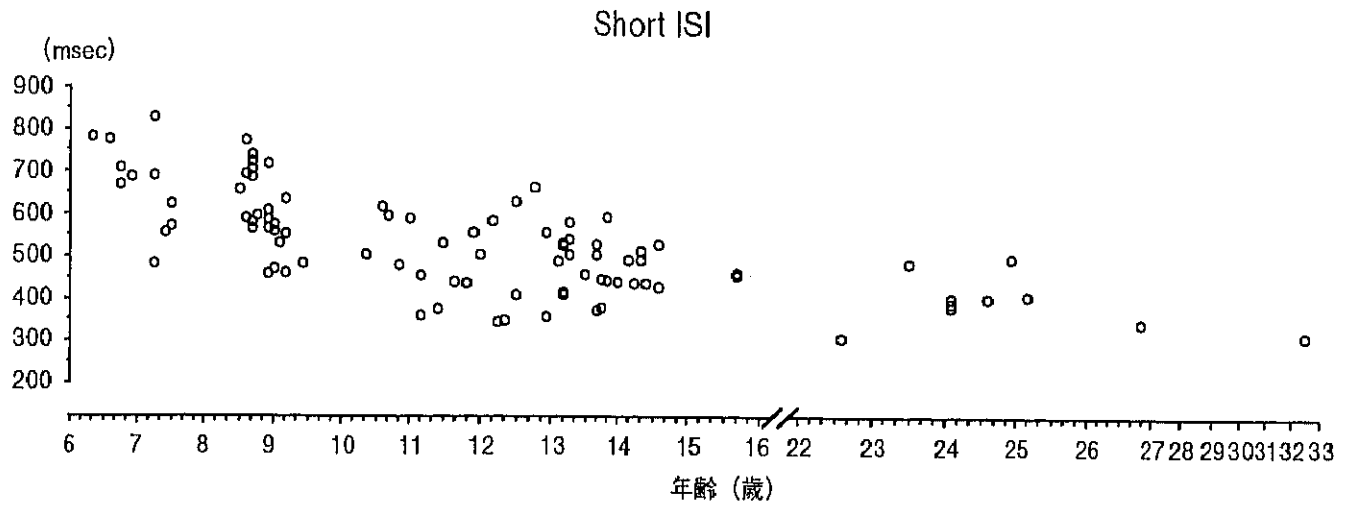


Fig. 3.2.1.4 ISI 条件ごとの全対象児・者における
ヒット反応時間の散布図

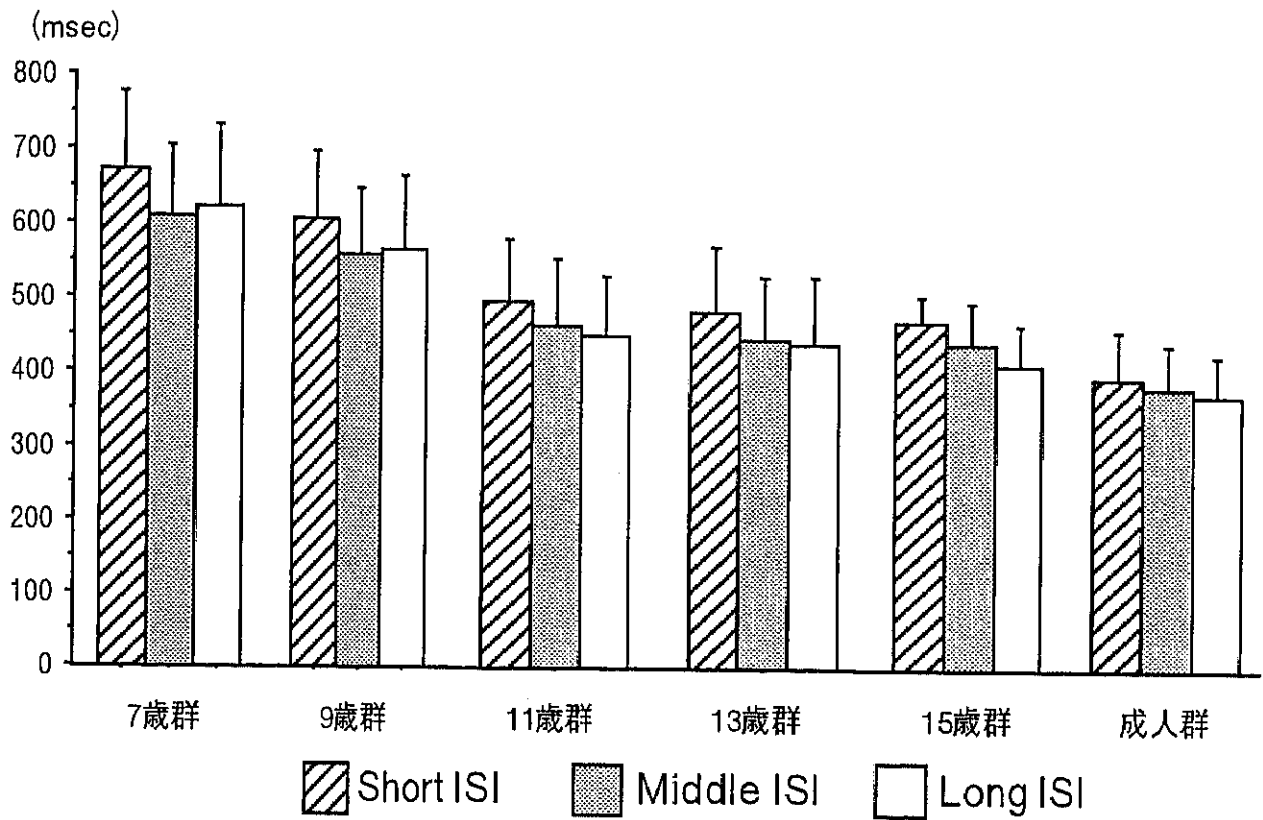


Fig. 3.2.1.5 各年齢群における ISI 条件ごとの平均ヒット反応時間
 上下は標準偏差をあらわす。

639.8 (SD=55.0) msecであった。分散分析の結果、年齢群とISI条件の主効果がそれぞれ有意であった(年齢群; $F(5, 176) = 16.273, p < .001$, ISI条件; $F(2, 176) = 61.016, p < .001$)。交互作用は認められなかった。多重比較を行ったところ、となりあう年齢群の間で有意差が認められたのは9歳群と11歳群の間のみであった(MSe=.253)。また、ISI条件間のヒット反応時間の差は健常児の全年齢群においてShort ISIのヒット反応時間がMiddle, Long ISI条件に比べ有意に延長し、15歳群においてはShort, Middle, Long ISIの順に有意に反応時間が短縮した(MSe=.035)。成人群においてはShort ISIの反応時間はLong ISIの反応時間に比べて有意に延長した(MSe=.035)。

FA生起数

対象児・者の全FA生起数の散布図をFig. 3.2.1.6に示した。年齢の上昇にともなうFA生起数の減少が認められたため、年齢群別の分析を行うこととした。対象児・者の全FA生起数のボックスプロットをFig. 3.2.1.7に示した。各群における全FA生起数の中央値は7歳群15回(最大34, 最小2), 9歳群3.5回(最大25, 最小0), 11歳群2.5回(最大12, 最小1), 13歳群3回(最大12, 最小0), 15歳群1回(最大7, 最小0), そして成人群0.5回(最大2, 最小0)であった。Kruskal-Wallis検定の結果、年齢群間で全FA生起数は有意に異なった($H=27.99, p < .001$)。そこでWilcoxonの符号付き順位検定を行ったところ、となりあう年齢群間では有意差が認められず、7歳群と9歳群の間に有意傾向のみを認めた($z=-1.823, p=.0684$)。3年齢群間でみると、7歳群に比べ11歳群、13歳群に比べ成人群で有意にFA生起数が減少した(それぞれ $z=-2.312, p < .05$, $z=-2.429, p < .05$)。

各年齢群におけるFAサブタイプ(1not9エラー, 1onlyエラー, 9onlyエラー, ランダムエラー)生起数のボックスプロットをFig. 3.2.1.8に示した。ここでは1not9エラーと1onlyエラーは全ISI条件の合計を示した。各群における1not9エラー生起数の中央値は7歳群3(最大14, 最小1), 9歳群1.5(最大11, 最小0), 11歳群1(最大5, 最小0), 13歳群1(最大7, 最小0), 15歳群0(最大3, 最小0), 成人群0(最大1, 最小0)であった。同様に1onlyエラーは7歳群0(最大7, 最小0), 9歳群0(最大10, 最小0), 11歳群0(最大1, 最小0), 13歳群0(最大1, 最小0), 15歳群0(最大2, 最小0), 成人群0(最大0, 最小0)であった。9onlyエラーは7歳群4(最大11, 最小0), 9歳群1(最大8, 最小0), 11歳群1(最大4, 最小0), 13歳群1(最大4, 最小0), 15歳群0(最大3, 最小0), 成人群0(最大1, 最小0), そしてランダムエラーは7歳群1(最大9, 最小0), 9歳群0(最大4, 最小0), 11歳群0(最大1, 最小0), 13歳群0(最大2, 最小0), 15歳群0(最大2, 最小0), 成人群0(最大0, 最小0)であった。Kruskal-Willis検定の結果、1not9エラー($H=17.628, p < .01$), 9onlyエラー($H=11.491, p < .001$)は年齢の上昇にともない有意に生起数が減少した。Wilcoxonの符号付き順位検定の結果、となりあう年齢群間で

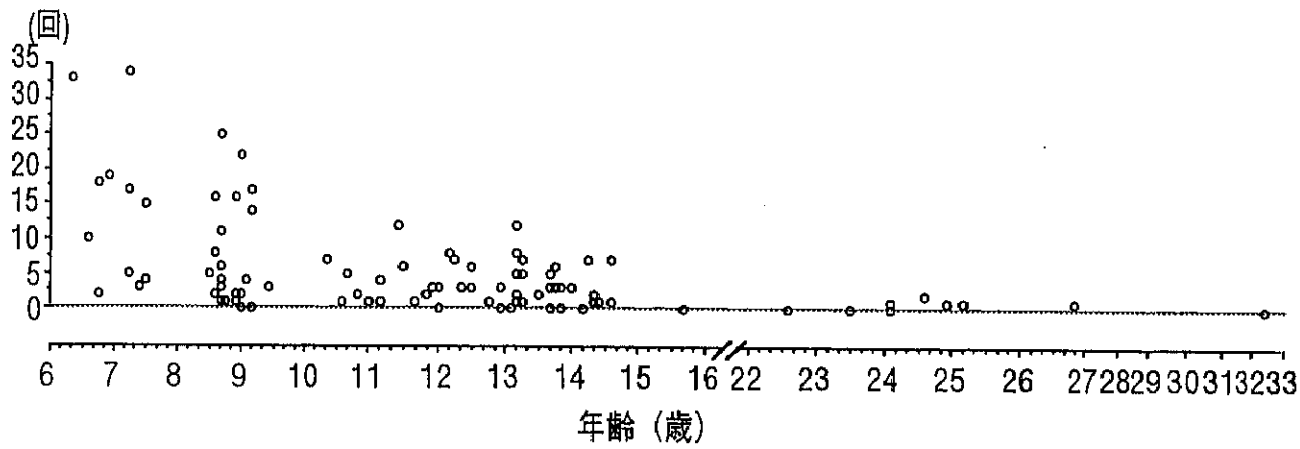


Fig. 3.2.1.6 各年齢群における全FA生起数の散布図

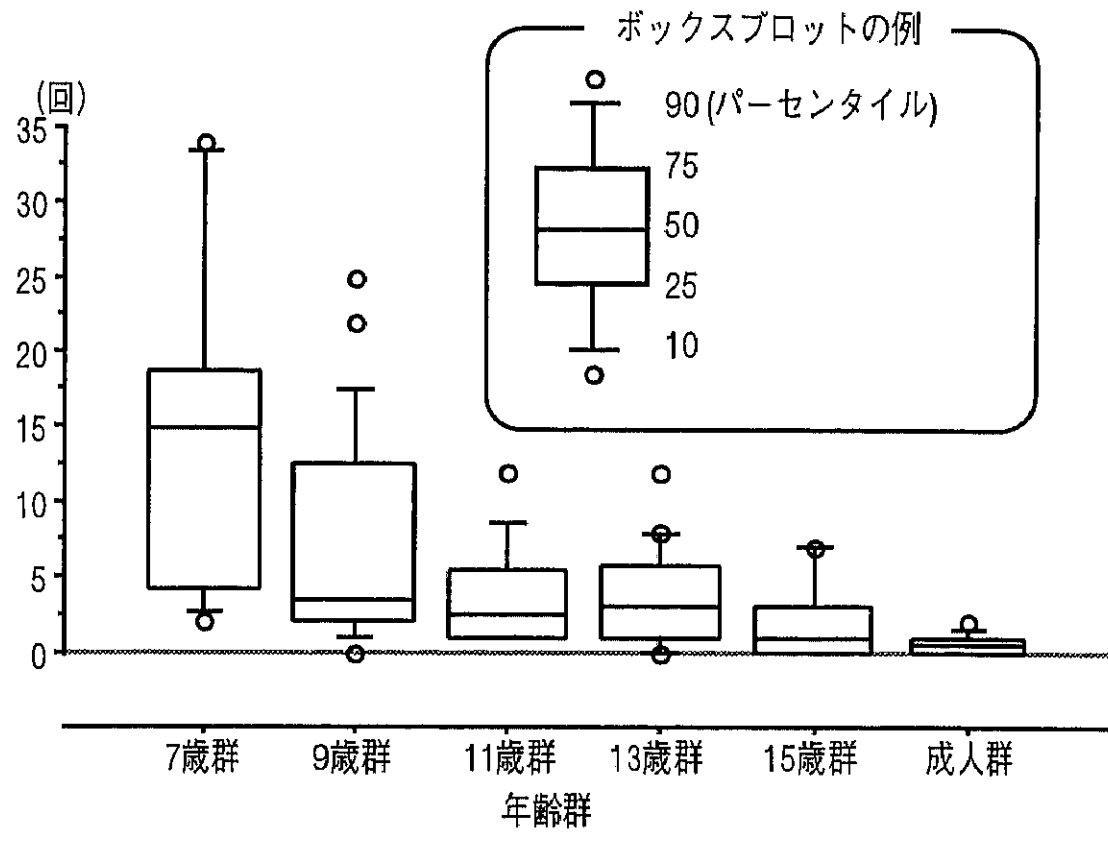


Fig. 3.2.1.7 各年齢群における全FA生起数のボックスプロット
 上下の丸は離散値をあらわす。

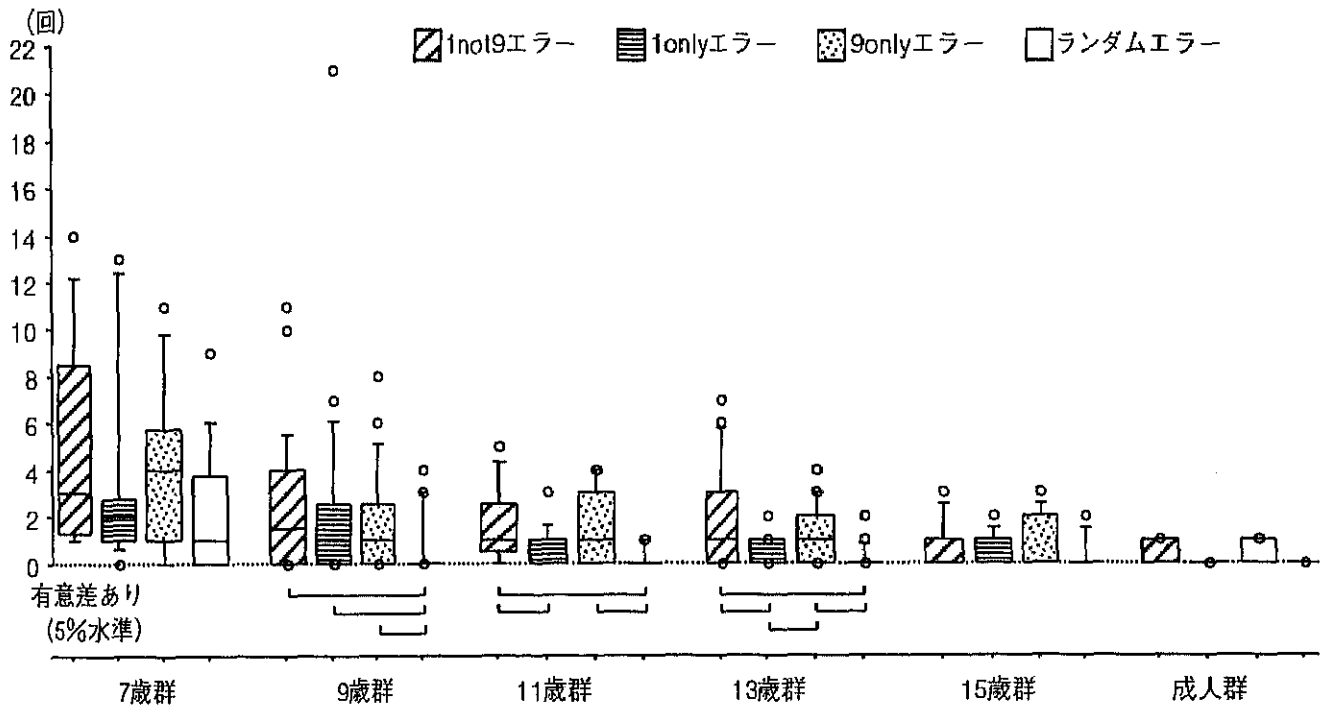


Fig. 3.2.1.8 各年齢群におけるFAサブタイプ生起数のボックスプロット
 上下の丸は離散値をあらわす。

は有意差が認められず、1not9 エラーについて7歳群と9歳群の間に有意傾向のみを認めた ($z=-1.96, p=.0505$)。また、同一年齢群内のFA サブタイプの生起数の差については、9歳群においてはランダムエラーが他の3つのサブタイプに比べ有意に少なかった。11歳群においては1not9エラーと9onlyエラーがランダムエラーより有意に少なく、1onlyエラーが1not9エラーより有意に少なかった。13歳群は11歳群におけるサブタイプ間の差に加え9onlyエラーが1onlyエラーに比べ有意に多かった。これ以外の年齢群、ISI条件間のFA サブタイプ生起数に有意な差は認められなかった。

ISI 条件別のFA 生起数

1not9エラーと1onlyエラーはISIを変化させた"1"と、それに後続する数字で生じるエラーであるため、この2つのサブタイプについて健常児の各年齢群、健常成人群におけるISI条件ごとの生起数の中央値、最大・最小値をTable 3.2.1.3に示した。Kruskal-Wallis検定の結果、1not9エラーの生起数はISI条件間で有意に異なった ($H=21.983, p<.001$)。Wilcoxonの符号付き順位検定を行ったところ、7歳群、9歳群、13歳群においてShort ISIの1not9エラーはMiddle, Long ISIより有意に少なかった ($z=-1.96, p=.05$)。また、11歳群においてはShort ISIの1not9エラーはLong ISIより有意に少なかった。1onlyエラーの生起数については、ISI条件間に有意な差は認められなかった。

4. 考察

ヒット率とヒット反応時間からみた健常児の反応制御におよぼすISI変化の効果

本節で用いた、警告刺激と直後の刺激とのISIのみを変化させたCPT-AX課題は刺激出現の時間予測を困難にするとともに、警告によって準備された運動反応の実行と抑制の制御に対する負荷を高めることを意図していた。この課題を健常成人、健常児に実施した結果、ISI変化による影響がヒット率、ヒット反応時間という反応実行の指標において認められるとともに、ISIが一定であるCPT-AXと同様に年齢の効果が認められた。

ヒット率へのISI変化の影響は9歳群にのみ有意差が認められ、Long ISI条件では有意にヒット率が低下した。有意差は得られなかったが、7歳群のヒット率もLong ISI条件で低下していた。これ以後の群においては全体的にヒット率が上昇するとともに、ISI条件間のヒット率の差がなくなった。このことから、9歳群と11歳群に相当する年齢段階で準備された運動反応の実行に関する刺激処理に変化が起こることが示唆された。7, 9歳群でLong ISIでヒット率が低下したのはこれらの群に相当する年齢段階においては3,000msecのISIでは警告刺激の検出情報を作業記憶内に保持し続けることが困難であることを示している。あわせてこれらの年齢段階の子どもが課

Table 3.2.1.3 ISI 条件別にみた 1not9 エラー, 1only エラーの生起数

年齢群		1not9エラー			1onlyエラー		
		Short	Middle	Long	Short	Middle	Long
7歳群	md	0	1	2	1	0	0
	mx	3	7	7	4	6	7
	mn	0	0	0	0	0	0
9歳群	md	0	1	1	0	0	0
	mx	1	3	8	5	6	10
	mn	0	0	0	0	0	0
11歳群	md	0	0	1	0	0	0
	mx	1	4	3	1	2	1
	mn	0	0	0	0	0	0
13歳群	md	0	0	0	0	0	0
	mx	1	4	5	1	1	1
	mn	0	0	0	0	0	0
15歳群	md	0	0	0	0	0	0
	mx	1	1	2	0	1	2
	mn	0	0	0	0	0	0
成人群	md	0	0	0	0	0	0
	mx	0	0	1	0	0	0
	mn	0	0	0	0	0	0

md=中央値, mx=最大値, mn=最小値をあらわす。
網線はその年齢群においてISI条件間の有意差が認められたFAサブタイプをあらわす。

題を遂行する際には刺激出現の時間予測に依存していることも示唆している。これ以後の年齢段階においては、ISIが変化しても直前で警告刺激が出現したことを保持し続け、出現した刺激に応じて反応実行と抑制の制御を行えるようになると考えられる。したがって、11歳群から成人群までISI条件間でもほとんどヒット率に変化が認められないことは、このような刺激処理が11歳群の年齢段階でほぼ完成されることを示すものといえよう。

一方、ヒット反応時間は成人群に至るまでISI条件にかかわらず年齢の上昇とともに短縮し続けた。また、いずれの年齢群においても、Short ISI条件の反応時間が他の2条件に比べ有意に延長した。これは警告刺激が呈示されてから800msec後ではまだ運動準備は十分には整っていないことを示すものといえる。加えて、警告直後の刺激に対する処理そのものは年齢の上昇とともに速くなるが、反応準備に要する過程が短い場合には成人であっても刺激処理に時間を要することが示唆された。ISI変化と刺激出現の予期を扱った研究として、Neely (1977) はブライミング刺激（警告刺激）と意味的関連が低い標的刺激を用いると、ISIの延長にともなって、予期の度合いが高い（標的刺激の呈示確率が80%）条件では反応時間が短縮すること、これに対して予期の度合いが低い条件（標的刺激の呈示確率が20%）では反応時間が延長することを指摘している。本研究で用いた警告刺激“1”と標的刺激“9”の間には、直接の意味的関連はない。また、標的刺激の呈示確率は全ISI条件を合わせて15%であり、Neelyの課題においては予期の度合いが低い刺激ということになるが、本研究の結果はNeelyの研究における予期の度合いが高い条件に類似する結果を示しており、呈示確率は低くても警告刺激による予期が生じていることがわかる。

それぞれの年齢群において、刺激処理に要する時間に加え、このようなISI条件に依存した刺激処理に対する負荷がかかる結果、ISI条件による反応時間の差を保ったまま、年齢の上昇とともにそれぞれのISI条件における反応時間はほぼ直線的に反応時間が短縮することが示された。第2部においてヒット率が示すと考えられる刺激検出と反応実行の生起そのものと、ヒット反応時間が示す刺激検出からその後の反応出力までの過程はかならずしも並行して変化していないことを指摘したが、ISIを変化させたCPTの遂行成績からもこのことが裏付けられたといえよう。刺激検出は早い年齢でほぼ可能になるが、反応実行に至るまでの時間は成人に至るまで短縮を続けていることが、刺激出現の時間予測を困難にし、反応制御の負荷を高めたCPT-AXを用いることで改めて明らかになった。

FA生起数からみた健常児の反応制御におよぼすISI変化の効果

全FA生起数はISIが一定であるCPTの結果と同様、年齢の上昇とともに減少する傾向を示した。また、各年齢群の全FA生起数の平均値はISIが一定であるCPTにおける全FA生起数より多く、ISIが変化したことによる難易度の上昇がうかがえた。刺激出現の時間予測を困難にし、警告によって準備された運動反応の実行と抑制の制御に対する負荷を高めたことはFAの生起数にも

影響を及ぼしたが、これを明らかにするうえで2部においても用いたFAサブタイプ (Halperin et al., 1988) が有用であった。

いくつかの年齢群においてFAサブタイプ間で有意な生起数の差が認められたが、共通したのはランダムエラーが1not9エラーに比べ有意に少ないことであった。これは2部においても指摘したように、健常児、者においては出現した刺激に対する意味付けが適切になされており、CPT-AXの適切な遂行に関連する刺激と、そうでない刺激の弁別はISIが変化する課題事態においても安定していることが裏付けられた。

1not9エラーはISIが一定であるCPTと同様に比較的年齢の低い群で多く、1not9エラーに比べ少ないことも共通した。したがって、低年齢の段階においては警告刺激である"1"による準備はなされているものの、直後の刺激に対する反応の制御が十分なされていないことが改めて確認された。加えて、ISI条件間で1not9エラーの生起数を比較すると、7歳群から13歳群までの年齢群でShort ISIに比べMiddle, Long ISI条件において有意に生起数が増加した。このことは上述した警告直後の刺激に対する反応制御は反応準備が整っていないShort ISI条件では完全に駆動できないことを示している。Short ISI条件でのヒット率は11歳群以降で高くなっていることから、反応実行にかかわる刺激処理、すなわち感覚・刺激処理系は比較的早い年齢で駆動され、これに対して反応抑制にかかわる運動・反応処理系はやや遅い年齢にならないと十分駆動されないことが推察される。この2つの処理系がどのように関連して発達的に変化していくかは、次節のERPを指標にした検討で明らかにできるであろう。

ISIを変化させたことによるFA生起数への影響は、実際にISIが変化する刺激条件のみならず、ISIが一定である偽標的刺激に対する9onlyエラーの生起数の増加としても認められた。これは、第2部におけるERPの検討で指摘した、健常児における刺激処理の方略を反映していると考えられる。すなわち、検出した刺激が警告刺激ならばその直後の刺激に対して反応準備し、感覚・刺激処理系の駆動を促すという効率的な方略を用いず、すべての刺激に感覚・刺激処理系が駆動している状態を反映していることが追認された。9onlyエラーもまた、年齢の上昇とともに生起数が減少していた。このことから、年齢の上昇と共に用いられる刺激処理の方略も感覚・刺激処理系を必要とときにのみ駆動させ、さらに続く運動・反応処理系の処理を優勢にするという、課題遂行方略の発達的な変化はISIを変化させたことでより明瞭になったと考えられる。これについても次節で検討するERPの結果から明らかになると思われる。

これらのことから、CPT-AXにおいて警告刺激とその直後の刺激とのISIだけを変化させることによって反応の実行と抑制の制御過程をより明確に検討しうる可能性が明らかとなった。また、このような反応の制御過程はより効率的な刺激処理の駆動を促すように発達的に変化することが示された。

第2節 健常成人・健常児における連続遂行課題遂行時の 事象関連電位の分析（実験8）

1. 目的

警告刺激から次の刺激までのISIのみを変化させたCPT遂行時のERPを記録し、刺激のタイプあるいはISI条件の違いに対応するERP成分の変化が認められるかを検討する。あわせて、健常児については年齢群に分け、健常成人を含めた群間で比較検討し、2部で検討したISIが一定であるCPTに認められたような発達的な変化が認められるかを分析するとともに、行動制御にかかわる脳内処理過程について、反応の実行と抑制にかかわる脳内処理モデルにしたがった検討を行う。

2. 方法

対象児・者

対象児・者の概要をTable 3.2.2.1に示した。小学校、または中学校の普通学級に在籍し、視力に問題がなく、特に注意の問題が認められない30名の子どもを健常児群とした。健常児群は生活年齢によって、7歳群4名（男児4、女児0、平均年齢7歳5カ月±1カ月、年齢幅7歳3カ月～7歳6カ月）、9歳群7名（男児3、女児4、平均年齢9歳0カ月±3カ月、年齢幅8歳7カ月～9歳5カ月）、11歳群8名（男児6、女児2、平均年齢11歳3カ月±4カ月、年齢幅10歳10カ月～11歳10カ月）、13歳群7名（男児6、女児1、平均年齢13歳0カ月±7カ月、年齢幅12歳1カ月～13歳9カ月）、そして15歳群4名（男児3、女児1、平均年齢14歳11カ月±10カ月、年齢幅14歳1カ月～15歳8カ月）に分けられた。成人群は10名（男性7、女性3、平均年齢25歳2カ月±2歳8カ月、年齢幅22歳7カ月～32歳2カ月）であった。実験に先立ち、健常児については保護者と本人、健常成人については本人にその内容を説明して実験参加の承諾を得た。

課題の作成ならびに実施の手順

CPT課題は第1節（実験7）と同様（Fig. 3.2.1.1）のものを用いた。CPT課題の作成と呈示にはSTIMシステム（Neuroscan社製）を使用した。刺激の出現確率も同様（Table 3.2.1.2）とした。練習試行を行った後、400試行（所要時間約11分）を1ブロックとし、10分間の休憩ををさんで計2ブロック実施した。

Table 3.2.2.1 実験8の対象児・者

年齢群	人数	(男, 女)	平均年齢	年齢幅
7歳群	4	(4,0)	7歳5カ月±1カ月	7歳3カ月~7歳6カ月
9歳群	7	(3,4)	9歳0カ月±3カ月	8歳7カ月~9歳5カ月
11歳群	8	(6,2)	11歳3カ月±4カ月	10歳10カ月~11歳10カ月
13歳群	7	(6,1)	13歳0カ月±7カ月	12歳1カ月~13歳9カ月
15歳群	4	(3,1)	14歳11カ月±10カ月	14歳1カ月~15歳8カ月
合計	30			
成人群	10	(7,3)	25歳2カ月±2歳8カ月	22歳7カ月~32歳2カ月

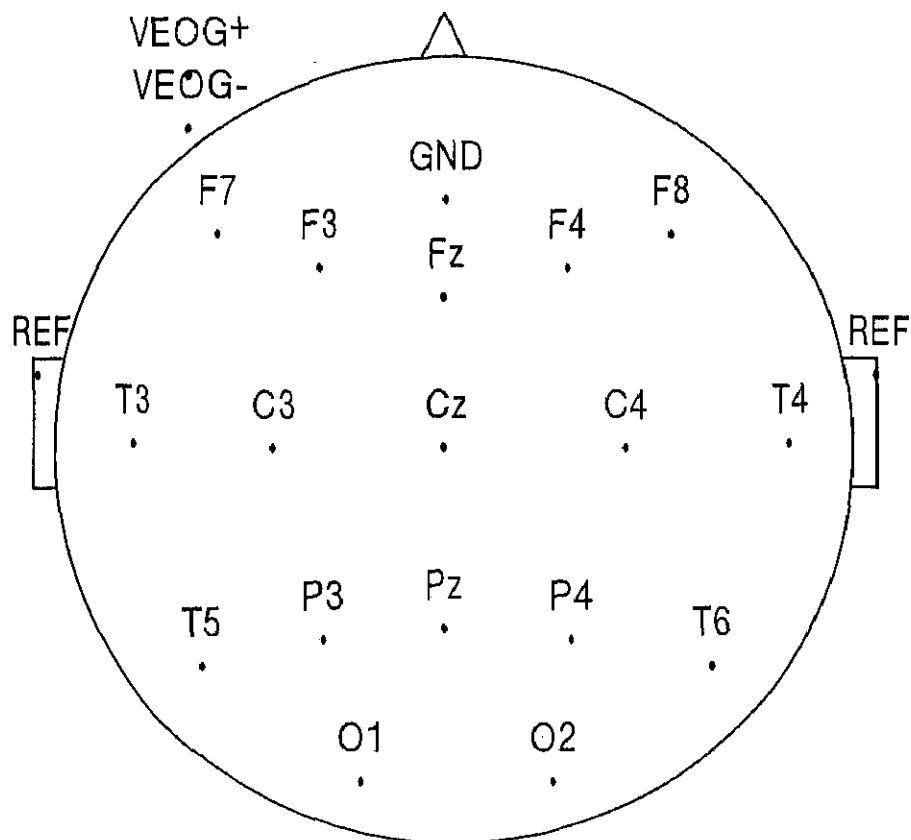


Fig. 3.2.2.1 本研究における頭皮上電極配置

脳波記録

脳波の記録と処理には Synamps を含む SCAN システム (Neuroscan 社製) を使用した。頭皮上の電極配置を Fig. 3.2.2.1 に示した。Electro Cap (ECI 社製) を用い、国際 10-20 法に基づく 17 部位から両耳朶結線を共通基準として脳波を導出した。左眼瞼上下からは垂直 EOG も導出した。脳波と垂直 EOG は、2msec 間隔にて AD 変換され、0.05 ~ 30Hz のバンドパスフィルタ処理された。なお、80 μ V 以上の眼球運動やその他のアーチファクト混入試行は分析対象から除外した。各刺激条件 ("1"; 警告刺激, 警告直後の "9"; 標的刺激, 警告直後の非標的刺激, 警告刺激が先行しない "9", 警告刺激が先行しない非標的刺激) ごとにミス, もしくは FA が生じていないエラーフリーのエポックについて刺激前 100msec から刺激後 800msec までを加算平均処理した。ベースラインは、先行研究 (Roberts et al., 1994) に従い、それぞれの刺激呈示前 100msec から刺激出現までの平均電位とした。また、警告直後の標的刺激と非標的刺激については 3 種類の ISI 条件ごとに ERP 波形を算出した。警告刺激については、その先行刺激との ISI が 1,500msec と一定なため、直後の ISI の長短にかかわらず、すべてを併せて処理した。

分析方法

CPT 課題の成績は、第 1 節 (実験 7) と同様、個々のヒット率、ヒット反応時間、FA 生起数を得た後、健常児の各年齢群と健常成人群の平均ヒット率、平均ヒット反応時間、平均 FA 生起数を算出した。遂行成績の検討は第 1 節ですで行っていることから、ここでは記述統計を用いた。

対象児・者から得られた ERP 波形については、平均基準導出法 (average reference) により各条件ごとに総加算平均波形を求め、頭皮上電位分布図を作成した。この導出法は頭皮上の電極をそれぞれ一定の抵抗を介して結合し、基準電極とする導出法であり (田中・平田, 1998)、ERP 成分の出現領域を明確に特定しうる。また、頭皮上電位分布図から Global Field Power (以下、GFP) を算出し、GFP のピーク時点を ERP 成分として同定した。GFP は、頭皮上のすべての計測点における電位の分散であり、電場勾配が急峻になると GFP 値は大きくなり、平坦に近づくとき小さくなる。GFP はサンプル点ごとに求められ、それらを連続表示した GFP 曲線のピークにより ERP 成分を同定できる (Lehmann and Skrandies, 1984)。

GFP 曲線上のピークにより同定された ERP 成分の頭皮上分布を検討するにあたり、頭皮上の陽性、陰性電場の重心位置である Centroid も算出した。Centroid は、頭皮上の多数の部位から導出された ERP 波形を陽性電場と陰性電場に分け、各電場ごとに求められた重心位置をいう。このようにして求められた陽性 Centroid、ならびに陰性 Centroid は、頭皮上における陽性電場と陰性電場の特徴を反映し、刺激条件間や個体間での電場構造の変化を捉えるのに有効な方法である (Wakkermann et al. 1983)。Centroid の位置は、F7、F8 を除く 15 部位の ERP から Mapview1.81 (Lehmann, 1987) を用いて算出した。

3. 結果

3-1. CPT 課題

ヒット率

対象児・者のヒット率の散布図を ISI 条件別に Fig. 3.1.2.2 に示した。いずれの ISI 条件においても年齢の上昇にともないヒット率が増加した。各年齢群における ISI 条件別のヒット率を Fig. 3.2.2.3 に示した。健常見 7 歳群の平均ヒット率は Short ISI 78.2 (SD=12.9) %, Middle ISI 76.9 (SD=6.3) %, Long ISI 75 (SD=10.6) % であった。9 歳群は Short 82.5 (SD=12.3) %, Middle 80.4 (SD=15.9) %, Long 76.1 (SD=16.3) % であった。11 歳群は Short 95.6 (SD=5.5) %, Middle 95.7 (SD=2.9) %, Long 96.3 (SD=4.4) % であった。13 歳群は Short 98.9 (SD=1.3) %, Middle 96.1 (SD=6.3) %, Long 98.2 (SD=2.8) % であった。15 歳群は Short 98.8 (SD=1.4) %, Middle 99.4 (SD=1.3) %, Long 95.6 (SD=2.4) % であった。成人群は Short 97.7 (SD=2.6) %, Middle 97.1 (SD=2.5) %, Long 98.8 (SD=3.0) % であった。

ヒット反応時間

対象児・者のヒット反応時間の散布図を ISI 条件別に Fig. 3.2.2.4 に示した。いずれの ISI 条件でも年齢の上昇にともないヒット反応時間が短縮した。各年齢群における ISI 条件別のヒット反応時間を Fig. 3.2.2.5 に示した。健常見 7 歳群の平均ヒット反応時間は Short ISI 560.5 (SD=58.4) msec, Middle ISI 499.1 (SD=22.2) msec, Long ISI 515.6 (SD=26.5) msec であった。9 歳群は Short ISI 530.6 (SD=60.0) msec, Middle ISI 478.5 (SD=55.1) msec, Long ISI 492.9 (SD=76.4) msec であった。11 歳群は Short ISI 459.7 (SD=76.1) msec, Middle ISI 425.5 (SD=83.1) msec, Long ISI 411.6 (SD=63.7) msec であった。13 歳群は Short ISI 432.6 (SD=75.2) msec, Middle ISI 407.7 (SD=80.2) msec, Long ISI 393.3 (SD=80.5) msec であった。15 歳群は Short ISI 453.1 (SD=56.0) msec, Middle ISI 420.8 (SD=69.5) msec, Long ISI 699.5 (SD=78.0) msec であった。そして成人群は Short ISI 395.5 (SD=63.2) msec, Middle ISI 382.3 (SD=57.7) msec, Long ISI 639.8 (SD=55.0) msec であった。

FA 生起数

対象児・者の全 FA 生起数の散布図を Fig. 3.2.2.6 に示した。年齢の上昇にともなう FA 生起数の減少が認められた。対象児・者の全 FA 生起数のボックスプロットを Fig. 3.2.2.7 に示した。各群における全 FA 生起数の中央値は 7 歳群 9.5 回 (最大 34, 最小 3), 9 歳群 2 回 (最大 17, 最小 0), 11 歳群 2 回 (最大 12, 最小 1), 13 歳群 3 回 (最大 6, 最小 0), 15 歳群 1 回 (最大 4, 最小 0),

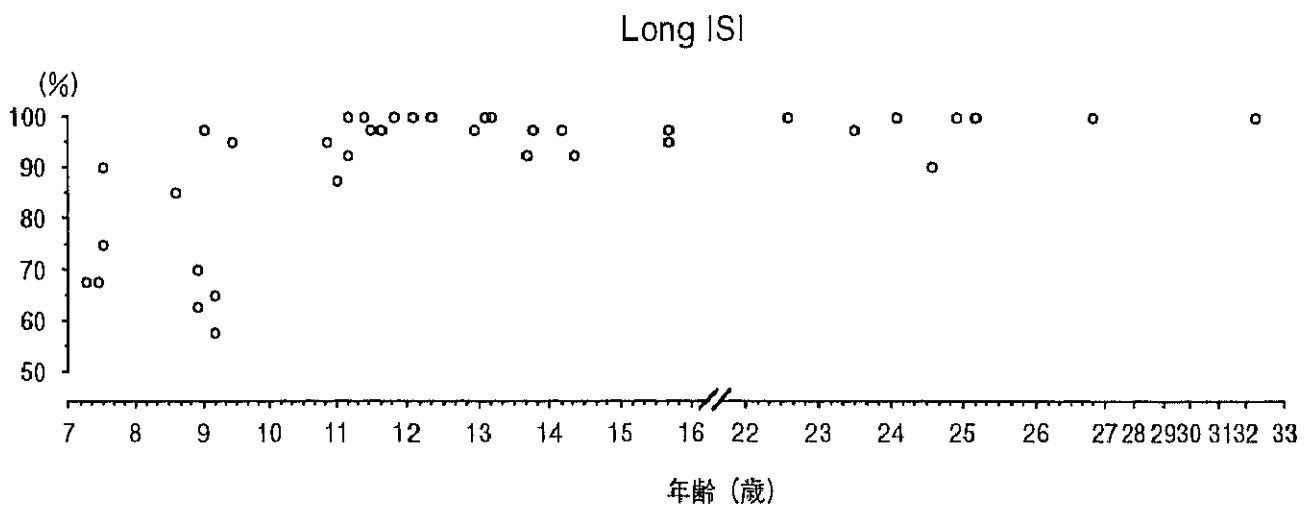
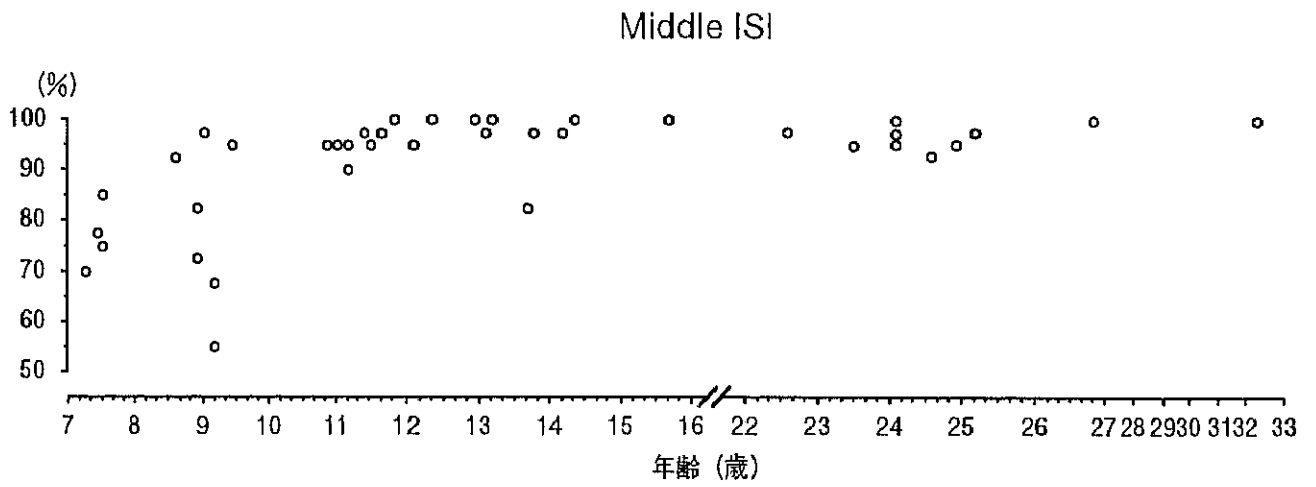
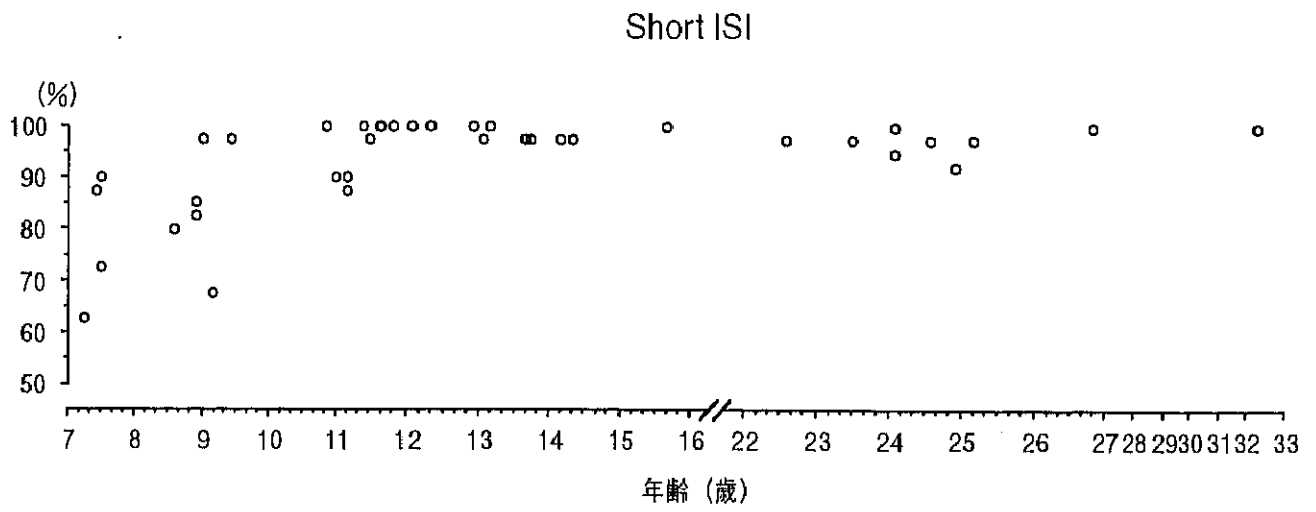


Fig. 3.1.2.2 ISI条件ごとの全対象児・者におけるヒット率の散布図

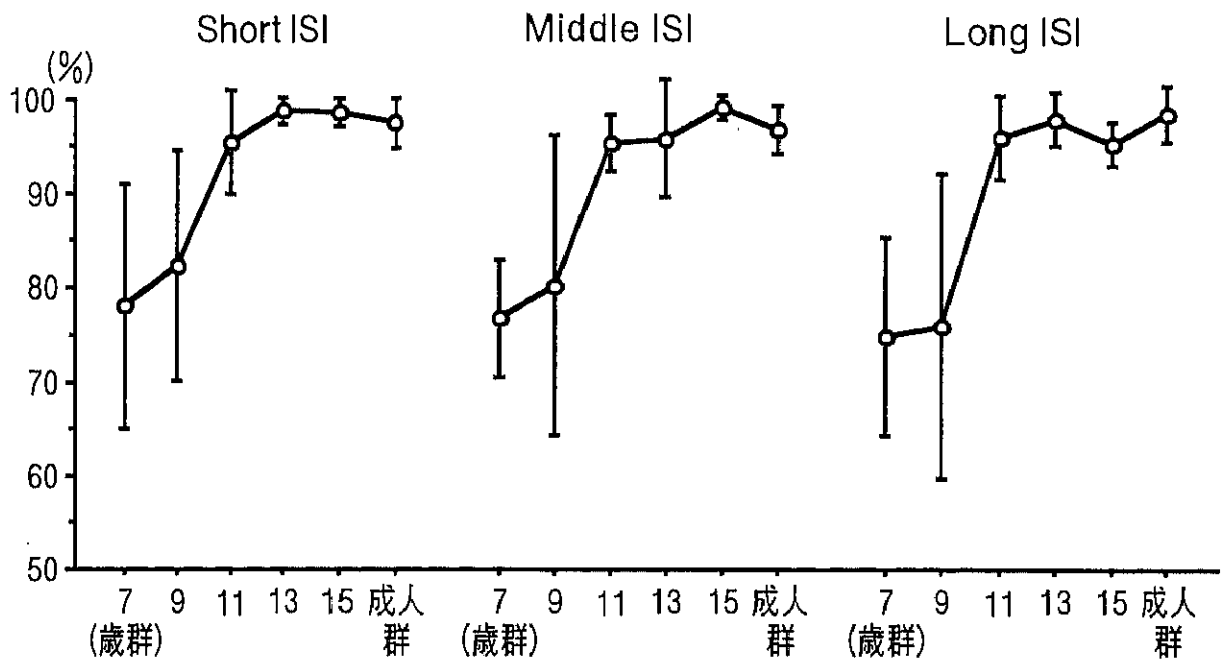


Fig. 3.2.2.3 各年齢群における各ISI条件ごとの平均ヒット率
 上下線は標準偏差をあらわす。

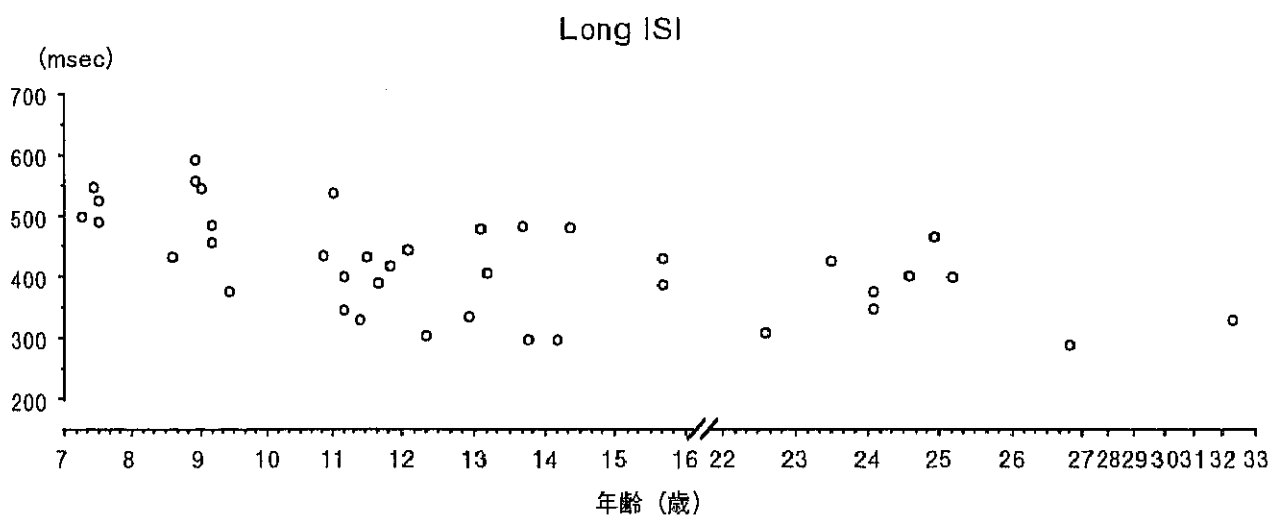
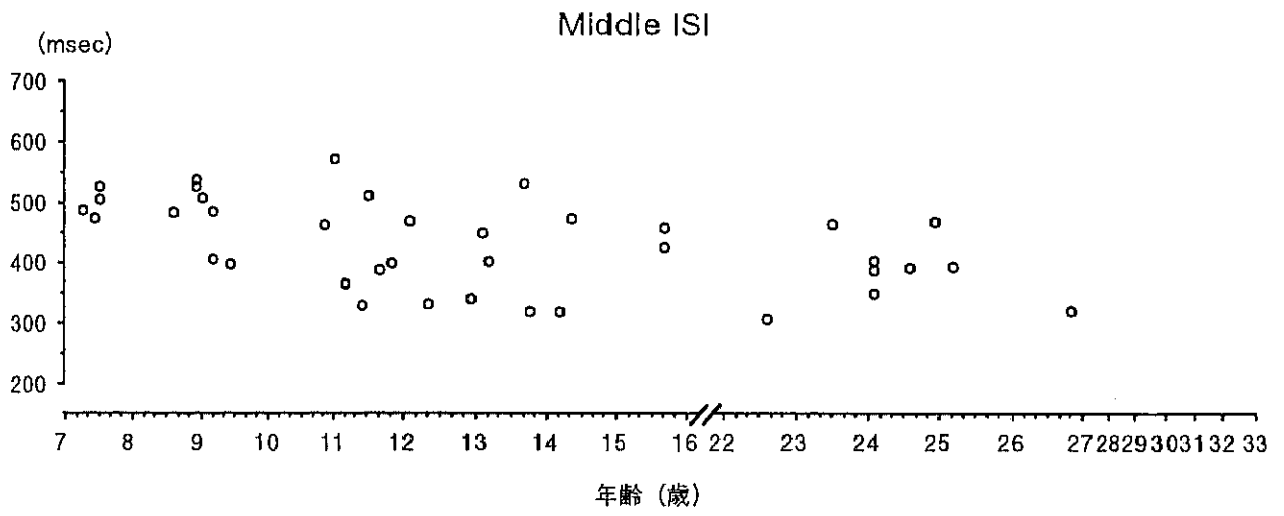
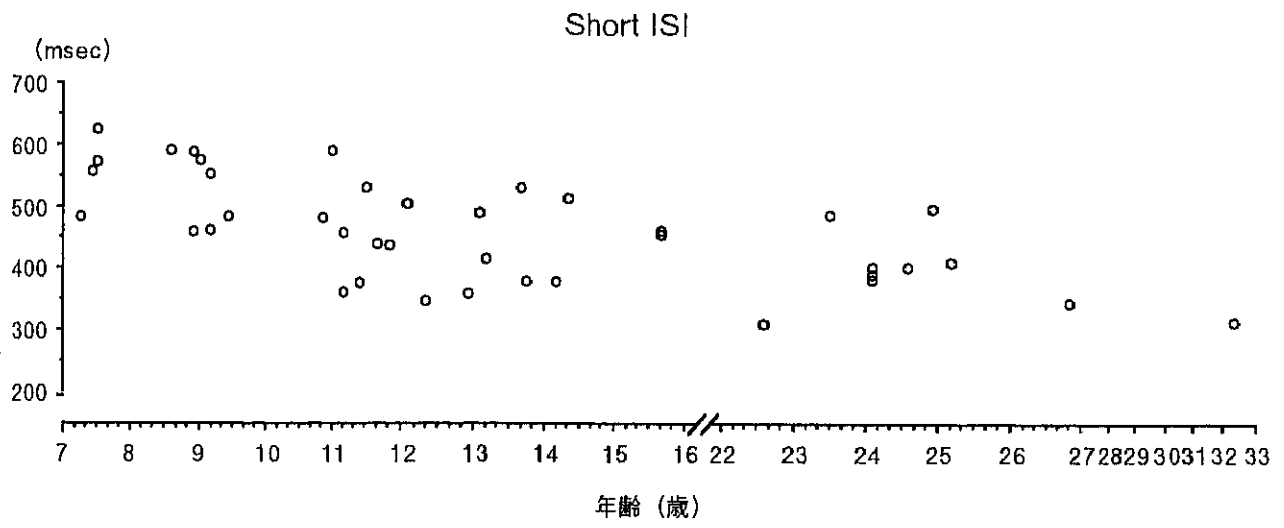


Fig. 3.2.2.4 ISI 条件ごとの全対象児・者における
ヒット反応時間の散布図

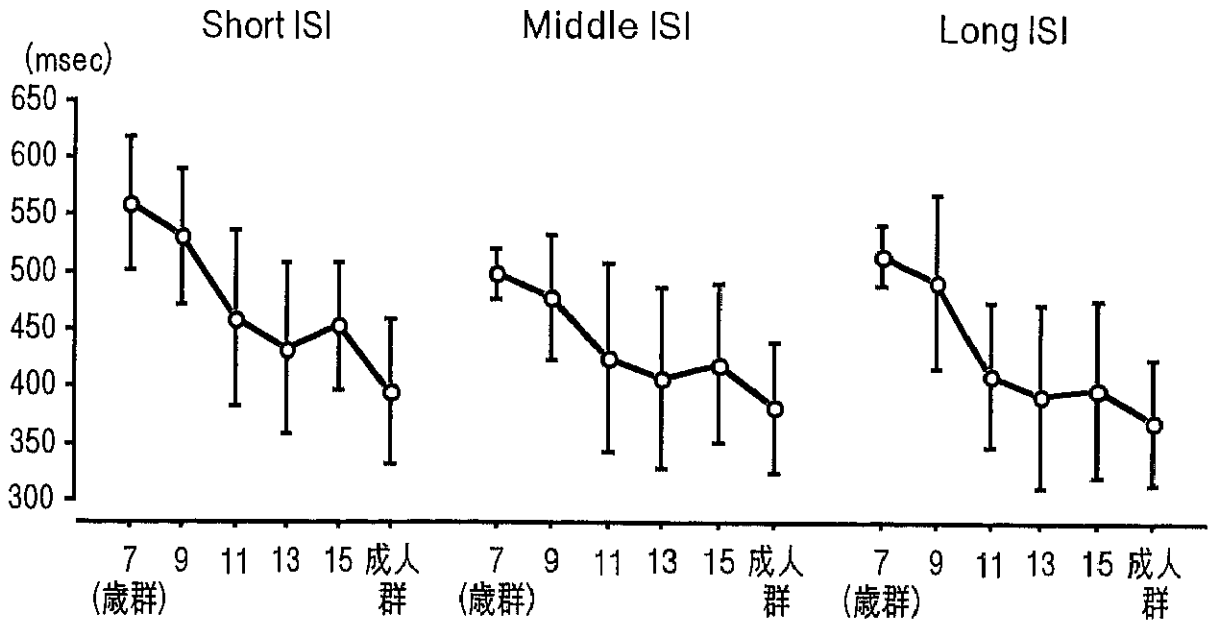


Fig. 3.2.2.5 各年齢群における ISI 条件ごとの平均ヒット反応時間
 上下線は標準偏差をあらわす。

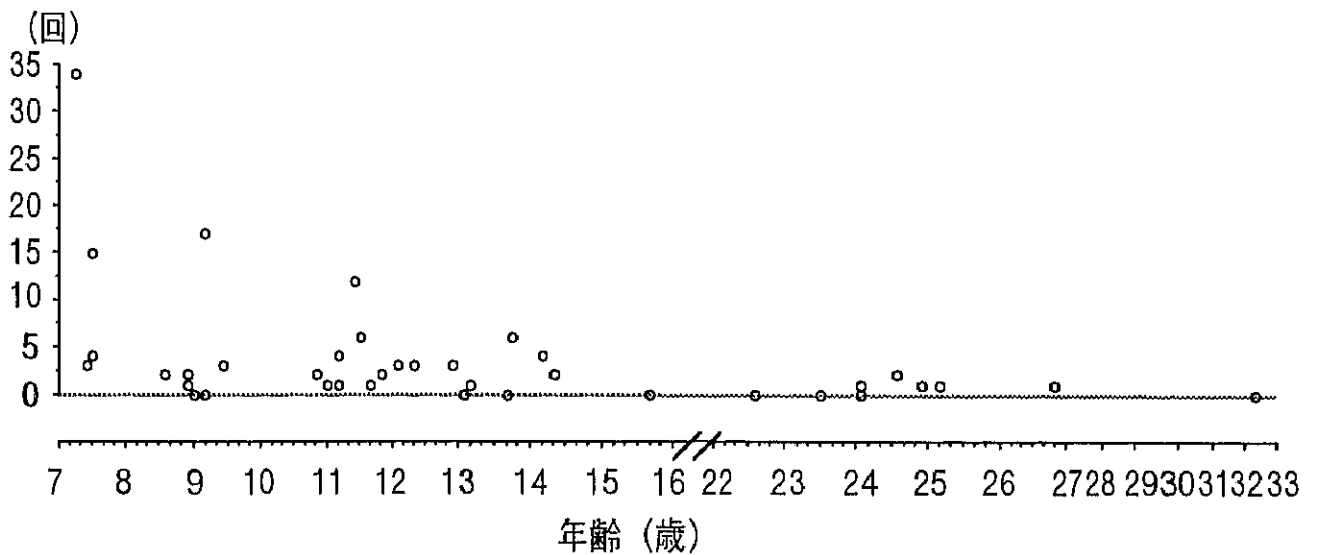


Fig. 3.2.2.6 各年齢群における全 FA 生起数の散布図

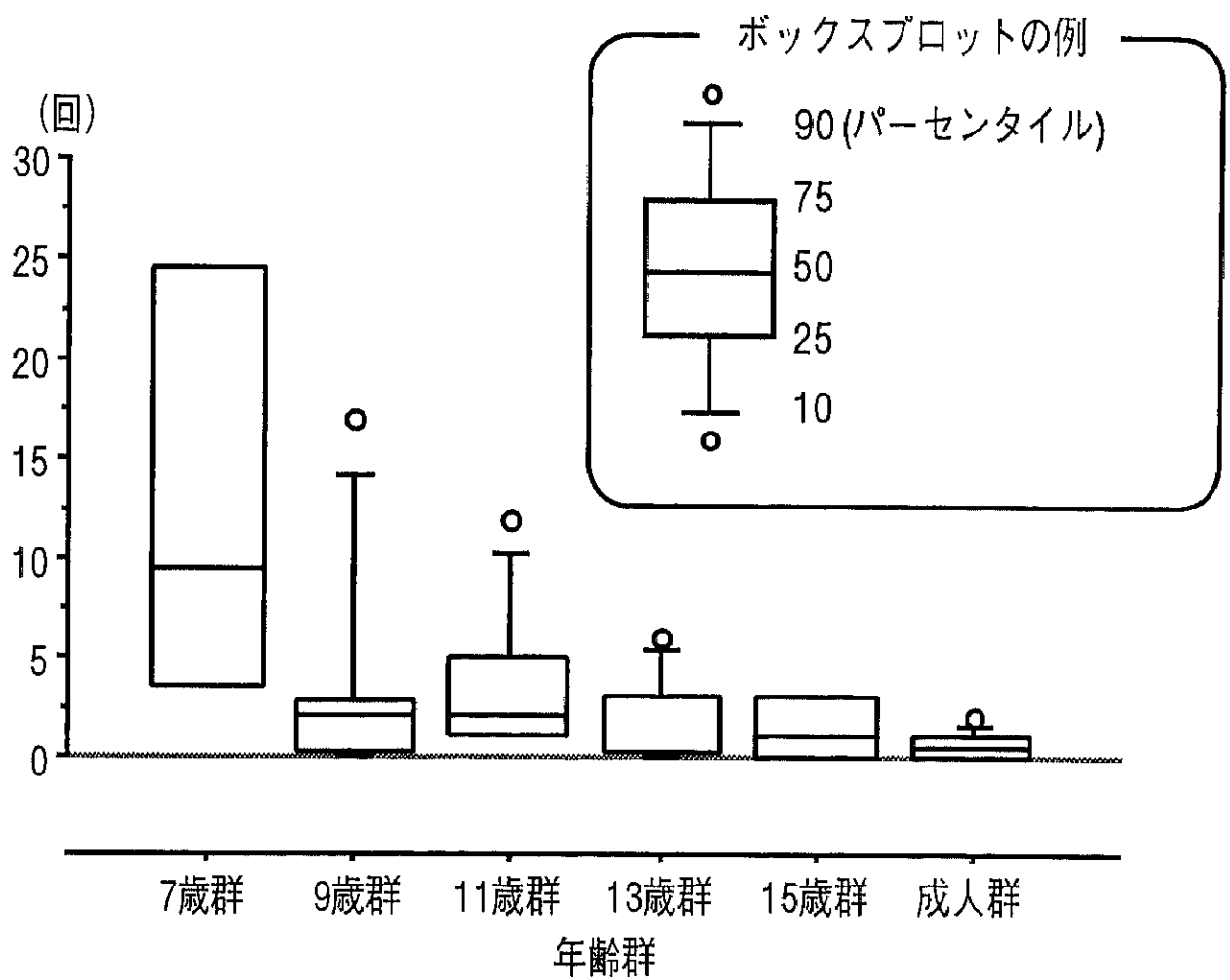


Fig. 3.2.2.7 各年齢群における全FA生起数のボックスプロット
上下の丸は離散値をあらわす。

そして成人群0.5回（最大2，最小0）であった。

各年齢群におけるFAサブタイプ（1not9エラー，1onlyエラー，9onlyエラー，ランダムエラー）生起数のボックスプロットをFig. 3.2.2.8に示した。1not9エラーと1onlyエラーはShort, Middle, Long ISIのそれぞれで生起したが，ここでは全ISI条件の合計を示した。各群における1not9エラー生起数の中央値は7歳群2（最大11，最小1），9歳群0（最大4，最小0），11歳群1（最大5，最小0），13歳群1（最大4，最小0），15歳群0.5（最大1，最小0），成人群0（最大1，最小0）であった。同様に，1onlyエラーは7歳群1.5（最大13，最小1），9歳群0（最大3，最小0），11歳群0（最大3，最小0），13歳群0（最大1，最小0），15歳群0（最大1，最小0），成人群0（最大0，最小0）であった。9onlyエラーは7歳群3.5（最大11，最小0），9歳群0（最大6，最小0），11歳群0.5（最大4，最小0），13歳群0（最大3，最小0），15歳群0（最大1，最小0），成人群0（最大1，最小0），そして，ランダムエラーは7歳群0.5（最大4，最小0），9歳群0（最大4，最小0），11歳群0（最大0，最小0），13歳群0（最大0，最小0），15歳群0（最大0，最小0），成人群0（最大0，最小0）であった。

3-2. ERP

ERP成分の同定

Fig. 3.2.2.9にMiddle ISI条件における標的刺激に対するERP総加算平均波形ならびにGFP曲線を示した。群間で潜時に差が認められるものについて，GFP曲線上でいくつかのピークを同定し，ERP波形上のピークに一致するピークをそれぞれ以下のERP成分と見なした：

潜時約100～130msecで出現した後頭部優位の陽性成分…P1

潜時約160～200msecで出現した側頭—後頭部優位の陰性成分…N1

13歳群のみ認められた潜時約270msecで出現した前頭部優位の陰性成分…N2

潜時約280～320msecで出現した側頭—後頭部優位の陽性成分…P2

潜時約400～450msecで出現した頭頂—中心部優位の陽性成分…P3

これらの成分のうち，13歳群を除く全群で出現したP1，N1，P2ならびにP3成分を本節における分析対象とした。いずれの成分についても年齢の上昇にともない振幅が低下し，成人群において明瞭に認められたのはN1，P3成分のみであった。また，健常児においてはP2成分はP3成分に先んじて陽性ピークを形成しており，Pzを中心とする頭頂—後頭部優位のダブルピークが認められた。このダブルピークは年齢の低い群においてはP3成分に比べP2成分がより高振幅であったが，年齢が高じるとともにP2成分が不明瞭になり，成人に至ってはほとんど出現していなかった。

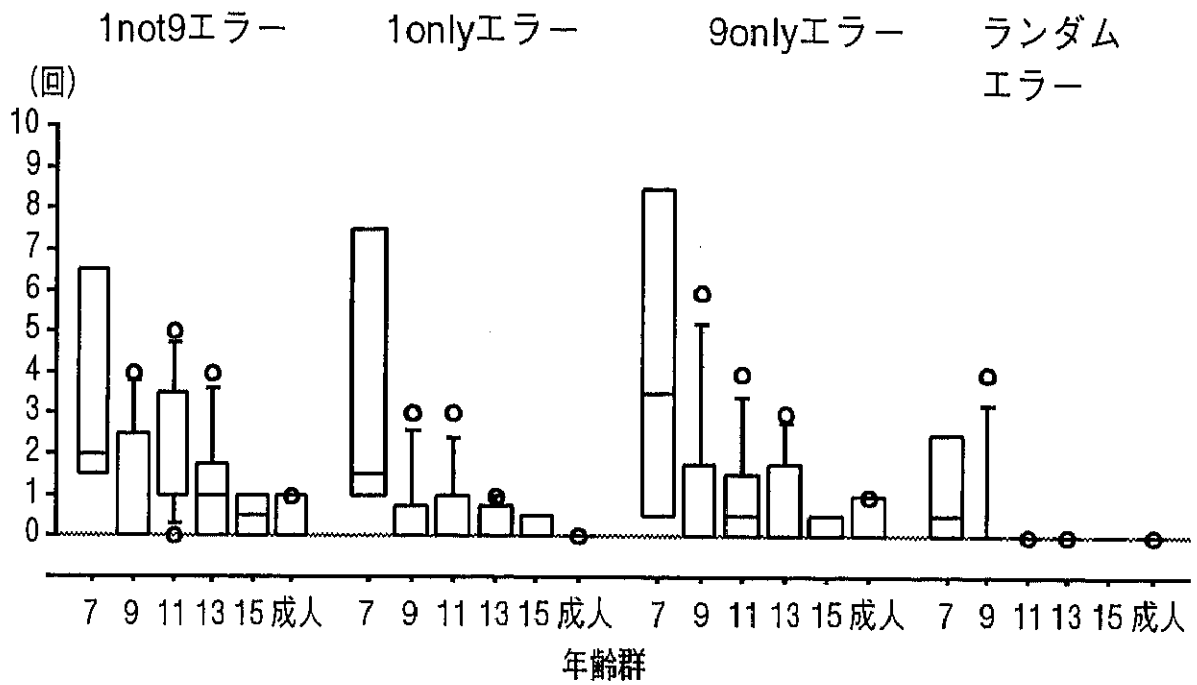


Fig. 3.2.2.8 各年齢群におけるFA サブタイプ生起数のボックスプロット
 上下の丸は離散値をあらわす。

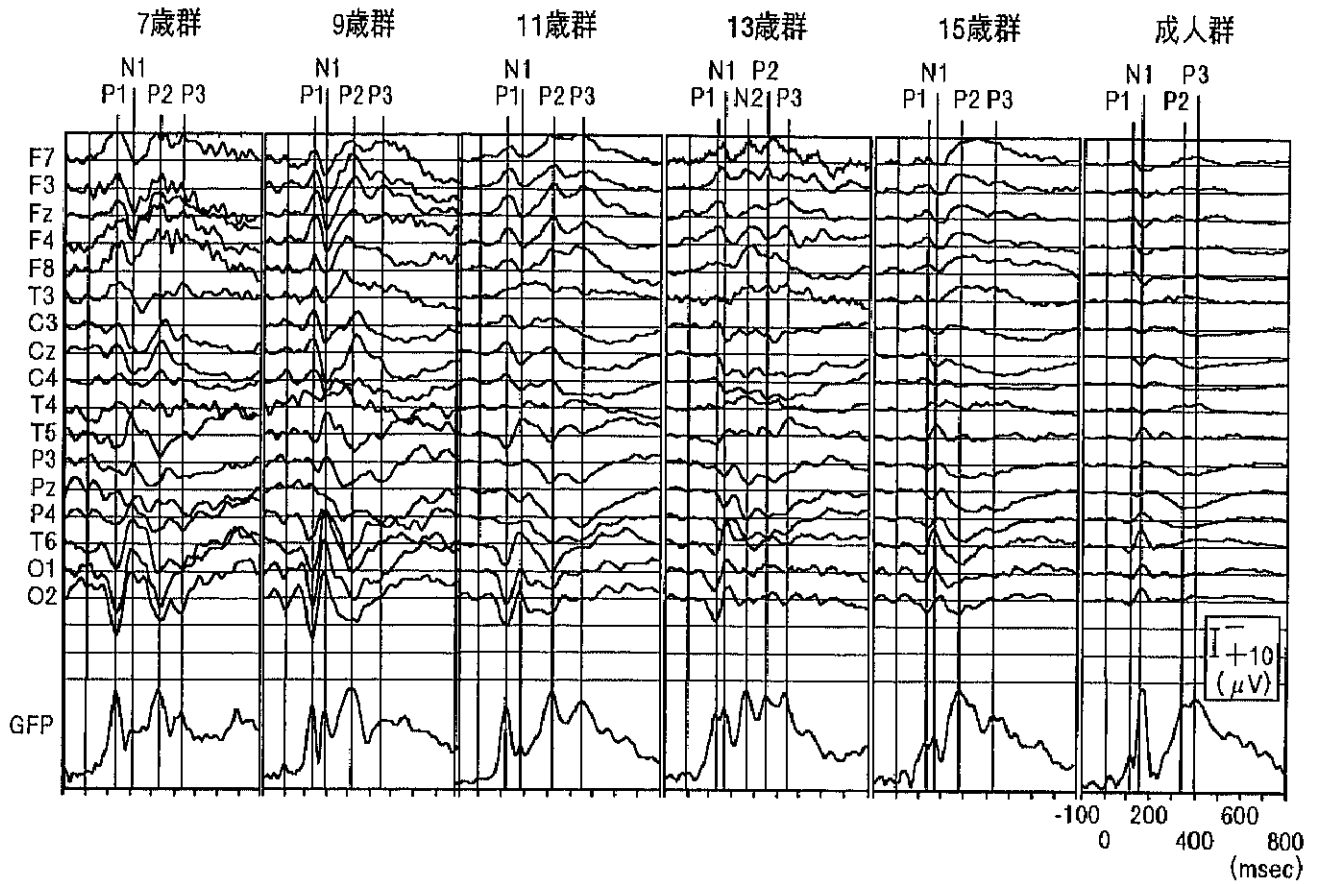


Fig. 3.2.2.9 Middle ISI 条件における標的刺激に対する
ERP 総加算平均波形ならびに GFP 曲線
縦線は同定した成分とその潜時をあらわす。

各種条件下での GFP と ERP 波形

刺激条件別にみた GFP と ERP 波形

Middle ISI条件の各刺激に対する GFP 曲線を Fig. 3.2.2.10 に、同様に正中線上3部位 (Fz, Cz, Pz) ならびに右後頭部 (O2) における ERP 総加算平均波形を Fig. 3.2.2.11 に示した。P1 成分は健常児の各年齢群で刺激条件にかかわらず GFP 曲線にピークが認められ、ERP 波形上でも後頭部優位に出現したが、健常成人においてはほとんど出現しなかった。これに対して、続く N1 成分は健常児 11, 15 歳群では GFP 曲線、ERP 波形とも不明瞭であったが、これ以外の健常児群と成人群においては GFP 曲線上にピークが認められ、ERP 波形上でも後頭部優位で出現した。P2 成分は健常児の各年齢群においては刺激条件にかかわらず GFP 曲線上にピークが認められたが、成人群においては明瞭な出現を認めなかった。ERP 波形上においては刺激条件と年齢群によって P2 の振幅は異なり、健常児 7, 9 歳群では警告刺激そのものと警告が先行しない非標的刺激では後頭部優位、警告直後の標的、非標的刺激ならびに偽標的刺激では頭頂部優位であった。P2 成分は健常児 13 歳群ではすべての刺激条件において頭頂一後頭部優位となり、15 歳群で再び後頭部優位となった。P3 成分は標的刺激に対しては年齢群にかかわらず明瞭に出現し、ERP 上でも頭頂一中心部優位で認められた。警告直後の非標的刺激に対しては成人群以外では GFP 曲線上のピークは明確ではなかったが、ERP 上では P3 の潜時帯に陽性方向へのシフトが認められた。頭皮上分布はどの年齢群でも正中線上3部位で大きな差がなかった。また、警告刺激と偽標的刺激に対しても GFP 曲線上で P3 成分に対応するピークが認められ、振幅は警告が先行する刺激条件より小さく、標的刺激条件と同様 Pz において優位であった。警告が先行しない非標的刺激に対しては 7, 9 歳群のみピークが認められた。各刺激条件に対する ERP 成分の潜時を年齢群別に Fig. 3.2.2.12 に示した。N1, P2 成分は刺激条件にかかわらず年齢の上昇とともに潜時の短縮を示した。P3 成分は健常児の年齢群間ではあまり潜時差がなかったが、成人群はいずれの条件においても健常児より潜時が速かった。年齢群内の刺激条件別にみると P1 ならびに N1 成分は警告刺激においてやや潜時が延長した。また P3 成分は警告直後の刺激に対しては潜時が延長した。

ISI 条件別にみた GFP と ERP 波形

ISI が変化する警告直後の刺激条件のうち、標的刺激に対する各年齢群の GFP 曲線を Fig. 3.2.2.13 に、正中線上3部位 (Fz, Cz, Pz) ならびに右後頭部 (O2) における ERP 波形を Fig. 3.2.2.14 に示した。ISI 条件にかかわらず、P1 成分は年齢の上昇とともに出現が不明瞭となった。これに対し、N1 成分は健常児においては年齢の上昇とともに GFP 曲線におけるピークが明確となり、ISI の延長とともに明確となった。この様相は Fig. 3.2.2.15 に示したように、ERP 波形における後頭部優位の N1 成分でも認められた。P2 成分は健常児のほとんどの年齢群で GFP 曲線上にピークを認めた。ERP 波形をみると、7, 9, 11 歳群においては Short ISI で後頭部優位、そ

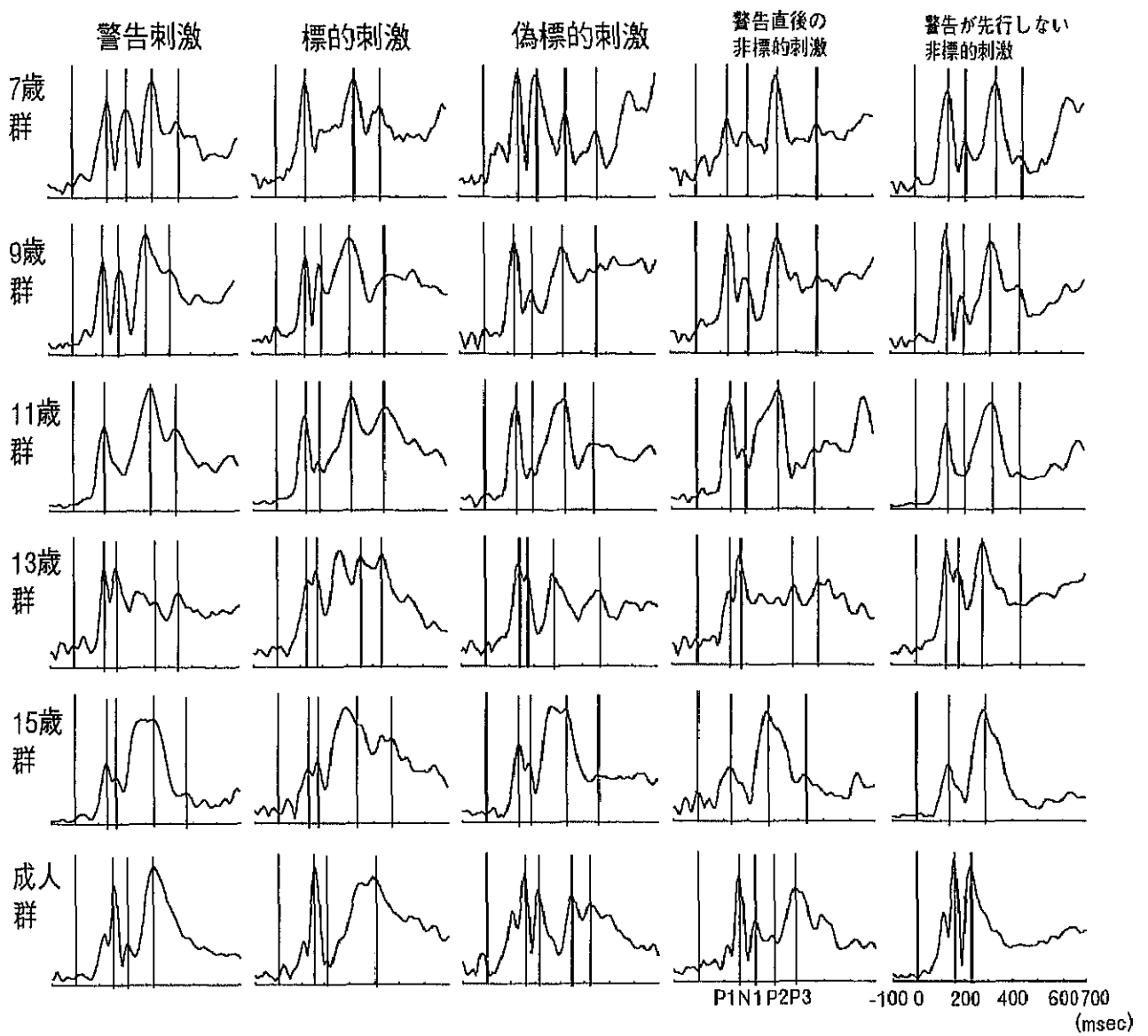


Fig. 3.2.2.10 Middle ISI 条件の各刺激に対する GFP 曲線

縦線は同定した成分とその潜時をあらわす。

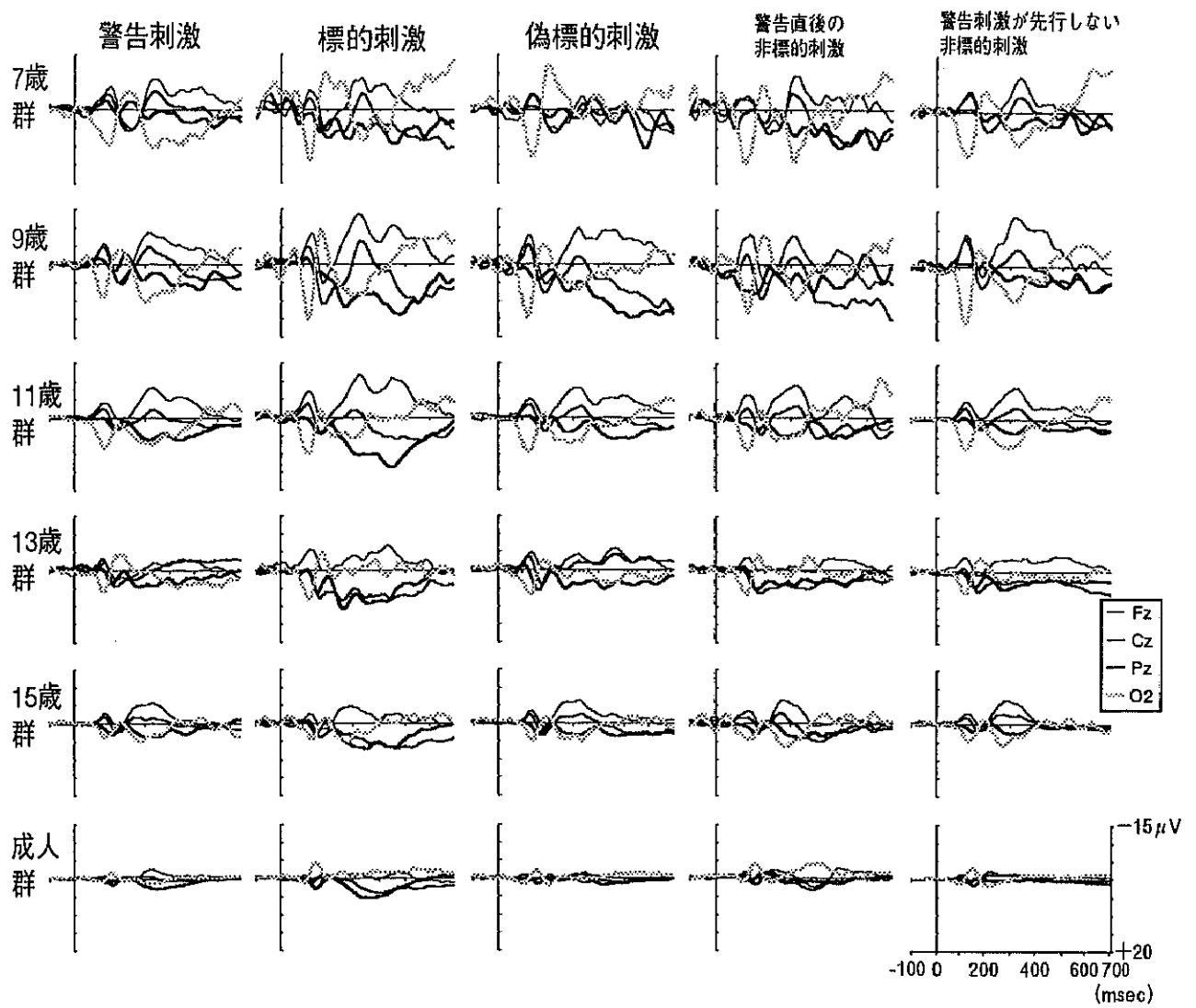


Fig. 3.2.2.11 Middle ISI 条件の各刺激に対する正中線上3部位 (Fz, Cz, Pz) ならびに右後頭部 (O2) における ERP 総加算平均波形

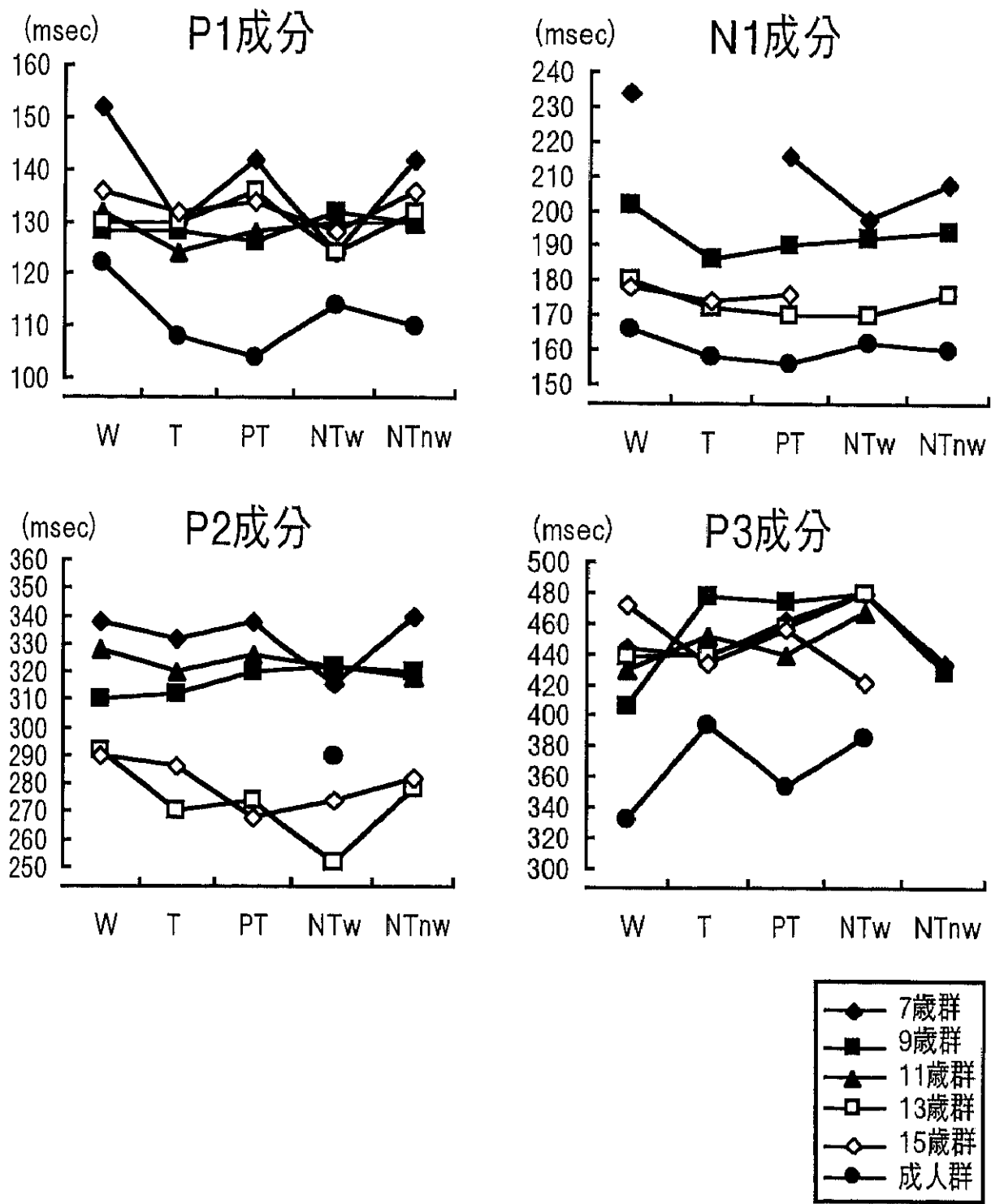


Fig. 3.2.2.12 各刺激条件に対する P1, N1, P2
 ならびに P3 成分の GFP 曲線でのピーク潜時
 W…警告刺激
 T…標的刺激
 PT…偽標的刺激
 NTw…警告直後の非標的刺激
 NTnw…警告が先行しない非標的刺激 をあらわす。

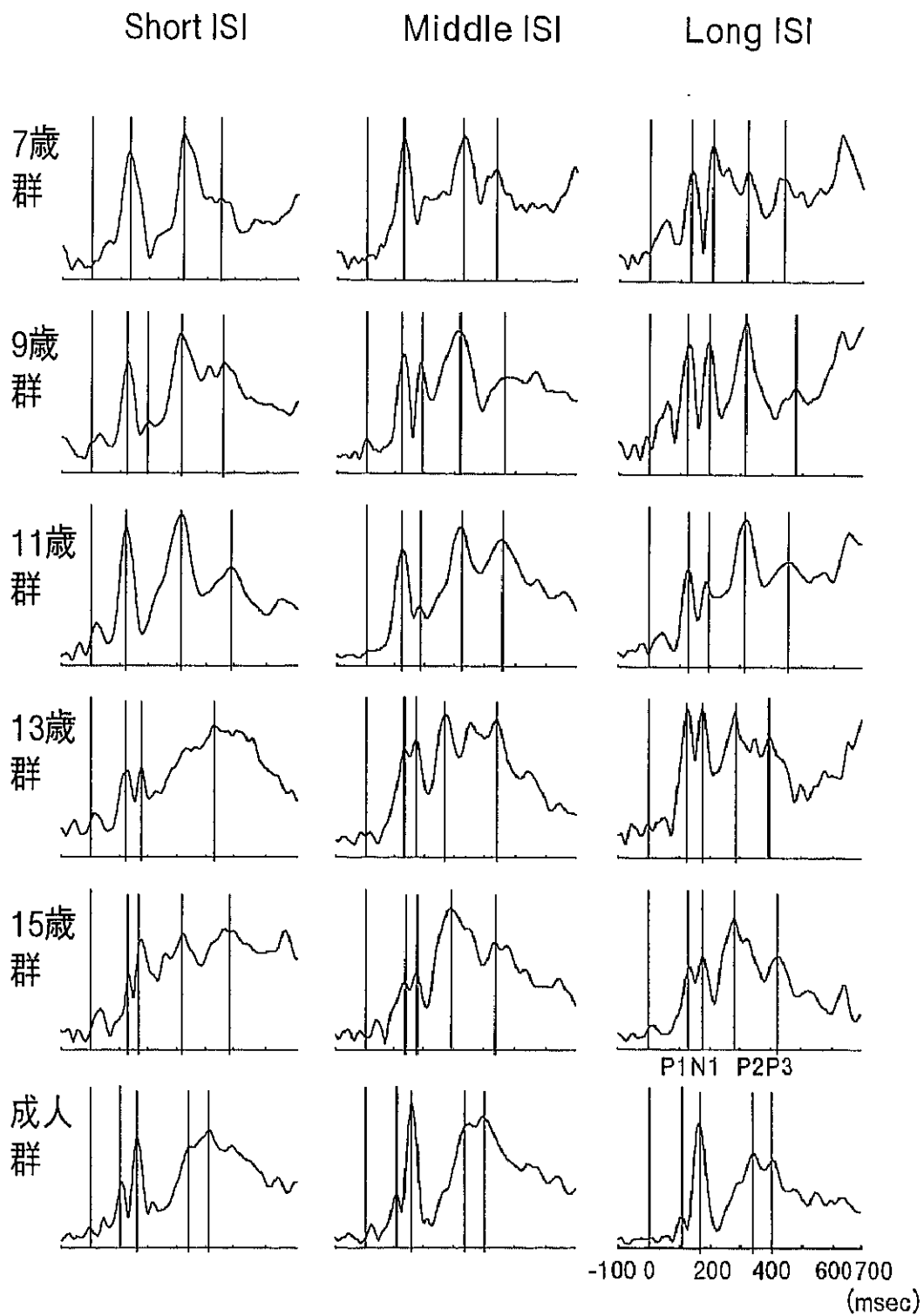


Fig. 3.2.2.13 標的刺激における各 ISI 条件に対する GFP 曲線

縦線は同定した成分とその潜時をあらわす。

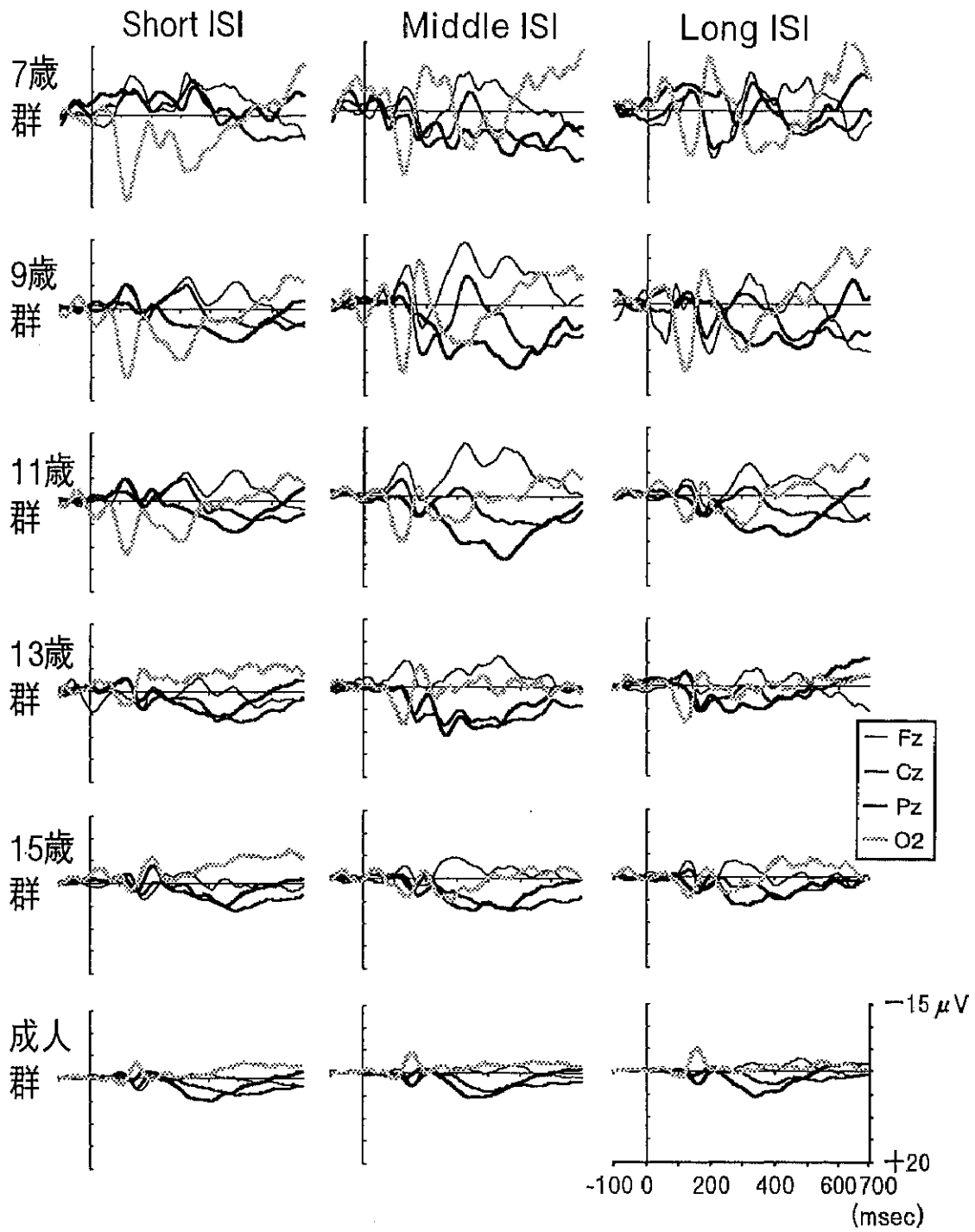


Fig. 3.2.2.14 各 ISI 条件の標的刺激に対する正中線上 3 部位
ならびに右後頭部における ERP 総加算平均波形

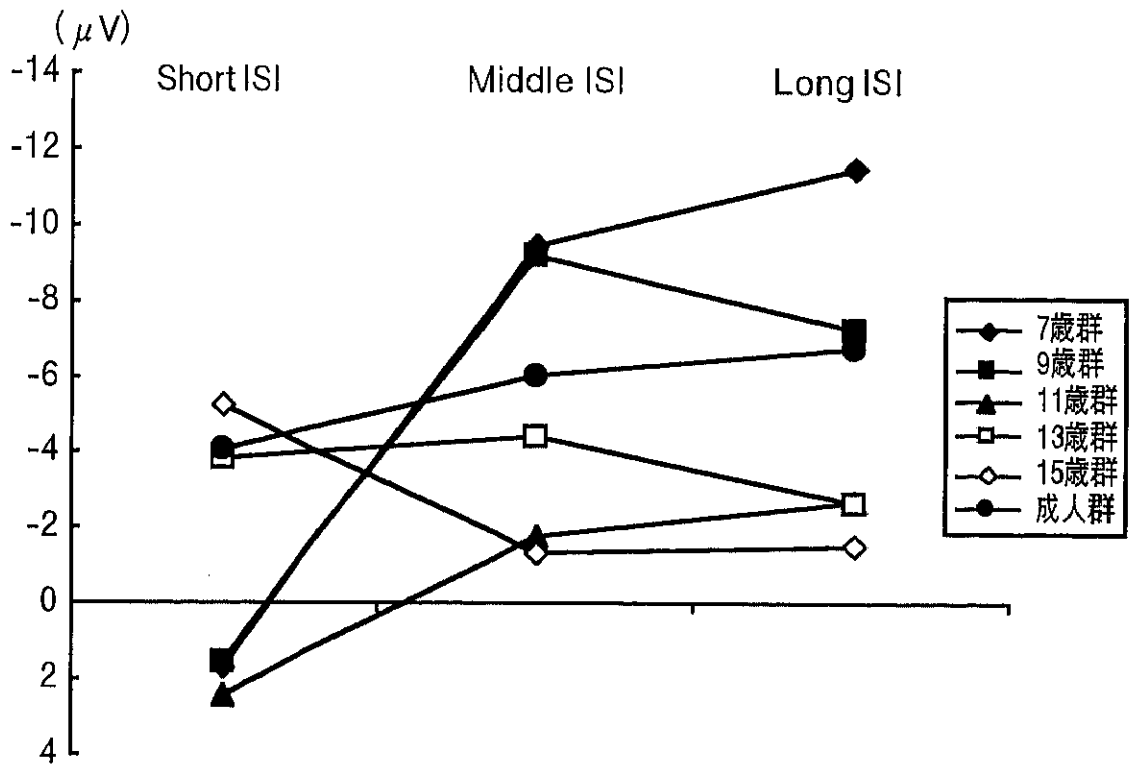


Fig. 3.2.2.15 各 ISI 条件の標的刺激に対する N1 成分の平均振幅 (O2 導出)

れ以外のISI条件で頭頂部優位を示し、13、15歳群ではすべて頭頂部優位であった。成人群ではP2成分に相当するピークはGFP曲線には認められるものの、ERP波形上ではほとんど出現を認めなかった。P3成分はすべての年齢群、ISI条件においてGFP曲線のピークを認め、ERP波形において頭頂-中心部優位であった。ISI条件別にみると、7、9、11歳群においてはShort ISI条件では他の条件に比べP3成分の振幅が低下した。また、GFP曲線、ERP波形ともにもっともP3成分が明瞭に出現したのはMiddle ISIに対してであった。各年齢群におけるP1、N1、P2ならびにP3成分のGFP曲線でのピーク潜時をISI条件別にFig. 3.2.2.16に示した。P1、N1成分においてはISI条件の間に潜時の差はほとんどなく、年齢群間の差は特にN1成分で明瞭となった。P2成分においては13歳群のみISIの延長にともないP2成分の潜時が短縮した。またこの成分のみ成人群の潜時が最も遅かった。P3成分においてはISI条件間の潜時差は年齢群で一貫しなかったが、7、13、15歳の各群においてISIの延長にともない潜時が短縮した。

次に、警告直後の非標的刺激に対する各年齢群のGFP曲線をFig. 3.2.2.17に、正中線上3部位(Fz, Cz, Pz)ならびに右後頭部(O2)におけるERP波形をFig. 3.2.2.18に示した。P1、N1成分の出現様相は標的刺激とほとんど変化がなかった。P2成分は7、9、11歳群においては標的刺激に類似するGFP曲線上のピーク、ならびにERP波形上の分布を示したが、13歳群では明瞭なP2成分の出現を認めず、15歳になると再びP2成分の出現を認めた。成人群ではP2成分に相当するピークは認められなかった。P3成分は7、9歳群ではISI条件にかかわらずGFP曲線上に明瞭なピークを認めず、ERP波形上ではMiddle、Long ISI条件において標的と同じ頭頂-中心部優位を示した。これに対して、11、13、15歳群ならびに成人群では年齢の上昇とともにGFP曲線上のピークが明瞭になり、ERP波形上では正中線上3部位の間に標的刺激ほどの振幅差が認められなかった。また、標的刺激と同様に健常児の各年齢群においてもっともP3成分が明瞭であったのはMiddle ISI条件であった。各年齢群におけるP1、N1、P2ならびにP3成分のGFP曲線でのピーク潜時をISI条件別にFig. 3.2.2.19に示した。P1、P2成分においては標的刺激と同様、ISI条件の間に潜時の差はほとんどなかった。N1、P2成分も基本的に潜時間の差は標的刺激と同様であったが、13歳群におけるP2成分にも差は認められなかった。P3成分においてはISI条件間の潜時差は年齢群で一貫しなかったが、15歳と成人群においてISIの延長にともない潜時が短縮した。

頭皮上電位分布とCentroid

Fig. 3.2.2.20にISIが変化しない3刺激(警告刺激:Fig. 3.2.2.20A, 偽標的刺激:Fig. 3.2.2.20B, 警告が先行しない非標的刺激:Fig. 3.2.2.20C)に対する、刺激呈示後100msecから700msecまで、26msecごとのERPの頭皮上電位分布図を示した。健常児7、9、11、13歳群においては、いずれの刺激においても側頭-後頭領域優位のP1成分が認められた。15歳群においてもわずか

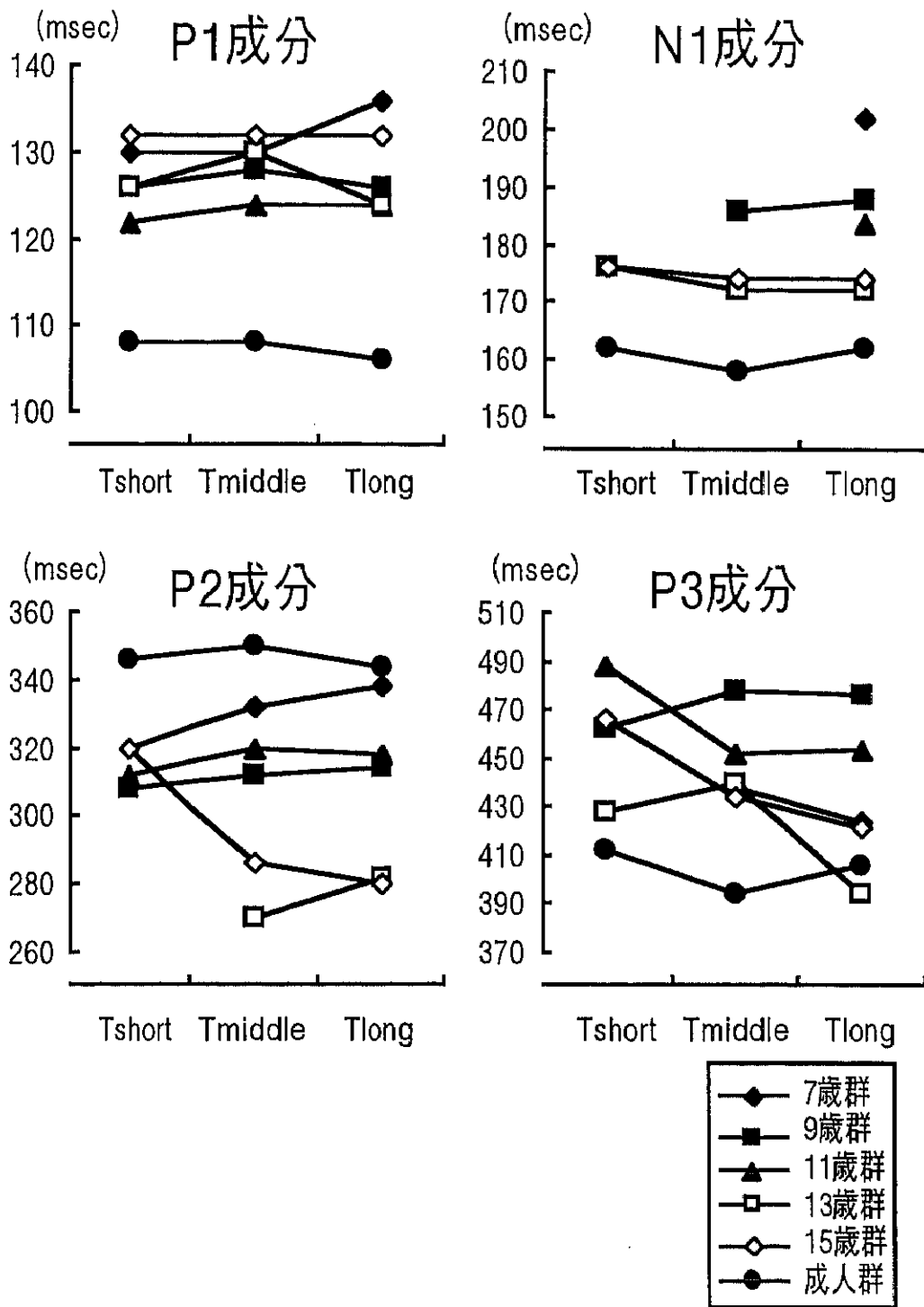


Fig. 3.2.2.16 各 ISI 条件の標的刺激に対する P1, N1, P2 ならびに P3 成分の GFP 曲線でのピーク潜時

Tshort...標的刺激 Short ISI 条件
 Tmiddle...同 Middle ISI 条件
 Tlong... 同 long ISI 条件 をあらわす。

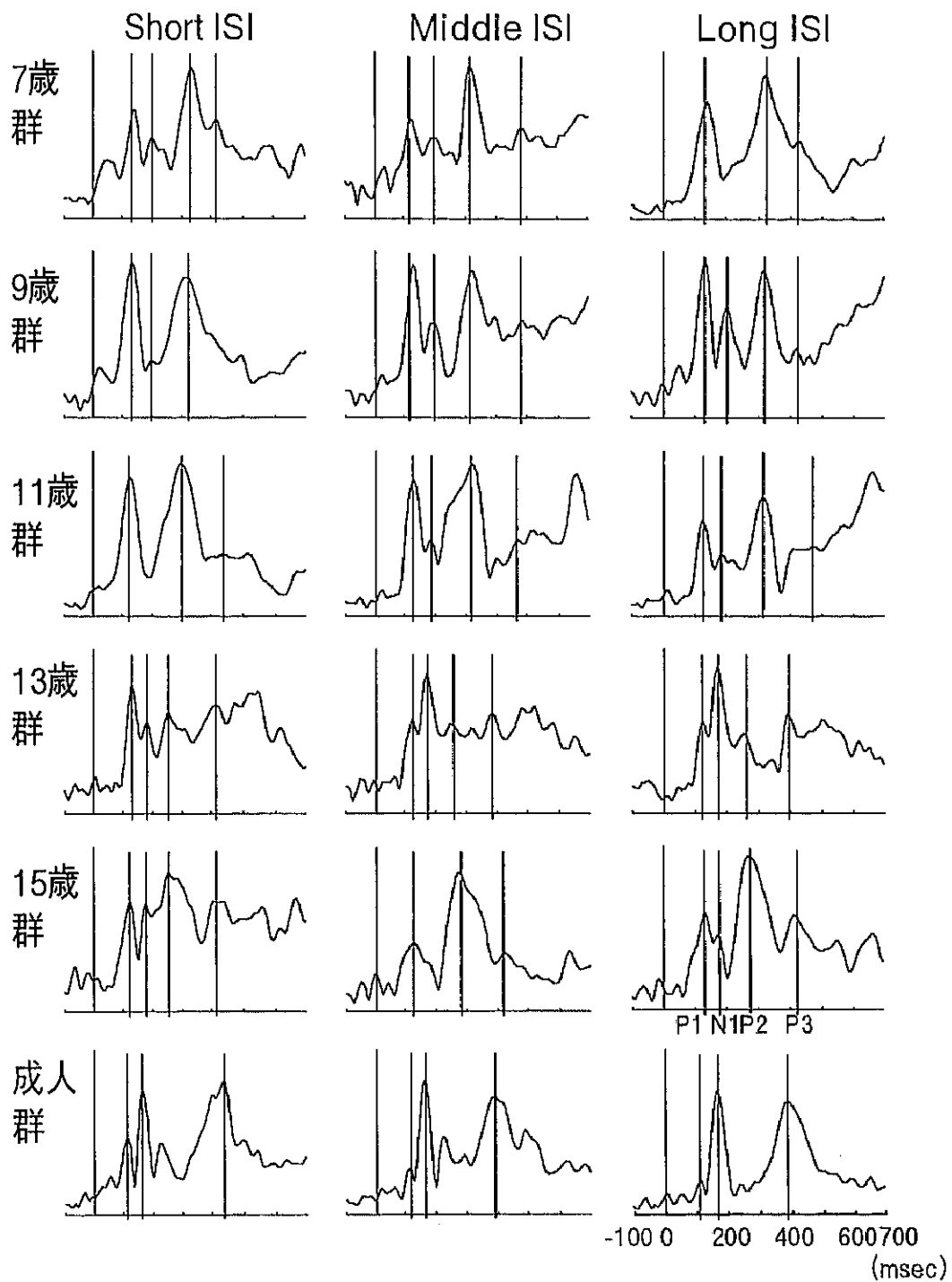


Fig. 3.2.2.17 各 ISI 条件での警告直後の非標的刺激に対する GFP 曲線
 縦線は同定した成分とその潜時をあらわす。

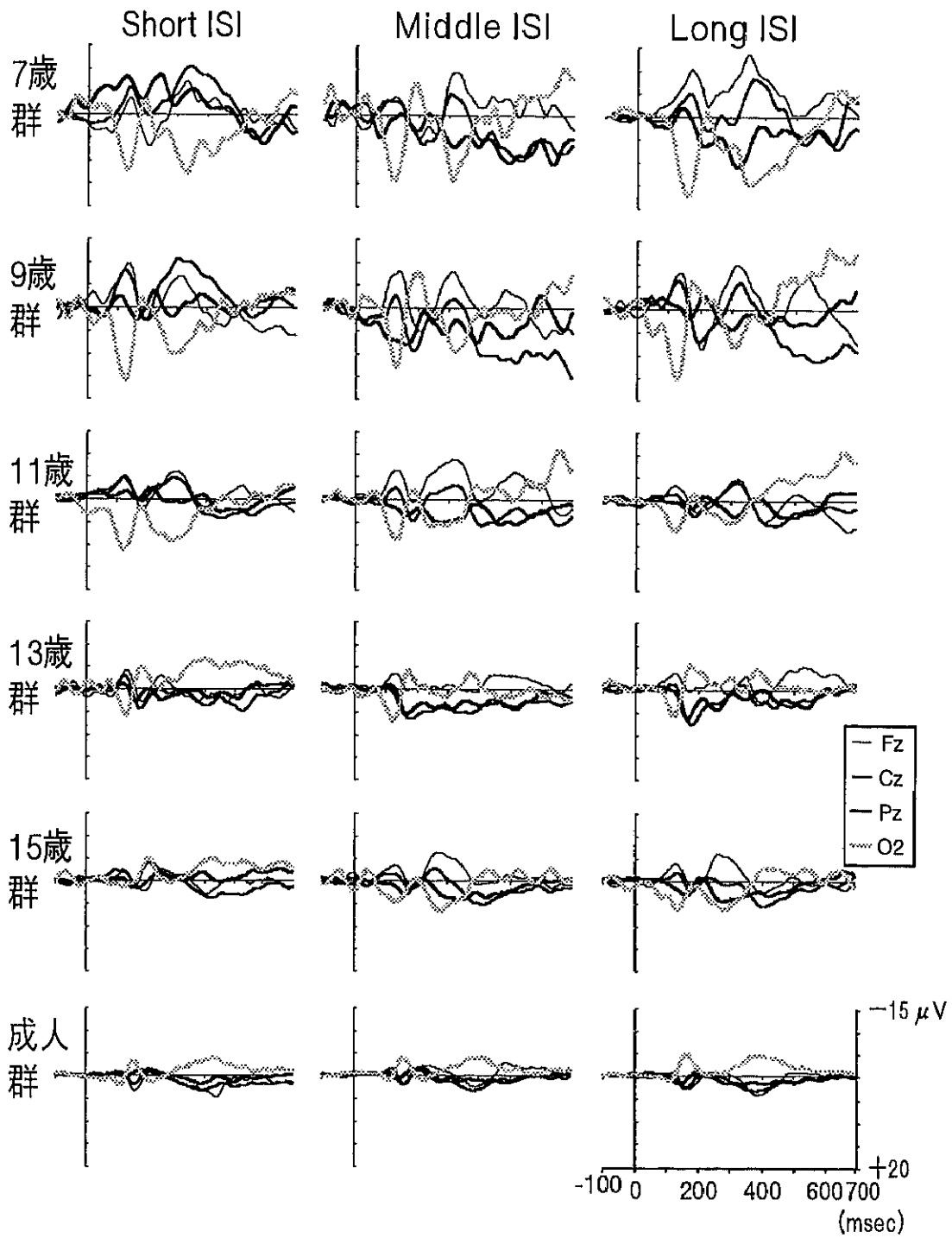


Fig. 3.2.2.18 各 ISI 条件での警告直後の非標的刺激に対する正中線上 3 部位ならびに右後頭部における ERP 総加算平均波形

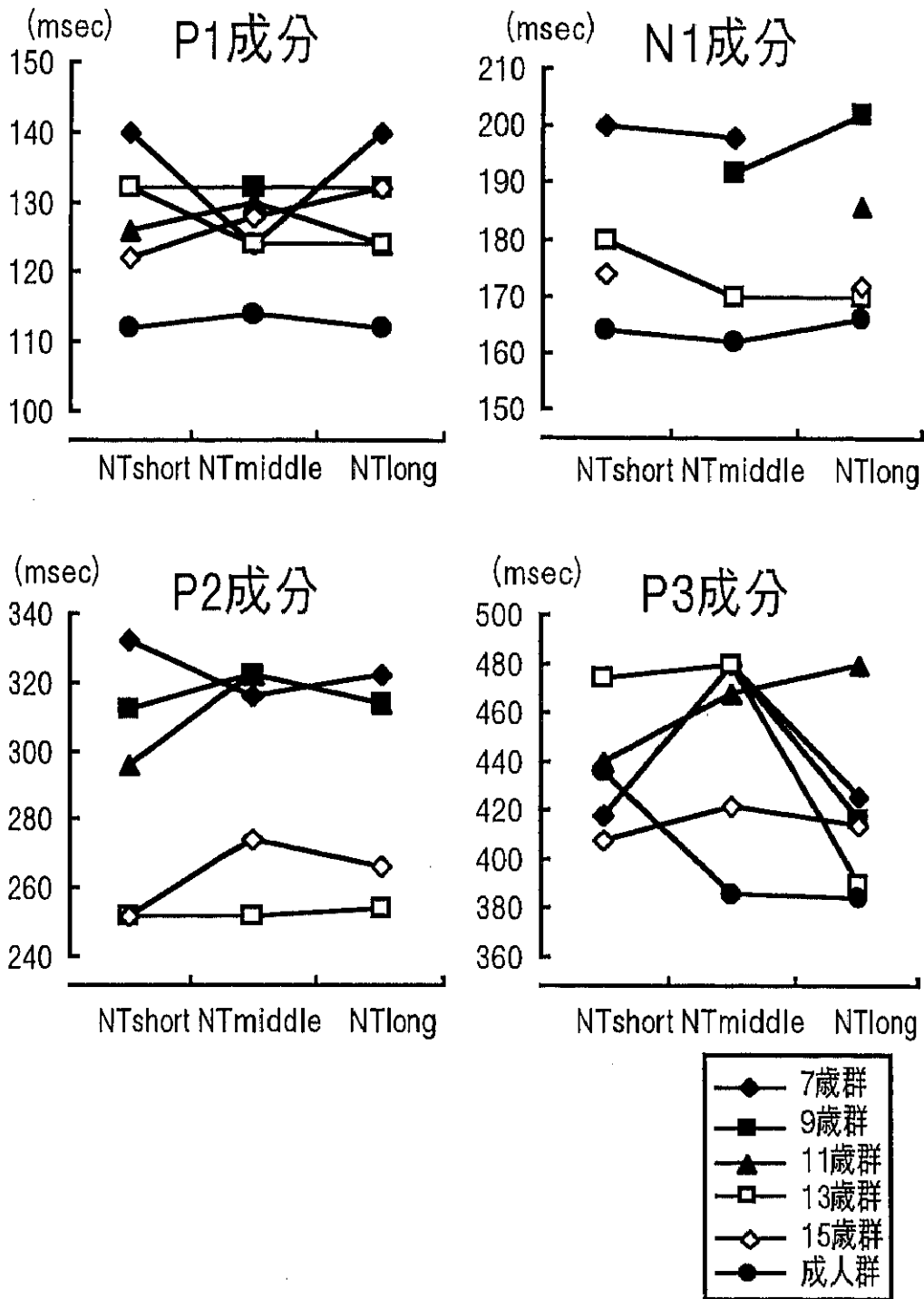


Fig. 3.2.2.19 各 ISI 条件での警告直後の非標的刺激に対する P1, N1, P2 ならびに P3 成分の GFP 曲線でのピーク潜時
 NTshort…警告直後の非標的刺激 Short ISI 条件
 NTmiddle…同 Middle ISI 条件
 NTlong… 同 Long ISI 条件 をあらわす。

にP1成分の出現が認められるものの低振幅であり、成人においてはほとんど出現していなかった。N1成分は刺激条件、年齢群にかかわらず側頭一後頭領域優位で認められ、中心一前頭領域においては陽性となっており、電場の逆転が認められた。P2成分は7、9、11歳群においては刺激条件にかかわらず側頭一後頭領域優位で認められたが、13歳群では後頭領域から前方方向にピークがシフトした。このシフトは15歳群では認められず、再び側頭一後頭領域優位となった。P2成分に後続する陽性成分であるP3成分をみると、警告刺激（Fig. 3.2.2.20A）に対しては、P2成分が優位に出現している側頭一後頭領域から頭頂一後頭領域へピークがシフトし、P3成分を形成した後、中心部で消失するパターンが認められ、P3のピークに至るまでの潜時は年齢の上昇とともに短縮した。成人群においてはP2成分が出現していないためこのようなパターンは認められず、健常児より速い潜時から後頭一頭頂領域優位のP3が直接出現した。健常児におけるP2-P3成分の出現パターンは偽標的刺激（Fig. 3.2.2.20B）においても同様であったが、P3成分は警告刺激に比べ明瞭に出現した。警告が先行しない非標的刺激（Fig. 3.2.2.20C）においてもこのパターンは同様に認められたが、P3成分の振幅は他の2条件に比べ小さかった。

ISIが変化した警告直後の刺激条件について、標的刺激に対する刺激呈示後100msecから700msecまで、26msecごとのERPの頭皮上電位分布図をISI条件ごとにFig. 3.2.2.21に（Short ISI：Fig. 3.2.2.21A、Middle ISI：Fig. 3.2.2.21B、Long ISI：Fig. 3.2.2.21C）示した。P1成分の出現様相は、全ISI条件において先の警告刺激、偽標的刺激、警告が先行しない非標的刺激と同様であった。N1成分は7、9、11歳群のShort ISI条件（Fig. 3.2.2.21A）では認められず、Middle（Fig. 3.2.2.21B）、Long ISI条件（Fig. 3.2.2.21C）では側頭一後頭領域優位に出現した。13、15歳群ならびに成人群においてはすべてのISI条件でN1成分の出現が認められ、その振幅はISIの延長とともに増大した。P2成分からP3成分までが出現する潜時帯での頭皮上分布の変化をより詳細に観察するため、Middle ISI条件の刺激呈示後200msecから400msecまで、16msecごとのERPの頭皮上電位分布図をFig. 3.2.2.22に示した。P2成分の出現様相は7、9、11歳群においてはISI条件にかかわらず基本的には先の3刺激条件と同様であり、13歳群では後方から前方方向へのシフトも同様に認められた。15歳群においては先の3刺激条件よりも前方方向へのシフトが認められ、頭皮上分布は13歳群に似た側頭一頭頂領域優位であった。この2群におけるISI条件別の優位領域も類似しており、Short ISI条件（Fig. 3.2.2.21A）ではともに側頭領域において優位に出現し、Middle（Fig. 3.2.2.21B）、Long ISI条件（Fig. 3.2.2.21C）ではより頭頂領域が優位であった。成人群においてはP2成分に相当する陽性ピークは認められなかった。P2成分からP3成分への移行過程も基本的には先の3刺激と同様であり、ISI条件、年齢群にかかわらずそのピークは頭頂一中心領域優位であった。また、P3成分は7、9歳群におけるShort ISI条件では不明瞭であったが、これ以後の年齢群では後頭一頭頂領域に明瞭に出現した。各ISI条件での刺激呈示後300msecから700msecまでの潜時帯におけるY軸方向（前後）の陽性CentroidをFig.

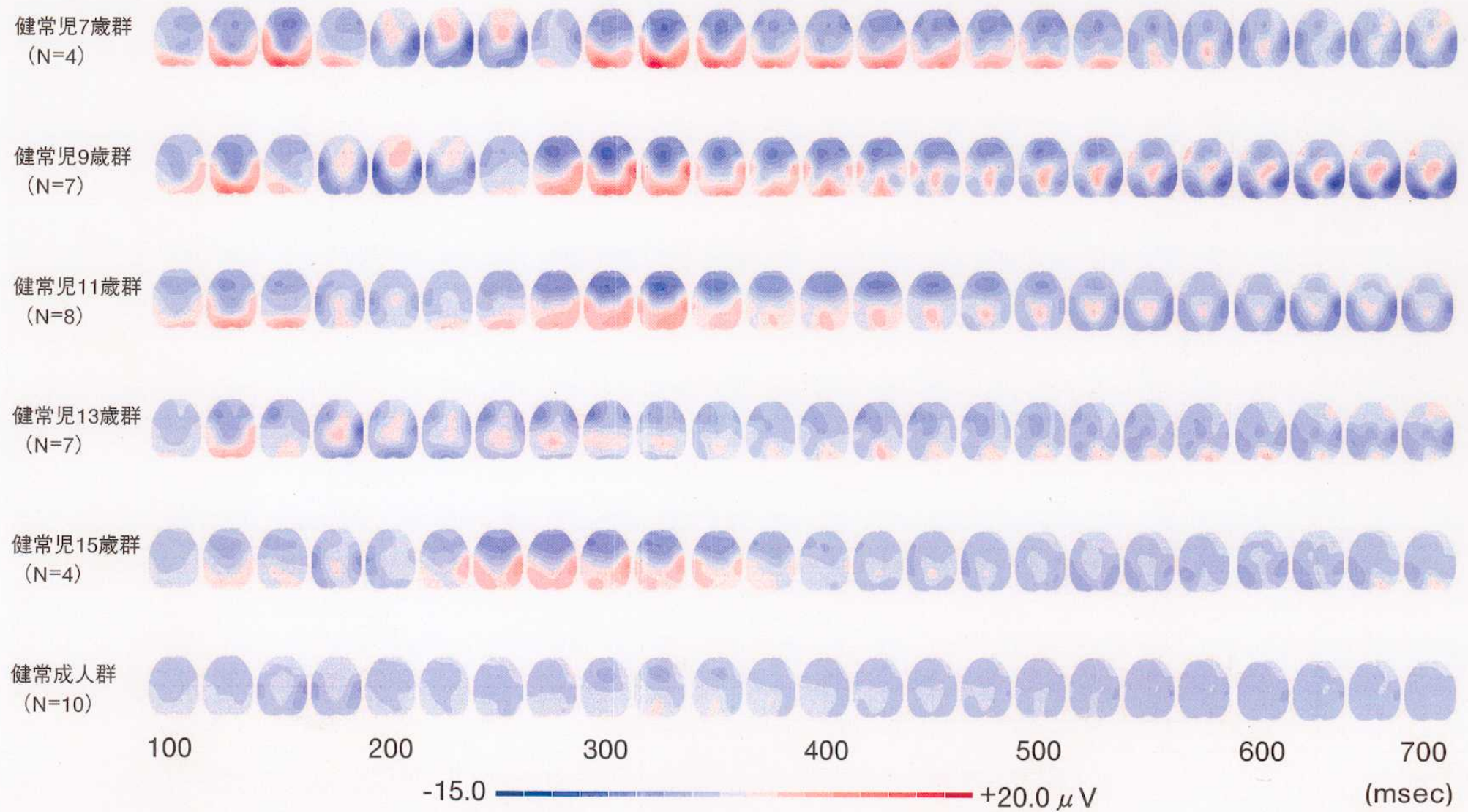


Fig. 3.2.2.20A 健常児・健常成人における警告刺激に対するERPの頭皮上電位分布図

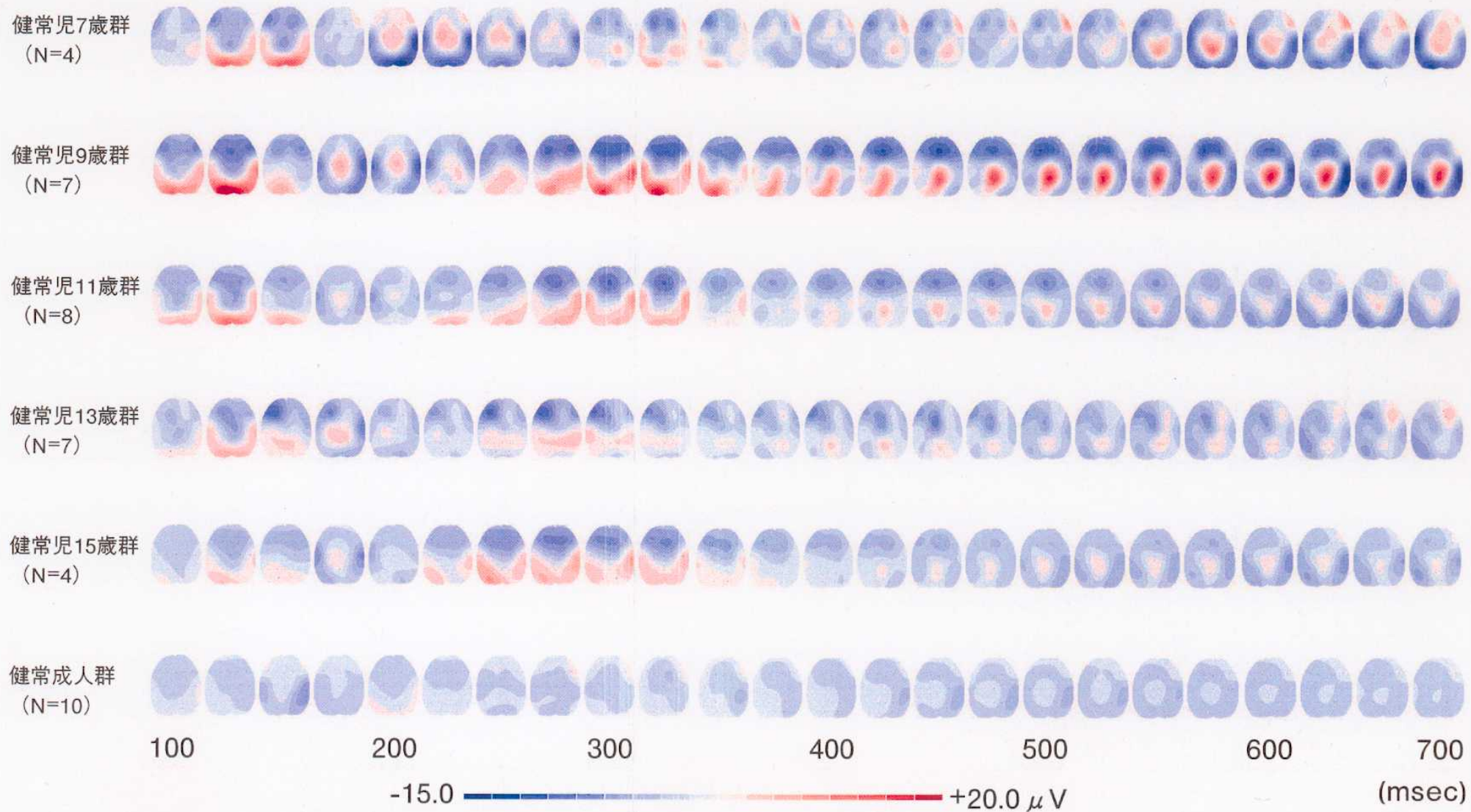


Fig. 3.2.2.20B 健常児・健常成人における偽標的刺激に対するERPの頭皮上電位分布図

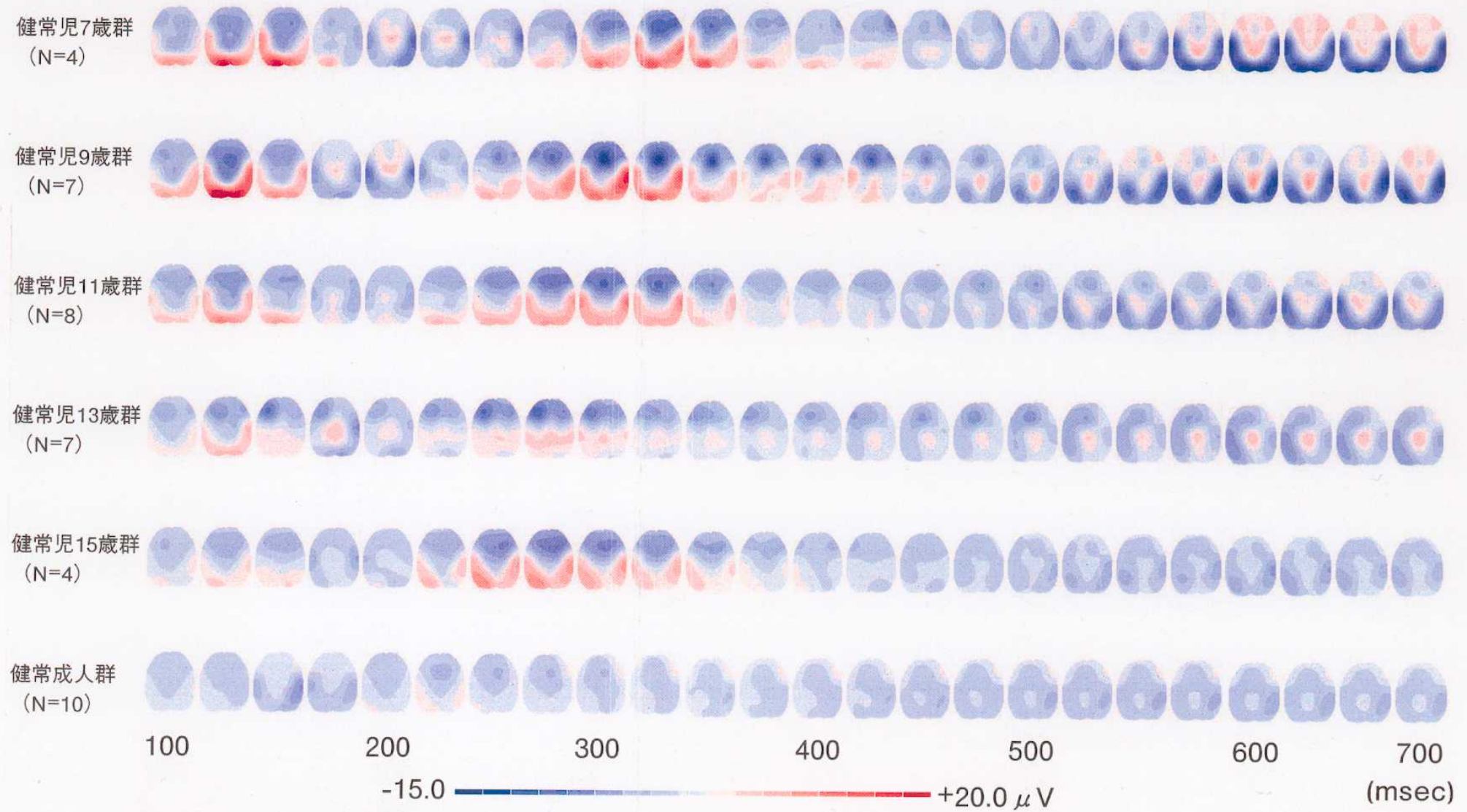


Fig. 3.2.2.20C 健常児・健常成人における警告が先行しない非標的刺激に対するERPの頭皮上電位分布図

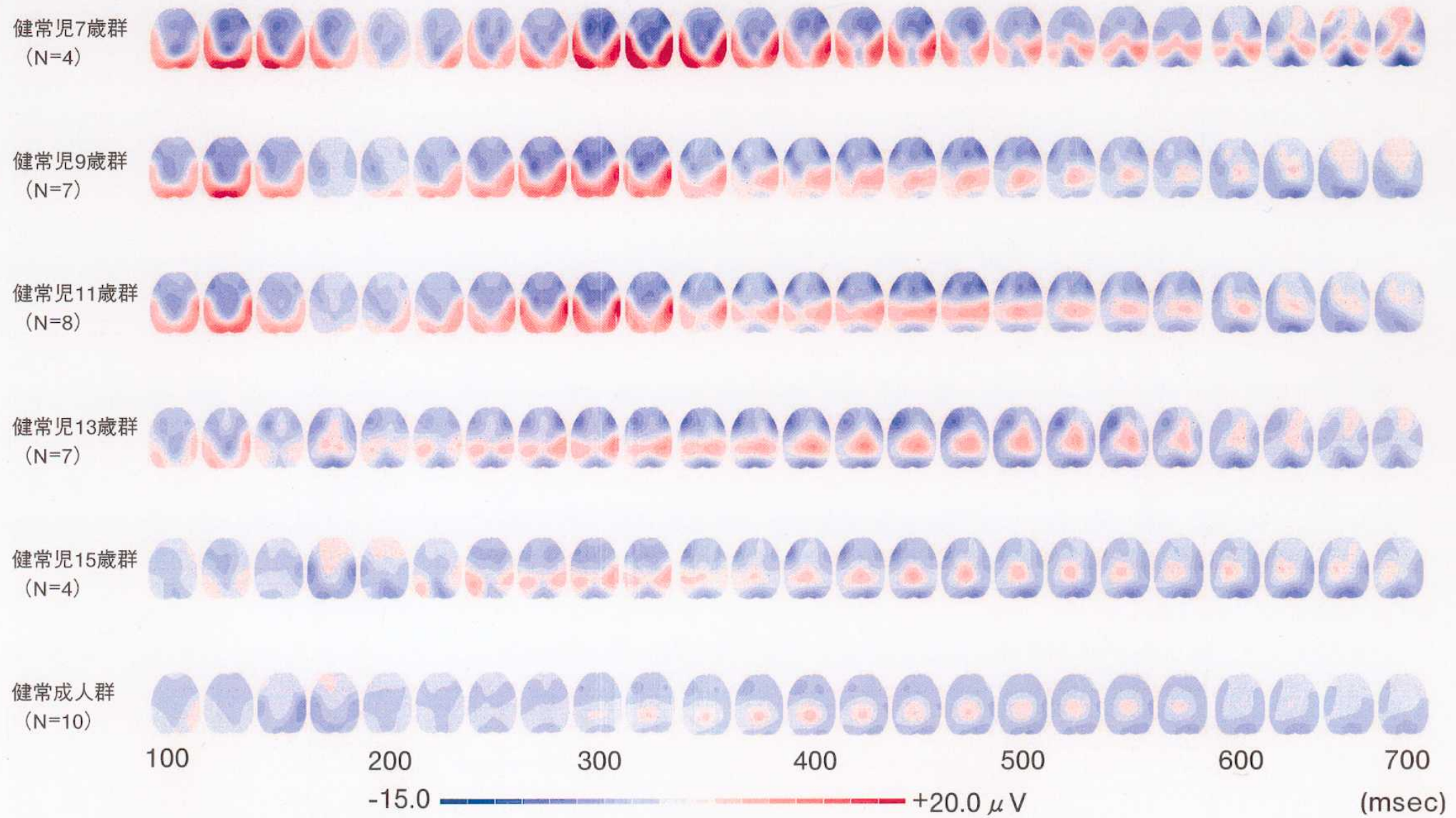


Fig. 3.2.2.21A 健常見・健常成人における標的刺激 (Short ISI) に対するERPの頭皮上電位分布図

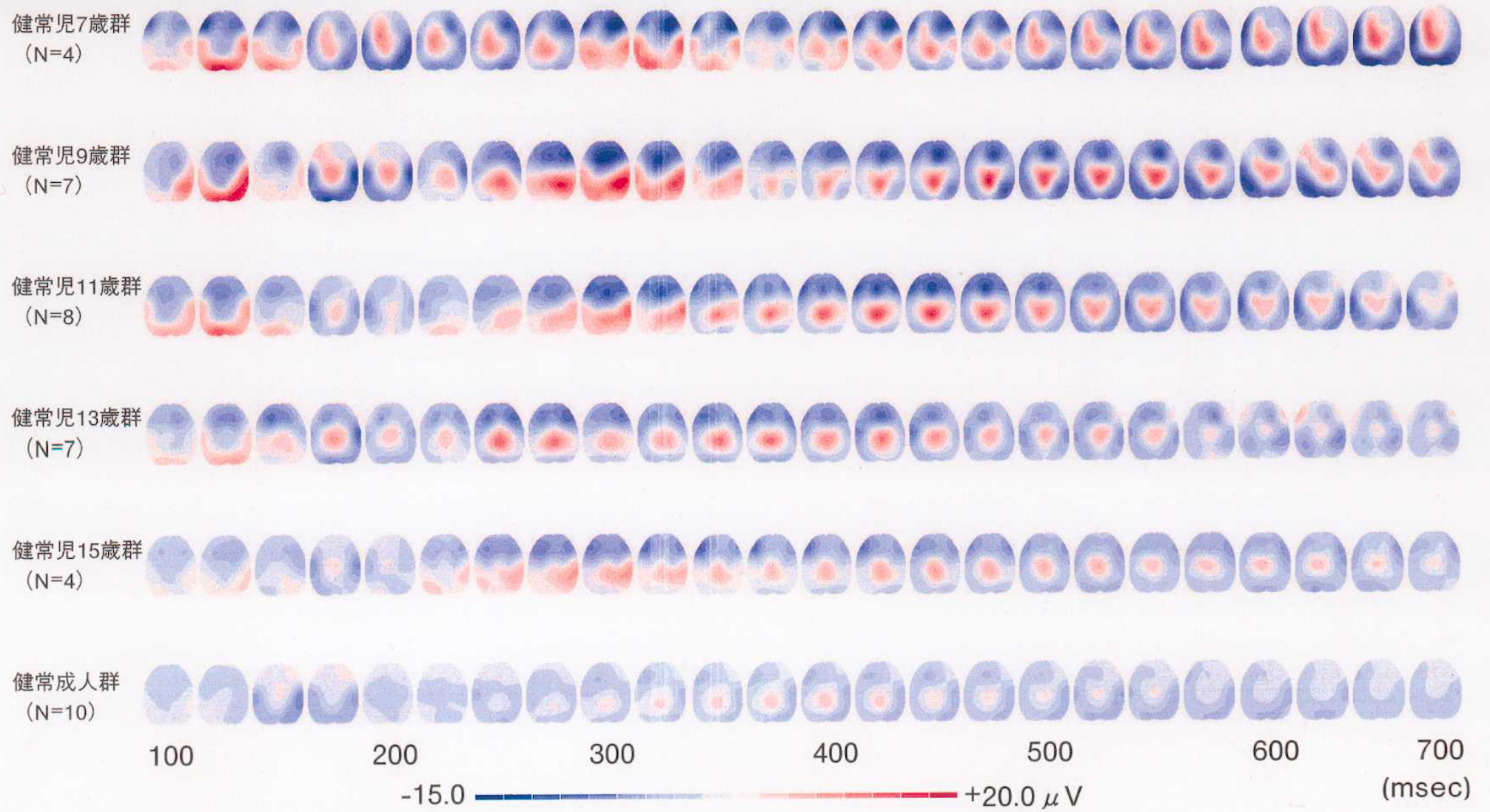


Fig. 3.2.2.21B 健常児・健常成人における標的刺激 (Middle ISI) に対するERPの頭皮上電位分布図

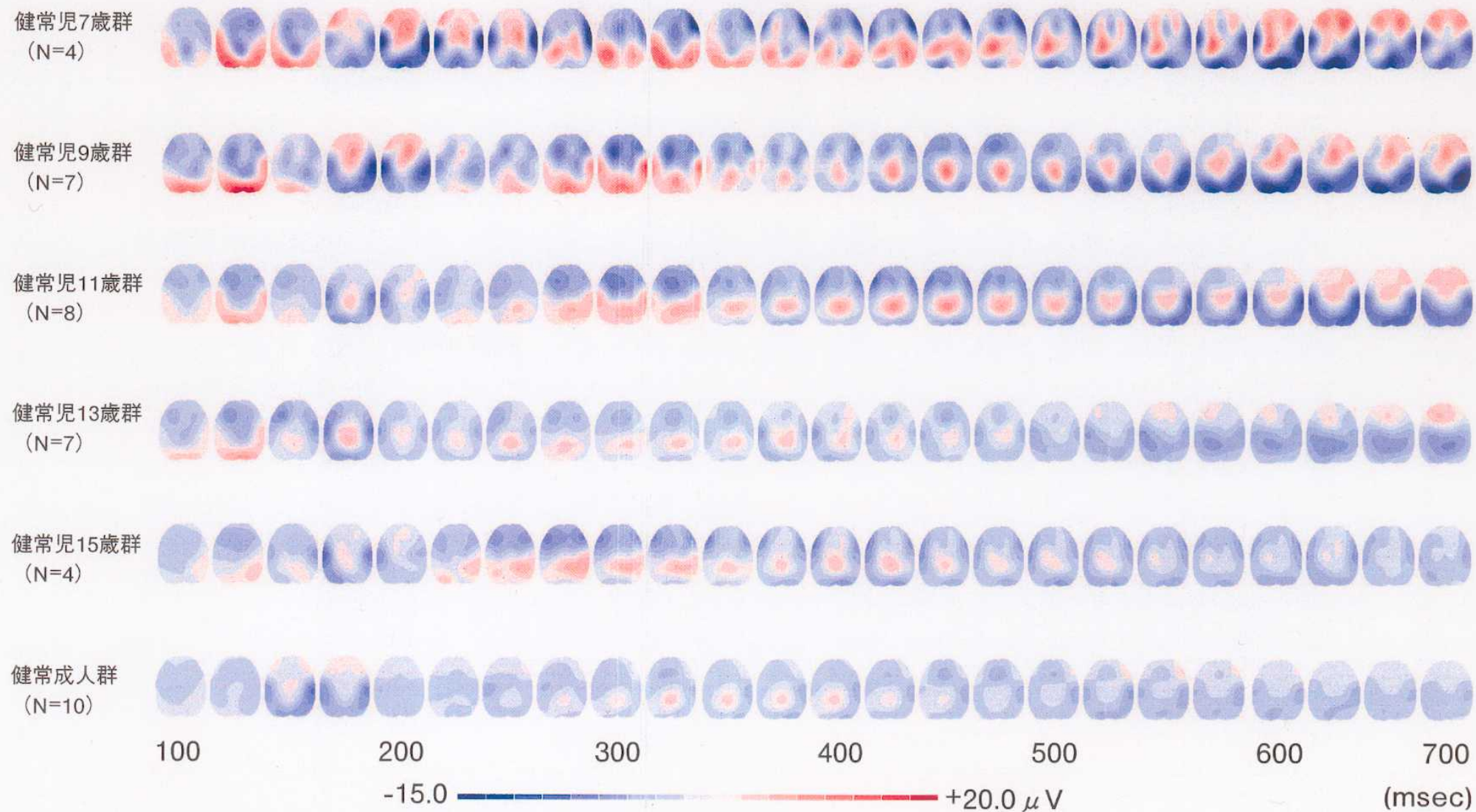


Fig. 3.2.2.21C 健常児・健常成人における標的的刺激 (Long ISI) に対するERPの頭皮上電位分布図

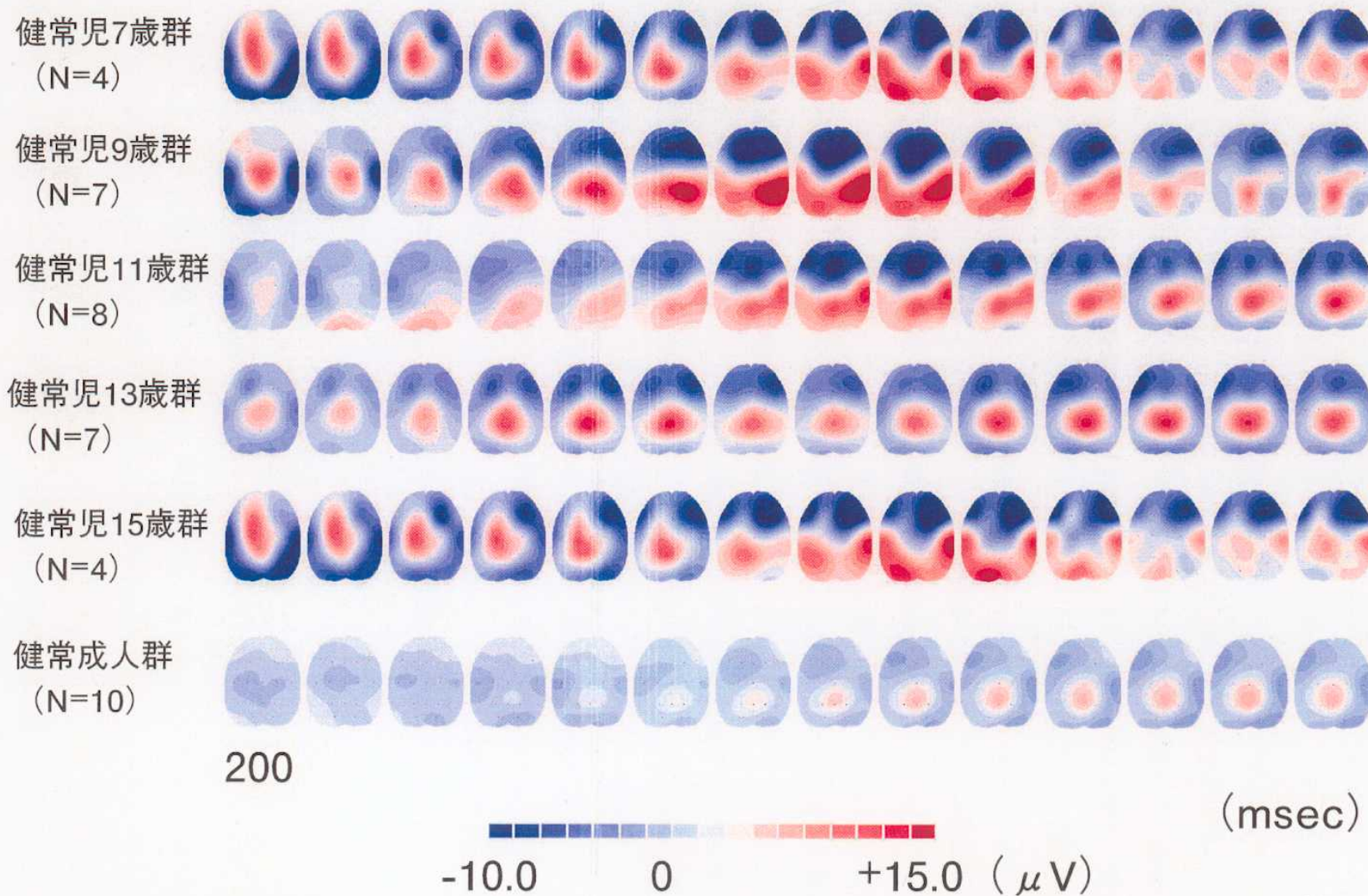


Fig. 3.2.2.22 標的刺激 (Middle ISI) に対する刺激呈示後200~400msecでの16msecごとの平均頭皮上電位分布図

3.2.2.23に示した。いずれの年齢群、ISI条件においてもP3成分に相当する陽性Centroidは後頭一頭頂から前方方向に消失したが、年齢が低いほど、またISIが短いほど陽性Centroidは頭頂から中心領域で持続しており、P3成分が長時間にわたって出現している点が注目された。

つぎに、警告直後の非標的刺激に対する刺激呈示後100msecから700msecまで、26msecごとのERPの頭皮上電位分布図をISI条件ごとにFig. 3.2.2.24に（Short ISI：Fig. 3.2.2.24A, Middle ISI：Fig. 3.2.2.24B, Long ISI：Fig. 3.2.2.24C）示した。P1, N1成分の出現様相は標的刺激条件とほとんど変わらなかった。P2成分の出現様相も基本的に標的刺激条件と同様であった。P3成分も標的刺激と同様、7, 9歳群のShort ISI条件をのぞいては明瞭に出現し、頭皮上分布は7, 9歳群において標的刺激と同じ後頭一頭頂領域優位を示したが、11, 13, 15歳群と成人群においては中心一前頭領域優位であった。11歳群においてはこの頭皮上分布はLong ISI条件のみで認められ、他の2条件は標的刺激と同じ頭頂一中心領域優位であった。13, 15歳群においてはLong ISIとともにShort ISI条件でも中心一前頭領域優位を認め、成人群においてはISI条件にかかわらず中心一前頭領域優位であった。この、警告直後の2条件において出現したP3成分のピーク潜時での頭皮上における陽性、陰性CentroidをFig. 3.2.2.25に示した。9歳群の警告直後の非標的刺激に対してはP3成分の出現を認めなかったため、標的刺激に対するP3成分のCentroidのみを示した。標的刺激条件における陽性Centroid位置はどのISI条件でも頭頂部から中心部であった。また、陽性と陰性のCentroidにおける位置関係から示される電場勾配をみると、13, 15歳群のLong ISI条件のみ陽性電場が前方に傾斜しており、これ以外のISI条件、年齢群ではすべて後方に傾斜していた。警告直後の非標的刺激条件での陽性Centroid位置は7, 9歳群では標的と同じ頭頂部から中心部に位置したが、11歳群のLong ISI条件ならびに13, 15歳群のShort, Long ISI条件では中心部前方に位置した。成人群においてはどのISI条件でも中心部前方に位置した。電場勾配もこれらの条件、年齢群においては標的刺激と逆転した。

4. 考察

CPTの遂行成績については前節で考察したのでここでは述べないが、ヒット率、ヒット反応時間、そして全FA生起数の結果は基本的に前節と同様であった。したがって、本節におけるERPの考察は前節における遂行成績の考察をふまえて行いたい。

ISIが同一の刺激に対するERP波形からみた反応実行・抑制の過程とその発達

本節で用いたCPT-AX課題事態においては、ISIが変化した刺激に対するERP波形は刺激出現の時間予測の困難さと運動反応の実行と抑制の制御に対する負荷を反映するものと考えられるが、これについて検討する前に、ISIが1,500msecの刺激条件である警告刺激そのもの、標的ならび

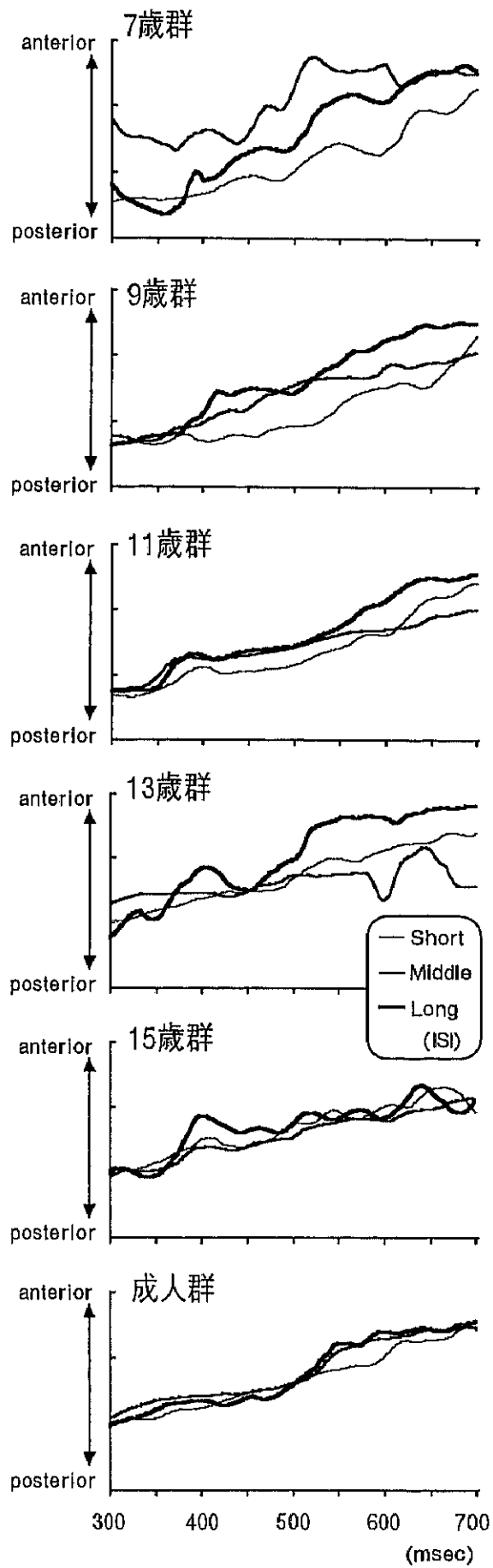


Fig. 3.2.2.23 標的刺激に対する Y 軸方向の陽性 Centroid の推移

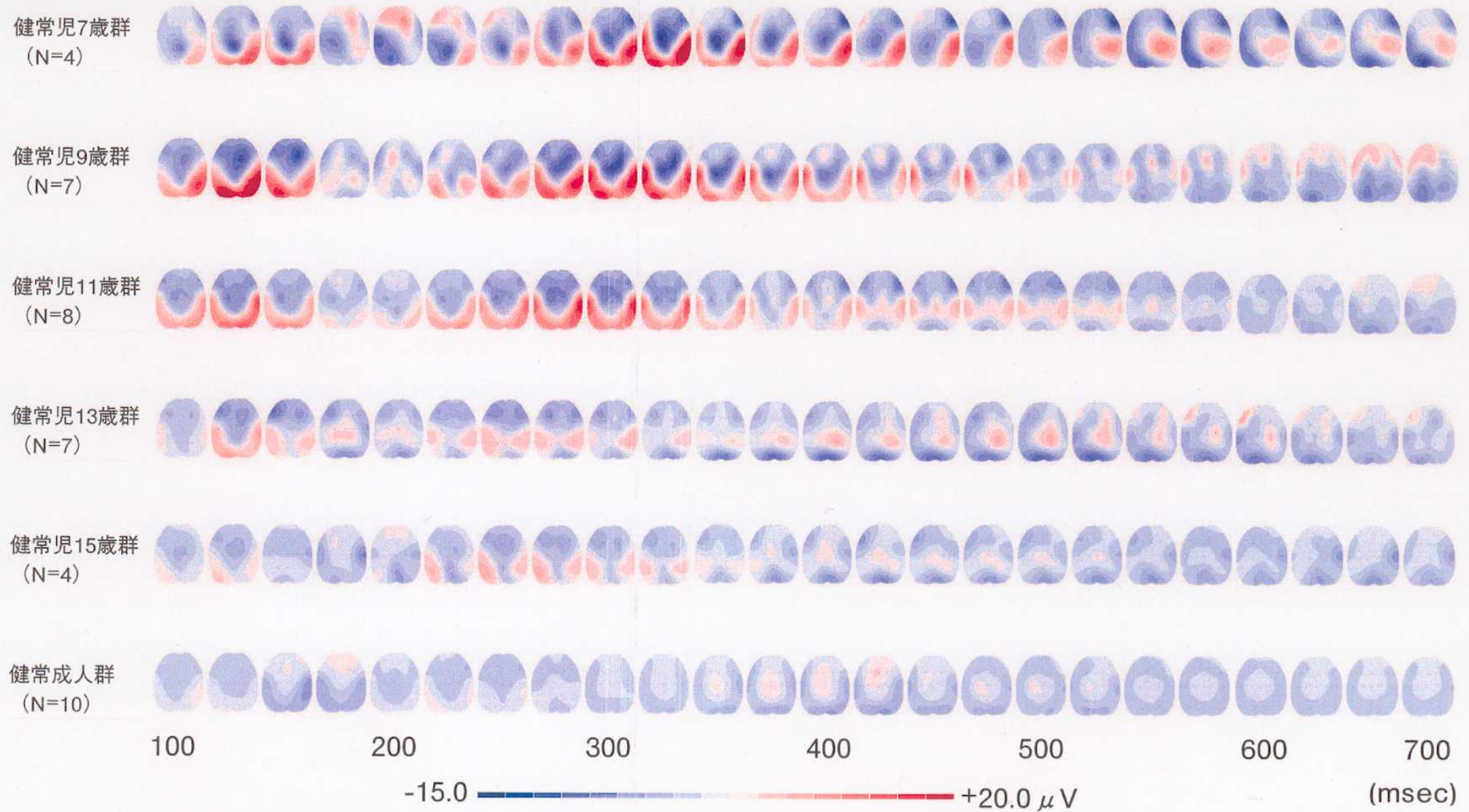


Fig. 3.2.24A 健常児・健常成人における警告直後の非標的刺激 (Short ISI) に対するERPの頭皮上電位分布図

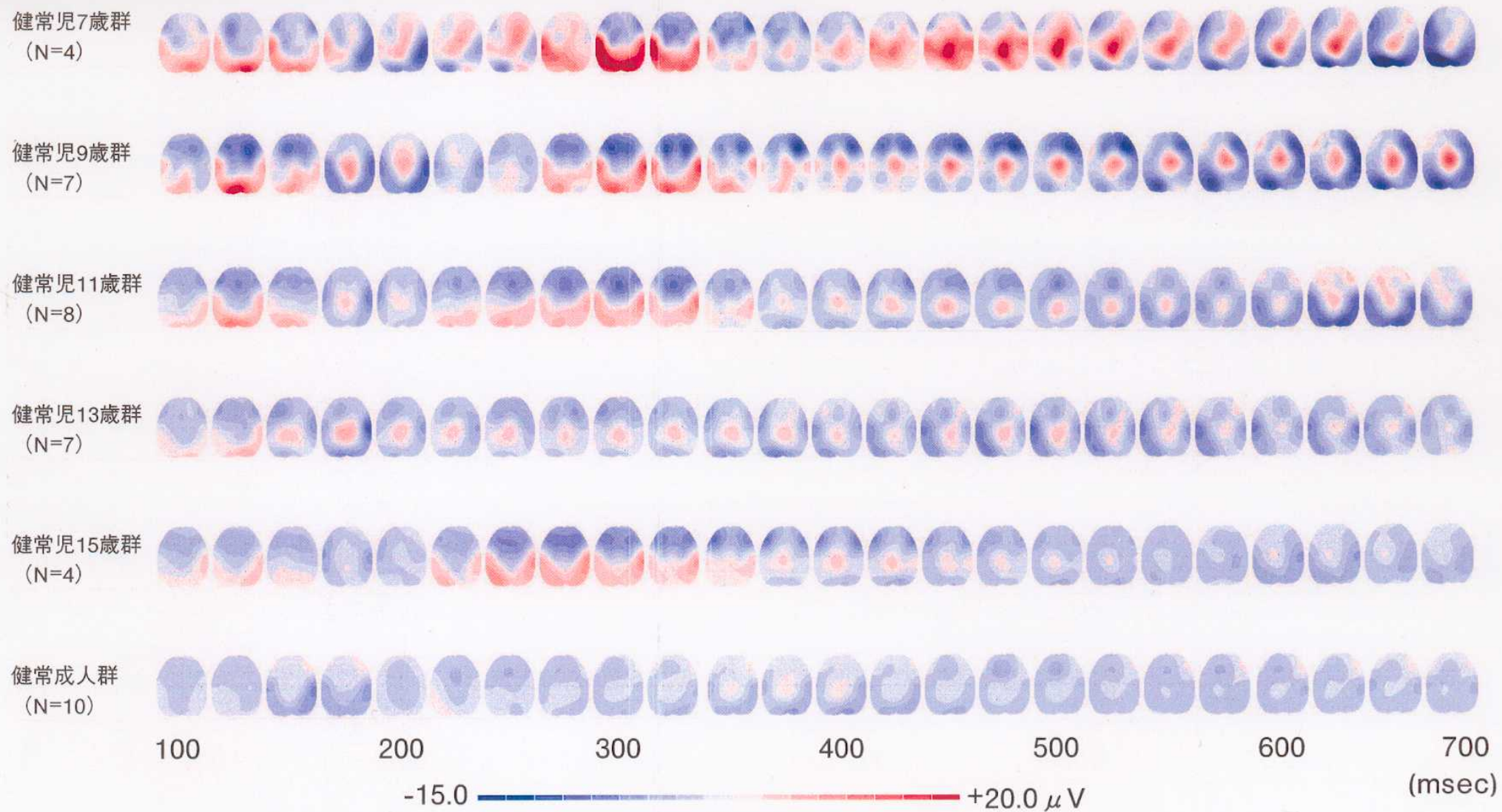


Fig. 3.2.24B 健常児・健常成人における警告直後の非標的刺激 (Middle ISI) に対するERPの頭皮上電位分布図

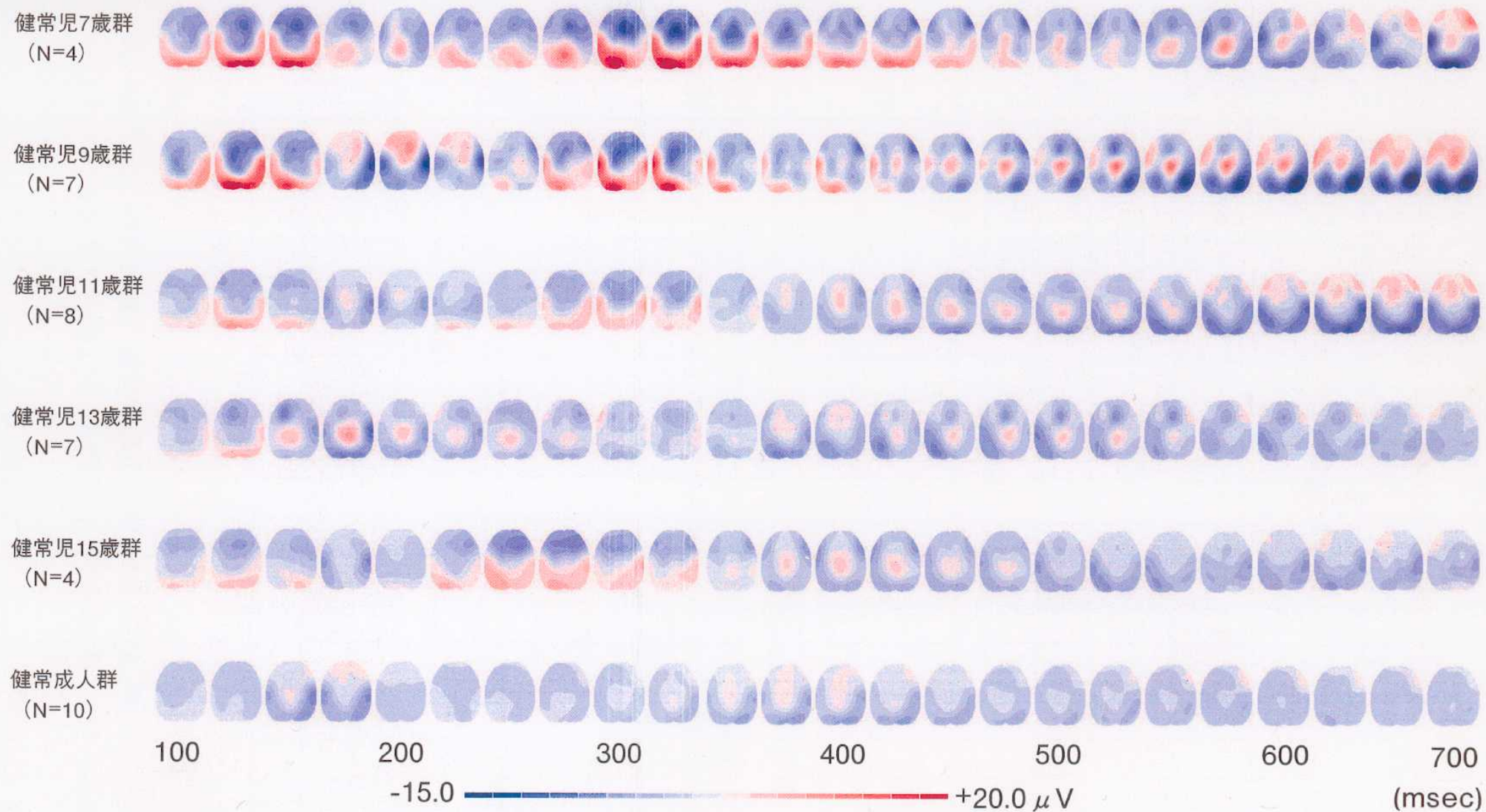


Fig. 3.2.24C 健常児・健常成人における警告直後の非標的刺激 (Long ISI) に対するERPの頭皮上電位分布図

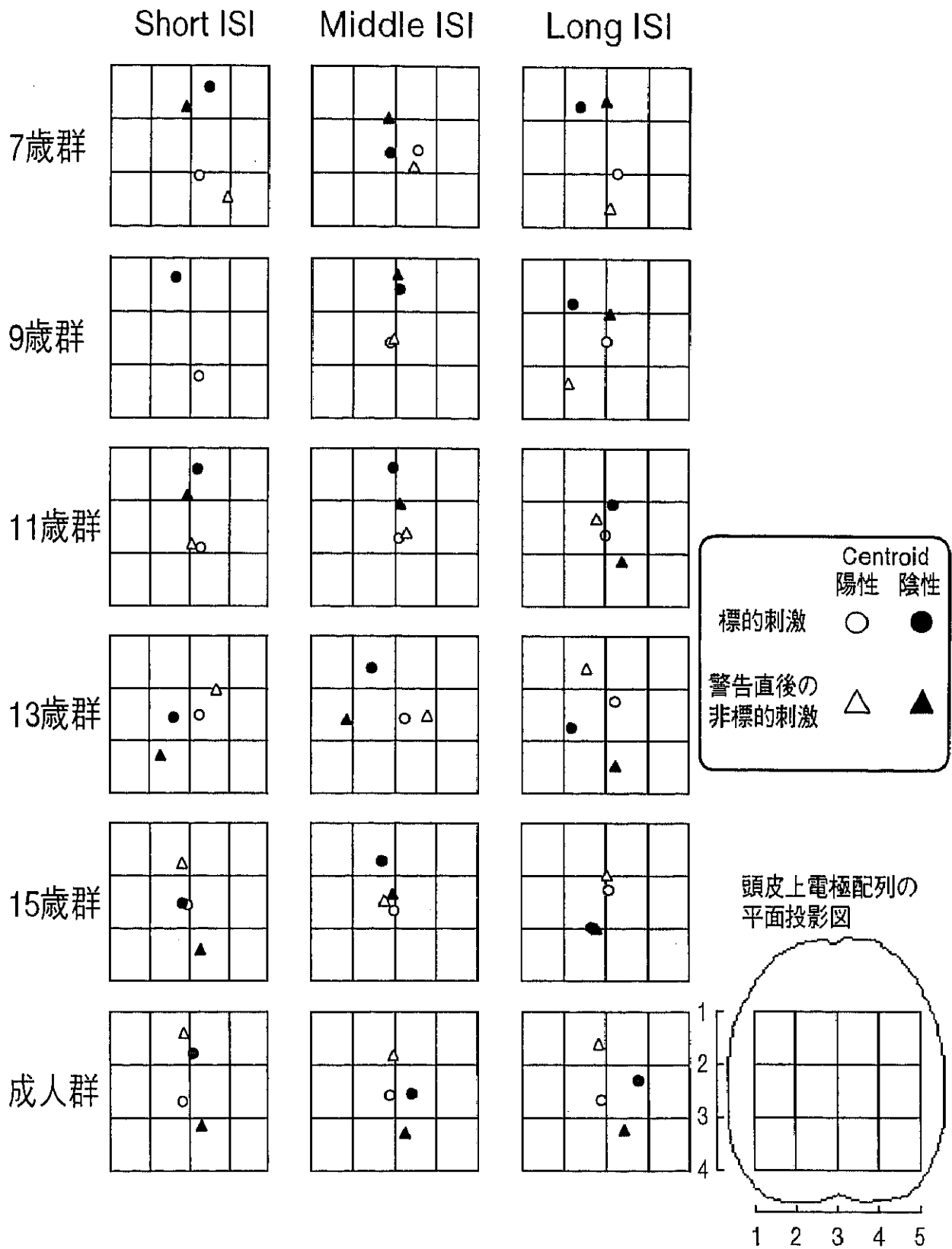


Fig. 3.2.2.25 標的刺激、警告直後の非標的刺激それぞれの各 ISI 条件に対して出現した P3 成分の陽性ならびに陰性 Centroid 位置

に警告直後の非標的刺激における Middle ISI 条件, 偽標的刺激, そして警告が先行しない非標的刺激に対する ERP について考察してみる。

頭皮上の複数の部位から記録した脳波波形に頭皮上の電場構造を推定する空間分析の手法の一つである平均基準導出法, ならびに GFP を用いることにより, 各刺激条件に対して出現した ERP 成分をよりの確に同定できた。P1 成分とこれに続く N1 成分は振幅に差があるものの, すべての刺激条件で側頭-後頭領域優位に出現した。これらの成分は視覚誘発電位と考えられる潜時帯で出現しており, 優位領域は一次, 二次視覚野に相当する (Simson et al., 1977) ことから, 刺激条件にかかわらず検出はなされていることを示している。

健常児においては, N1 成分に続いて出現したのは P2 成分であった。この成分はすべての刺激, ISI 条件で認められた。これは第 2 部の ISI が一定である CPT-AX 遂行時の ERP においても認められ, 先行研究 (Stamm et al., 1982) にも一致した。P2 成分の頭皮上分布は 11 歳群までの低年齢においては側頭-後頭領域優位であったのに対し, 13 歳群では後頭-頭頂領域優位に変化し, これに続く P3 成分の分布特徴に類似した。P2 成分の出現から P3 成分の出現までを頭皮上電位分布図でみると, 低年齢では側頭-後頭領域優位の P2 成分の出現時間が延長しているのに対し, 13, 15 歳群では頭頂-中心領域優位の P2 成分は比較的早く基線復帰を示すが, すぐに同様の頭皮上分布の P3 成分が出現した。これらのことから, P2 成分は刺激条件に依存しない刺激の定位過程を反映するとともに, P3 成分が反映する感覚・刺激処理系, ならびに運動・反応処理系の駆動を促すトリガーの役割を持つことが推察された。また, 年齢の高い群に認められた P2 から P3 成分への移行過程から, P2 成分が反映する早期の刺激処理過程は感覚・刺激処理系と密接な関連を持つことがわかる。年齢が低いと, 刺激の定位や求められる反応との関連性が低い刺激に対する処理の抑制により多くのリソースが用いられるとともに, 感覚・刺激処理系における自己制御が弱いために遂行成績は低下すると考えられる。また, P2 成分は視覚刺激の処理の負荷が高いことを反映してより後頭領域優位となる。このような, 課題遂行全体を通して負荷の高い刺激処理は発達にともない刺激条件に応じた刺激処理の自己制御が可能になるとともに, 早期の刺激処理にかかる負荷が軽減され, 感覚・刺激処理系を優勢な処理とする結果, P2 成分はより頭頂領域優位に変化すると考えられた。本節における年齢群間の変化から, P2 成分が反映する早期の刺激処理は 13 歳前後を境に負荷が軽減し始め, 感覚・刺激処理系, さらには運動・反応処理系の刺激処理が優勢になることが確認できた。また, P3 成分が反映すると考えられる 2 つの処理系, 特に感覚・刺激処理系が優勢となる背景には, P2 が反映すると考えられる刺激処理のうち, 求められる反応との関連性が低い刺激に対する処理を認知レベルで抑制する過程が感覚・刺激処理系にも含まれていき, より精度の高いものになるという変化が存在すると考えられる。感覚・刺激処理系は主に反応の実行にかかわる刺激処理を担うと考えられていることは 1 部で述べた。この処理を適切に行うためには, 反応実行の処理を要する刺激以外の処理は積極的に抑制されなければなら

ない。この、刺激処理の認知的な抑制が適切になされることにより、適切な自己制御が可能になると考えられる。このように考えると、感覚・刺激処理系は単に運動反応の実行にかかわるだけでなく、その前提としての不必要な刺激処理の抑制にもかかわっていることが明らかになったといえよう。

P3成分はISIが一定であるCPT-AXと同様に、警告直後の刺激に対してもっとも明瞭に出現した。これらの刺激ではISIが変化しているため後述するが、Middle ISI条件におけるP3成分の出現様相はISIが一定であるCPT-AXと同様に標的刺激に対しては全年齢群で頭頂—中心領域優位を示し、一方、警告直後の非標的刺激に対しては健常児の全年齢群で同じく頭頂—中心領域、成人群のみ中心—前頭領域優位を示した。加えて、警告が先行しない刺激である警告刺激そのもの、偽標的刺激、そして警告が先行しない非標的刺激でもP3成分は出現し、いずれの刺激に対しても頭皮上分布は頭頂—中心領域優位であった。ISIが一定であるCPTにおいては年齢が高くなるとともに偽標的刺激と警告が先行しない非標的刺激に対するP3成分は認められなくなったことから、年齢が低い段階では感覚・刺激処理系における無関連刺激に対する刺激処理の抑制が弱いため、どの刺激に対しても反応実行と抑制にかかわる処理を反映するP3成分が出現したと考えられる。遂行成績においてFAサブタイプの9onlyエラーが年齢の低い健常児で多く生じたことは、年齢が低いとこのような効率的ではない処理が優勢であることを裏付けているといえよう。

本節の結果は基本的にはこのような発達的变化を確認するものであったが、健常成人においても警告刺激ならびに偽標的刺激に対してP3成分がわずかながら出現した。加えて、課題遂行のうで検出することにあまり意味を持たない、警告が先行しない非標的刺激に対してもP3成分に相当するピークがGFP曲線上に認められた。警告が先行しない刺激の持つ意味を考えると、警告刺激そのものは、それ自体に運動反応は求められず、被験者にとって警告として検出することが意味を持つ。したがって、この警告刺激により、感覚・刺激処理系を反映すると思われる頭頂—中心領域優位のP3成分が僅少なりとも駆動されるのは、刺激に付与された意味づけからも妥当なものといえよう。標的刺激とは物理的には同じでありながら警告刺激が先行しない、偽標的刺激に対しては運動反応は駆動されず、行動的にも運動抑制と同じだが、そもそも警告刺激による運動準備がなされていないため、積極的に運動を抑えるような経過はたどらない。さらに、警告刺激が先行せず、かつ運動反応とは直接関連しない非標的刺激条件によるERPでは、P3成分はほとんど出現しない。このように、警告が先行しない条件でも、刺激のもつ意味に応じて感覚・刺激処理系はある程度は駆動されると考えられ、健常成人の結果からも感覚・刺激処理系が単に運動反応の実行にかかわる処理のみを行っているのではなく、運動反応の実行を行う必要がない刺激に対する認知的処理を積極的に抑制する過程が示されたといえる。

ISIが変化する刺激に対するERP波形からみた反応実行・抑制の過程とその発達

警告直後の刺激条件ではISIを3条件にランダムに変化させた結果、ヒット率とFA生起数については年齢が低いほどISI変化の影響が大きいこと、反応時間については基本的に年齢の効果があることに加えISI変化の影響は同様に認められることを指摘した。

ERPを用いれば、ISIの効果は運動実行のみならず、抑制にかかわる処理についても検討できる。N1成分は年齢によって出現の度合いに違いがあるものの、標的、非標的にかかわらずすべての年齢群でISIの延長とともに振幅が増大した。Teder, Alho, Reinikainen, and Näätänen (1993)は、ISI延長にともなって聴覚刺激によるN1成分が呈示耳の反側聴覚野に相当する部位において振幅の増大を示すと指摘している。本研究の結果はこの指摘に一致し、刺激モダリティが異なっても、短いISIはN1振幅に対し抑制的に作用することがうかがえる。このようなISI短縮によるN1成分の抑制は、先行する刺激が引き起こした興奮からの回復には一定程度の時間が必要とされることを物語っており、年齢にかかわらずISIの短さが影響した結果といえよう。

P3成分については、標的と警告直後の非標的に対してはその分布が明らかに異なると第2部ならびに前項で指摘したが、そのような各刺激条件に特有なP3成分の頭皮上分布は、ISIが異なる場合にも一貫して認められ、年齢の効果も存在した。この頭皮上分布の違いを明らかにするにあたり、頭皮上における電場の傾きを平面投影図上の座標によって表示するCentroidが有用であった。標的刺激に対するP3成分の陽性Centroidは年齢群に関わらず頭頂—中心領域に存在し、頭皮上分布図においても同様の領域が優位であった。これに対し、警告直後の非標的刺激に対しては13歳群と15歳群、そして成人群ではより前方に陽性Centroidが位置したのに対し、13歳群以下の年齢群では標的刺激とほぼ同じ電場構造を示した。この結果はISIが一定のCPTにおける結果とほぼ一致し、年齢が低い群では運動・反応処理系はまだ完成されていないことが確認できた。さらにISI条件の変化はP3成分の出現様相に影響し、7、9歳群ではShort ISI条件においてP3成分が明確ではなかった。これはISIが十分でない場合にはたとえ標的刺激に対しても感覚・刺激処理系が十分駆動できず、刺激処理としては不安定な状態にあることを示している。他方、11、13、15歳群における非標的での前方への電場勾配はMiddle ISI条件では明確ではなかった。このことは、年齢の高い群では健常成人と同様に準備された運動反応の抑制に運動・反応処理系が関与するものの、感覚・刺激処理系に比べ相対的にリソース配分が低いことを示している。これらの結果から、反応実行にかかわる刺激処理、すなわち感覚・刺激処理系は刺激定位や刺激処理の認知的抑制との関連で比較的早い年齢で駆動され、これに対してより高度な反応抑制にかかわる運動・反応処理系はやや遅い年齢にならないと十分駆動されないことを確認できた。

次にISIの変化と関連して注目されたのはP3成分の基線復帰過程であろう。P3成分の頭皮上分布とY軸方向の陽性Centroidから、標的と非標的のいずれの条件でもShort ISI条件でより長い時間にわたってP3成分が出現することが示された。Short ISIでは、N1振幅が主に減少し、行動

的にも反応時間が延長する。このことから、警告刺激からの時間が800msecでは、健常成人であっても効率的な運動制御は妨げられると考えられる。したがって、ISIが短くなると運動実行あるいは抑制の判断により多くのリソースが必要となり、その年齢段階において優勢となる処理にかかる負荷も高くなるといえよう。

これらの結果は、いずれも健常児における感覚・刺激処理系と運動・反応処理系に比べ、これらに先んじる刺激定位、刺激処理の認知的抑制を行う早期の刺激処理にかかる負荷が健常成人に比べて高いことを明らかにするものと考えられる。このことはISIが一定であるCPTの遂行成績と遂行時のERPにおいてもある程度は推察できたことであるが、警告刺激から次の刺激までのISIのみを変化させたCPTを用い、遂行成績と遂行時のERPを検討することがこれらの刺激処理系の相互の関連、さらにADHD児における行動抑制の困難さの背景にある刺激処理系の問題を明らかにするうえで妥当な指標であることを示すものであるといえる。

ところで、ISIの変化は警告刺激出現後のCNVに影響を及ぼすと考えられる。しかし、標的および非標的刺激間のP3成分の頭皮上分布の差はCNVの影響によるものではないことが先行研究(Roberts et al., 1994; Fallgatter et al., 1997)によって指摘されている。本節の健常児の結果はISI条件により異なったが、これは上述したように刺激処理系の未分化によるものと考えられ、もっとも効率的に課題遂行を行っていると考えられる健常成人においては、いずれの刺激条件でもISIによるP3成分の分布の違いを認めなかった。これらのことから、本研究で検討した刺激処理過程にはCNVの影響はあまり反映されないと考えられる。

以上のことから、ISIを変化させたことにより刺激出現の時間予測が妨げられたこと、これにともない反応実行と抑制の制御に負荷がかかったことがERPを指標に明らかになったとともに、発達にともなう処理系の変化についても推測できた。