

心拍位相が聴覚情報処理に及ぼす影響

LI LINGJUN

【背景・目的】

私たちは普段、視覚や聴覚などの感覚受容器を通じて、周りの環境に関する情報を収集している。その信号は脳に伝達され、脳がそれらの信号を処理することで適応的な行動が可能になる。一方で、心臓の鼓動や、呼吸、胃の痛みや満腹感といった身体内部の感覚も常に生じている。このような身体内部の状態に関する信号も、内受容器を通して絶えずに脳に伝達され、さまざまな情報処理過程に影響を及ぼしていることが明らかになってきた(Azzalini et al., 2019)。例えば、心臓の鼓動によって生じる求心性信号は、自律神経の制御にとどまらず、知覚・行動・認知に関わる脳の広範囲に分散したネットワークに到達する(Oppenheimer & Cechetto, 2011)。

心臓が収縮してから次の収縮が始まるまでの期間を心拍周期という。心拍周期は主に収縮期と拡張期の2つの位相からなる。収縮期には心臓が収縮し、心室の血液が大動脈に排出され、大動脈にある圧受容器が発火し、心臓収縮のタイミングと強さを脳に知らせる。一方、拡張期には心室が弛緩し、心臓は血液で満たされ、圧受容器は不活性である(Azzalini et al., 2019; Critchley & Harrison, 2013)。このような収縮期と拡張期の違いが、知覚や認知処理に影響することが報告されている。圧受容器活動が安静な拡張期に比べ、圧受容器活動が活発な収縮期では、外因性の知覚処理が抑制され、内因性の認知処理や情動処理が促進される傾向があることが、主に行動指標によって示されてきた(Skora et al., 2022)。しかし、生理指標における証拠はいまだに十分ではない。本研究では、収縮期と拡張期における音に対する脳波反応(事象関連電位 event-related potential: ERP)を測定することで、心拍位相が聴覚情報処理に及ぼす影響を検討した。ERPの代表的な成分として、感覚記憶に関連する内因性のミスマッチ陰性電位(mismatch negativity: MMN)成分と、感覚・知覚処理に関連する外因性のN1とP2成分がある。本研究では、拡張期と収縮期におけるMMN成分(実験1)とN1、P2成分(実験2)の振幅差を検討することによって、心拍位相が聴覚情報処理に及ぼす影響を調べることを目的とした。

【方法】

2つの実験とも、参加者は無音動画を見ながら音を聞き流すように指示された。実験中の脳波と心電図を記録し、収縮期(T波ピークの前後100msの間の200ms)と拡張期(R波ピークの250msから50ms前の間の200ms)に提示された各刺激で誘発されたERP波形を別々に加算平均して求めた。ERP波形には心臓の活動に関連するアーチファクトが重畳する(Kimura, 2019)。そこで、本研究では同じ心拍位相で求めた2種類の事象に対するERP波形の差分を求めることにより心拍関連アーチファクトの除去を行った。

実験1(N = 35)では、聴覚刺激として音圧の異なる1,000 Hz(70 ms)の純音を用いた。標準刺激(p = 0.8)として80 dB(強)または60 dB(弱)の音を、逸脱刺激(p = 0.2)として70 dBの音を提示した。オンセット間隔は500 msであった。逸脱刺激と標準刺激からなる4ブロックを実施し、強-弱-弱-強、弱-強-強-弱のいずれかの順序とした。心拍位相ごとに、逸脱刺激に対するERP波形から標準刺激(強音と弱音の平均)に対するERP波形を引算することでMMNを求め、標準強音刺激に対するERP波形から標準弱音刺激に対するERP波形を引算することで、N1とP2の差分波形を求めた。

実験2(N = 39)では、聴覚刺激は1,000 Hz(70 dB, 70 ms)の純音を用いた。さらに、心拍関連アーチ

ファクトを除去するために、刺激を提示しない(0 dB)無音試行も設けた。純音試行と無音試行を交互に行い、純音の刺激間隔が2,700-3,300 msの間でランダムになるように設定した。心拍位相ごとに、純音に対するERP波形から無音試行のERP波形を引算することで、心拍関連アーチファクトを除去したN1とP2の波形を求めた。

どちらの実験でも、収縮期と拡張期における各ERP成分の振幅を求め、対応のある両側t検定を用いて比較した。さらに、ベイズファクターを求めて心拍位相間で差がないという帰無仮説を支持する証拠を評価した。

【結果と考察】

聴覚感覚記憶に関連するMMN成分の振幅は、収縮期と拡張期の間で有意差がなかった(実験1)。聴覚知覚処理に関連するN1とP2成分の振幅は、標準強音刺激と標準弱音刺激に対するERPの差分波形(実験1)でも、純音に対するERP波形と無音試行のERP波形の差分波形(実験2)でも、収縮期と拡張期の間で有意差がなかった。いずれの実験でもベイズファクターは心拍位相間に差がないという帰無仮説を支持する中程度の証拠を示していた。本研究の結果は、内因性の聴覚逸脱検出処理と外因性の聴覚知覚処理はどちらも心拍位相に影響されないことを示している。

MMNの生成過程は、他の認知過程とは独立して、入力された感覚情報の逸脱を自動的に検出するモジュールシステムであるという提案がなされている(Picton et al., 2000)。今回の結果はこのモジュール説と一致している。しかしながら、今回得られた知見がMMN一般に当てはまるかどうかは今後の検討が必要である。例えば、MMNを引き起こす刺激の逸脱次元(音圧、周波数、持続時間など)によって実験変数の効果は異なることがある(Todd et al., 2008)。また、怒り声のような情動価のある逸脱刺激に対するMMNは、純音に対するMMNとは異なった性質を示すかもしれない(Schirmer & Escoffier, 2010)。さらに、MMNは注意によっても影響されるので(Sussman et al., 2014)、注意を向けた状態では心拍位相の効果が生じるかもしれない。

N1とP2成分は、実験1でははっきりと評価できなかったが、実験2では明瞭に出現した。差分波形を求める前には、収縮期よりも拡張期でN1振幅が大きく、P2振幅が小さいという結果が得られた。これは驚愕音に対する知覚処理は心拍位相間で異なると示した先行研究の結果(Schulz et al., 2020)と一致していた。しかし、心拍関連アーチファクトを除去すると、この差は消えたため、心拍位相が聴覚知覚処理に影響するという証拠は得られなかった。

【まとめ】

本研究では、心臓の収縮期と拡張期における聴覚情報処理の違いを検討するために、中程度の音圧の純音を聞き流す状況で測定した聴覚ERP成分の振幅を比較した。その結果、知覚(N1, P2)と感覚記憶(MMN)に関連する処理には差が認められなかった。今後は、音に注意を向けさせたり情動的な音刺激を使用したりすることで、心拍位相が聴覚情報処理に影響を与える条件をさらに検討していく必要がある。(基礎心理学)