

博士論文

音楽の周波数特性が自律神経活動に与える影響

東北大学大学院医学系研究科医科学専攻

機能医科学講座

肢体不自由学分野

中島 淑恵

目 次

1. 要 旨	・ ・ ・ 1
2. 研究背景	・ ・ ・ 5
3. 研究目的	・ ・ ・ 8
4. 研究方法	
1) 対 象	・ ・ ・ 8
2) 評価指標	
(1) 心理的評価 音楽の印象評価	・ ・ ・ 9
(2) 自律神経活動の評価	・ ・ ・ 9
3) 音楽の加工	・ ・ ・ 10
4) 実験手順	・ ・ ・ 11
5) 統計解析	・ ・ ・ 13
6) 倫理的配慮	・ ・ ・ 14
5. 研究結果	
1) 被験者の属性	・ ・ ・ 14
2) 音楽の印象	・ ・ ・ 15
3) HRV	
(1) 課題条件と音楽刺激の検定	・ ・ ・ 16
(2) ストレス回復比	・ ・ ・ 17
6. 考 察	・ ・ ・ 18
7. 結 論	・ ・ ・ 32
謝 辞	・ ・ ・ 32
8. 文 献	・ ・ ・ 33

9. 図

図 1	SD 法 質問紙	・ ・ ・ i
図 2	音楽刺激のスペクトラム分析	・ ・ ・ ii
図 3	実験パラダイム	・ ・ ・ iii
図 4	結果 3 つの音楽刺激を聴取した印象の評価(SD 法)	・ ・ ・ iv
図 5	結果 ストレス回復比 (HF)	・ ・ ・ v
図 6	結果 ストレス回復比 (HFnu)	・ ・ ・ vi
図 7	結果 ストレス回復比 (LF/HF)	・ ・ ・ vii
図 8	結果 ストレス回復比 (LF)	・ ・ ・ viii
図 9	結果 ストレス回復比 (LFnu)	・ ・ ・ ix
図 10	結果 ストレス回復比 (HR)	・ ・ ・ x

10. 表

表 1	結果 聴取課題および音楽刺激の HRV 指標と GEE	・ ・ ・ xi
-----	-----------------------------	----------

1. 要旨

1) 目的

本研究では、周波数特性のある音楽には、ストレスを回復する過程を修飾する効果があるかどうか、自律神経系の活動を評価指標に調査を行った。音楽刺激は原曲と、原曲の印象が変化しない程度に高周波帯域を増幅した加工音楽（高増）、原曲の印象が変化しない程度に低周波帯域を増幅した加工音楽（低増）とした。この3つの音楽刺激を聴取することにより、自律神経系の活動は変化するか、心拍変動（heart rate variability; HRV）を計測して検討した。音楽刺激がストレス回復を修飾する効果は、副交感神経系の活動増加、あるいは、交感神経系の活動減少により評価した。

2) 方法

研究の対象者は、自律神経系、心臓血管系、内分泌系の既往歴および喫煙歴がなく、音楽の専門的訓練の経験がない、21歳から22歳の健康な女子大学生12名とした。実験は、月経周期のホルモンバランスが自律神経系の活動に影響を与える可能性がある月経期および排卵期を避けて実施した。

聴取課題は、90秒の白色雑音（white noise; WN）、90秒の黒板摩擦音（stressful noise; SN）を順に聴取した後、224秒の音楽刺激（music stimulation; MS）を聴取した。3つの音楽刺激（原曲、高増、低増）の提示順番は、カウンターバランスを取り、被験者に聴取させた。HRVの計測は、実験開始時より心電図を連続して計測した。計測した波形は、Memcalc法でリアルタイムに自律神経系の活動を分析するソフトを使用し、解析した。

統計解析はSPSS ver.19（IBM社、米国）を使用し、有意水準は0.05とした。3つの音楽刺激は、SD法（semantic differential method）を用いた質問紙により、14項

目の印象を 7 段階で評価した。音楽刺激毎の印象を得点化し、Friedman 検定を用いて 3 つの課題の印象を比較した。

HRV の解析では、心拍数 (HR)、HF、HFnu、LF/HF、LF、LFnu を自律神経系の活動として評価し、一般化推定方程式 (generalized estimating equation; GEE) を用いて、聴取課題および音楽刺激による変化を分析した。

また、音楽刺激において加工した高増および低増の課題を聴取したときに自律神経系に異なる影響を与えたかどうかについて、WN から SN の値を減算した値で、MS から SN の値を減算した値を除した比を算出しストレス回復比として評価した。ストレス回復比の解析には、原曲、高増、低増で得られた値について Friedman 検定を行った後、Wilcoxon 検定により加工した 2 つの音楽である高増と低増の値を比較した。

3) 結果

音楽刺激 (原曲、高増、低増) を聴取したことによる印象は、SD 法を用いて評価を行ったが、14 項目全てにおいて 3 つの刺激の印象に有意な変化を認めなかった。

GEE を用いた HRV の評価では 5 つの結果を得た。3 つの聴取課題 (WN、SN、MS) による有意な変化は、HF、HFnu、LF/HF、LF、LFnu において認められたが、HR では認められなかった。3 つの音楽刺激による有意な変化は、HFnu において認められたが、それ以外の指標では認められなかった。聴取課題と音楽刺激における有意な交互作用は、HR に認められたが、それ以外の指標では認められなかった。音楽刺激はカウンターバランスをとり被験者毎に提示順番を割付けたが、LF において順序効果が認められ、1 回目、3 回目、2 回目の順で数値が高かった。実験する日程は女性被験者の月経周期を考慮したが、黄体期より卵胞期において、HR は有意に高い値を示した。

ストレス回復比は、聴取課題において有意な変化を認めた HF、HFnu、LF/HF、LF、LFnu の 5 つの指標において算出した。HR は、聴取課題による有意な変化が認められなかったが、交互作用においては有意だったため、参考値として算出した。その結果、HF と HFnu において、高増を聴取したときは、低増を聴取したときよりも、有意に高い値を示した。

4) 考察

聴覚的なストレス刺激を受けた後に、回復効果を修飾しより高いリラクセーションを得るには、音楽の低周波帯域を増幅するよりも、高周波帯域を増幅した音楽を聴取することが適しているとわかった。本研究における音楽刺激は、同一の音楽を用いており、聴取した際の印象においても差がなかった。よって、音楽の周波数特性は、嗜好や快・不快などの情動変化とは独立したメカニズムを介して、自律神経系の活動に影響を及ぼす可能性があると考えた。また、黒板摩擦音は、3 kHz から 5 kHz 周辺の周波数帯域を多く含む特性を持っていた。それは、音楽刺激課題の高増において加工した周波数帯域の範疇だった。しかし、黒板摩擦音と音楽刺激である高増は、聴取することによって自律神経系に異なる影響を与えた。音楽には、幅広い周波数成分をもつため、高周波帯域の成分が多くなってもストレス負荷とならず、ストレス回復を助長させる効果があることが検証できた。

HRV 指標を GEE で解析した結果、女性被験者の月経周期による影響や、課題提示の順序効果などの影響について分析できたが、自律神経系の活動における有意な交互作用は確認できなかった。そこで、GEE の解析で、音楽刺激により有意な変化を示した副交感神経活動は、ストレス回復を修復する効果があるか、ストレス回復比を算出した。本研究では、HRV 指標の個人データに差が大きかったこと、被験者が少数

の女性のみだったこと、実験条件や音楽課題の偏りがあったことなどに起因して、周波数特性がある音楽のストレス回復修飾効果を分析するには限界があった。よって、今後は被験者数を増やし、課題音楽においても、原曲の拍子や速度などの異なる特徴を持つ2以上の音楽を用いて、自律神経活動にどのような影響が生じるかを検証する必要がある。しかしながら、音楽の周波数特性が自律神経系の活動に影響を及ぼす可能性を明らかにした本研究の結果は、基礎データとして意義あるものであったと考えられる。また、本研究の対象は健常若年者であるため、聴覚特性が異なる高齢者や難聴者に本研究の知見をそのまま当てはめて考えることはできない。ただし、高齢者や難聴者に対しても聴覚特性を考慮して適切な周波数帯域や増幅量を選択することができれば、健常若年者と同様にストレス緩和効果を得ることが可能ではないかと考える。

5) 結論

本研究により、高周波帯域を増幅した音楽を聴取することは、低周波帯域を増幅した音楽を聴取するより、副交感神経系の活動が増加し、ストレス回復期の修飾効果が期待できる可能性があることが示唆された。

(2,509 文字)

2. 研究背景

長期にわたりリハビリテーション（以下リハビリ）が必要な疾患の多くは、予防、急性期治療、回復期医療や介護と、包括的で横断的なグローバルヘルスケアが求められている。なかでも、脳血管疾患はその代表的疾患といえる。平成 23 年度における脳血管疾患罹患者数は 123 万人で、年々減少しているが、要介護度別の中等度以上の原因疾病の第 1 位であり、傷病別平均在院日数も長期化しやすい特徴をもつ。慢性的な軌跡の経過において、患者が疼痛や不安、精神的緊張によりストレス過多の状態になると、生活の再構築に関連する行動が妨げられ¹⁾、QOL が低下するだけでなく、リハビリの効果も十分得ることができなくなる。そのため、長期的なリハビリが必要な患者は、ストレスマネジメントを含むセルフケアの獲得が必要となる。

身体的なリハビリを継続する患者には、ストレス反応を軽減する方法の一つとして、リラクセーションに関するセルフケアを習得することが推奨される。リラクセーション反応とは、静かな環境でくつろいだ姿勢をとり、閉眼し、反復した精神活動を行い、雑念を無視すると得られる、一連の統合された生理学的変化を指す²⁾。抗不安薬や鎮静薬などの薬剤によってもストレス状態を緩和することは可能であるが、眠気や脱力など副作用を伴いやすい。したがって、特にリハビリを必要とする患者のストレス状態を緩和するには、薬物療法は必要最小限にとどめることが望まれる。そこで、非薬物療法に関するストレス効果を検証した研究がいくつかある。ユーモアのある感覚刺激は、うつ状態を改善しモチベーションを高める効果があるとされる。しかし、長期的な効果は期待できないうえ、気分誘導の格差が大きい³⁾。また、漸進的筋弛緩法、自律訓練法、呼吸法などのリラクセーション・トレーニングもリラクセーション反応を促進する効果的な方法とされている。しかし、これらのリラクセーション法は、参

加者がインストラクターの指導を受け、トレーニングを適切な方法で実施するため、習熟度により効果が異なることがある。これに対して、音楽療法⁴⁾では、参加者に事前準備を強いることなく受動的に音楽を鑑賞させるだけで、参加者をリラクセーション状態にすることが可能であるとされ、鎮静的な音楽はリラクセーション反応が得られやすい。また、鎮静的な音楽でなくても好みの音楽であればストレス状態を緩和できることがある⁵⁾。そして、音楽の主観的な印象や好みは個人によって異なるため、同じ音楽を聴取した場合であっても、情動の変化やリラクセーション反応の程度には個人差があることがわかっている⁶⁾。しかし、慢性期患者に音楽を用いることによりストレスが緩和できること⁷⁾や、早期脳卒中患者のネガティブな気分を改善し、早期リハビリに音楽を取り入れることで、運動や認知機能を改善する効果がある⁸⁾ことなどがわかっている。

音楽を聴取することによって引き起こされるリラクセーション反応は、音楽の構成要素の影響を受けることがわかっている。しかし、様々な患者を対象とした音楽療法の効果に関するシステマティックレビューでは、音楽を介入課題として提示する際の方法が統一化されていないことが指摘されている。課題提示における条件や、課題に用いる音楽のジャンルが統一されていないことより、これまで行われてきた多くの研究成果は、系統的に比較検討されず、効果の一般化やストラテジーの構築を妨げている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。音楽を聴取する際に、音高、音量、速度、調性は、音楽の印象を変える要因となり、感情の変化に影響するとされる¹²⁾。しかし、楽音の物理的要素である周波数成分については、リラクセーション反応に及ぼす影響に関して十分に検討されていない。そこで、音楽を構成する要素の特性を客観的な基準によって明示できれば、療法としてのガイドラインを確立化でき、音楽によって得られる効果の再現性が向上

し、非薬物療法としての有用性も高くなる可能性がある。

音楽の構成要素である周波数成分は、その高低によって、副交感神経活動に影響を与える可能性がある。音楽は、単一の周波数成分から成る純音を複数含む複合音で構成されている。そして、音楽の複合音は楽音 (musical sound) と呼ばれる¹³⁾。周波数の情報を処理する器官は蝸牛であり、内部にある基底膜には周波数分析機能がある。ヒトの可聴周波数帯域は 20Hz から 20,000Hz とされ¹⁴⁾、1,000Hz から 5,000Hz の範囲で最も感度が良いとされる¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。また、蝸牛は自律神経の支配を受けており、90dB のホワイトノイズをラットに 1 時間暴露すると、蝸牛内のノルエピネフリン濃度が減少する、と報告されている¹⁸⁾。また、ラットに 4 kHz から 16 kHz の周波数帯域を増幅した音楽を提示すると、ドーパミンの合成が促進し、血圧の降下作用をはじめとした交感神経系の活動を抑制する、と報告されている¹⁹⁾²⁰⁾。ラットの可聴周波数帯域は 0.1Hz から 70,000Hz 程度とされており、ヒトとは聴覚特性も異なるので、ラットで得られた知見がそのままヒトに当てはまるとは言えないが、楽音の周波数成分が自律神経系の活動に影響を与える可能性が存在すると考えられる。

リラクセーション反応は、自律神経系 (autonomic nerve system; ANS) の活動を計測することによって評価することが可能である。自律神経系は、交感神経系 (sympathetic nervous system; SNS) と副交感神経系 (parasympathetic nervous system; PNS) で構成されている。そして、リラクセーション反応が起こると交感神経活動は低下する²¹⁾、もしくは、副交感神経活動は増加する²²⁾ことがわかっている。自律神経系の活動における生理学的指標は、心拍変動 (heart rate variability; HRV)、皮膚電気反応 (skin conductance response)、血圧、心拍数、呼吸数などが挙げられる。これらのうち、HRV は時間分解能が数十秒で、連続測定が可能であるという利

点を有する。すなわち、音楽鑑賞によるリラクセーション反応は数分で得ることができるとされるため、その評価指標には HRV が適している。本研究では、聴覚的なストレス刺激を与えた後に音楽を聴取する手順をとり、自律神経活動と音楽刺激課題によるリラクセーション反応について調査し、ストレス状態やリラクセーション反応にどのように影響するか、HRV を計測し、明らかにしたいと考えた。

3. 研究目的

本研究の目的は、聴覚的ストレス刺激を受けた後に、周波数特性が異なる音楽を聴取することによって、自律神経系の活動に異なる影響を与えるかどうかについて HRV を測定して明らかにすることである。

実験仮説は、課題として用いた音楽の印象が変化しない程度に高周波帯域の増幅加工を施した音楽（高増）は、原曲の印象が変化しない程度に低周波帯域の増幅加工を施した音楽（低増）に比べて、ストレス応答の回復期が修飾される、として、加工音楽がリラクセーション効果に与える影響を検証することとした。

4. 研究方法

1) 対象

被験者は、公募年齢区分を 20 歳から 40 歳とし、自律神経系、心臓血管系、内分泌系の疾患の既往歴があるもの、喫煙歴があるもの、音楽の専門的訓練の経験があるもの、以上 3 項目を除外基準として募集した。参加者には、実験前日にはアルコール摂取を避け、十分な睡眠をとり、実験当日はカフェインの摂取しないように指示した。また、月経周期は自律神経系の活動に影響するため、実験日は月経期間および排卵期を避けるよう調整した。

2) 評価指標

(1) 心理的評価（音楽の印象評価）

音楽の印象は SD 法（semantic differential method）²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾を用いて評価した。評価する項目は 14 項目とし、「大きいー小さい」、「美しいー汚い」、「澄んだー濁った」、「かたいーやわらかい」、「鋭いー鈍い」、「強いー弱い」、「深みのあるー金属製の」、「うるさいーうるさくない」、「穏やかなー荒々しい」、「快いー不快な」、「迫力のあるーものたりない」、「好ましいー好ましくない」、「甲高いー落ち着いた」、および「やかましいー静かな」における印象を 7 段階で評価させた²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾。本研究で用いた SD 法による印象の評価についての質問紙は図 1 に示した。質問紙には、対義語を左右両端に配置し、両端を結ぶ線分上に 1 から 7 までの目盛を配列した。被験者には、各課題を聴取した直後にあてはまる段階の数値をマークするように教示し、マークされた数値を評価して、3 つの音楽刺激を聴取した際の印象を比較した。

(2) 自律神経活動の評価（心拍変動 Heart rate variability; HRV）

心電図（Electrocardiogram; ECG）波形を周波数分析し、HRV を解析した。ECG 波形はメモリー心拍計（LRR-03, Arm Electronics 社）を用いた。解析には、最大エントロピー法によるスペクトル解析がリアルタイムに行える Memcalc/Tarawa（諏訪トラスト社）を用いた。このソフトでは、4 拍の R-R 間隔からなるパルス時系列から心拍スペクトルパワー（ms²）を算出し、0.04 Hz 以下の非常に低い周波数成分（Very low frequency; VLF）、0.04~0.15Hz の低周波成分（Low frequency; LF）と、0.15~0.40Hz の高周波成分（High frequency; HF）に分けて分析できる。サンプリング周波数は、250Hz に設定した。

VLF 成分は、血管運動活動、レニン・アンジオテンシン系、そして体温調節を反

映し、不整脈死の予測指標になり得る可能性がある³¹⁾といわれている。VLF は、自律神経系の活動だけでなく他の神経活動も反映するため、本研究の評価指標として用いなかった。LF 成分は、収縮期血圧に 0.1Hz の周期でみられる Mayer 波に対応する。これは、頸動脈洞にある圧受容体を介して遠心路系である心臓迷走神経または交感神経に働きかけ、洞結節からの律動を抑制する。よって、LF 成分は心臓迷走神経系と心臓血管交感神経系の両方の活動を反映する。HF 成分は、迷走神経系である心臓副交感神経活動を反映する³²⁾。また、HF 成分は、呼吸中枢の作用に対応するといわれている。呼気が 1 分間に 9 回程度の時に、吸気時に肺圧受容体が伸展することによって反射的に呼吸中枢に作用し、心臓迷走神経活動が抑制され、洞結節の活動を調節する³²⁾。よって、HF の指標には呼吸回数が影響するため、HRV を計測する際は注意が必要とされている。そこで、本研究では、一般的な呼吸条件設定と同様に、被験者の最大呼吸間隔が 7 秒未満、呼吸数が毎分 9 回以下、毎分 24 回以上の頻呼吸が認められた場合は実験を中止する基準を設けた。

本研究では心拍数 (heart rate; HR) と以下の指標の変動について分析を行った。HR は、交感神経活動および副交感神経活動の指標となり、HR の増加が交感神経活動の増加、HR の減少が副交感神経活動の増加とした。副交感神経活動の指標は、HF、および、HF と LF を加算した値で HF を除算した値 (HF nu) を用いた。交感神経活動の指標は、HF と LF を加算した値で LF を除算した値 (LF nu) と LF/HF を用いた。自律神経活動の全活動の総和は、LF、および、HF と LF を加算した値で LF を除算した値 (LF nu) を用いた。

3) 音楽の加工

課題の曲はホルン協奏曲第 2 番変ホ長調第 3 楽章 (Wolfgang Amadeus Mozart

作曲 K.417) とし、被験者として公募した 20 歳代から 40 歳の年齢層に聴き馴染みがない音楽であることを確認した。課題に選定した楽曲は、224 秒の長さで、音楽の速度が 84 bpm、テンポ・ルバートなどのない一定速度で演奏された音楽だった。課題の音楽に含まれる周波数を加工するために、音楽ソフト (Singer Song Writer 8.0 VS for Windows, インターネット社) を使用した。このソフトの加工周波数範囲は、0.25 kHz から 16 kHz で、加工音圧程度は、指定周波数帯域を 12dB の範囲で増減し、0.25 倍から 4 倍に増幅することができる。

本研究では、音楽刺激課題の高増および低増は次の方法で加工した。まず、音楽刺激の高増における高周波帯域の加工範囲は、3.5 kHz 以上の音域を 6 dB 程度 (2 倍) 増幅した。音楽データのスペクトラム分析は図 2 に示した。その理由は、3.5 kHz から 4 kHz の周波数帯域は、低い周波数音より聴覚応答が早い³³⁾ため、音楽刺激課題を聴取したことによる自律神経活動の変化が反映されと考え、3.5 kHz 以上の音域を増幅した。次に、音楽刺激の低増における低周波帯域の加工範囲は、原曲の印象を保持できるように音域の中心帯域となる 0.5 Hz から 0.8 kHz は加工せず、0.5 Hz 以下の低・中音域の周波数帯域を 12dB 程度 (4 倍) 増幅した (図 2)。

4) 実験手順

実験環境は室温 24°C に設定した。環境音は、50dB 以下に保つように、計測騒音計 (LA-5560, 小野測器社) で測定し、調整した。被験者はリクライニングができる椅子に座り、5 分の安静の後、血圧、体温を測定し、心電図の計測を開始し、体調不良がないことを確認して実験を開始した。

実験パラダイムは図 3 に示した。聴取課題は、90 秒間の白色雑音 (White noise; WN)、続けて 90 秒間の黒板をスクラッチする際に発生する摩擦音を音源とした黒板

摩擦音 (Stressful noise; SN) を聴取させた。その後に音楽刺激 (Music Stimulation; MS) を聴取させた。音楽データの提示には、ポータブルレコーダー (R-09 Roland 社) とヘッドフォン (MDR-CD900ST, SONY 社) を用いた。被験者には、課題を聴取している最中に音量を変更したい場合は、ポータブルレコーダーの音量調節レベル 70 から 80 程度の範囲で自己調節するよう指示した。ヘッドフォンを通して被験者が課題を聴取する音量レベルを想定した状況での音圧レベルは、50 dB から 70 dB の範囲だった。本実験で使用した再生機器の周波数範囲は、ポータブルレコーダーが 20 Hz から 22 kHz、ヘッドフォンが 5 Hz から 30 kHz だった。

聴取課題のなかで提示する音楽刺激は、原曲、高増、低増の 3 種類とした。提示する順番は、被験者毎に無作為に割付け、カウンターバランスをとった。音楽刺激を聴取した後には、SD 法を用いて音楽刺激を聴取したことによる印象を評価した。

実験の手順としては、5 分の安静の後、問診、血圧測定および体温計測を行った。被験者の体調や気分に変化がないことを確認したうえで、心電図を装着し、実験を開始した。

まず、被験者は第 1 聴取課題を実施した。WN、SN、1 回目の MS を聴取し、音楽刺激の印象について SD 法の質問紙に回答した。その後、立ち会った研究者が、被験者に、体調の変化や気分不快がないか問診し、異常がないことを確認した後に、第 2 聴取課題を続けて実施した。被験者は、WN、SN、2 回目の MS を聴取し、SD 法の質問紙に回答した。同様に、研究者が体調の変化や気分不快がないか問診し、被験者に異常がないことを確認した後に、続けて第 3 聴取課題を実施した。被験者は、WN、SN、3 回目 MS を聴取し、SD 法の質問紙に回答した。第 3 聴取課題が終了したところで実験終了とし、心電図のセンサーを外し、付部の皮膚に変化がないことを確認し

た。

実験遂行中の被験者の呼吸数は、研究者が目視で観察、計測した。

5) 統計解析

3つの音楽刺激である原曲、高増、低増を聴取して評価したSD法による印象は、Friedman検定により統計学的に解析した。

HRVのHR、HF、HFnu、LF/HF、LF、LFnuの6つの指標は、聴取課題であるWN、SN、MSと、音楽刺激である原曲、高増、低増における観測値の変化の有意性について、一般化推定方程式 (generalized estimating equations: GEE) を用いて統計学的に解析した。解析には、聴取課題であるWNとSN、そして、MSの時間長を尺度重みづけ関数として加え、作業相関行列を交換とした反復測定を行った。その際に、聴取課題、音楽刺激、音楽刺激提示順番、月経周期を被験者内変数および予測変換の因子とし、主効果、および交互作用について分析した³⁴⁾。

また、Kolmogorov-Smirnov検定によりHRVの各指標は、正規分布に従わなかった。そこで、HRVの各指標のデータは正規分布しない、個人差があるデータであったことを考慮し、高周波および低周波における特定周波数帯域の増強がストレス回復に影響するかどうかについて、統計学的な有意差があるかどうかについて検定した。その検定では、まず、GEEを用いた解析により、WN、SN、MSの聴取課題において、有意な変化を示したHRVの指標は、その課題の影響を受けたと考える。その上で、音楽刺激が高増と低増で異なるときに、ストレスからの回復を修復する効果に違いがあるかを検討した。ストレス回復の程度の算出には、HRVの指標の観測値を、WNからSNで減算し、MSからSNで減算した値で除して、HRV各指標における変化の比率を求めた。これをストレス回復比として用い、音楽刺激である原曲、高増、

低増における変化の有意性について検証した。ストレス回復比の値の解析は、原曲、高増、低増の3つの音楽刺激における値の変化について、Friedman 検定を行い、加工音楽である高増と低増とのストレス回復比の差が有意であるかについて、Wilcoxon 検定を行った。

統計解析ソフトは SPSS ver.19 (IBM 社) を用い、各検定の有意水準は 0.05 とした。

6) 倫理的配慮

本研究は、ヘルシンキ宣言に基づき、順天堂大学看護学部倫理委員会倫理委員会の承認（順看倫第 22-7 号）を受けた後に開始した。被験者には書面及び口頭にて研究の趣旨を十分に説明した上で、個人情報の保護、保有した個人情報および解析データの管理方法、個人情報の匿名化、匿名情報間の連結不可、研究結果の公表、同意をした後にいつでも撤回できること、同意しなかった場合に不利益が生じないことについても説明し、同意を得た。

5. 研究結果

1) 被験者の属性

公募で集まった被験者は、21 歳から 22 歳の健康な女子大学生 12 人で、趣味としてピアノの演奏経験を 9.4 ± 3.8 年有していた。実験時の月経周期は、卵胞期が 5 人、黄体期が 7 人だった。

20 歳代男性、30 歳代女性が各 1 名ずつ被験者に参加したが、性別、年齢により自律神経系への影響が 12 名とは異なると判断し、対象から除外した。

2) 音楽の印象

聴取課題の MS で聴取した 3 つの音楽刺激の 14 項目の印象は、7 段階で評価した得点を算出し、平均値を図 4 に示した。

「大きいー小さい」の項は、原曲が 4.5 点、高増が 4.75 点、低増が 4.5 点、 $p=0.3$ で有意ではなかった。「美しいー汚い」の項は、原曲が 4.92 点、高増が 5.33 点、低増が 5.08 点、 $p=0.3$ で有意ではなかった。「澄んだー濁った」の項は、原曲が 5.08 点、高増が 4.83 点、低増が 5.17 点、 $p=0.63$ で有意ではなかった。「かたいーやわらかい」の項は、原曲が 3.25 点、高増が 3.83 点、低増が 3.08 点、 $p=0.1$ で有意ではなかった。「鋭いー鈍い」の項は、原曲が 4.08 点、高増が 4.42 点、低増が 3.75 点、 $p=0.18$ で有意ではなかった。「強いー弱い」の項は、原曲が 4.75 点、高増が 5.08 点、低増が 4.58 点、 $p=0.06$ で有意ではなかった。「深みのあるー金属製の」の項は、原曲が 4.83 点、高増が 4.58 点、低増が 4.83 点、 $p=0.72$ で有意ではなかった。「うるさいーうるさくない」の項は、原曲が 2.67 点、高増が 3.42 点、低増が 2.75 点、 $p=0.07$ で有意ではなかった。「穏やかなー荒々しい」の項は、原曲が 4.92 点、高増が 4.42 点、低増が 5.0 点、 $p=0.26$ で有意ではなかった。「快いー不快な」の項は、原曲が 5.5 点、高増が 4.92 点、低増が 5.67 点、 $p=0.17$ で有意ではなかった。「迫力のあるーものたりない」の項は、原曲が 4.58 点、高増が 5.17 点、低増が 5.0 点、 $p=0.37$ で有意ではなかった。「好ましいー好ましくない」の項は、原曲が 5.42 点、高増が 5.0 点、低増が 5.42 点、 $p=0.59$ で有意ではなかった。「甲高いー落ち着いた」の項は、原曲が 3.5 点、高増が 3.58 点、低増が 3.0 点、 $p=0.23$ で有意ではなかった。「やかましいー静かな」の項は、原曲が 3.62 点、高増が 3.92 点、低増が 3.58 点、 $p=0.23$ で有意ではなかった。

よって、14 項目の指標は、3 つの音楽刺激課題の間に有意差を認めなかった。

3) HRV

(1) 聴取課題 (WN、SN、MS) と音楽刺激 (原曲、高増、低増) の検定

HRV の各指標である HR、HF、HFnu、LF/HF、LF、LFnu における、聴取課題 (WN、SN、MS) と音楽刺激 (原曲、高増、低増) のデータと、GEE による解析結果である p 値を、聴取課題の主効果、音楽刺激の主効果、聴取課題と音楽刺激の交互作用、音楽刺激の提示順番による主効果、月経周期による主効果について表 1 に示した。

12 名の被験者の呼吸数は、実験中の呼吸条件として設定した、毎分 9 回以下、および、毎分 24 回以上に該当しなかった。

聴取課題による主効果は、HF、HFnu、LF/HF、LF、LFnu が $p < 0.001$ で有意差を認めた。HR は $p = 0.13$ で、有意差を認めなかった。

音楽刺激による主効果は、HFnu が $p < 0.001$ で有意差を認めた。他の HRV 指標では、HR が $p = 0.13$ 、HF が $p = 0.12$ 、LF/HF が $p = 0.74$ 、LF が $p = 0.42$ 、LFnu が $p = 0.98$ で有意差を認めなかった。

聴取課題と音楽刺激による交互作用は、HR が $p = 0.04$ で有意差を認めた。他の HRV 指標では、HF が $p = 0.28$ 、HFnu が $p = 0.68$ 、LF/HF が $p = 0.98$ 、LF が $p = 0.89$ 、LFnu が $p = 0.07$ で有意差を認めなかった。

音楽刺激の順序効果による主効果については、LF において $p = 0.01$ で有意差を認め、音楽刺激の提示順番による影響を受けた。他の HRV 指標では、HR が $p = 0.96$ 、HF が $p = 0.74$ 、LF/HF が $p = 0.69$ 、LF が $p = 0.22$ 、LFnu が $p = 0.37$ で有意差を認めず、音楽刺激の提示順番による影響を受けなかった。有意差を認めた LF では、1 番目に

提示した平均値が 826.27、2 番目 703.7、3 番目 737.3 で、1 番目の課題を遂行中に最も高い値を示した。

月経周期による主効果については、HR が $p=0.03$ で有意差を認め、卵胞期と黄体期による影響を受けていた。他の HRV 指標では、HF が $p=0.18$ 、HFnu が $p=0.1$ 、LF/HF が $p=0.06$ 、LF が $p=0.33$ 、LFnu が $p=0.15$ で有意差を認めず、月経周期による影響を受けていなかった。有意差を認めた HR では、被験者が卵胞期の場合における平均値が 81.55、黄体期が 73.04 で、月経周期が卵胞期にある被験者の方が高い値を示した。

(2) ストレス回復比

GEE を用いた解析により、聴取課題により有意な変化を認めた HF nu、LFnu、LF/HF、LF、HF において、ストレス回復比を算出した。音楽刺激（原曲、高増、低増）により得られた観測値から算出したストレス回復比は、最小値、第 1 四分位点、中央値、第 3 四分位点、最大値を示す箱ひげ図を図 5、図 6、図 7、図 8、図 9 に示した。

また、GEE を用いた解析により、HR は聴取課題と音楽刺激の交互作用において有意だった。しかし、聴取課題による有意差がなかったこと、また、月経周期の影響を受けていなかったことが判明したため、異なる音楽課題によるストレス回復の影響について検討する必要があった。よって、HR におけるストレス回復比についても算出し、検討した。音楽刺激（原曲、高増、低増）により得られた観測値から算出したストレス回復比は、図 10 に示した。

HF nu、LFnu、LF/HF、LF、HF、HR における原曲、高増、低増のストレス回復比は、中央値（四分位数範囲）、高増および低増のストレス回復比の検定結果におけ

る p 値を次に示した。

HF のストレス回復比は、原曲 1.0 (0.57-1.34)、高増 1.41 (1.06-2.69)、低増 1.04 (0.47-1.35) で、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.03$ で、有意差を認めた。

HFnu のストレス回復比は、原曲 1.45 (0.85-2.26)、高増 1.96 (1.06-2.6)、低増 1.07 (0.81-2.07) で、高増と低増におけるストレス回復比が $p<0.05$ で、有意差を認めた。

LF/HF のストレス回復比は、原曲 1.22 (0.7-1.58)、高増 1.24 (1.0-1.51)、低増 1.17 (0.77-1.37) で、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.94$ で、有意差を認めなかった。

LF のストレス回復比は、原曲 1.69 (0.47-3.72)、高増 1.06 (0.65-1.51)、低増 1.23 (0.45-3.47) で、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.81$ で、有意差を認めなかった。

LFnu のストレス回復比は、原曲 0.61 (0.22-1.11)、高増 1.75 (0.34-2.46)、低増 1.48 (0.57-2.37) で、高増と低増におけるストレス回復比が $p=1.0$ で、有意差を認めなかった。

HR のストレス回復比は、原曲 0.97 (0.41-1.65)、高増 1.23 (0.36-1.83)、低増 1.33 (0.75-2.78) で、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.81$ で、有意差を認めなかった。

6. 考 察

HRV の計測結果に基づき 2 つの解析を行ったことで、高周波帯域を増幅した音楽を聴取すると、ストレス応答の回復を促進する効果があることがわかった。音楽を聴取することがストレスの回復に寄与することは先行研究でも明らかになっている。加えて、本研究で明らかにしたことは、高周波帯域を増幅した音楽には、ストレスの回復

を修飾する効果があるということである。

高周波帯域を増幅した音楽による副交感神経活動の増加効果は、GEE では有意な交互作用を検出することができなかった。しかし、ストレス回復比では、高周波帯域を増幅した音楽を聴取したときには修飾効果が、他の音楽刺激に比べて有意に高いことが明らかとなった。まず、GEE の解析では、HFnu が高周波帯域を増幅した音楽で有意に増加したことで、音楽刺激の主効果を認めた。しかし、HF では音楽刺激による有意な差が認められなかった。HFnu、HF の両指標は、GEE を用いた解析では聴取課題と音楽刺激による交互作用を認めなかったが、ストレス回復比においては、低周波帯域に比べ高周波帯域を増幅した音楽を聴取したときに有意に高い値を示していた。そこで、ストレス回復比でとらえられた副交感神経活動の指標の差は、なかった高周波帯域を増幅した音楽の副交感神経活動への効果について、考察が必要であると考えた。

高周波帯域を増幅した音楽によって、副交感神経活動指標に有意な変化が認められなかった理由は、本研究の被験者数が 12 人と限られていたことにより、個体内および個体間で観測値のばらつきが生じたためと考える。これまでも、HRV を計測するうえで、個体差については指摘されており³⁵⁾、本研究においても同様の影響を受け、結果の解釈に注意を要した。それは、WN と SN の HRV の検討についてである。音楽刺激前に提示した WN および SN は、3 回の聴取課題において同一の音源を繰り返して提示したが、聴取課題毎に観測値が異なり、HRV の再現性に優れていなかった。しかしながら、今回用いた解析方法である GEE は、個体ごとの観測値間の相関を仮定したもとで回帰係数の推定を可能とするモデルとされるため、平均値の分散を考慮した分析を行える利点がある。つまり、3 回繰り返した WN と SN は、同等の課題群

として検定できるため、繰り返しの課題を含む本研究デザインの解析には最適な手法であったと考える。しかし、ストレス回復比で検出できた効果は、聴取課題と音楽刺激との交互作用においては検出することができなかったことより、2つの解析が異なる効果を分析したともいえる可能性がある。しかし、GEEにおける音楽刺激と聴覚刺激に確認できた主効果は、ストレス回復比の結果を裏付けるものであり、高周波帯域を増幅した音楽の効果が大きいものではない可能性があることが影響したと考えることもできる。高周波帯域を増幅した音楽による効果の程度を検討するには、無条件課題として安静時間を設け、比較する必要があっただろう。よって、本結果の信頼性を向上させるためには、本研究の成果を基に、聴取課題や刺激時間の妥当性を再検討し、より多くのデータ収集を行う必要があるだろう。

本研究では、GEEに併用してストレス回復比を解析したことによって、高周波帯域を増幅した音楽を聴取したことで変動した副交感神経系の活動を評価することができた。つまり、ストレス回復比は、被験者内および被験者間で個人差が生じた観測値を用いて、聴取課題の効果を検出データだったといえる。そして、低周波または高周波帯域を増幅した音楽を聴取したときの副交感神経活動に与える影響を明らかにでき、ストレス回復の修飾について分析できたと考える。GEEおよびストレス回復比の結果を総合すると、原曲や低周波帯域を増幅した音楽に比べて、高周波帯域を増幅した音楽には、ストレスから回復する過程を修飾する効果が高い可能性がある、と示唆された。つまり、高周波帯域を増幅した音楽を聴取することにより、副交感神経活動が増加し、ストレス回復効果を強化する傾向があるとわかった。今後は、GEEおよびストレス回復比で同傾向の結果を得るために、被験者数を増やし、音楽を聴取することによる効果を検討し、本研究の結果について更に推考したいと考える。

HR は、聴取課題と音楽刺激による交互作用を認めたが、ストレス回復を修復する効果を判定する上で有効な指標ではないと考えた。通常、HR は、音楽の拍子や速度に同期し³⁶⁾、騒音や不快な音楽によって増加する³⁷⁾とされている。本研究では、原曲、高増、低増の音楽刺激は全て同一の楽曲を用いており、原曲と加工した音楽に印象差がないことを SD 法の評価により明らかにしていた。よって、HR の変動は、音楽刺激が異なる印象によって生じた感情的な変化による影響は受けていないと考えられる。すなわち、HR の変動は、音楽を聴取した際の印象以外の影響を受けた可能性があるが、本研究では複数の楽曲を用いて比較していないため、解釈に限界がある。

また、有意な交互作用が認められた HR の変化から、交感神経活動または副交感神経活動への影響について、検討することは困難である。HR は、低周波帯域を増幅した音楽を聴取することにより低下したことが、表 1 より読み取れる。しかし、ストレス回復比では低増の音楽に有意な変化はなかった。加えて、低周波帯域を増幅した音楽による副交感神経活動の増加が確認できず、ストレス回復効果についても確認できなかった。これは、HR は GEE の分析で唯一聴取課題による影響をうけなかった指標であることが確認されており、聴取課題による変動を算出したストレス回復比では有意な変化を認めなかったことに影響した可能性がある。一方、低周波帯域を増幅した音楽で認められた HR の減少は、副交感神経活動が増加した、または交感神経活動が減少した、という活動を意味している。しかし、低周波帯域を増幅した音楽は、副交感神経活動の指標である HF と HFnu、交感神経活動の指標である LF/HF において有意な変化は認められなかった。よって、低周波帯域を増幅した音楽に、ストレス回復を修飾する効果については認めることができなかった。HR は、LF および LFnu と同様に副交感神経活動および交感神経活動の両方の影響を受ける指標である。本研

究では、LF および LFnu において有意差を検出することができていなかった。これより、交感神経系および副交感神経系の両者の活動を反映する指標においては、短時間のストレス負荷から回復する過程で、両神経系の影響を反映した可能性があることも推測される。しかしながら、2 つの解析を用いることにより、本研究では、HR で認めた交互作用とストレス回復比は、同様の結果を示すものではなかった。そして、HR は、ストレス回復を修飾する効果を評価する指標には妥当でなかったということがわかった。よって、本研究の方法および結果から考察するには限界があるため、今後は、音楽の速度や拍子、印象が異なるいくつかの音楽を用いて、周波数特性の違いによる HR の影響を検討し、自律神経系の活動をどのように反映する指標かについて検証する必要があるだろう。先行研究では、HR が低周波帯域の音による影響を受けやすい指標である、とされている³⁸⁾。本研究の結果においても HR は低周波帯域を増幅した音楽を聴取したことによる影響を受けたという解釈もでき、これまでの結果と矛盾しなかったとも解釈できるだろう。

交感神経系の活動を反映する指標は、GEE の分析でも、ストレス回復比においても、有意差は認められなかった。これは、HRV の特性として、交感神経系よりも副交感神経系の活動変動の方が鋭敏に捉えやすいことに起因していると考ええる。また、本研究方法では短時間の聴覚ストレスを負荷した直後に、短時間に音楽を聴取することの効果について計測している。そのため、ストレス応答が遷延し、交感神経活動に影響を与えた可能性があるとも推察できる。つまり、ストレス応答を受けた自律神経系の活動は、ストレス回復期に移行した後も交感神経活動が抑制されず、HRV の観測値に反映されなかったのではないかと考える。通常、音楽認知による神経応答は、音楽を聴取してから 150 秒ほどで出現する³⁹⁾。一方、聴覚的ストレス負荷による神

経活動の応答は、90 秒ほどでプラトーに達する⁴⁰⁾とされる。それによると、本研究の音楽刺激として設定した時間は、自律神経系の活動が変化するには十分な長さであり、妥当な実験パラダイムであったと考えることができる。しかし、HRV の特性を考慮し、交感神経活動の生理的指標である皮膚電気反応などのテストバッテリーを組み、交感神経活動におけるストレス回復の過程を評価することが望ましいと考える。

本研究のデザインは、常に一定せず変化する自律神経系の活動を評価することによって、聴覚的ストレス刺激による即時反応や、音楽刺激課題による急性効果を明らかにすることができたという特徴がある。それにより、周波数特性をもつ音楽刺激の効果を検討することができた。Benson ら⁴¹⁾は、リラクセーション反応とはストレスからの解放であり、闘争と逃走の反応によって亢進した交感神経系の活動を抑制することで得られる、と述べている。つまり、ストレス反応を呈した状態から、リラクセーション反応に応答する時間を自律神経系の活動を評価することにより、音楽刺激課題の効果を検証することができたと考える。聴覚的なストレスによって応答をうけ、自律神経系の活動が変化し、その回復期に聴取する音楽は、周波数特性により異なる影響があったことを反映することができた。周波数特性による影響に関しては、これまでラットを対象とした調査で、自律神経系の活動に与える影響について検証されてきた¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾。しかし、ヒトを対象とした効果については既存していなく、本研究の成果は重要な基礎データになったといえる。よって、HRV は、リラクセーション応答の急性効果を評価する目的で、その継時的変化を評価するのに有用であり⁴²⁾、本研究デザインにおける自律神経系の活動評価には HRV の計測が妥当だったと考える。ストレス応答によって急性変化した自律神経系活動は、HRV を評価することで、周波数特性をもつ音楽による即時効果を明らかにすることができ、高周波帯域を増幅した

音楽のストレス回復を修飾する効果について検証することができた。

実験の中で音楽刺激に用いた課題がモーツァルト作曲による楽曲であったが、本研究はモーツァルト効果について検証した研究ではない。モーツァルト効果を検証するこれまでの研究では、2 台のピアノのためのソナタ（K. 448）が課題として多く用いられてきた。この課題を用いた研究では、副交感神経活動が増加し、リラクセーション効果が得られる可能性がると示唆したものもある⁴³⁾。しかし、モーツァルト効果として提唱されるものについては様々な論議があり⁴⁴⁾、未だその効果についての科学的根拠は明確な証拠が得られていない。それは、モーツァルトが作曲した音楽の周波数特性が起因する可能性があることについても同様である。楽曲を聴取することによるリラクセーション効果は、3.5 kHz 以上の高い周波数帯域が多く存在する特徴も一因とされる⁴⁵⁾⁴⁶⁾が、確実な科学的検証がされたわけではない。

また、科学的検証に基づいた妥当性の担保を目的として、モーツァルトの楽曲を課題として選曲した訳でもない。本研究で用いた楽曲は、HR に顕著な影響を与えないように 80 bpm 程度の音楽速度であること、神経応答が得られる 150 分以上の長さであること、被験者の記憶や嗜好など測定できない情動による影響を可能な限り排除するために聴き馴染みない音楽であること、の 3 条件で選定した。その条件に適合した音楽課題として、楽曲を限定した。音楽聴取による神経活動は、馴化応答の影響を受けやすい⁴⁷⁾ことがわかっており、楽曲時間の長さや馴染みの音楽であるかなどの条件は、重要な選択基準であった。よって、本研究で用いた楽曲は、研究目的に合致する課題だったと考える。しかし、1 つの楽曲を用いた効果を確認した結果に過ぎなく、他の楽曲においては、異なる傾向を示す可能性がある。また、本研究では、何も聞かせない状態をベースラインとしたコントロール条件を刺激課題として用いていない

ため、本研究で用いた楽曲が特異的に効果を示した可能性について否定できない。よって、実験条件や、原曲音楽を聴取したことによる効果、加工による上乗せ効果の有無については検討できなかったことが限界に挙げられる。

本研究デザインは、音楽刺激によるストレス回復の修飾効果を評価する上で、妥当なものであった。ストレスの応答は、自律神経系の活動による影響においても、対処能力においても、個人差が大きい。単純計算作業課題などをストレス刺激として提示しても、自律神経系の活動に影響を与えない程度のストレス負荷となる可能性もある⁴⁸⁾。本研究では、ストレス回復の修飾効果について検証することを目的としており、確実なストレス状態を被験者に提示する必要があった。通常、不快と感じる周波数帯域は 2 kHz から 9 kHz の間にピークをもつ音源であり、3 kHz から 5 kHz にピークをもつ黒板摩擦音⁴⁹⁾は聴覚ストレス刺激として適切だった。また、白色雑音は、周波数の可聴帯全域が同じ強度となるノイズであり、ピークをもたない。よって、白色雑音を提示した後に黒板摩擦音を聴取することで、その音源が持つ周波数帯域のコントラストが明確になると考えた。また、本研究でリラクセーション応答に効果があることが示唆された高周波帯域を増幅した音楽は、黒板摩擦音に含まれる周波数帯域を含む周波数帯域を増幅したが、0.2 kHz から 0.4kHz に周波数帯域のピークをもつことより、周波数特性が異なっていた。よって、本研究では、構成周波数にピークをもたない白色雑音を聴取し、その後、不快周波数帯域をピークとする黒板摩擦音の課題を聴取したことで、周波数特性によるストレスを負荷されたことによる自律神経系活動の変化を評価した。その後、異なる周波数特性をもつ 3 つの音楽を聴取し、ストレス回復過程の効果に違いがあるか評価したことにより、周波数特性を要因とした音楽によって副交感神経活動がどう変動したかについて評価することができた。よって、本

研究は、周波数特性による自律神経系活動の影響を評価する上で、妥当な実験デザインを担保できたと考えられる。

本研究は、対象が女性被験者だったため、月経周期によるホルモンバランスの影響を考慮して卵胞期と黄体期に実験を実施した。しかし、卵胞期 5 名、黄体期 7 名の 2 群において、HR は有意に変化していたことより、月経周期の影響を受け変動した指標だとわかった。その他の HRV 指標は、月経周期の影響を受けていない結果だった。これまでに、HRV の指標において、HF は、排卵期および黄体期前期において有意に高値を示すことが明らかされている⁵⁰⁾。そのため、本研究でも排卵期および月経期を避け実験を行った。しかし、本研究では、卵胞期および黄体期のどちらかに統制すること、および、2 つの月経周期群を比較する上で十分な被験者数を担保すること、などができなかった。それにより、月経周期の影響を受けた HR の結果については、より解釈を困難にさせた。本研究では、HR が聴取課題と音楽刺激の交互作用を認めるものだったが、月経による交絡因子を受けた指標であったため、ストレス回復の効果に関して妥当な指標でないと評価した。また、本研究では、月経周期による影響を反映しやすい副交感神経活動の指標には有意な変化を認めなかった。そこで、今回は、短時間の聴取課題で急性効果を確認したため、月経周期が最も影響するといわれる HF は影響を受けなかったと推察することもできる。また、本研究は女性被験者のみが対象となっていたため、月経周期などのホルモンバランスの影響を受けない男性の結果を比較することができなかった。よって、今後は、自律神経系活動の評価に HRV を用いる際は、被験者の月経周期を統制した実験を行い、ホルモンバランスの影響を受けない男性被験者を女性被験者と同等数対象にし、結果を解析する必要がある。

本研究では、ストレス回復を修飾したことを明らかにした副交感神経活動の指標は、

被験者にカウンターバランスをとることで順序効果を回避できていた。聴取課題は、白色雑音、黒板摩擦音、音楽刺激を第 1 聴取課題から第 3 聴取課題として提示し、音楽刺激のみを変更して 3 課題を続けて実施した。つまり、3 回繰り返される聴取課題のなかで、唯一、音楽刺激だけが異なる課題だった。そのため、提示する順序の影響を観測値に反映させないために、被験者のカウンターバランスをとっていた。GEE においても、被験者内変数の因子として音楽刺激の提示順番を条件に加え解析し、順序効果の有無について確認を行った。しかし、HRV の指標である LF においては、順序効果による影響を受けていたことがわかった。課題の提示順番が交絡因子となって有意差が見られた LF のデータは、1 回目が最も高い値を示し、3 回目、2 回目の順番で減少していた。そこで、HRV において副交感神経活動の指標である HF、HFnu、交感神経活動の指標である LF/HF には順序効果による影響が検出されなかった。LF は、LFnu と同様に、交感神経活動もしくは副交感神経活動の影響を受ける自律神経系の活動総和の指標である。先行研究においても LF のデータの解釈には注意が必要であると指摘されており⁵¹⁾、LF を正規化したデータも合わせて検討することが重要とされている⁵²⁾。よって、LFnu の結果は、有意に順序効果の影響を受けていなかったことより、LF と同傾向の意味を示しておらず、順序効果を解釈するうえで不十分な指標だったと考えることができる。しかし、繰り返し課題を遂行するときには、馴化によって自律神経活動が影響を受けることがわかっている⁴⁷⁾ことより、LF が 1 回目、2 回目、3 回目の課題における順序効果が馴化による影響を受けた可能性は完全には否定できない。よって、今後は、課題数および被験者数を増やし、結果を累積し分析し、順序効果の影響について解釈する必要があるだろう。

本研究の結果より、高周波帯域を増幅加工した音楽には、音楽聴取によるストレス

回復効果を修飾させる可能性があると考えられた。先行研究でも、聴覚的なストレス負荷後の音楽聴取は、ストレス回復に効果があることが明らかにされている⁵³⁾。しかし、音楽の要素である周波数特性が神経活動に及ぼす影響については不明な点が多い。音楽によるリラクセーション効果を臨床で応用する場合、対象となる患者は、身体面や精神面に問題を抱える場合が多い。そこで、音楽を構成する主要な要素の一つである周波数特性が自律神経系活動に及ぼす影響について調査しておく必要があると考え、本研究の着想に至った。原曲の印象を変化させてしまう加工音楽では、音楽そのものの効果を歪曲させる可能性がある。そこで、本研究では、音楽そのものの印象は変わらない程度に周波数の特性を強調した場合、ストレス回復過程に影響に与えるか、原曲および周波数特性をもつ音楽を聴取することで効果に差がないかどうか比較した。これまで、低周波帯域の成分が大きい音楽は、音波振動による健康障害や、聴覚機能障害など、負の影響に関して報告されている⁵⁴⁾⁵⁵⁾。リラクセーション効果が高いとされるクラシック音楽の低周波帯域においても、増幅加工した場合にはストレス負荷作用をもたらす可能性があるのではないかと考えた。高周波帯域の影響としては、3.5 kHz 以上の周波数帯域を多く含む音楽は、モーツアルト効果を引き起こす一つの要因であると指摘される⁴⁵⁾。前述したように、それについては諸説あり科学的根拠が検証されているとはいえない。また、4 kHz 周辺帯域を閾値として、高周波騒音による聴覚障害に関して調査されている⁵⁶⁾が、高周波帯域の影響についても科学的な根拠に基づいた結果は、これまで得られていない。本研究では、低周波および高周波帯域の増幅を施しても、音楽を聴取することによりストレス状態を増強させる効果は認められないことを明らかにすることができた。それに加え、高周波帯域を増幅した音楽には、低周波帯域を増幅した音楽に比べて、ストレス回復に効果があることがわ

かった。ただし、本研究で用いた 1 曲の課題音楽においての効果であり、今後検証する音楽を増やし、無条件課題として白色雑音や音楽なしの条件を加え、調査し、患者などへの臨床応用方法について検討する必要がある。

高周波帯域を増幅した音楽が、低周波帯域を増幅した音楽に比べ、ストレス回復を修飾する効果得られたのか、その要因について検討する。まず、周波数情報は、内耳の聴覚器官である蝸牛において処理される。高周波数成分は蝸牛基部で、低周波成分は蝸牛頂処理され、より複雑な聴覚情報や高周波は下丘を經由し一次聴覚野へ伝達されることが明らかにされている⁵⁷⁾⁵⁸⁾。ただし、聴覚情報処理システムと自律神経系との関係について解明されていないため、聴覚伝導経路の過程における要因は不明である。また、本研究で用いた音楽刺激課題のスペクトラム分析では、低周波帯域を増幅した音楽および高周波帯域を増幅した音楽も、周波数成分のピークは 0.4 kHz 程度だった。これは、ある特定範囲の周波数帯域を増幅加工したとしても、幅広い周波数帯域を含む音高の楽音で構成される音楽においては、楽曲そのものの周波数構成のピークは存続できることも影響していると考ええる。しかし、低周波帯域を増幅した音楽は、加工により 0.1 kHz と 0.4 kHz に 2 峰性のピークを持つ特性に変化した。これは、高周波帯域に比べ低周波帯域は増幅程度が大きいことも要因となる。これは、様々な特徴をもつ楽曲の周波数特性を考慮する必要がある、周波数帯域の加工操作を加える場合は十分に検討することが必要となる。よって、高周波帯域でストレス回復を修飾した理由について可能性を述べるにとどまるが、以下の点を提言することができる。1 つ目は、蝸牛から上行性に一次聴覚野に周波数情報が伝導される経路が、高周波と低周波では異なることが、自律神経系の活動に異なる影響を与えた可能性があること。そして、2 つ目は、高周波帯域を増幅した音楽は、楽曲を構成する中心周波数帯域と

は異なるため、記譜上の楽音そのものの音圧バランスを変える加工ではなく、楽曲に存在する倍音などを中心に増幅した可能性がある。よって、原曲の構成を大きく変更することなく、装飾音域の周波数帯域を加工する音楽はストレス回復効果を強化することができる可能性があることが示唆された。今後は、楽曲を構成する周波数帯域を把握し、楽曲によっては増幅などの加工を加える場合に、増幅幅や対象とする周波数帯域を考慮する必要があるだろう。

本研究の限界として以下の4点が挙げられる。

1 つめは、本研究は1つの楽曲を用いて周波数加工した音楽を聴取する課題としたため、他の楽曲でも同様の結果を得ることができるとは断定できないことである。また、本研究における自律神経系の評価は、統制された実験条件および実験環境下において行われたものである。よって、高周波帯域を増幅した音楽によるストレス回復期の修復効果については、他の音楽を用いた課題や、異なる実験条件下での影響について、今後検証する必要がある。また、音楽のストレス緩和効果を最大限にするための周波数加工の方法に関しては、増幅する周波数帯域の範囲や大きさに検討の余地がある。しかしながら、音楽の周波数特性が自律神経系の活動に影響を及ぼす可能性を明らかにした基礎データとしての意義は大きいと考えられる。

2 つめは、本研究の対象は健常若年者であるため、健常若年者とは聴覚特性が異なる高齢者や難聴者に本研究の知見をそのまま当てはめて考えることはできないことである。音楽の周波数成分の影響を検討する際には、対象の聴覚特性を把握しておく必要がある。老人性難聴では、4 kHz から 8 kHz の高音域で聴力低下が顕著となる⁵⁹⁾ため、高齢者には高周波帯域を増幅した音楽によりストレス緩和効果を得ることができない可能性が考えられる。また、人工内耳を装着した患者の周波数弁別能は 1

kHz 以下となる上、音楽の旋律や音色の弁別は健常者に比べて非常に困難になる⁶⁰⁾。

ただし、高齢者や難聴者に対しても聴覚特性を考慮して適切な周波数帯域や増幅量を選択することができれば、健常若年者と同様にストレス緩和効果を得ることが可能であると考えられる。

3 つめは、被験者を女性に統一し月経周期のホルモンバランスが自律神経活動に及ぼす影響を踏まえた検討をする必要があったが、月経周期が異なる 12 名のデータを検討するには限界があったことである。これについては統計解析時の条件に加えたが、HRV の観測値に影響していないことを否定することができない。よって、今後の研究時には月経周期を統制し、女性被験者と男性被験者を含めた解析を行う必要がある。

4 つめは、ストレスの回復の修飾に影響を与えない無条件下における HRV データを計測できていないことによって、音楽の効果をコントロール条件と比較検討できなかったことである。つまり、ストレスを負荷した状態から音楽を用いない条件下でストレスから回復する過程と、音楽を用いる条件下でストレスから回復する過程を比較できなかった点にある。先行研究により、音楽を聴取する行動そのもののが、ストレス回復に与える効果については明らかになってはいる。本研究では、加工しない原曲および周波数加工を加えた音楽の効果は明らかになった。しかし、本実験条件において、無条件と音楽の効果に関して比較検討がされなかったことで、周波数成分を加工した音楽そのものの効果の有益性が十分検討できなかったと考える。

以上の 4 点の限界を踏まえ、本研究をの臨床応用について述べる。騒音暴露がヒトの健康に及ぼす影響を検討した先行研究では、冠動脈疾患リスクや末梢血管抵抗が増加すること⁶¹⁾が明らかにされ、音楽を聴取すると脳血管障害発症率を低下させる⁶²⁾効果があるといわれる。よって、意識下手術直後のリカバリー段階にある患者や、苦

痛を伴う処置、治療、検査の最中や終了直後の患者に高周波加工音楽を提供することで、ストレス回復期を修飾し、リラクセーション反応を誘導する援助が可能である。また、ストレスを知覚した際に行うメンタルヘルスとしてのセルフケアとして、リラクセーション効果をより高める際に、周波数成分を加工できるフリーソフトで高周波を増幅し、音楽を聴取するなどの指導をすることも可能である。

7. 結 論

本研究により、高周波帯域を増幅した音楽を聴取することは、低周波帯域を増幅した音楽を聴取するより、副交感神経系の活動が増加し、ストレス回復期の修飾効果が期待できる可能性があることが示唆された。よって、音楽の周波数特性が自律神経活動に与える影響についての基礎的データを得ることができた。

謝 辞

本研究を実施するにあたって被験者として協力をいただいた方々、指導を継続的にいただいた東北大学大学院医学系研究科機能医科学講座肢体不自由学分野、出江紳一教授、田中尚文准教授、大内田裕助教に感謝いたします。

また、本研究は JSPS 科研費 21700676 の助成を受けた。

8. 文 献

- 1) Ostwald SK, Godwin KM, Cheong H, et al: Predictors of resuming therapy within four weeks after discharge from inpatient rehabilitation. *Topics in stroke rehabilitation* 2009;16(1):80-91
- 2) Benson H, Beary JF, Carol MP: The relaxation response. *Psychiatry* 1974;37(1):37-46
- 3) Turner MA, Andrews DG: The relationship between mood state, interpersonal attitudes and psychological distress in stroke patients. *Int J Rehabil Res.* 2010;33(1):43-48
- 4) 村井靖児：音楽療法の基礎. 音楽之友社, 1995;11-71
- 5) Iwanaga M, Moroki Y: Subjective and Physiological Responses to Music Stimuli Controlled Over Activity and Preference. *J Music Ther* 1999;36(1):26-38
- 6) Koelsch S: Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends Cogn Sci* 2010;14(3):131-137
- 7) Sakamoto M, Ando H, Tsutou A: Comparing the effects of different individualized music interventions for elderly individuals with severe dementia. *Int Psychogeriatr.* 2013;25(5):775-784
- 8) Särkämö T, Tervaniemi M, Laitinen S, et al: Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. *Brain.* 2008;131(3):866-876
- 9) Bradt J, Dileo C: Music for stress and anxiety reduction in coronary heart disease patients. *Cochrane Database Syst Rev* 2009;2:CD006577
- 10) Bradt J, Magee WL, Dileo C, et al: Music therapy for acquired brain injury.

Cochrane Database Syst Rev: 2010;7:CD006787

- 11) Bradt J, Dileo C, Grocke D, et al: Music interventions for improving psychological and physical outcomes in cancer patients. Cochrane Database Syst Rev. 2011;8:CD006911
- 12) 甲斐真琴, 新見真侑子, 川周平, 岩永誠: 音楽の音響的特徴が音楽に対する印象に及ぼす影響. 広島大学大学院総合科学研究科紀要. I 人間科学研究 2006;1:27-37
- 13) Snyder B: Memory and Music. Cambridge, MA. The MIT Press 2000;1-13
- 14) Zwicker E, Scharf B: A model of loudness summation. Psychol Rev 1965;72:3-26
- 15) Moore BC: Effects of bandwidth, compression speed, and gain at high frequencies on preferences for amplified music. Trends Amplify 2012;16(3):159-172
- 16) Moore BC, Oldfield SR, Dooley GJ: Detection and discrimination of spectral peaks and notches at 1 and 8 kHz. J Acoust Soc Am 1989;85(2):820-836
- 17) Moore BC, Skrodzka E: Detection of frequency modulation by hearing-impaired listeners: effects of carrier frequency, modulation rate, and added amplitude modulation. J Acoust Soc Am 2002;111(1):327-335
- 18) Vicente-Torres MA, Gil-Loyzaga P: Noise stimulation decreases the concentration of norepinephrine in the rat cochlea. Neurosci Lett 1999; 266; 217-219
- 19) Akiyama K, Sutoo D: Effect of different frequencies of music on blood pressure regulation in spontaneously hypertensive rats. Neurosci Lett 2011;487(1):58-60

- 20) Lemmer B: Effects of music composed by Mozart and Ligeti on blood pressure and heart rate circadian rhythms in normotensive and hypertensive rats. *Chronobiol Int* 2008;25(6):971-986
- 21) Okada K, Kurita A, Takase B, et al: Effects of music therapy on autonomic nervous system activity, incidence of heart failure events, and plasma cytokine and catecholamine levels in elderly patients with cerebrovascular disease and dementia. *Int Heart J* 2009;50(1):95-110
- 22) Iwanaga M, Tsukamoto M: Effects of excitative and sedative music on subjective and physiological relaxation. *Percept Mot Skills* 1997;85(1):287-296
- 23) Osgood C, Suci G, Tannenbaum P: The measurement of meaning. Urbana Univer of Illinois Press 1957
- 24) Osgood C. Semantic differential technique in the comparative-study of cultures. *American Anthropologist*. 1964;66(3):171-200
- 25) Osgood C. Commentary on semantic differential and mediation theory. *Linguistics*. 1971;66:88-96
- 26) Osgood C, Luria Z, Smith S. Blind analysis of another case of multiple personality using semantic differential technique. *Journal of Abnormal Psychology*. 1976;85(3):256-70
- 27) Namba S, Kuwano S, Hashimoto T, et al: Verbal expression of emotional impression of sound: A cross-cultural study. *Journal of the Acoustical Society of Japan* 1991;12(1):19-29
- 28) Namba S, Kuwano S, Hatoh T, et al: Assessment of musical performance by using the method of continuous judgment by selected description. *Music perception* 1991;8(3):251-276

- 29) Namba S, Kuwano S, Fastl H: Loudness of non - steady - state sounds. Japanese Psychological Research. 2008;50(4):154-66
- 30) 難波精一郎, 桑野園子: 音の評価のための心理学的測定法. 日本音響学会, 東京, 1998;107-132
- 31) Bigger JT, Fleiss JL, Steinman RC, et al: Frequency domain measures of heart period variability and mortality after myocardial infarction. Circulation 1992;85(1):164-171
- 32) 島津邦夫他 自律神経学会編: 自律神経機能検査. 第 4 版, 文光堂, 東京, 2007;164-168
- 33) Woods DL, Alain C, Covarrubias D, et al: Frequency-related differences in the speed of human auditory processing. Hear Res 1993;66(1):46-52
- 34) Gardiner JC, Luo Z, Roman LA: Fixed effects, random effects and GEE: What are the differences? Statist Med. 2009;28:221-239
- 35) 山本敬子, 阿曾洋子, 永田鎮也: 密封式足浴が中年期健康者の自律神経系および精神神経免疫活性に及ぼす影響 ウェーブレット解析による自律神経系活性の時間系列変化の検討. 自律神経 2007;44(6):400-408
- 36) Fukumoto M, Nomura S, Sawai M, et al: Investigation of synchronization between musical beat and heartbeat with cardio-music synchrogram. NOLTA, IEICE. 2010;1(1):146-152
- 37) Gomez P, Danuser B: Affective and physiological responses to environmental noises and music. Int J Psychophysiol. 2004;53(2):91-103
- 38) Wigram T: The psychological and physiological effects of low frequency sound and music. - Music Therapy Perspectives 1995;13(1):16-23
- 39) 浦上裕子, 川村光毅, 鷺沢嘉一, 他: 音楽認知における α 活動の意義 意識・認知

- との関連から. 臨床生理学 2013;41(4):209-219
- 40) 西藤聖二, 佐藤 政宏, 舞野 大輔, 他: 音環境が精神作業時の脳波に与える影響について. ライフサポート 2010;22(3):10-18
- 41) Benson H, Klipper MZ: The relaxation response: updated and expanded. Harper Collons publishers, New York, 2000
- 42) Mazurak N, Günther A, Grau FS, et al: Effects of a 48-h fast on heart ratevariability and cortisol levels in healthy female subjects. Eur J Clin Nutr. 2013;67(4):401-406
- 43) Lin LC, Chiang CT, Lee MW, et al: Parasympathetic activation is involved in reducing epileptiform discharges when listening to Mozart music. Clin Neurophysiol. 2013;124(8):1528-1535
- 44) Chabris CF: Prelude or requiem for the 'Mozart effect'? Nature 1999; 400(26):826-827
- 45) 和合治久: 未病改善における音楽療法 豊かな食生活を求めて. 2010;20(4):265-269
- 46) Jausovec N, Habe K: The "Mozart effect": an electroencephalographic analysis employing the methods of induced event-related desynchronization/synchronization and event-related coherence. Brain Topogr. 2003;16(2):73-84
- 47) 中島淑恵, 市江雅芳: ピアノ演奏習熟度別所見課題遂行時における脳神経活動に関する NIRS を用いた調査. 順天堂大学医療看護学部医療看護研究 2009;5(1):40-44
- 48) 水野眞佐夫, 近藤悠, 室橋春光, 他: 音楽の拍子の違いが精神的ストレスからの回復に与える効果の比較. 北海道大学大学院教育学研究院紀要 2011;114:123-135

- 49) 長野祐一郎: 評価的観察が精神課題遂行中の心臓血管反応に与える影響. 心理学研究 2005;76:252-259
- 50) 中村真理子, 林貢一郎, 相沢勝治, 他: 若年女性の月経周期に伴う心臓自律神経活動動態. 体力科学 2002;51:307-316
- 51) Abhishekh HA, Nisarga P, Kisan R, et al: Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. J Clin Monit Comput. 2013;27(3):259-64
- 52) Burr RL: Interpretation of normalized spectral heart rate variability indices in sleep research: a critical review. Sleep 2007;30(7):913-919
- 53) Sokhadze EM: Effects of music on the recovery of autonomic and electrocortical activity after stress induced by aversive visual stimuli. Appl Psychophysiol Biofeedback 2007;32(1):31-50
- 54) A B Drake-Lee: Beyond music: auditory temporary threshold shift in rock musicians after a heavy metal concert. J R Soc Med. 1992;85(10): 617-619
- 55) Schust M: Effects of low frequency noise up to 100 Hz. Noise Health 2004;6(23):73-85
- 56) Pirilä T: Teraural correlation of the temporary threshold shift at 4 kHz frequency. Acta Otolaryngol. 1991;111(4):677-83
- 57) Woods DL, Alain C, Covarrubias D, et al: Frequency-related differences in the speed of human auditory processing. Hear Res 1993;66(1):46-52
- 58) Pickles JO: An Introduction to the Physiology of Hearing. 2nd Edition, Academic press London, 1988;29-328
- 59) Townshend B, White RL: Reduction of electrical interaction in auditory prostheses. IEEE Trans Biomed Eng 1987;34(11):891-897
- 60) Ickes WK, Espili J: Pattern a personality and noise-induced vasoconstriction.

J Speech Hear Res 1979;22(2):334-342

61) Dengerink JE, Dengerink HA, Chermak GD: Personality and vascular responses as predictors of temporary threshold shifts after noise exposure.

Ear Hear 1982;3(4):196-201

62) Alvarsson JJ, Wiens S, and Nilsson ME: Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise. Int J Environ Res Public Health

2010;7(3):1036-1046

9. 図

音色評定用紙

実験番号

	非	か	や	もど	や	か	非	
	常	な		ち		な	常	
	に	り	や	なら	や	り	に	
				いで				
大きい								小さい
	7	6	5	4	3	2	1	
美しい								汚い
	7	6	5	4	3	2	1	
澄んだ								濁った
	7	6	5	4	3	2	1	
かたい								やわらかい
	7	6	5	4	3	2	1	
鋭い								鈍い
	7	6	5	4	3	2	1	
強い								弱い
	7	6	5	4	3	2	1	
深みのある								金属性の
	7	6	5	4	3	2	1	
うるさい								うるさくない
	7	6	5	4	3	2	1	
穏やかな								荒々しい
	7	6	5	4	3	2	1	
快い								不快な
	7	6	5	4	3	2	1	
迫力のある								ものたりない
	7	6	5	4	3	2	1	
好ましい								好ましくない
	7	6	5	4	3	2	1	
甲高い								落ち着いた
	7	6	5	4	3	2	1	
やかましい								静かな
	7	6	5	4	3	2	1	

図1 SD法 質問紙

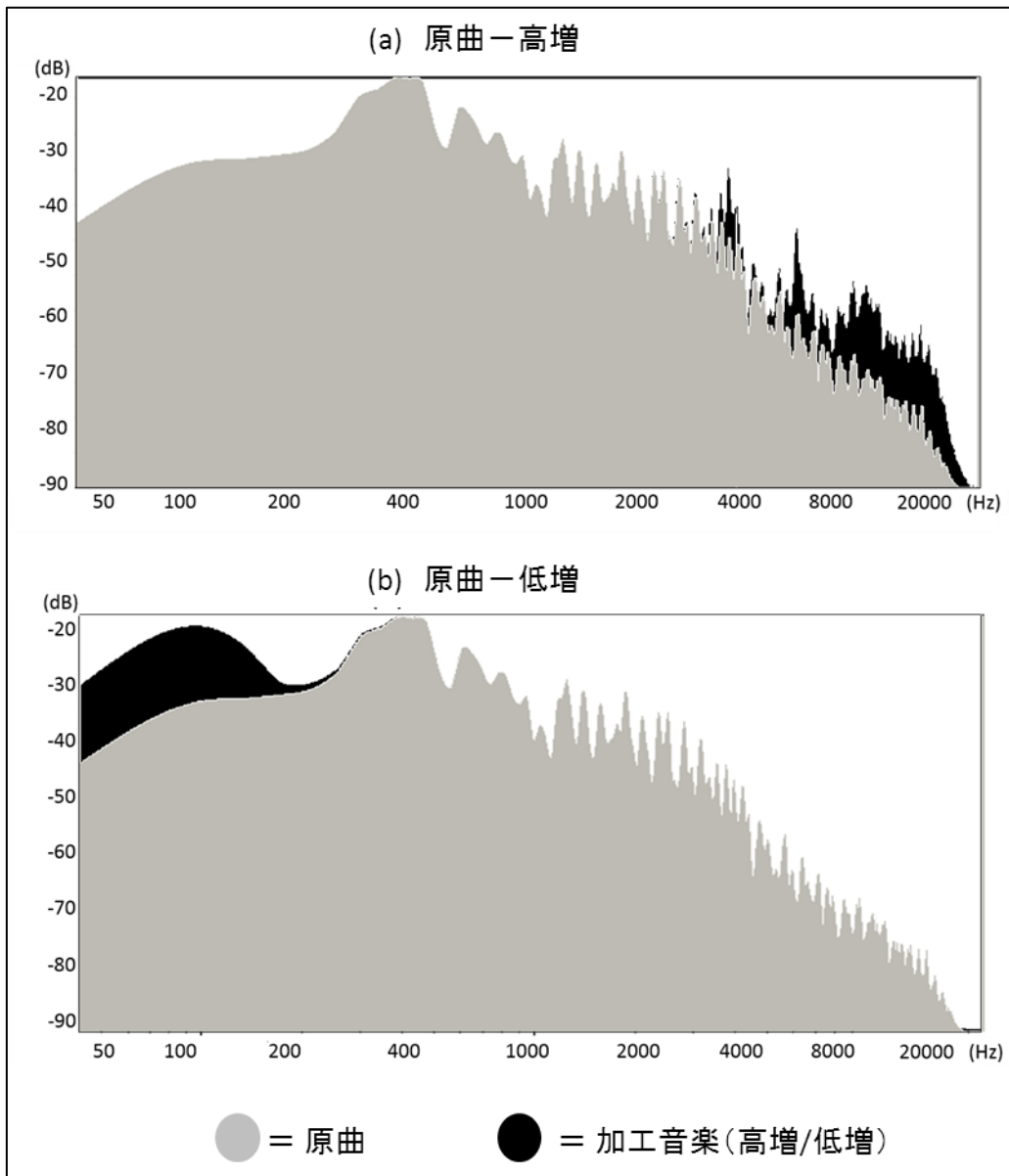


図 2 音楽刺激のスペクトラム分析

音楽刺激である原曲は灰色、音楽刺激である加工した高増および低増は黒色で、224 秒間のスペクトラム分析の結果を表示した。

音楽刺激である高増における高周波帯域の加工範囲 (a) は、3.5 kHz 以上の音域とし、6 dB 程度 (約 2 倍) 増幅した。

音楽刺激である低増における低周波帯域の加工範囲 (b) は、0.5 kHz 以下の音域とし、12dB 程度 (約 4 倍) 増幅した。

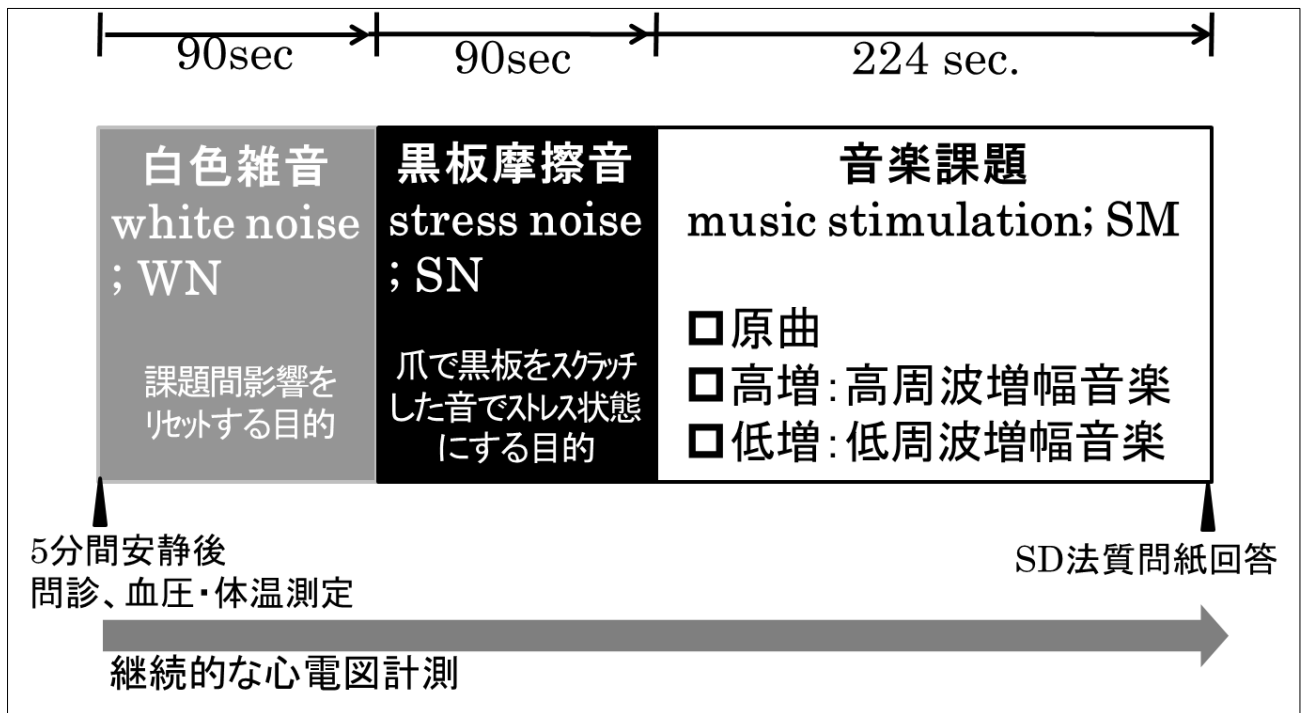


図3 実験パラダイム（1セッション）

聴取課題は、90 秒の白色雑音（White noise; WN）、90 秒の黑板摩擦音（Stressful noise; SN）を順に聴取した後、224 秒の音楽刺激（Music stimulation; MS）を聴取した。

音楽刺激は、原曲、高増、低増の 3 種類とし、被験者に提示する順番はカウンターバランスをとった。

聴取課題に含まれる 3 つの音楽刺激は、SD 法(semantic differential method)を用いて原曲、高増、低増を聴取した際の印象について、14 の評価項目を 7 段階で評価し、質問紙に回答した。

実験は、5 分の安静の後、問診、血圧・体温測定をおこない、異常がないことを確認した後、心電図を装着して開始した。第 1 聴取課題は、WN、SN、MS（1 回目）を聴取し、音楽刺激について SD 法の質問紙に回答した。その後、体調の変化や気分不快がないか問診し、異常がないことを確認した後に第 2 聴取課題を行った。被験者は、WN、SN、MS（2 回目）を聴取し、SD 法の質問紙に回答した。その後、体調や気分異常がないことを確認した後に、第 3 聴取課題を実施した。被験者は、WN、SN、MS（3 回目）を聴取し、SD 法の質問紙に回答し、実験を終了した。

HRV の計測は、心電図を装着し、実験開始時より実験終了時まで連続して計測した。

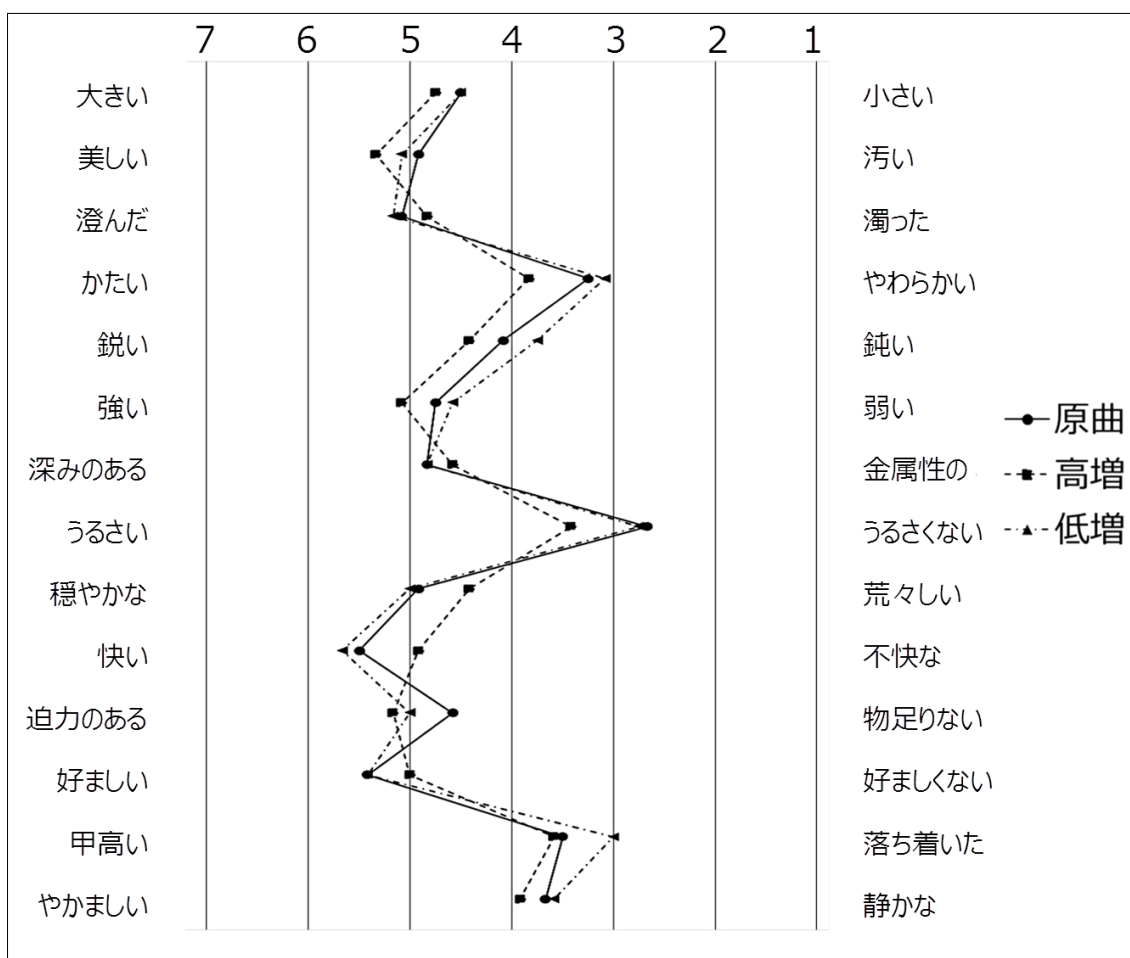


図4 結果 3つの音楽刺激を聴取した印象の評価 (SD法)

SD法による質問紙を用いて音楽刺激を聴取した後に、14項目の印象について7段階で評価した。その結果、3つの音楽課題の印象は印象に関する評価において有意差を認めなかった。

原曲の印象は実線で黒丸で表示した。

高増は高周波帯域を増幅加工した音楽のことで、その印象は点線で黒四角で表示した。

低増は低周波帯域を増幅加工した音楽のことで、その印象は点線で黒三角で表示した。

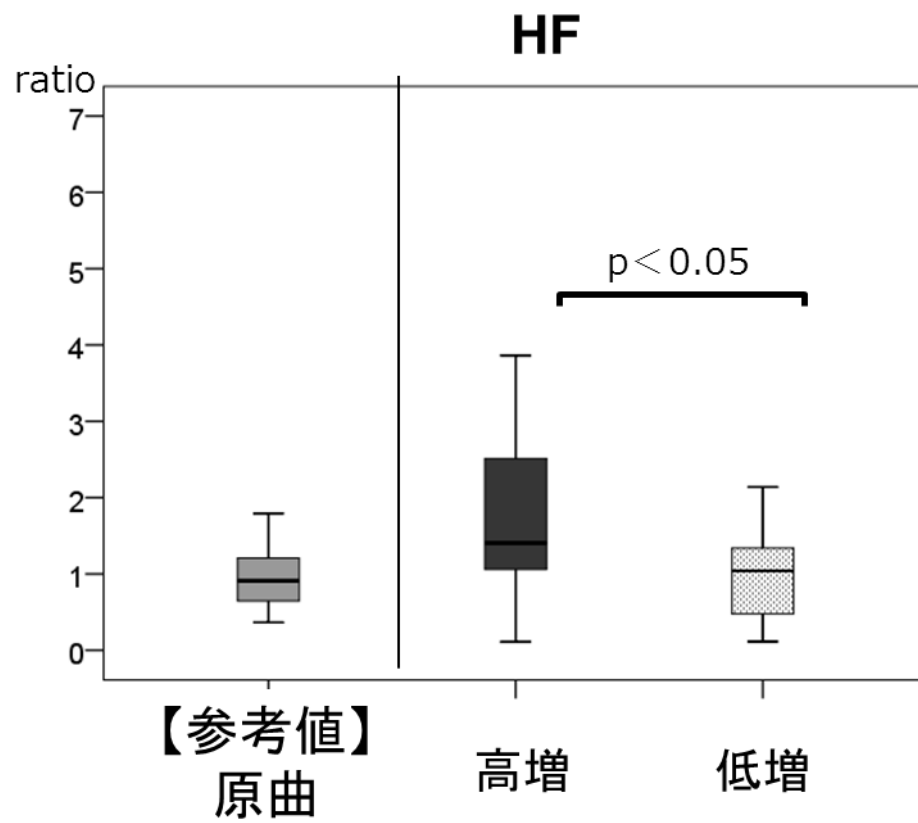


図5 結果 ストレス回復比 (HF)

HF のストレス回復比は、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.03$ で、有意差を認めた。

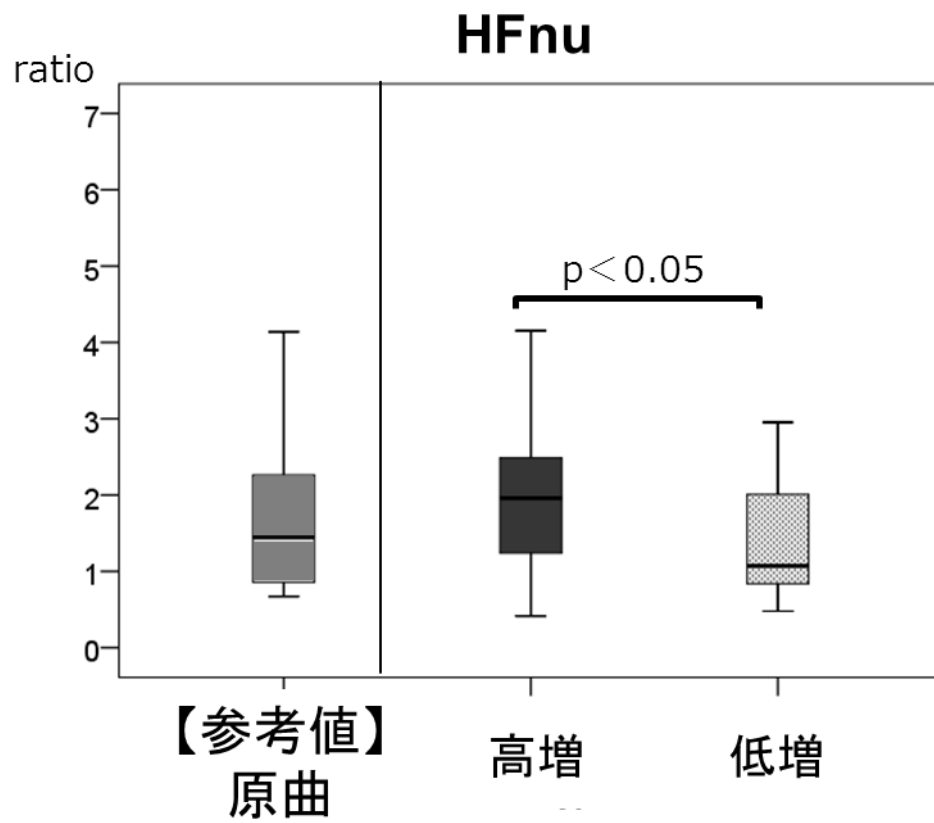


図6 結果 ストレス回復比 (HFnu)

HFnu のストレス回復比は、高増と低増におけるストレス回復比が $p < 0.05$ で、有意差を認めた。

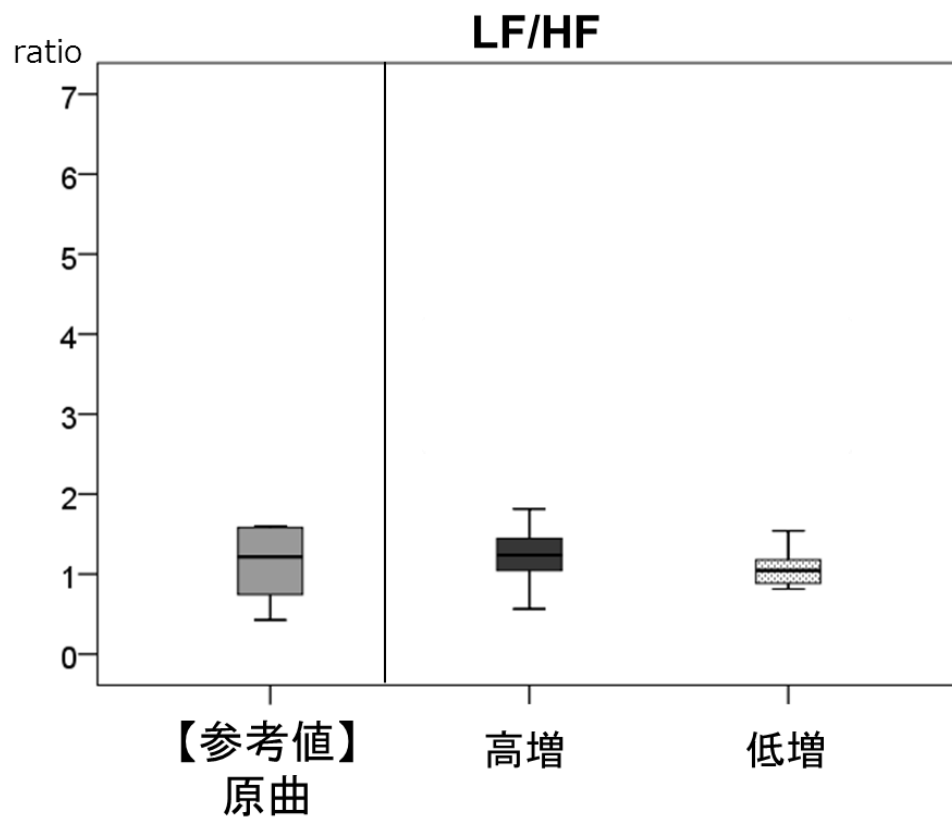


図7 結果 ストレス回復比 (LF/HF)

LF/HF のストレス回復比は、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.94$ で、有意差を認めなかった。

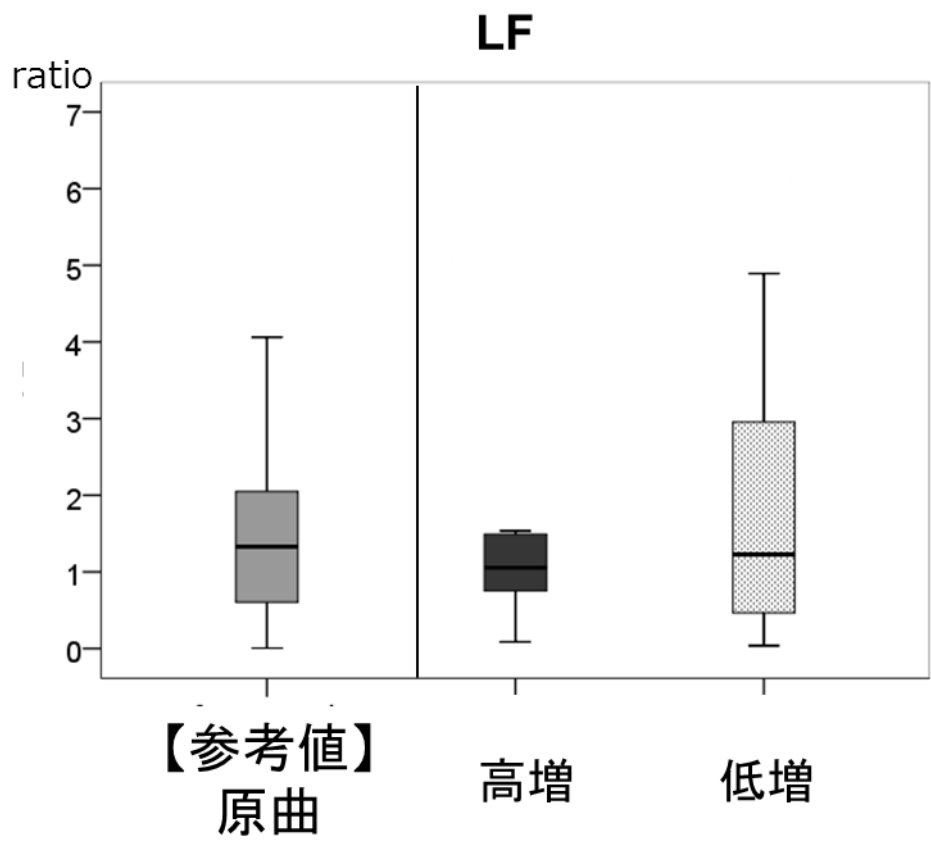


図8 結果 ストレス回復比 (LF)

LF のストレス回復比は、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.81$ で、有意差を認めなかった。

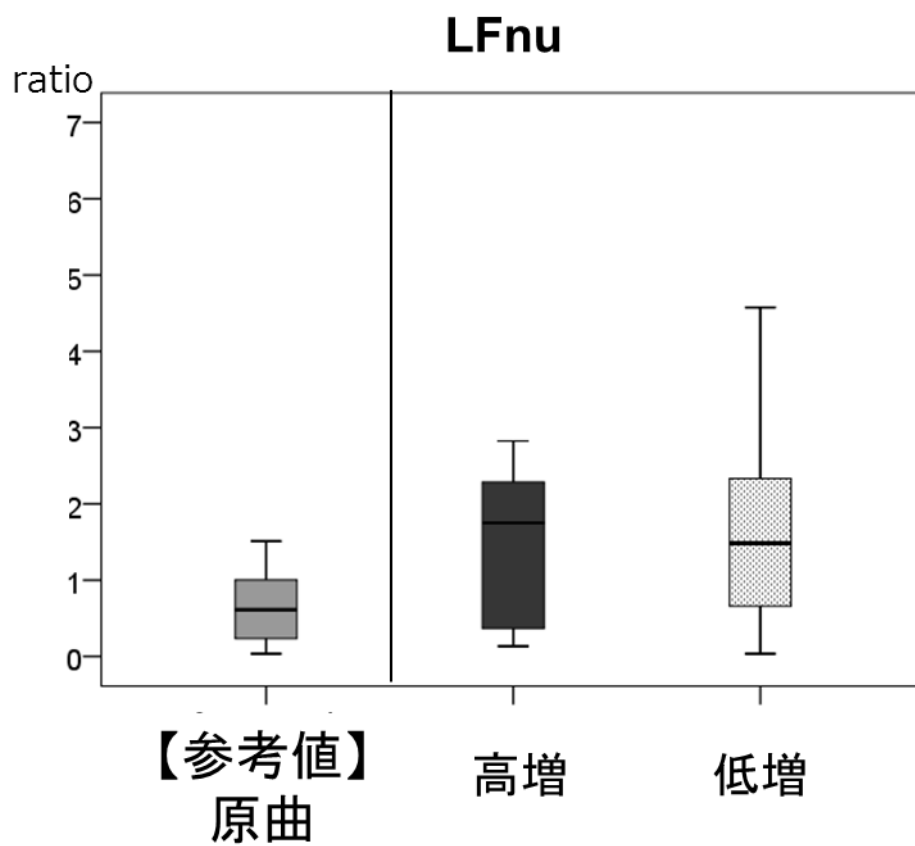


図9 結果 ストレス回復比 (LFnu)

LFnu のストレス回復比は、高増と低増におけるストレス回復比が $p=1.0$ で、有意差を認めなかった。

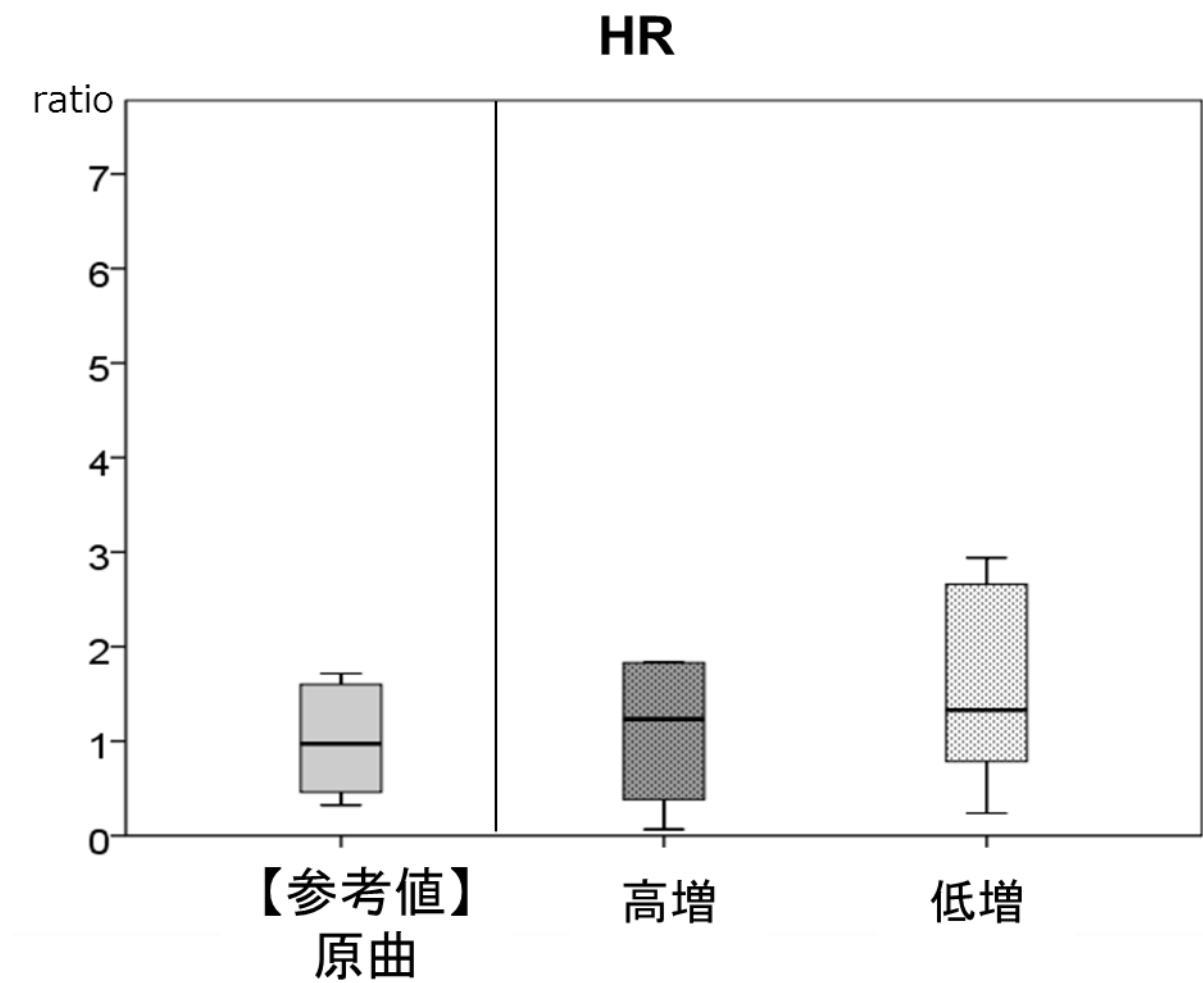


図 10 結果 ストレス回復比 (HR)

HR のストレス回復比は、高増と低増におけるストレス回復比が $p=0.81$ で、有意差を認めなかった。

10. 表

聴覚課題		音楽刺激	HR(bpm/min)	HF(ms ²)	HFnu(ratio)	LF/HF(ratio)	LF(ms ²)	LFnu(ratio)
Law data	WN	原曲	77.95 ± 8.99	508.78 ± 324.42	0.4 ± 0.13	2.01 ± 1.72	739.87 ± 377.48	0.67 ± 0.11
		高増	78.51 ± 8.47	484.04 ± 257.94	0.42 ± 0.12	1.87 ± 1.41	802.43 ± 495.22	0.6 ± 0.16
		低増	77.03 ± 9.12	688 ± 534.54	0.47 ± 0.16	1.91 ± 2.23	711.26 ± 365.18	0.63 ± 0.18
	SN	原曲	79.17 ± 8.05	301.88 ± 208.83	0.25 ± 0.11	4.38 ± 3.27	959.77 ± 453.6	0.5 ± 0.19
		高増	78.91 ± 9.27	321.03 ± 216.76	0.27 ± 0.1	4.67 ± 3.79	1072.23 ± 670.29	0.58 ± 0.15
		低増	79.62 ± 8.28	321.99 ± 188.98	0.3 ± 0.13	4.3 ± 2.8	956.79 ± 772.65	0.58 ± 0.18
	MS	原曲	76.8 ± 9.34	497.95 ± 293.53	0.46 ± 0.13	1.65 ± 1.11	565.05 ± 295.62	0.55 ± 0.15
		高増	78.61 ± 9.8	563.55 ± 324.74	0.52 ± 0.14	1.48 ± 1.66	537.51 ± 263.78	0.53 ± 0.14
		低増	75.46 ± 8.97	578.91 ± 381.38	0.51 ± 0.11	1.33 ± 0.95	462.5 ± 193.32	0.52 ± 0.16
聴覚課題 (WN・SN・MS)			0.13	0.001 *	0.001 *	0.001 *	0.001 *	
GEE p valu	音楽刺激 (原曲・高増・低増)		0.13	0.12	0.001 *	0.74	0.42	0.98
	聴覚刺激 × 音楽刺激		0.04 *	0.28	0.68	0.98	0.89	0.07
	順序効果		0.96	0.74	0.69	0.22	0.01 *	0.37
	月経周期効果		0.03 *	0.18	0.10	0.06	0.33	0.15
								* p<0.05

表 1 結果 聴取課題および音楽刺激の HRV 指標と GEE

HRV の各指標である HR、HF、HFnu、LF/HF、LF、LFnu における、聴取課題と音楽刺激 (原曲、高増、低増) のデータを上段に示した。一般化推定方程式 (generalized estimating equation: GEE) による解析結果は、聴取課題の主効果、音楽刺激の主効果、聴取課題と音楽刺激の交互作用、音楽刺激の提示順番による効果、月経周期による効果の p 値を下段に示した。

3つの聴取課題は以下の略語を用いた。
 WN は、white noise として提示した白色雑音のことである。
 SN は、stressful noise として提示した黒板摩擦音のことである。
 MS は、music stimulation として提示した音楽刺激のことで、3種類提示した。
 3つの音楽刺激は以下の略語を用いた。
 原曲は、加工を加えない音楽のことである。
 高増は、原曲の印象が変化しない程度に高周波帯域を増幅した加工音楽のことである。
 低増は、原曲の印象が変化しない程度に低周波帯域を増幅した加工音楽のことである。