

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00737

研究課題名(和文) 携帯型音楽プレーヤーによる無意識下の過大音刺激による蝸牛障害危険性の定量的評価

研究課題名(英文) Quantitative evaluation of risk of cochlear disorder caused by unconscious excessive stimulation by portable music player

研究代表者

伊藤 麻美 (ITO, ASAMI)

順天堂大学・医学部・助手

研究者番号：60384111

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：防音室内に設置されたスピーカーより騒音を流すことで人工的に騒音環境を構築し、音楽を聴いた場合の外耳道内音圧を測定することで無意識な音量上昇の定量化を図った。20～30歳代の男女23名を対象に測定を行った結果、3種類のイヤホンおよびヘッドホンいずれの場合においても音圧上昇が認められた。特に密閉型ヘッドホンおよび耳かけ型イヤホンにおいては、20 dB程度の音圧上昇を示した者が複数認められ、中には90 dB超で音楽聴取していた被験者も見受けられ、日常的に騒音環境下にて音楽聴取を行っていた場合、イヤホンの種類次第では騒音性難聴となる危険性があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Noisy environments were artificially constructed by applying noise from the speaker installed in the soundproof room, and the sound pressure in the external auditory meatus of subjects when they were listening to music was measured in the soundproof room. Then, we tried to quantify the volume increase unconsciously. As a result of measuring for 23 males and females in their 20s to 30s age, increases in the sound pressure were observed in all three types of earphones and headphones. Especially for the closed-type headphones and the ear-hanging type earphones, there were several subjects who showed a sound pressure rise of about 20 dB, and some of them were listening to the music at more than 90 dB. This results suggest that if portable-music-player users listen to music everyday under noisy environment there is a risk of becoming noise-induced deafness depending on the type of earphone.

研究分野：耳鼻咽喉科学

キーワード：携帯型音楽プレーヤー 騒音 過大音刺激 内耳障害

1. 研究開始当初の背景

携帯型音楽プレーヤーの充実と音楽ネットワーク配信の普及により、音楽は、イヤホンやヘッドホンを使い、屋外で聞くというライフスタイルが、特に若年層で形成されている。これに伴い、屋外で音楽を聴く機会が多くなっている。屋外では屋内に比べ高騒音環境下にあることが多く、聴取者は無意識のうちに、その環境下に適合した音圧で音楽を聴いている。もし、周囲の騒音が大きい場合、聴取者はプレーヤーのボリュームを上げ、そのレベルは静寂環境下では過大に感じるものだったとしても、騒音環境下の聴取者にとっては適正なものと感じてしまう。この無意識下の過大音刺激は難聴を引き起こす危険性がある。特にここ数年では、スマートフォンを含む携帯音楽デバイスの価格の低下、ファッション性や音質が高まったことで、若年層以外にも広い年齢層で世界的にユーザー数が増加し、それに伴い、携帯音楽デバイスの使用に関連した難聴が発生する懸念が高まっている。米国でも、携帯音楽プレーヤーが難聴を招く懸念について、議会が国立聴覚・伝達障害研究所(NIDCD)に調査を要求するなど、大きな問題となっている。

上記のように、携帯音楽プレーヤーによる難聴の不安が指摘されながらも、具体的な防止策はとられていないのが現状である。その背景として、実際にどのような環境下でどの程度の危険性があるのかを定量的に示した例は無いため、科学的な防止策の制定が困難といえることがある。各人が音楽を聞く場合の内耳への悪影響は、イヤホンの形態など、ハードウェア的な問題だけではなく、音楽を聴く環境のノイズ、好みの音楽の種類や音量など、定量化が困難な部分が多くある。しかし、静寂な環境下よりも騒音環境下の方が、無意識にプレーヤーのボリュームを上げる事は通常起こり得ることであり、この音圧増加量は、周囲の環境ノイズのレベルや周波数構成によって、影響を受けるものと考えられる。

申請者らは、平成 23 年度科研費若手研究(B)の助成を受け、交差点や駅などの環境ノイズを定量的に再現できる装置を構築し、その環境下で、被験者が携帯音楽プレーヤーで音楽を聴いた場合の、外耳道内音圧を直接計測することにより、静寂環境下に対し騒音環境下では、聴取者はほぼ無意識に音楽のレベルを大きくしていることを示した。

2. 研究の目的

本研究では、近年、音楽聴取の主流のスタイルとなっている携帯型音楽プレーヤーによる日常的音楽鑑賞に潜む危険性の定量化を試みる。携帯型音楽プレーヤーによる音楽鑑賞では、周囲の騒音により、聴取者は無意識に通常設定しているボリュームレベルよりも大きな音で音楽を聴いている可能性がある。本研究では、この無意識下の過大な音刺激が聴覚におよぼす影響を定量的に明ら

かにすることを旨とする。

3. 研究の方法

防音室内に設置したスピーカーより騒音を出力することで人工的に騒音環境下を構築し、ヘッドホンおよびイヤホンを使用して音楽を聴いた場合の外耳道内音圧を測定した。また、各種イヤホンを装着し、スピーカーより発したホワイトノイズを聴いた際の外耳道内音圧を計測し、イヤホンの遮音性を評価した。さらに、騒音環境下における蝸牛の負荷推定を行った。

携帯型音楽プレーヤーが主に使用される場所の一つである電車内の騒音環境を再現するために、本実験では防音室内に図 1 のようなシステムを構成した。音声出力用のスピーカー (PS-S202, Victor)、低周波数域音声出力用のウーファー (SP-DW103, Victor) を設置し、電車内の騒音を発生させた。防音室内に騒音計 (LA-5560, ONO SOKKI) を床から 1 m の高さに設置し、防音室内の音圧を計測した。また、被験者の外耳道内音圧はプローブ型マイクロホン (ER-7C-SERIES-B, Etymotic Research) を使用した。スピーカー、ウーファー、騒音計、マイクロホンは DAQ デバイス (NI USB-6251, National Instruments) を介して PC に接続し、音声の入出力を制御した。本実験では音声の入出力およびデータ解析に LabVIEW (ver. 12.0.1, National Instruments) を使用した。

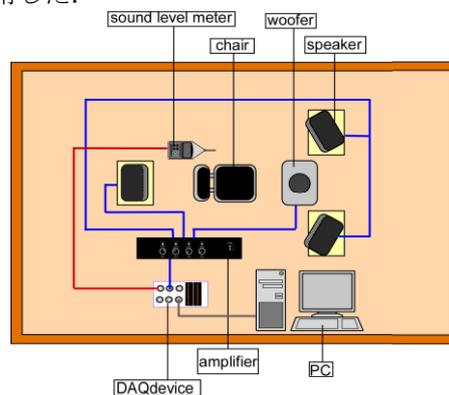


図 1 計測システム

3. 1 外耳道内音圧の測定

20~30 歳代の男女 23 名を対象に測定を行った。被験者にインナーイヤホン (ATH-CKR3, audio-technica)、密閉型ヘッドホン (ATH-WS770, audio-technica)、耳かけ型イヤホン (MD827FE/3, Apple)、ノイズキャンセリングイヤホン (ATH-ANC23, audio-technica) の 4 種類のイヤホンを装着させ、右外耳道にプローブ型マイクロホンを挿入した。その状態で、携帯型音楽プレーヤーによりロックおよびクラシックミュージックを再生した。それらの音楽を静寂および騒音環境下にて聴取した際の外耳道内音圧を計測した。なお、静寂環境、騒音環境の騒音レベルはそれぞれ 55 dB、80 dB とした。測定時間は 1 分間とし、測定中は被験者に自身か

心地よく音楽を聴取できるよう、自由に音量を調節させた。騒音環境下と静寂環境下の音圧レベル差を求めた。

3. 2 ホワイトノイズによる遮蔽率の測定
イヤホンの遮蔽率を求めるため、以下の測定を行った。測定は、20～30歳代の男女10名を対象に行った。装置および被験者の配置は3.1と同様である。ホワイトノイズをスピーカーより与え、裸耳状態と各イヤホンを装着した状態での外耳道内における周波数分布とその大きさを比較した。なおホワイトノイズの等価騒音レベルは80 dBとした。また、周波数解析結果より、遮蔽率 S_p を以下のように定義し算出した。

$$S_p = 10 \log_{10}(P_N / P_E)$$

なお、 P_N は裸耳状態での任意周波数における音響パワーを、 P_E は各イヤホン装着時での任意周波数における音響パワーを表している。

3. 3 過大音入力時の蝸牛の負荷推定

ヒト蝸牛の有限要素モデル⁽¹⁾に 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz の純音を入力した場合の基板振動挙動の計算結果より、過大音入力時の蝸牛の負荷推定を行った。基板上のある一点の要素について、入力された音による振動で単振動していると仮定すると、その変位 x は $x = A \sin(2\pi f t)$ と表すことができる。また、その運動エネルギーの最大値は、

$$E_{\max} = 2m(\pi f A)^2$$

となる。ここで、 A : 振幅、 f : 周波数である。本研究では、この値を基板の各所に与えられる最大エネルギーと定義した。なお、式中の質量 m は最大振幅をとる基板要素の質量である。騒音環境下で音楽を聴取した場合に外耳道内で計測した音声をオクターブ解析した結果より、各周波数成分帯における最大エネルギーを求めた。

4. 研究成果

4. 1 外耳道内音圧の測定

騒音環境下と静寂環境下における外耳道内音圧レベル差の測定結果を、音楽の種類別に箱ひげ図として図 2, 3 に示す。なお、*は Welch の t 検定により有意差が得られたことを示している（有意水準 5%）。ロック、クラシックミュージックともにノイズキャンセリングイヤホンの音圧レベル差が最も小さかった。次にインナーイヤードホンが小さく、密閉型ヘッドホンおよび耳かけ型イヤホンは同程度の音圧レベル差であった。また、密閉型ヘッドホンの場合は、外れ値が複数検出されるほど音圧レベル差に個人差が見られた。これは、ほかのインナーイヤードホンやノイズキャンセリングイヤホンとの形状の違いにより、外耳道を十分に密閉できていないためであると考えられた。

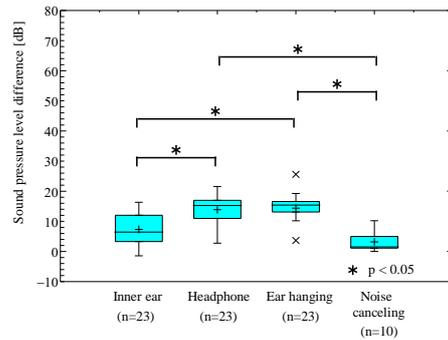


図 2 騒音環境下と静寂環境下における外耳道内音圧レベル差（ロック）

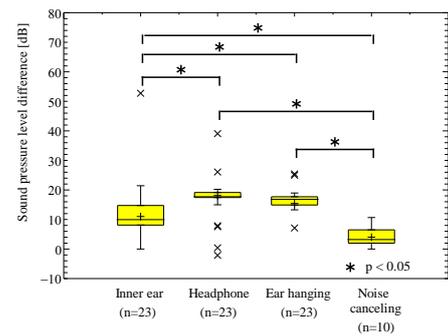


図 3 騒音環境下と静寂環境下における外耳道内音圧レベル差（クラシック）

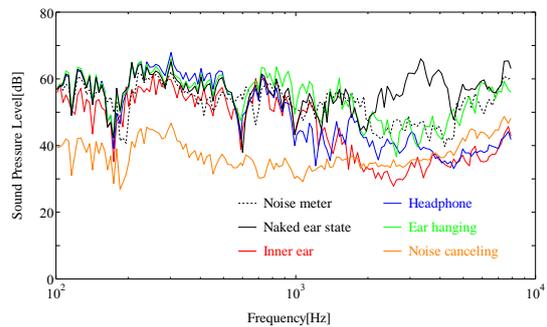


図 4 外耳道内音圧の周波数成分

4. 2 ホワイトノイズによる遮蔽率の測定

測定結果の 1 例を図 4 に示す。被験者共通の傾向として、ノイズキャンセリングイヤホンは周波数帯全域にわたって外来ノイズを遮蔽しており、次いでインナーイヤードホン、その次に密閉型ヘッドホンおよび耳かけ型イヤホンが同程度遮蔽していた。ただし、ノイズキャンセリングイヤホン以外の 3 種類は、1000 Hz 未満の帯域ではほとんど違いが認められず、1000 Hz 以上から徐々に特徴が表れた。そのため、 S_p 値は 1000 Hz 未満、および 1000 Hz 以上の各周波数帯域ごとに求めることとした。 S_p 値を箱ひげ図として図 5, 6 に示す。1000 Hz 未満の帯域においては、ノイズキャンセリングイヤホンが最も遮蔽率が高いことが分かる。しかし、1000 Hz 以上の帯域においては、インナーイヤードホ

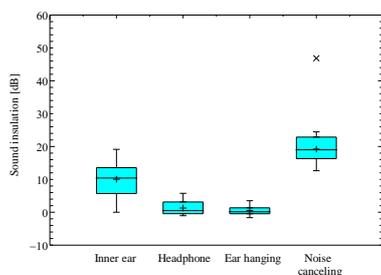


図5 遮蔽率 (1000 Hz 以下)

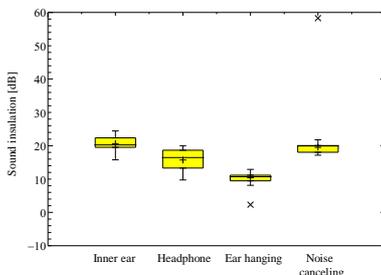


図6 遮蔽率 (1000 Hz 以上)

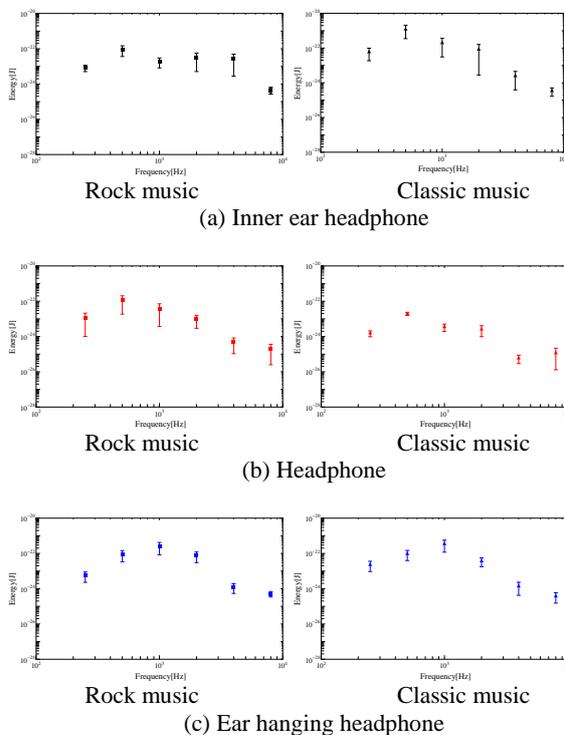


図7 基板最大振幅部位の運動エネルギー

ンおよび密閉型ヘッドホンがノイズキャンセリングイヤホンと同程度の遮蔽率を示した。以上より、遮蔽率が4.1における音圧レベル差に影響を与えていることが示唆された。

4. 3 過大音入力時の蝸牛の負荷推定

結果を図7に示す。4.1の結果より、静寂環境下での音圧と騒音環境下での音圧差が同程度であったヘッドホンと耳かけ型イヤホンと比較すると、エネルギーの最大値を取る周波数帯は、ヘッドホンでは500 Hz、耳かけ型イヤホンでは1 kHzであった。各周波数帯におけるエネルギーの値は使用した音楽

に関わらず、耳かけ型イヤホンの場合の方が大きい結果になった。特にクラシックミュージックにおいては10倍程度異なる結果となっていた。また、耳かけ型イヤホンでは音楽の種類によるエネルギーの差はあまり見られなかったが、ヘッドホンではクラシックミュージックよりロックミュージックの方が5倍程度大きい結果になった。音圧差は同程度であるが、エネルギーの大きさは耳かけ型イヤホンの方が大きくなることが示された。

インナーイヤードヘッドホンでは500 Hzで最大値を取り、その値はロックミュージックで 1×10^{-22} J、クラシックミュージックでは 2×10^{-21} Jとなりクラシックミュージックの場合の方が大きい結果になった。

以上の結果より、騒音環境下と静寂環境下における外耳道内音圧レベル差が小さい場合でも、蝸牛負荷は局所的に大きい値になる場合があること、音楽による負荷の差異はイヤホンの種類により特徴が異なることが推定された。

参考文献

Koike et al., Effects of a perilymphatic fistula on the passive vibration response of the basilar membrane, *Hearing Research* 283, 117-12, 2012

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

保科卓成, 小池卓二, 池田勝久, 携帯型音楽プレイヤーによる無意識下の過大音刺激による蝸牛障害危険性の定量的評価, 第62回聴覚医学会学術講演会, 2017. 10. 18-20, 福岡

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 麻美 (ITO, Asami)
順天堂大学・医学部・助手
研究者番号: 60384111

(2) 研究分担者

小池 卓二 (KOIKE, Takuji)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号: 10282097

橋本 卓弥 (HASIMOTO, Takuya)
東京理科大学・工学部第一部機械工学科・
助教
研究者番号：605481363

笠井 美里 (KASAI, Misato)
順天堂大学・医学部・非常勤助教
研究者番号：70549279