

振動による触覚刺激が音判断に及ぼす影響

Effects of vibro-tactile stimulation on auditory cognition

キーワード: 触覚、聴覚、音判断、振動弁別、クロスモーダル、タスクパフォーマンス

人間生活工学研究室: 鈴木 智裕

■ Abstract:

Recent research showed aero-tactile stimulation can enhance the performance of auditory cognition in speech. In this study, we conducted two experiments to examine the effects of vibro-tactile stimulation on auditory cognition. In the first experiment, I investigated the effects of vibro-tactile stimulation by pure-tone stimuli (220 Hz, 330 Hz, 440 Hz, 660 Hz, 880 Hz) on auditory cognition and, in the second experiment, the effects of vibro-tactile stimulation adopted first formant on auditory cognition in speech of Japanese vowels ("a", "i", "u", "e", "o"), both under noise exposure. As a result, in the auditory cognition of pure-tone, the performance of auditory cognition was significantly improved with added vibro-tactile stimulation. This study indicates the possibility to apply tactile sensation on the auditory information transmission.

■ 背景

人間の知覚表象は複数のモダリティに入力される感覚情報が相互作用、統合されることによって構築されている。視覚と聴覚の研究は数多くなされ、MacGurk効果⁽¹⁾や腹話術効果⁽²⁾などが報告されている。一方、触覚と多感覚についても多くの研究がなされているが、視聴覚の研究に比べ、触覚と多感覚の研究数は多いとは言えない。その中で近年のGickら⁽³⁾の研究において音声判断に空気圧による触覚が影響を及ぼし、パフォーマンスを向上させることが示された。これは聴覚における情報処理に対する触覚情報付加の可能性を示し、従来の視覚と聴覚中心による情報提示の在り方を変える可能性が考えられる。

■ 目的

本研究では、日常を想定した刺激をもちい、触覚が音判断に及ぼす影響を検討することを目的とし、以下の2つの実験を行った。

実験1; 純音における音判断に触覚が及ぼす影響の検討。

実験2 ; 母音での音声判断に触覚が及ぼす影響を検討。

■ 実験 1 方法

純音の判断に聴覚提示音と対応した振動による触覚提示が及ぼす影響を検討した。被験者は健康な大学生 11 名 (男性 9 名、女性 2 名、平均年齢 ± 標準偏差: 23 ± 3.0 歳) で、その内 2 名が左利きであった。

提示刺激において、触覚の振動感度は 250 Hz 付近をピークに最も感度が高くなるが、感度の範囲は約 0.4 Hz から 1000 Hz である。一方、音の感度は約 20 Hz から 20 kHz であり、触覚と聴覚ではそれぞれ感度の周波数範囲が異なる。そこで、実験 1 では日常的にも経験のある音階を使用し、その中から音と振動刺激には 440 Hz を基準とした 5 種類の音 (220 Hz, 330 Hz, 440 Hz, 660 Hz, 880 Hz) を用いることで、共通の周波数範囲内に収まるように触聴覚の刺激を設定した。

各刺激はそれぞれ、刺激音による聴覚刺激のみ提示 (音条件)、または振動による触覚刺激のみの提示 (振動条件)、もしくはその両方による聴覚刺激と触覚刺激を同時に提示 (音振動条件) された。

被験者は防音室内に設置された椅子に座り、右手示指を触覚提示用スピーカー中心に置き、左手の前腕を机の上に置き、連続血圧計が装着され、音条件では聞こえた音から提示音を判別し、音振動条件では刺激音及び振動から提示音を判別し、振動条件では提示された振動を判別しそれに対応する音を判断し、それぞれ 5 種類の提示刺激を口頭により回答した。

聴覚刺激はパソコンからイヤホンによって刺激音と同時にホワイト

ノイズを提示した。音量の割合は予備実験から被験者が刺激音をギリギリ判別できる程度に設定した。実験後に音圧レベルを計測したところ、ホワイトノイズ: L_{Aeq} ≈ 約 80 dB(A)、各提示音: L_{Aeq} ≈ 約 40 dB(A) であった。触覚刺激はパソコンから出力した音を右手示指へ触覚提示用のスピーカーにより提示した。触覚提示用スピーカーの周りには防音箱を設置し、さらにイヤホンのノイズキャンセリング機能により、触覚提示用スピーカーの音は被験者に聞こえなかった。

実験タスクは 1 試行あたり各 1 秒間の予告ビープ音、刺激提示、終了ビープ音で構成され、終了ビープ音の後に、判断した刺激を口頭で回答した。1 条件で 100 試行を行った。

実験手順は図 1 の通りに行った。なお、実験前に音のみによる判断練習を行い、1 回 10 試行を 2 回連続で正答率が 8 割以上になるまで行った。

各条件での正答率と全 8 項目からなる主観評価 (判別度、集中度、快適度、難易度、自然さ、気分、疲労感、眠気)、安静中とタスク中の拡張期血圧と収縮期血圧を計測し、血圧においては安静、タスク開始、タスク中盤、タスク終了までの各 5 分間で平均した。

解析には、各測定項目で分散分析とボンフェローニの多重比較検定を行い、主観評価はデータを標準化し、血圧は安静時の値を 100% として相対化した。

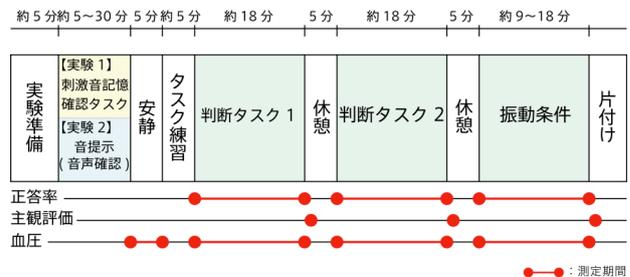


図 1. 実験のタイムテーブル

■ 実験 1 結果/考察

結果を図 2 および図 3 に示す。

主観評価では特に判別度と難易度で主効果があり、判別度では音振動条件が有意に高く、難易度では音振動条件が音条件より有意に高く、このことから音階においては音に加え振動があるほうがより簡単に判別しやすかったと言える。

正答率において音振動条件が音条件より有意に高くなり、音階では音と同時に振動刺激を与えたほうが判別しやすかったことを示した。

血圧において時間経過に対して有意差があり、この結果からタスクによって血圧が上昇する傾向があった。

判別度 (Z スコア)

難易度 (Z スコア)

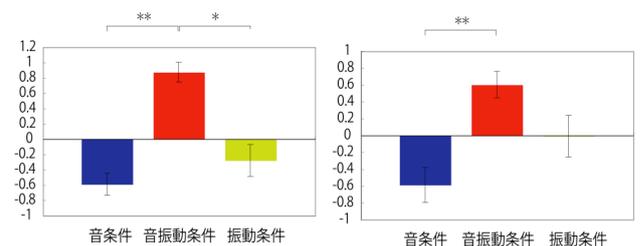


図 2. 主観評価結果、* : $p < 0.05$ 、* * : $p < 0.01$ 、平均 ± SE

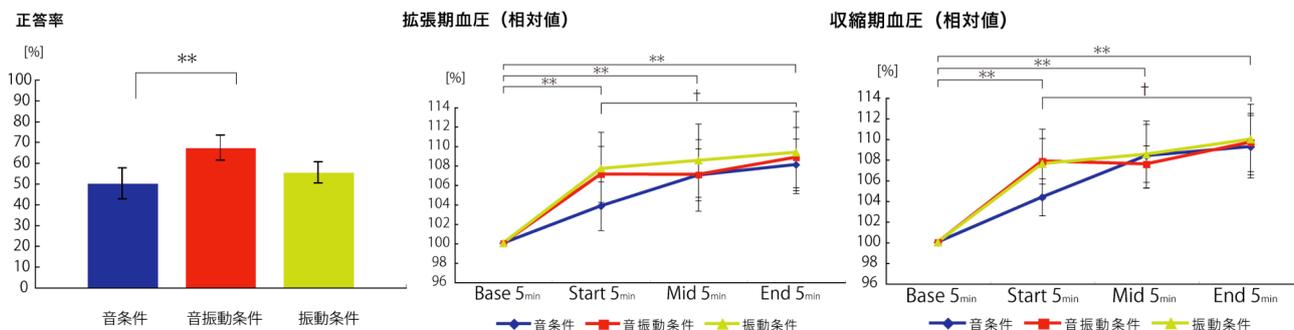


図 3.実験 1 結果:正答率(左)、拡張期血圧(中央)、収縮期血圧(右)、*: $p<0.05$ 、**: $p<0.01$ 、+: $p<1.0$ 、平均±SE

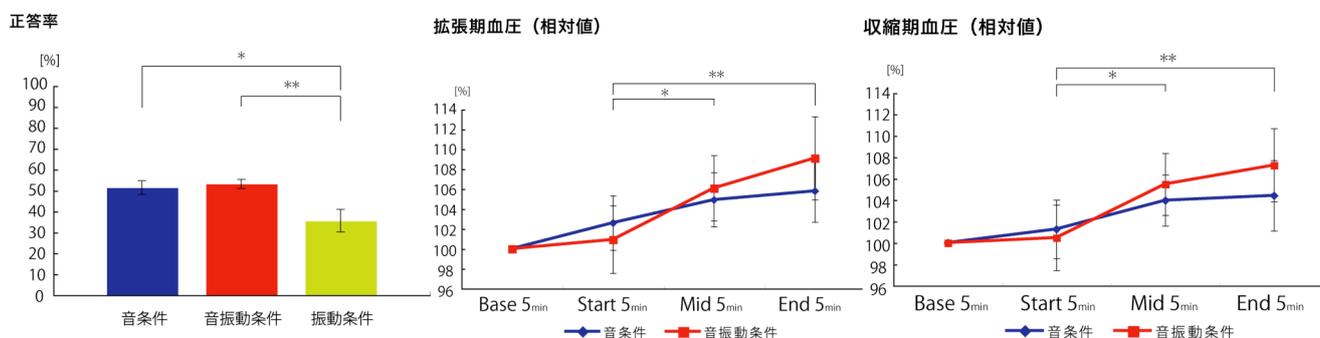


図 4.実験 2 結果:正答率(左)、拡張期血圧(中央)、収縮期血圧(右)、*: $p<0.05$ 、**: $p<0.01$ 、平均±SE

実験 1 より正答率では音のみより振動を加えた方がパフォーマンスの向上が見られ、主観評価でも判別しやすく、簡単であったことから、単純な音判断においては触覚刺激の有用性が示された。

一方、音振動条件と振動条件間の正答率に差が無かったことは、振動弁別の容易さや、学習による効果などが考えられる。

■実験 2 方法

実験 2 では実験 1 同様ホワイトノイズ暴露により音判断が困難な状況下での母音による音声判断に、振動による触覚提示が及ぼす影響を調べることを目的とした。実験 1 と比較し、より日常生活に近い状況下で想定したタスクを行い、振動による触覚刺激が音判断に及ぼす影響の詳細な検討を行なった。

提示刺激には実験 1 と同様に、触覚と聴覚間での刺激となる周波数の感度の違いを考慮し、実験 2 では音刺激にパソコン上で制作した合成音声による 5 つの母音(「あ」、「い」、「う」、「え」、「お」)を使用し、触覚刺激は母音の第一ホルムトを使用し、以下のように設定した。

- ・「800 Hz(聴覚刺激「あ」に相当)」
- ・「250 Hz(聴覚刺激「い」に相当)」
- ・「350 Hz(聴覚刺激「う」に相当)」
- ・「480 Hz(聴覚刺激「え」に相当)」
- ・「500 Hz(聴覚刺激「お」に相当)」

実験 2 では、振動条件におけるタスク試行数が 50 試行であったこと以外は被験者、実験環境、触覚・聴覚刺激の提示方法、条件、タスク内容、実験手順、測定項目、解析方法は実験 1 とほぼ同じであった。

■実験 2 結果/考察

実験 2 の結果について図 4 に示す。

主観評価においてすべての項目で有意差が無かった。

正答率において振動条件との比較でそれぞれの条件間に有意差があったが、音条件と音振動条件間での正答率に有意差は無く、音節での第一ホルムトによる振動による音判断への効果は無かった。

血圧は実験 1 同様全タスクで時間経過による上昇が見られた。

正答率において触覚刺激の有無による直接的な影響は見られず、触覚付加の有用性が示されなかった。この結果の原因として振動刺激が第一ホルムトによる単周波数による振動であったため、音と振動が対応せず、触覚による判断が困難になり、触覚が音の判断に寄与しなかったと考えられる。

■総合考察

正答率において、実験 1 と 2 で条件間の差が異なる結果となり、実験 1 では触覚付加の有用性が示され、一方で実験 2 では示されなかった。この要因として、実験 1 では音の高低が直接振動の高低であり、実験 2 ではそれが異なっていたため、実験 1 の弁別の容易さや、実験 2 のタスクの困難さが反映されたことによる差であると考えられる。

また、血圧について、実験 1 と 2 でともにタスクの経過とともに上昇したが、その仕方は実験間で異なっていた。しかし、終了時点での収縮期及び拡張期血圧の値に有意差は見られなかった(t 検定; $p<0.5$)。このことは、タスクによる精神負荷によって血圧が上昇するが、その上昇の方法がタスクの内容によって異なっていたことを示している。

さらに、両実験の振動条件の正答率において、実験 1 では他の条件間と差が無いほどであり、また実験 2 では約 35%の正答率であり、ともに予想以上に高い正答率になった。これは両実験で振動条件のタスクを必ず他の 2 つの条件後に行い、振動条件前に音振動条件で音刺激とともに触覚を提示したことで学習効果が生じ、振動をある程度記憶し、その結果正答率が向上した可能性が考えられる。そして振動条件でのこれらの結果は、触覚が数百 Hz の違いの振動刺激を弁別することが可能であることを示唆している。

■まとめ

本研究より、実験 2 における音声での触覚付加による音半判断の有用性は示されなかったが、実験 1 における単純な音の判断への振動による触覚付加の有用性が示され、さらに触覚の振動弁別の可能性が明らかとなった。これらの結果は、盲目者に対する力覚ナビゲーションや、タッチパネルなどの細かな振動種類の付加による触覚フィードバックへの技術応用など、触覚と聴覚または触覚による次世代の情報伝達技術の応用への可能性が考えられる。

■参考文献

1. MacGurk H, MacDonald JW, Hearing lips and seeing voice, Nature, 264:746-748, 1976
2. Howard IP, Templeton WB, Human Spatial Orientation, London: Wiley, 1966
3. Bryan Gick & Donald Derrick. Aero-tactile integration in speech perception, Nature, 462:26, 2009
4. 向井利春ら, 超五感センサの開発最前線, NTS, 2005