

学位論文の要旨

氏名

NATTIKAN KANKA

学位論文題目

Development of a Diagnostic Apparatus for Newborn Hearing Screening (EarDoc)
(新生児聴覚スクリーニングのための診断装置 (イアードック) の開発)

本論文は、新生児特有の聴覚動特性に着目し、そのメカニクスの解明と、得られた知見をもととした新生児聴覚スクリーニング装置の開発についてまとめたものである。本研究ではまず独自の聴覚動特性計測技術であるsweep frequency impedance (SFI)メーターを用いて新生児の外耳道および中耳の動特性を計測し、従来の周波数226 Hzの検査音を用いるティンパノメトリーが新生児の耳に適合しない理由について検討した。次に、新生児特有の聴覚動特性が、成長とともにどのように変化していくのかについて検討を行った。最後に、一台の装置で新生児の聴覚診断装置 (イアードック) の開発についてまとめた。本論文は7章から構成され、以下にその概略を示す。

第1章では、本研究の背景について述べた。聴覚障害は新生児1,000人に約1-2人に発生すると報告されており、会話や言語能力の習得の遅れを引き起こす原因となる。新生児時期からの早期診断と治療は、言語能力と知的発達の実現に非常に効果的であるが、新生児は大人と比較して耳の構造に物理的な違いがあるため、この期間に聴覚障害の部位を特定することは困難であるとされてきた。この章では、聴覚障害に関する問題点、先行研究における課題および研究の重要性を述べた。

第2章では、聴覚に関する基礎について述べた。特に解剖学的な見知から、大人と新生児の外耳、中耳、内耳の構成や機能の違いについて述べた。

第3章では、現在広く使われている非侵襲的な聴覚診断法として、中耳とその関連する構造の状態を評価するためのティンパノメトリー(tympanometry)、内耳にある蝸牛の機能を評価するための耳音響放射(Otoacoustic emissions; OAEs)、脳幹神経における異常を評価するための聴性脳幹反応(auditory brainstem response; ABR)について紹介し、各検査法のメカニズムの原理、計測手順、結果の解釈と評価および制限について述べるとともに、我々の独自技術である中耳の機能障害とその動的特性を評価するためのsweep frequency impedance (SFI)について述べた。

第4章では、中耳の一般的な検査である周波数226 Hzの検査音を用いるティンパノメトリーが新生児の耳に適用できない理由について検討した。従来型ティンパノメトリーは、大人と子供の中耳疾患を検出するための信頼できる検査法として認められるが、出生後7か月未満の新生児に使用すると不正確な結果が得られると報告されているが、その機序は不明であった。そこで、本研究では、SFIの計測結果に基づいて任意周波数のティンパノグラムを算出・比較する手法を提案し、従来の226 Hzの検査音が新生児外耳道壁の固有振動数に近いことが要因であることを示した。さらに、得られた知見をもとに1000 Hz等のより高周波数の検査音を使うことが有効であることを提案した。

第5章では、新生児の聴覚動的特性が成長に伴いどのように変化するかについて調査した。本研究では、正常耳を持つ日本人の新生児を対象に出生後約半年間SFI検査を実施することにより、外耳および中耳の動的特性の経時変化を調べた。その結果、出生後約5か月までに新生児の聴覚動特性は著しく変化し、大人のそれに近づくことを明らかにした。具体的には、外耳道壁の動特性が成長とともに変化する一方で、中耳については、顕著な変化は認められないことを示した。

第6章では、新生児聴覚スクリーニングための新規診断装置（イアードック）の開発について述べた。本研究では、鼓膜の動きやすさを評価するティンパノメトリー機能、中耳の動特性を評価するSFI機能および蝸牛の状況を評価するOAEの機能を併せ持ち、中耳と内耳の障害を検査できる新型非侵襲的聴覚診断装置を提案した。前章までの検討において得られた新生児の計測に適切な検査音に関する知見をもとに高周波数ティンパノメトリーと高周波数SFIメーターの原理、開発およびシステムの校正について提案し、当該技術を正常耳を持つ大人に適用した結果を示し、その有効性について検討した。

第7章では、本研究の結論を総括した。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Development of a Diagnostic Apparatus for Newborn Hearing Screening (EarDoc)

Name: Nattikan Kanka

This thesis summarizes the research on the elucidation of the mechanics of the dynamic characteristics of the neonatal auditory system and the research on the development of a newborn hearing screening apparatus based on such findings. In this study, firstly, we measured the dynamic characteristics of the external ear and the middle ear of the neonates using sweep frequency impedance (SFI) meter, which is our original measurement technique to evaluate auditory dynamic characteristics. Here, the reason why the conventional 226-Hz tympanometry was not compatible with neonatal ears was clarified. Secondly, we investigated how the auditory dynamic characteristics of neonates changes with growth. Finally, we summarized the development of a diagnostic apparatus for newborn hearing screening (EarDoc). This thesis consists of 7 chapters and details are as follows.

Chapter 1 describes the background of this study. Hearing loss has been reported to occur in about 1–2 of 1,000 newborns, causing delays in the acquisition of conversational and language skills. Therefore, early diagnosis and treatment from the neonatal period are considered to be very effective in achieving language skills and intellectual development. However, compared to adults, since neonates have physical differences in the structure of the ears, it is difficult to identify the position where the hearing loss occurred. In this chapter, problems related to hearing loss, issues in previous studies and the importance of this study were described.

Chapter 2 describes the basics of hearing. This chapter introduced the structure and functions of the external ear, middle ear and inner ear, and described the anatomical differences between the adult and neonatal ears.

Chapter 3 introduces commercially-used non-invasive auditory diagnostic methods; the tympanometry for assessing the state of the middle ear and related structures, the otoacoustic emissions (OAEs) for assessing the function of the cochlea in the inner ear and the auditory brainstem response (ABR) for evaluating the neurological abnormalities occurred in the brainstem. The principle of mechanism, measurement procedures, interpretation and evaluation of results, and limitations of each method were described. Additionally, our original diagnostic method, called sweep frequency impedance (SFI), which uses to evaluate middle ear dysfunction and its dynamic characteristics was described.

In Chapter 4, we investigated the reason why conventional 226-Hz tympanometry, which is a general hearing screening test for middle ear diagnosis, is not adequate with neonatal ears.

Although the conventional tympanometry is considered as a reliable screening test for detecting middle ear dysfunction in adults and children, it has been reported to provide inaccurate screening results when used in neonates less than 7 months of age. However, its mechanism was unknown. Therefore, in this study, we proposed a method for calculation of tympanogram, which obtained from any screening tone frequency, based on SFI measurement results. Owing to the comparison of tympanograms obtained from such different screening tone, the analytical results indicated that the frequency of the conventional 226-Hz screening tone is close to the natural frequency of the external ear canal wall of the neonates. Furthermore, based on such findings, the higher frequency screening tone, such as 1000 Hz, was suggested to be more effective for neonatal screening.

In Chapter 5, we examined how the dynamic characteristics of neonatal ears change with chronological age. In this study, we investigated the developmental changes in the dynamic characteristics of the external and middle ears by performing SFI tests longitudinally to Japanese healthy neonates for about a half year after birth. As a result, it was clarified that the auditory dynamics of the neonates changed dramatically by 5 months after birth and became adult-like; that is, the dynamic characteristics of the external ear canal wall changed with growth, while the middle ear did not.

Chapter 6 describes the development of a new diagnostic device (EarDoc) for neonatal hearing screening. In this study, we propose the new non-invasive hearing screening apparatus with a combination of the tympanometry, which evaluates the mobility of the tympanic membrane, the SFI, which evaluates the dynamic characteristics of the middle ear, and the OAEs, which evaluates the condition of the cochlea. According to these features, this device can examine both middle and inner ear dysfunction. Based on the knowledge about examination conditions suitable for measurement in neonates obtained in previous chapters, we propose a principle, development and system calibration of high-frequency tympanometry and high-frequency SFI meter. We then apply this hearing diagnostic apparatus with normal ear adults. Finally, we showed the results applied to adults and evaluate their effectiveness.

Chapter 7 summarizes the conclusions of this study.