

事象関連脳電位を用いた触感覚における時間認知の定量評価

K-48

Quantitative evaluation of the time cognition in the tactile sense by ERP

塩崎哲也*
Tetsuya Shiozaki内田雅文**
Masafumi Uchida野澤昭雄*
Akio Nozawa田中久弥***
Hisaya Tanaka井出英人*
Hideto Ide

1. まえがき

近年、携帯電話等の普及により、着信を通知するバイブレーションモードが普及し、触感覚への振動による情報提示がより身近な情報の提示形態になってきている。現在実用されている触覚ディスプレイの多くは、触刺激素子をマトリックス状に配列した空間情報提示型を採用することで伝達情報を空間次元で多重化している。我々の提案する触覚ディスプレイは、単一の圧電振動子 (PZT 振動子) を用いて 2 種類の周波数成分 (高域成分 f_H :40~200Hz, 低域成分 f_L :2~20Hz) からなる変調振動を指先に触覚提示するという新しい感覚代行方式により、時空間情報提示型を採用することで伝達情報を多重化する。この手法により、指サックのように安価、軽量で、かつ装着が容易な触覚ディスプレイの開発が見込まれている。

先行研究により、心理物理計測に基づく触覚の変調振動における弁別閾特性を計測し、触感覚の異なる 16 種類の変調振動を見出し、単一の PZT 振動子による 2 次元情報の提示様式を提案してきた⁽¹⁾。しかしながら、口頭試問による心理物理実験では、被験者が振動の違いを知覚し、知覚を意思表示するまでの認知過程は評価できなかった。そこで、事象関連脳電位 (ERP:Event Related Potential) が認知・弁別に関する心理諸過程を反映して発現することに着目し、新たに触性弁別パラダイムを設計することで、ヒトの変調振動弁別に関する認知レベルの変化を定量的に捉えられるようになった⁽²⁾。

弁別実験を繰り返すうちに、ある周波数領域において、変調振動刺激の高域成分を固定した時に、変調振動の単発刺激 (低域成分 1/2 波長分の提示時間) の違いを弁別できる可能性があることがわかった。つまり、刺激提示持続時間 (プラトー時間) の違いを認知できる可能性がある。しかしながら現段階では、この刺激提示時間の違いの弁別に関する認知特性は明らかになっていない。本報告では、プラトー時間の異なる単発の変調振動刺激の弁別を、時間認知の観点から報告する。

2. 実験方法

2.1 触性弁別パラダイム

事象関連脳電位は、誘発脳電位の一つである。ある刺激入力やそれに伴う課題を被験者に課したときに、予期、注意、知覚、識別、意思決定、記憶などの心理諸過程と対応した大脳活動を、脳波を介して測定することが出来る。本実験ではまず、誘発電位測定指針⁽³⁾に定められた

* 青山学院大学,
** 電気通信大学,
*** 広島市立大学情報科学部

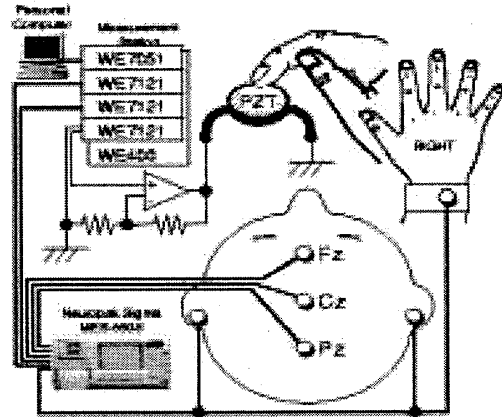


図1 実験装置と計測システム

Fig.1. Experimental setup and measurement system

一般的な聴性弁別パラダイムを参考に、時間認知に関する新たな触性弁別パラダイムを設計する。変調振動は周波数領域の f_H vs. f_L 平面上で 1 点が決定できる。

今回は、 f_H vs. f_L 平面上で(高域成分, 低域成分)=(40, 2)Hz を基点とし、高域成分 f_H を 40Hz に固定して低域成分 f_L を変化させた時の弁別諸特性を調べる実験を行った。提示する変調振動は、高頻度で与える非標的刺激 (40, 2)Hz と、低頻度で与える標的刺激として (40, 3), (40, 4), (40, 5), (40, 6), (40, 7), (40, 8), (40, 10), (40, 15), (40, 20)Hz のうち一つ、計 2 種類を用意する。提示頻度は(標的刺激):(非標的刺激)=7:3 で、提示順序はランダムである。非標的刺激と標的刺激のうち、一方の変調振動を低域成分の半波長分の時間だけ提示し、提示開始から 4 秒おきに次の変調振動を提示する。この時被験者には標的刺激に注意を向けさせておき、その提示数を数えるように指示する(計数課題)。この課題により、標的刺激の振動を弁別するパラダイムが成立する。また被験者にはレスポンスボタンを持たせ、標的刺激提示の時に素早くボタンを押すという教示を与える。ボタン反応課題は被験者がパラダイムを確実に遂行する効果がある。

2.2 システム

実験システムの構成図を図 1 に示す。PZT 振動子(村田製作所製 77B-21-19R7DM-4AO)を、事務作業用指ゴムサックを加工して利き手(右手)示指先端部腹側に装着する。PZT 振動子への印加電圧は矩形波で、計測ステーション WE400(横河電機)のファンクションジェネレーターモジュール WE7121(横河電機)によって生成し、32Vp-p に増幅する。変調振動はイーサネットモジュール WE7051(横河電機)を介してパーソナルコンピュータから制御する。WE400 は、PZT 振動子への矩形波信号出力と同時に誘発脳波記録装置 MEB-5508(日本光電)へ計測開始のトリガ信号を送出する。すなわち、MEB-5508 は PZT 振動子による被

験者への振動呈示と同時に脳波を計測し、刺激呈示時刻より2秒間計測する。この処理を経て標的刺激、非標的刺激それぞれの波形を獲得する。以上のプロセスが、標的刺激の呈示回数30回になるまで継続的に実行される。

脳波計測は両側乳用突起を reference とする基準導出法とした。探查電極の装着部位は、脳波筋電図学会の指針に基づき Fz(前頭部), Cz(頭頂部), Pz(後頭部)とした。サンプリング周波数は 500Hz, 低域遮断周波数は 1Hz, 高域遮断周波数は 20Hz とした。PZT 振動子からの漏れ電流の脳波への混入を防ぐため、PZT 振動子を装着した被験者の右手首に設置電極バンドを装着させた。接地電極は Fpz とした。また、PZT 振動子からの漏れ電流の脳波への混入を防ぐため、被験者の手首に接地バンドを装着させた。被験者は、安楽椅子に座り計測する。姿勢は安静安楽仰臥とし、計測中は閉眼とした。また、PZT 振動子の振動音で弁別を行わないように、両耳に遮音ヘッドフォンを装着させた。振動呈示は標的刺激が 30 回呈示されるまで繰り返される。また加算平均回数は同じく 30 とする。

2.3 評価方法

事象関連脳電位は、刺激の違いが大きいほど明確に発現する。我々の評価方法はこの特徴を利用している。標的刺激と非標的刺激の違いが認知し難いと電位波形に違いが見られず、プラトー時間の違いが大きく弁別が容易な実験では事象関連脳電位の電位差が大きくなる。本報告では、電位面積と正解率による弁別認知の評価を行う。

頂点電位と潜時の決定方法は、図 2 に示すようにまず標的刺激矩形波の立ち上がりの時刻を刺激開始時刻 sv [ms] とする。次に、レスポンス時刻の平均値を反応終端時刻 resp [ms] とする。その sv - resp 間の陽性最大電位 P_t [μV] とその潜時 [ms] を計測する。また ERP の面積は、 P_t [μV] 前後 $\pm 100ms(200ms)$ の区間の電位面積 S_t [$\mu V \cdot ms$] とする。非標的刺激の ERP についても同様に sv - resp 間を決定し、電位 (P_n)、面積 (S_n) を計測する。

標的刺激と非標的刺激の呈示により得られるそれぞれの加算波形について上記のデータを用い、以下の評価を行う。

(1) 面積比評価 $S_{bn} = (S_t - S_n)^2 [\mu V^2 \cdot ms^2]$

面積比評価は、 S_t と S_n の面積差を 2 乗した値を評価値として用いる。単位は [$\mu V^2 \cdot ms^2$] となる。

(2) 正解率

正解率は、標的刺激が呈示された時にレスポンスボタンを押下した回数で表す。標的刺激の呈示回数が 30 回であるため、レスポンスボタンを押下した回数が 30 回であれば正解率が 100% になる。

3. 結果・考察

結果のグラフを図 3 に示す。面積比評価より、低域成分 7Hz と 8Hz を境に、評価値が $0.0016 [\mu V^2 \cdot ms^2]$ から $0.65 [\mu V^2 \cdot ms^2]$ に大きく変化していることがわかる。正解率評価も同様に、低域成分 7Hz と 8Hz を境に評価値が 10 から 25 に大きく変化している。よって単発刺激による弁別閾は 8Hz 付近に存在することがわかる。変調振動を 2 秒間継続的に呈示した先行実験の結果⁽²⁾では基点とした(40, 2)Hz 近傍の f_L 軸方向の弁別閾は 6Hz であった。これより高域成分が固定されたとき、(40, 2)Hz 近傍の領域に

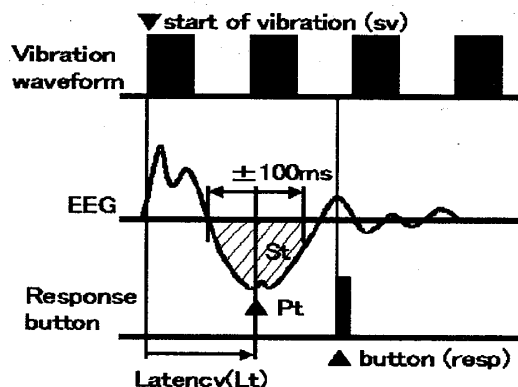


図 2 事象関連脳電位の解析区間の決定方法
Fig.2 Determining the ERP analytical section

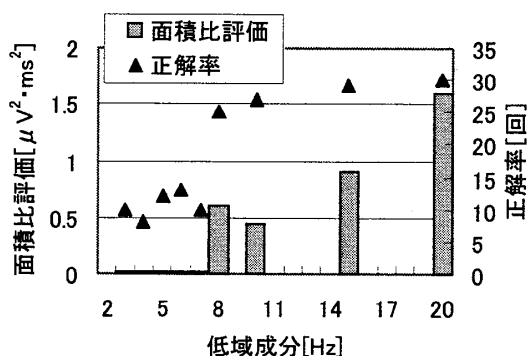


図 3 面積比と正解率

Fig.3 Area ratio and the rate of correct answer

は低域成分 6Hz から 8Hz 付近に、変調振動を単発刺激呈示では認知できないが継続的に呈示することで情報の伝達が可能な領域が存在することがわかる。

刺激の呈示時間は、低域成分 2Hz では 250 ms, 8Hz では 62.5ms であるから、触感覚を通じて刺激呈示時間 187.5ms の違いを知覚できたことになる。変調振動の高域成分(40 ~ 200Hz)に関する弁別は、振動の波数の違いを弁別することではなく、振動の“触感”の違いを弁別していると考えられる。一方、振動の波数の違いを弁別の弁別が行える領域を含む低域成分(2 ~ 20Hz)では、“触感”の呈示時間を弁別していると考えられる。

4. まとめ

今回の実験結果から、触感覚における時間認知の様子が明らかになった。今後は、高域成分を変化させて同様な実験を行うことで、触感の違いが振動の呈示時間の弁別に与える影響を検討していく。

参考文献

- (1)内田雅文他：“変調波振動による情報提示のための基礎特性,”平成13年電気学会全国大会論文集[3]p.977(2001)
- (2)塩崎哲也,内田雅文他：“事象関連脳電位によるヒトの振動弁別の定量評価法”計測研究会資料 IM-01-56 (2001)
- (3)誘発電位検査法委員会：“誘発脳波測定指針”脳波と筋電図, vol.13,no.1(1985)