

# 胎内音再生による入眠促進効果についての研究

○東 崇志 高原 まどか (龍谷大学) 服部 峻 (滋賀県立大学)

## A Research on the Effect of Prenatal Sound Playback on Promoting Sleep Onset

\* T. Azuma, M. Takahara (Ryukoku University) and S. Hattori (The University of Shiga Prefecture)

**Abstract**— The difficulty of falling asleep often stems from anxiety about important tasks the next day or from stress by external noises. This study aims to address this issue by developing a sleep-inducing app that recreates the intrauterine environment. The app plays a combination of water sounds and heartbeat sounds to enhance relaxation and promote sleep. The experiments compared three types of heartbeat sounds: artificial, maternal, and self-recorded, evaluating their effectiveness in recreating the fetal environment and aiding sleep. This research explores the potential of intrauterine sounds in sleep promotion.

**Key Words:** Sleep Promotion, Ambient Sound, Intrauterine Environment

### 1 はじめに

株式会社かんでん CS フォーラム<sup>1)</sup>が2010年に全国の10~60代の男女を対象とした睡眠に関する調査を行った。その結果、約60%の層が「夜の寝付きの悪さを感じることはありますか?」という質問に対して「よくある」または「時々ある」と回答した。また、その理由を尋ねたところ、「心配事が気になって眠れない」と答えた人の割合が約50%と一番高かった。中でも、「将来の事が心配」とする意見が多く見られた。また、外の物音などの環境の悪さが原因で寝付けられない人も約16%おり、環境を整えることも寝付きに影響するとわかる。

次に、同じく全国の10~60代を対象としたストレスと睡眠についての調査も2011年に行なった。「寝つきが悪い」、「夜中に目が覚める」、「目覚めが悪い」、「寝不足だと感じる」という4項目について聞いたところ、日常生活におけるストレスをよく感じているという人の大半が4項目を経験することが「よくある」「時々ある」と回答した。一方、ストレスを全く感じないという人のうち「経験することがある」と回答した人は、いずれの項目においても半数以下となっており、日常生活のストレスが快眠を妨げる一因になっていると言える。

また、外の物音や騒音で眠れないという人も多くいる<sup>2,3)</sup>。そのような人には環境音をよく用いる。例えば、風や雨の音などの自然音があり<sup>4)</sup>、日常的に耳にしている音であるので不快に感じにくいとされ、リラックス効果のある音も多いとされている<sup>5)</sup>。

本研究では睡眠環境に環境音として胎内音を採り入れ、入眠までの時間を早めることを目的としたアプリを開発する。そして、提案アプリの効果検証を行なう。

### 2 関連研究

本章では、胎内音の再生によって入眠を促進する提案アプリに関連するキーワードとして、「赤ちゃん」「マインドフルネス」「胎内音」「Fitbit」を順に取り

上げる。また、既存研究を紹介し、本研究との類似点や相違点についても比較する。

#### 2.1 赤ちゃん

赤ちゃんに母親の心臓音を聞かせると落ち着いてすぐに寝てくれるというような報告がある<sup>6,7)</sup>。これは、心臓の音が胎内環境の音に近いことが要因であると考えられている。また、心音を含む曲を聴取した際のイメージ調査をしたものがある。この調査では、乳幼児を持つ母親7名を対象に行なったものであり、心音のみ・曲のみ・心音を含む曲の3条件で、音をランダムに各3分聴取させた。この調査の結果、心音を含む曲の条件の時が母子ともに最も心地が良いと回答した。

次に、心地が良いとされた心音を含む曲に関する質問調査<sup>8)</sup>では、延岡市内保育園に通う乳幼児を持つ母親160名を対象とした。母親が心地良さを感じる理由としては、「穏やかになる」「ゆったりとする」「お腹の中の子どもを思い出す」「幸せな気分になる」「眠くなる」といった意見が見られた。年齢が20代の母親37名のうち25名(67.5%)は、自身の睡眠の質が良くなったと回答した。一方で乳幼児の反応は、「寝付きに時間がかかっていたが、寝付きが良くなった」「大人しく聞いていたら、眠ってしまった」という回答が得られた。

本研究では、「お腹の中の子どもを思い出す」「眠くなる」「寝付きに時間がかかっていたが、寝付きが良くなった」「大人しく聞いていたら、眠ってしまった」といった回答に注目し、環境音としてシステムに取り入れ、自分または母親、人工的な心臓音のいずれかを流すことで体内環境を再現して入眠を促進させるようなシステムを作成した。また、曲ではなく同時に水音を流すことでより胎内環境に近い音を作った。従来の研究とは違い、実験参加者自身の心臓音や人工的な心臓音も取り入れ、大学生を対象にすることによって赤ちゃん以外にも効果があるのかどうかを検証し、どの心臓音が最適でより早く眠りにつくことができるのかを実験により明らかにする。

## 2.2 マインドフルネス

日本マインドフルネス学会では、マインドフルネスとは「今、この瞬間の体験に意識を向け、評価せずに、とらわれのない状態で、ただ観ること」であると定義されている<sup>9,10,11,12</sup>。これは、ただ目の前のことに集中する状態を指す。マインドフルネスの状態になることで、常に穏やかな心を保ち、心身の健康に良い影響がある<sup>13</sup>。心がリラックスするのはもちろん、ストレス耐性が高まるという効果もある。また、自分に悩みがあり、そればかり考えてしまうと周りの状況にまで意識を回せないが、マインドフルネスの状態になるとさまざまな考えを巡らせる脳の活動が低下し、周りの状況を考える余裕が生まれ、注意集中力が高まる<sup>14</sup>。

本研究では、胎内音を流す際に鼓動を強くイメージしてもらうことによってマインドフルネスを用いる。

## 2.3 胎内音

ここでの胎内音とは、水音と心臓の鼓動音を同時に流すことで擬似的に胎内環境を再現する音のことを言う。本稿の4章の実験では、3種類の心臓音を準備して1週間ごとに音を変えて、どの心臓音が最も入眠促進効果を示すのかを比較している。本稿で実験に用いた心臓音について以下に述べる。

### ● 機械音

この心臓音は従来の研究を参考にしたものを用意し、あらかじめアプリケーション内に組み込んでいる。

従来の研究から、以下の条件である

- 1) 1秒間に1回程度のリズムであること
- 2) 平均周波数が120Hz程度の低周波数帯域
- 3) 時間軸の前後における周期が比較的安定する
- 4) 最大周波数が低く、高周波数の音が混入しない

が最も効果を示した心臓音であったとされている<sup>4</sup>。よって、機械音では条件に近い音を準備して使用する。

### ● 母親の心臓音

実験参加者の母親の心臓音をiPhone既存アプリケーションの「ボイスメモ」で録音したものを使用する。

### ● 自分（実験参加者自身）の心臓音

実験参加者の心臓音をiPhone既存アプリケーションの「ボイスメモ」で録音したものを使用する。

## 2.4 Fitbit

Fitbitとは、Fitbit社が製造する時計型の活動量計であり、歩数、消費カロリー、睡眠状況、心拍数などを計測するウェアラブルデバイスである。本研究では実験のデータとして睡眠時間から入眠時刻を取得して、布団に入った時間と実際に寝入った時間の差を求める。

## 3 提案手法

### 3.1 提案システム

提案システムは、ユーザーが就寝時にアプリケーションを使用して胎内音を再生することで、リラックスできる環境を作り出し、マインドフルネスを用いることによってスムーズに入眠できるよう促すという原理に基づいている。

本研究では、自作アプリケーションとウェアラブルデバイスのFitbitを使用する。アプリケーションには、胎内音を流す機能、寝るまでに要した時間を計算し保存する機能、データが表示されるカレンダー機能がある。以下のFig. 1にシステム構成図を示す。

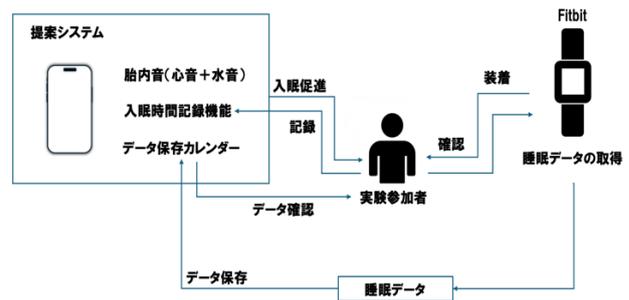


Fig. 1: システム構成図

### 3.2 入眠促進アプリケーション

Swift UIで作成したiPhoneで使用可能なアプリケーションである。機能がいくつか存在するため説明する。

#### ● ホーム画面

ホーム画面では、睡眠計測で得たデータをカレンダーの各日ごとに保存している画面である。まだデータがない場合は、Fig. 2の左側のように「データなし」と表示される。データを入力するとFig. 2の右側のように、「入床時間」、「入眠時間」、「寝付きにかかった時間」の3つが表示されるようになっている。



Fig. 2: アプリケーションのホーム画面

- 胎内音再生画面

本稿の実験で最も重要な胎内環境を再現するため、胎内の擬似音声を再生する画面である。ユーザは胎内音に使用する心臓音を任意で選択できる。Fig. 3 の左の「心臓音を選択」から音声選択へと移ることができる。Fig. 3 の中央を見ると「機械音を選択」と「ボイスメモから選択」がある。ユーザは使用する心臓音をここで選択する。また、「ボイスメモから選択」を選択した場合は、Fig. 3 の右の画面が表示される。iPhone のボイスメモで録音したものをここに保存していれば選択することができる。母親またはユーザの心臓音を使用するときはここから選択することができる。



Fig. 3: アプリケーションの胎内音再生画面

- 時間記録画面

この画面では、本実験の目的である入眠までの時間を早くするというを数字によって可視化する。ユーザには、就寝時と起床時の2回操作を行ってもらう。まず就寝時は、布団に入った際にFig. 4 のベッドに入った時間とその時刻に合わせる。この時、データが失われないように保存ボタンを押してもらい、保存する日付を選択し実行する。次に起床時は、すぐにFitbitで実際に寝始めた時間を確認してFig. 4 のところの時刻を合わせる。これにより、2つの時刻から差を計算したものが寝付くまでにかかった時間となり、ホーム画面に記録される。



Fig. 4: アプリケーションの時間記録画面

## 4 実験

### 4.1 実験目的

本実験では、入眠促進アプリケーションの「機械心臓音を使用した場合」、「母親の心臓音を使用した場合」、「自分の心臓音を使用した場合」の比較実験を行い、「胎内環境を擬似的に再現することで入眠を促すことができたか」、「最も効果の高かった心臓音はどの音であったのか」の2つを調査することが目的である。

### 4.2 実験条件

- 入眠が促進されたと判断する定義  
実験参加者には実験期間中に毎日睡眠までかかった時間をアプリケーション内に保存してもらっている。そのデータから「音なし」の時間と心臓音を用いた胎内音を流した際の時間を比較し、睡眠にかかる時間が短くなっていると判断できるかどうかで評価する。

- 実験参加者

19~20歳の大学生12名（男性9名、女性3名）

- 実験期間

実験参加者に依って順序は異なるが、以下の中から3週間の実験を行なってもらう（「自分の心臓音」、「母親の心臓音」は指定されたどちらか一方で行なう）。

- ・音なしを1週間
- ・胎内音に「機械音」を使用して1週間
- ・胎内音に「自分の心臓音」を使用して1週間
- ・胎内音に「母親の心臓音」を使用して1週間

### 4.3 実験方法

- 実験参加者の流れ

実験参加者には各6人の2つのグループに分かれてもらい、それぞれを母グループと自分グループとする。その各グループ内でクロスオーバー実験を行なってもらう。これには、実験参加者のグループ並びに実験順序を全て異なるものにする事で、実験の順番による影響を防ぐ意味がある。実験の全日程の終了後は参加者全員にアンケートの回答をしてもらい、どの心臓音を用いて胎内環境を再現した時が最も入眠促進に効果的であったのかなどを調査する。

## 5 結果

- 「最も効果の高かった心臓音はどの音であったのか」について

実験全日程終了後に行なったアンケートで、本稿の実験で使用した入眠促進アプリケーションで就寝時に流した心臓音の中で「どの音がよかったか」という簡単な質問を行なった。その結果、実験参加者の50%が「機械心臓音を使用した場合」がよかったと回答している。次いで「母親の心臓音を使用した場合」が41.7%となっており、「自分の心臓音を使用した場合」が8.3%で最も低い結果となった。

次に、入眠促進アプリケーションの記録画面から得られた心臓音別の入眠するまでにかかった時間の平均を Fig. 5 のグラフに示す。

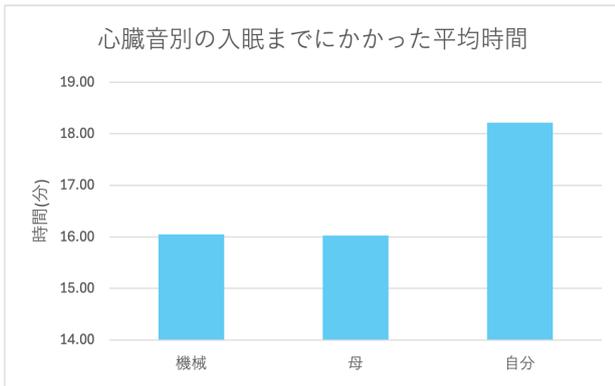


Fig. 5: 心臓音別の入眠までにかかった平均時間

Fig. 5 のグラフから、心臓音別の入眠までにかかった平均時間は「機械心臓音」が 16.05 分、「母親の心臓音」が 16.02 分、「自分の心臓音」が 18.21 分であった。これらの結果から、「母親の心臓音」と「機械心臓音」はほぼ同程度の入眠促進効果を持つ一方で、「自分の心臓音」はやや入眠までの時間が長いことが確認された。先ほどのアンケート結果と比較してみると、実験参加者のアンケートでは最も効果が低いとされていた「母親の心臓音」の平均時間が最も短い結果となった。次いで僅差で「機械心臓音」が 2 番目で、「自分の心臓音」が入眠までにかかった平均時間が最も長い結果となった。

最後に心臓音別の統計データを Fig. 6 に示す。

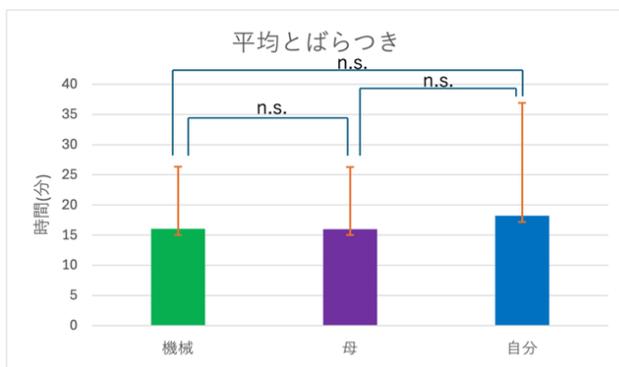


Fig.6:心臓音別の平均とばらつき

Fig. 6 より、平均に比べてのばらつきの値が「自分の心臓音」の時にかなり大きくなっており、結果が安定していない。また、分散分析 (ANOVA) の結果、心臓音別の入眠時間に統計的に有意な差は認められなかった ( $F=0.942, p=0.394$ )。また、事後検定 (Tukey HSD) を行なったが、いずれの群間でも有意な差は確認され

なかった ( $p>0.05$ )。よって、心臓音の種類が入眠時間に大きな影響を与えるとは言えないことが示唆された。

一方、アンケート結果では「母親の心臓音」の支持率は最低の結果となっていますが、データ上では「母親の心臓音」は多くの参加者には好みとして強く支持されなくても、全体として安定した効果を発揮している可能性が高い結果となった。特に、Fig. 6 の結果からも「母親の心臓音」はばらつきが小さいことから、どの参加者においても一定の効果を発揮しやすい音であることが示唆された。このような安定性が、実験結果の中で「母親の心臓音」を有効とする判断を裏付けている。

- 「胎内環境を擬似的に再現することで入眠を促すことができたか」について  
母グループ内全体の音ごとの平均を Fig. 7 に示す。

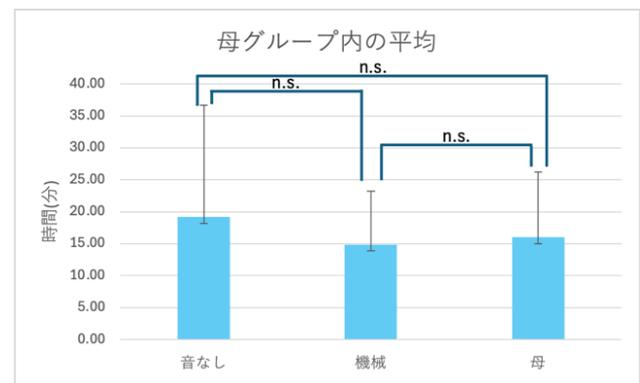


Fig. 7: 母グループ内全体の音ごとの平均

Fig. 7 より、母グループ内全体では「機械心臓音を使用した場合」が最も入眠までにかかった平均時間が短い結果となった。また、次に入眠までにかかった平均時間が短いのは「母親の心臓音を使用した場合」という結果になっており、母グループ内において「胎内環境を擬似的に再現することで入眠を促すことができたか」については促すことができた。

一方で、分散分析 (ANOVA) を実施したところ 3 群間で統計的に有意な差は認められなかった ( $F=0.765, p=0.469$ )。さらに、事後検定 (Tukey HSD) を行なったが、いずれの群間でも有意差は確認されなかった ( $p>0.05$ )。これらの結果から、「機械心臓音を使用した場合」や「母親の心臓音を使用した場合」、「音なしの場合」の条件が入眠時間に顕著な影響を及ぼすとは言えないことが示唆された。

次に、自分グループ内全体の音ごとの平均を Fig. 8 に示す。Fig. 8 より、自分グループ内全体では「音なしの場合」が最も入眠までにかかった平均時間が短い結果となった。また、次に入眠までにかかった平均時間

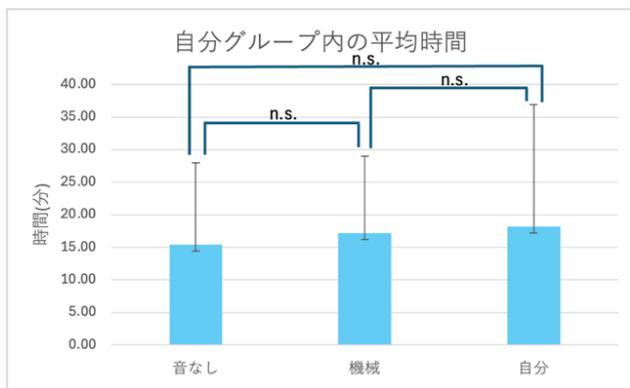


Fig. 8: 自分グループ内全体の音ごとの平均

が短いのは「機械の心臓音を使用した場合」、最後に「自分の心臓音を使用した場合」という結果になっており、自分グループ内において「胎内環境を擬似的に再現することで入眠を促すことができたか」については全く促すことができなかった。

また、「音なしの場合」、「機械の心臓音を使用した場合」、「自分の心臓音を使用した場合」の条件での入眠時間を比較するため、分散分析(ANOVA)を実施した。その結果、3群間で統計的に有意な差は認められなかった( $F=1.24, p=0.29$ )。さらに、事後検定(Tukey HSD)を行なったが、いずれの群間でも有意差は確認されなかった( $p>0.05$ )。この結果から、無音や異なる心臓音が入眠時間に及ぼす影響は顕著ではないことが示唆された。

## 6 考察

- 「最も効果の高かった心臓音はどの音であったのか」について

実験終了後に行なったアンケートの結果から、実験参加者が思う最も効果が高かった心臓音は「機械心臓音」であった。その理由を尋ねると、「機械心臓音は一定のリズムで鼓動がなるので気分がよかった」、「機械心臓音以外は雑音が酷くて眠りにくかった」というような意見が多かった。また、実験参加者の意見にもあったが雑音で集中できなかった人も数名確認された。特に自分で録音した「母親の心臓音」や「自分の心臓音」に対して、このような意見が多く上がった。これは、実験参加者に録音してもらった際に服が擦る音や周りの音などの雑音が入ってしまい、綺麗な心臓音にならなかったことが原因であると考えられる。

次に、アプリケーションで記録した実験参加者ごとのデータから、心臓音別に入眠までにかかった平均時間は「機械心臓音」が16.05分、「母親の心臓音」が16.02分、「自分の心臓音」が18.21分であった。ここで先ほどのアンケートの結果と比較してみると、実験参加者のアンケートでは雑音が混ざっていたりして最も効果が低いとされていた「母親の心臓音」の平均時

間が最も短い結果となった。次いで「機械心臓音」、「自分の心臓音」の順で続き、アンケートとは全く一致しない結果であった。これらの原因としては、実験全日程終了後にアンケートを実施したことにより、1~2週目の記憶が曖昧であったことで参加者の認識と実際のデータが乖離したのではないかと考える。

- 「胎内環境を擬似的に再現することで入眠を促すことができたか」について

本稿の実験において、母グループと自分グループの実験参加者に心臓音別に入眠までにかかった平均時間を比較した結果、それぞれで異なる傾向が見られた点が特徴的である。まず、母グループ内では「機械心臓音を使用した場合」が最も入眠までの平均時間が短く、次に「母親の心臓音」が続いた。この結果は、胎内環境の再現が入眠を促す可能性を示唆していると考えられる。一方で、個々の実験参加者間では心臓音別の効果にはばらつきがあり、一定の傾向が見出せなかったことから、参加者個人の特性や心理的要因が本稿の実験結果に影響を与えている可能性が考えられる。

一方、自分グループでは「音なしの場合」が最も入眠時間が短く、次いで「機械心臓音」、「自分の心臓音」の順となった。この結果は、自分の心臓音が入眠を促進するどころか、むしろ逆効果となったことを示唆していると考えられる。これは、自分自身の心音が過度な意識を生み出し、リラックスを妨げた可能性や、自身の心音に対する心理的な抵抗感が影響した可能性が考えられる。また、「音なし」の状態が最も効果的であったことは、環境音や刺激が少ない方が自分グループの実験参加者にとっては入眠を促進しやすい環境であることを示していると考えられる。

全体として、心臓音を利用した胎内環境の再現が入眠を促す効果を示す結果もある一方で、グループ間や実験参加者個人間で結果が大きく異なることから、一律に心臓音が有効であるとは言い難いと考えられる。このことから、心臓音が入眠に与える影響は個人差が大きく、心理的・生理的要因を考慮した適応的な音響環境の構築が必要であると考えられる。また、心臓音以外の要因(例えば、光、温度、その他の環境音)についても並行して検討することで、より効果的な入眠支援方法を探るべきであると考えられる<sup>15)</sup>。

## 7 おわりに

本稿では、布団に入ってからできるだけ早く入眠できるようにすべく、胎内環境を擬似的に再現できる睡眠促進アプリケーションを作成した。また、機械の心臓音、母親の心臓音、自分の心臓音を制御変数として、提案アプリの入眠促進効果の検証実験によって試みた。

実験結果では、心臓音を用いた胎内環境の再現が入眠促進に一定の効果を示す可能性がある一方、個人差やグループ間でのばらつきが確認された。特に、母グ

グループでは「機械心臓音」や「母親の心臓音」が効果的であった一方、自分グループでは「音なし」の状態が最も有効である結果となり、心臓音が一律に有効であるとは言い難いことが示された。

また、本実験ではいくつかの反省点が浮き彫りとなった。まず、録音時に雑音が混入したことが心臓音の効果に影響を与えた可能性が指摘される。特に、母親や自分の心臓音を録音する際に服の擦れる音や周囲の環境音が含まれてしまい、純粋な心音として利用できなかった点が問題である。このため、録音環境を統一し、雑音を排除する工夫が必要である。また、アンケート結果と入眠時間データの乖離が見られた点も課題として挙げられる。この乖離は、実験終了後にアンケートを実施したことによって記憶が曖昧になり、参加者の主観的評価と客観的データの一致性が低下したことが主な要因と考えられる。この問題を改善するために、対策を講じる必要がある。まず、リアルタイムでのデータ収集を行なう仕組みを導入することが挙げられる。具体的には、入眠中のデータを連続的に記録できるセンサーやアプリを活用することで、客観的なデータの精度を向上させることが可能である。次に、参加者の主観的評価をリアルタイムで取得するための手段を設けるべきである。例えば、起床直後に簡単に回答できるアンケートをアプリ上で提示することで、記憶が鮮明な状態でフィードバックを得ることができる。最後に、これらのリアルタイムデータを統合し、主観データと客観データを同時刻で対応付けることで、乖離の定量的な分析を行なうシステムを構築する必要がある。これらの改善策により、主観的評価と客観的データの一致性を向上させ、より信頼性の高いデータ分析が可能になるとなり、データの乖離を減らすことができる。

さらに、実験参加者個人による心理的・生理的要因の違いが心臓音の効果に大きな影響を及ぼしており、結果にばらつきが生じた。これを踏まえると、統一的な効果を求めるのではなく、個別に適応可能な音響環境を構築することが重要である。また、心臓音だけでなく、光、温度、その他の環境音など、他の要因との相互作用を検討する必要がある。例えば、胎内環境の再現を試みる場合には、複数の要素を組み合わせることで、より効果的な入眠支援方法を探ることが可能となる。

加えて、本稿の実験のデータ収集期間が各1週間ずつと比較的短期間であったため、長期的な評価が十分に行なわれなかった点も課題である。短期間では見えない傾向や効果の持続性を検証するために、長期的な追跡調査を実施し、音響環境の効果をより深く分析する必要がある。これらの課題を克服することで、心理的・生理的要因に基づいた包括的な入眠支援手法の確立が期待される。

## 参考文献

- 1) 株式会社かんでん CS フォーラム: 寝つきの悪さについて(2010年の調査より) [https://www.kcsf.co.jp/wp-content/themes/kcsf2015042401/resources/market-ing/pdf/1203\\_a.pdf](https://www.kcsf.co.jp/wp-content/themes/kcsf2015042401/resources/market-ing/pdf/1203_a.pdf)
- 2) 久野和宏, 林顕效, 池谷和夫, 三品善昭: 睡眠中の音環境の実態とその分析, 日本音響学会誌, 37巻, 9号, pp.430-436 (1981)
- 3) Yasutaka Osada: Effects of Noise on Sleep, *The Journal of the INCE of Japan*, Volume 9, Issue 5, pp.248-253 (1985)
- 4) 長野和雄, 松原斎樹, 藏澄美仁, 鳴海大典: 環境音による複合環境の快適性向上の可能性と限界について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.761-762 (1997)
- 5) テクセル SAINT: 音のマスクングとは? 概要や効果, 使用する場面などを知ろう <https://teccell.co.jp/saint/column/sound-masking/>
- 6) 藤智亮, 勝田啓亮, 坂田智海, 立石憲治: 音の刺激が新生児に及ぼす鎮静効果, 日本生理人類学会誌, Vol.18, No.4, pp.181-186 (2013)
- 7) 藤田史恵: 1ヶ月児の夜間睡眠に影響を与える要因に関する研究, 久留米医学会誌, 78(1), pp.20-29 (2015)
- 8) 原修一, 河野靖美, 松田沙織, 内勢美絵子, 柏田圭一: 心臓拍動音の精神的安定に対する心理学的・音響学的効果, *Journal of Kyushu University of Health and Welfare*, 17, pp.89-96 (2016)
- 9) 健康経営 DS マガジン: マインドフルネスとは? <https://hr.ds-b.jp/what-is-mindfulness/>
- 10) 藤田一照: 「日本のマインドフルネス」へ向かって, 人間福祉学研究, 7巻, 1号, pp.13-27 (2014)
- 11) 越川房子: 日本の心理臨床におけるマインドフルネス—これまでとこれから—, 人間福祉学研究, 7巻, 1号, pp.47-62 (2014)
- 12) 杉浦義典: マインドフルネスにみる情動制御と心理的治療の研究の新しい方向性, *The Japanese Journal of Research on Emotions*, Vol.16, No.2, pp.167-177 (2008)
- 13) 林紀行: マインドフルネスとエビデンス, 人間福祉学研究, 7巻, 1号, pp.63-79 (2014)
- 14) 井上ウィマラ: マインドフルネスとスピリチュアリティ, 人間福祉学研究, 7巻, 1号, pp.29-45 (2014)
- 15) 長野和雄, 松原斎樹, 藏澄美仁, 鳴海大典: 環境音による快適性評価の向上の可能性と限界に関する一考察: 音・熱・光の複合環境を通して, 日本建築学会計画系論文集, 63巻, 505号, pp.45-50 (1998)