

論文の内容の要旨

論文題目 詳細時間構造処理能力への聴覚末梢の構造的要因の影響

氏名 大塚 翔

我々は、雑踏の中においても対象の音声を聞き取ることができる。このことはコミュニケーションを行う上で不可欠な能力である。そのため、雑音下での聴取能力が低下した場合には、社会適応が困難になることも多い。そういった障害は、音自体が聞き取りづらい、難聴が原因であることが多いことから、聴覚障害の有無を判断する方法として、聴力検査が広く用いられてきた。しかし、難聴だけでは、雑音下での聴取困難を説明できない事例が知られている。難聴が原因であるとすると、補聴器を取り付けることで雑音下での聴取がしやすくなるはずであるが、実際には改善しない場合も多い。また、難聴ではない (正常な聴力レベル) にも関わらず雑踏の中では音声聴取が困難である事例が報告されている。これらのことは、難聴以外の要因が存在することを意味していると同時に、聴力レベルのみを用いた診療の限界を示している。

この限界を乗り越えるために、多くの聴覚研究者が、雑踏の中での聴取困難の原因を探ってきた。その中で、聴覚末梢の要因をより詳細に調べる試み(非侵襲的な内耳評価や周波数選択性)やより高次の処理過程 (選択的注意やワーキングメモリ)を調べる研究が行われてきた。近年、聴覚末梢に近い部分で処理されていると考えられている詳細時間構造 (TFS) 処理能力が、雑音下の聴取において重要な役割を果たしている可能性が指摘されている。TFSは、音波形の中で振幅包絡に比べて高速に変化する部分であり、数学的にはヒルベルト変換した際の位相情報に相当する部分である。TFS変化に対する感度が雑音下での聴取能力と相関があることが報告されており、臨床への応用が期待されている。TFS処理能力に個人差が生じる要因を解明することで、雑音下での聴取能力が低下する原因を解明する手がかりになると考えられる。

TFS処理能力は、神経レベル、特に脳幹での処理の影響を受けていると考えられてきた。その一方で、聴力レベルや周波数選択性とTFS処理能力の間に相関が見られないことから、聴覚末梢の処理特性はTFS処理能力に影響を与えていないと考えられてきた。しかし、聴覚末梢の特性には聴力レベルや周波数選択性では評価できない側面もあることが知られている。例えば、基底膜振動を増幅する役割を果たしている外有毛細胞 (OHC) の配列の不規則性、OHC 一本一本の増幅特性の不揃いを含む構造的な不規則性があることが知られている。構造的な不規則性によって、増幅の大きさが基底膜上の場所によってばらつくため、中枢へ伝達される信号は変化すると考えられる。そのため、TFS処理へ影響を与える可能性が考えられる。しかし、その可能性は検証されてこなかった。そこで、本研究では、構造的な不規則性がTFS処理能力に影響を与えている可能性を検証することを目的とする。

本研究では耳音響放射 (OAE) を用いて不規則性を非侵襲的に評価することを試みた。OAEは、聴覚末梢 (蝸牛) に由来する微少な音響信号である。OAEは難聴の場合には、消失することや聴力レベルとの相関から内耳の機能、特に、OHCによる増幅特性を非侵襲的に評価する方法として診療や聴覚研究において用いられてきた。OAEは構造的に不規則性に伴うインピーダンスの不連続性によって生じる反射音であると考えられており、構造的な不規則性の度合いの影響を受けている可能性が示唆されている。そのため、OAEのスペクトル構造には不規則性の情報が含まれていると考えられる。そこで、OAE

のスペクトル構造から不規則性の情報を取り出し、TFS処理能力との関係を分析した。OAEは中耳伝達特性と増幅の大きさも反映していることから、中耳伝達特性や聴力レベルを同時に計測し、構造的な不規則性の情報の分離を試みた。また、OHCには中枢から遠心性神経投射がありOAEのスペクトル構造に影響を与える可能性が考えられるが、遠心性投射の切断前後でOAEのレベルは大きくとも数dB程度の変化しか見られないため、OAEのスペクトル構造への影響は小さいと考えられる。上述したように、OAEは、聴力レベルと同様に、増幅機能を非侵襲に評価する指標として臨床や聴覚研究において多くの研究がなされてきたが、TFS処理能力との関係を調べるのは本研究が初の試みである。

まず、TFS処理能力の評価指標として用いられている周波数変調弁別に関して、構造的な不規則性を含めた聴覚末梢の処理特性が影響を与えている可能性を検討し、その要因の特定を試みた(実験1)。次に、その要因がTFS処理特有に影響を及ぼしている可能性を検証するために、周波数変調弁別以外の基礎的な聴取課題との関連を調べた(実験2)。最後にモデルを用いて、聴覚末梢の構造的な不規則性がTFS処理能力に影響を与えるメカニズムを検討した。TFSを処理するモデルは従来から提案されているが、聴覚末梢に不規則性を加えて検討を行うのは初めての試みである。

実験1からは、周波数変調弁別課題を用いて評価したTFS処理能力の個人差のうち、30%以上をOAEから抽出した特徴量を用いて説明できることを示した。中耳伝達特性と聴力レベルでは弁別閾値の個人差を説明することができなかったことから、構造的な不規則性がTFS処理能力を決定する要因の1つであることが示唆された。実験2では、周波数変調弁別課題に加えて、聴覚の基礎特性として両耳位相差を手がかりとした定位課題と振幅変調弁別課題をおこない、OAEの特徴量との関係を調べた。実験1で周波数変調弁別閾値と相関が見られた特徴量は、定位課題、および、振幅変調とも相関が見られた。しかし、TFS情報を使っていないとされる条件では相関が見られなかった。これらの結果は、聴覚末梢の構造的な不規則性がTFS処理に特異的に関連している可能性を示唆している。最後に、構造的な不規則性がTFS処理に影響を与えるメカニズムを解明するために、モデルを用いた検討を行った。TFS情報を使って周波数弁別するモデルを作成し、その弁別能力に構造的な不規則性が与える影響を調べた。モデルから再現したOAEとTFS処理能力との間の関係は、実験で見られた結果とは異なっていたものの、モデルの弁別成績は構造的な不規則性のパターンによって異なっていた。このことは、TFS処理能力に構造的な不規則性が影響を与えている可能性があることを示している。

従来、TFS処理は聴覚末梢の処理特性の影響をあまり受けていないと考えられていたが、本研究により聴覚末梢の寄与が明らかになった。聴覚末梢の特性としては聴力レベルや周波数選択性のみが検討されていたが、OHCの配列の不規則性、OHC一本一本の増幅特性の不揃いを含む構造的な不規則性も考慮に入れる必要があることを示している。TFS処理能力が低下した場合に、雑音下での聴取成績が低下するという点を考えると、雑音下での聴取においても聴覚末梢の構造的な不規則性が重要である可能性が考えられる。今後の展開として、雑音下での聴取と聴覚末梢の構造的な不規則性の関係を分析することで、雑踏の中で聞き取りづらいという症状が生じる原因の解明につながると考えられる。

また、OAEからTFS処理能力の個人差を30-40%程度予測できるということは、臨床応用への期待ができる。心理物理的にTFS処理能力を評価する場合、知覚を自己申告する必要があるため、知覚の申告が難しい新生児や認知症患者を診断することは難しいと考えられる。しかし、OAEは客観的に評価できるため、自己申告が難しい場合でも診断することができるという利点がある。また、OAEは臨床においては日常的に測定されるため、膨大に蓄積されたデータがある。従来は、主にOAEのレベルのみを評価指標としており、その構造に含まれる情報は見られていなかった。本研究で特定したTFS処理能力と関連が深いOAEの特徴量を、これまでに蓄積されたデータに適用することで有効に活用できるようになると考えられる。また、TFS処理能力の評価のみでは疾患の場所を特定することができないが、OAE計測を併用することによって疾患の場所の特定につながると考えられる。