

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25540139

研究課題名(和文) 耳内部血管流における左右非対称性の検証

研究課題名(英文) Asymmetry of Pulse Waves in the Ears

研究代表者

森川 善富 (Morikawa, Yoshitomi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・集積マイクロシステム研究センター・主任研究員

研究者番号：60358182

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：所属機関内の人間工学実験委員会より承認を受けた実験実施計画を基に、健常者男性を対象に公募をかけて被験者を募集し複数の音響を切り替えて提示した際の耳内脈波計測実験を実施した。同時計測した左右耳内脈波データを解析し、左右差に着目した生体信号解析を進め、誤差を軽減した非対称性指標を抽出することができた。軽運動時の計測結果からは、左右両耳共に血流の流れが安定した結果と解釈できる、ほぼ規則的な脈波波形が得られた。一方、音楽等の音響を提示した際の計測結果は、軽運動時に比べて脈波波形に左右差を示唆する揺らぎが見られた。

研究成果の概要(英文)：We recruited subjects for able-bodied men based on the human engineering experimental commission approval and the simultaneous measurement experiments of the right and left ears in pulse wave data were carried out for each subject presented the switching of some sounds. Advanced biomedical signal analysis focused on relations between the ears in the pulse wave data was able to extract the asymmetry index to reduce the errors. The measurements of light exercise yielded almost regular pulse waves in the both ears, which can be interpreted as resulting from steady blood flow. On the other hand, the measuring results presented some sounds revealed pulse wave fluctuations, which suggest the difference between the left and right.

研究分野：物理学

キーワード：生体情報 ウエアラブル機器 人間計測

1. 研究開始当初の背景

生物の形や機能は左右対称性を有していることが多いが、詳細にみていくとその対称性に破れが生じている。脳の活動部位はその典型であり、人の活動状況により活性化する部位は感覚野、視覚野、言語野などと呼ばれて局在しており、左右差が生じていることが広く知られている。この脳内活動部位の左右非対称性は、機能的磁気共鳴画像法や光トポグラフィ装置などの脳波計を用い、既に多くの研究者によって検出されてきた [①]。

一方、主として指先部位の血管の血流量を表す脈波の計測により、心身のストレス、疲労状態や血管の疾患を診断する研究も行われている [②③]。脈波は血管からの近赤外光反射波から得られる血流量の増減を表す時系列データであり、心臓から搬出された血液が全身の末梢組織を循環して戻ってくるため、心臓の情報に加え全身器官の状態まで内在する情報を原理的に包含している。

脈波計測は、計測機器の制限により座位で行われることが多いため、動きを伴う場面では計測に不向きであった。我々は計測部位を耳内部に設定してデータを無線通信することによりこの壁を打破し、ワイヤレス生体情報計測機器を開発して運動疲労に伴う生体情報の揺らぎを具体的に検証してきた [④]。

2. 研究の目的

開発したワイヤレス生体情報計測機器は、左右両耳内の脈波を同時計測できる特徴を有している。本研究はその特徴を生かし、脈波情報の左右対称性検証に着目するものである。

当該計測機器を用いて被験者実験を実施し、脳の活動部位が詳細に調べられている例として「音楽と言語」刺激を取り上げ、耳内部位における簡便な計測手法で得られる脈波にもその左右非対称性が検出できるか、具体的検証を目指す。

3. 研究の方法

(1) 実験実施環境の整備

開発してきたワイヤレス計測機器は、当初、脈波センサー部と脈波計測機本体を固定して接続していた。しかしながら被験者実験に適用するためには、被験者耳内部の大きさ、形状等の個人差に対応できる必要があり、着脱的に改良することにより複数のイヤークラスを差し替えて使えるように改善した。

複数の音響や言語をスムーズに切り替えて提示する機器として4連のCDチェンジャー付きデッキを導入した。提示する音響や言語としては、4種類の音楽等各種音響を選択、用意した。室内で軽運動を負荷する機器としてCOMBI製エアロバイクを導入し、4連CDデッキと合わせて実験システムを構築した。また、新たに解析ソフト(SPSS)を導入して、解析手法の開発のための環境を整備した。

被験者実験を実施するにあたり、事前に、

所属機関内の人間工学実験委員会に実験実施計画書を提出して生命倫理三原則に則った審査を受け、被験者実験実施の承認を受けた。

(2) 被験者実験

被験者は、所属機関外の健常者男性を対象を絞り公募をかけて募集した。被験者には、おひとりずつ、食前食後を除く時間帯に研究所にいらしていただき、室内の外部雑音の少ない環境下で2時間前後実験に協力いただきました。具体的な実験実施手順は、被験者へ具体的な説明をして同意を得て被験者の安全確保対策をする準備段階、複数の音響を切り替えて提示して耳内脈波を計測する実験実施段階、アンケート回答などの事後手続き段階に分かれます。

① 実験準備段階

実験の目的、具体的内容および実施予定時間を説明して被験者の同意を得ます。実際に脈波計測装置を頭部に装着していただき、調整を行いながら、不快感や圧迫感を抱いていないか確認します。計測装置を装着したまま、実験で用いるエアロバイクによるデモ運動や、実験で用いるCDデッキによるデモ音響を聴いていただきます。エアロバイクによるデモ運動では、実験中に軽い疲労感が出ることを避けるため、10分ほど継続しても汗が出ないと思われる程度に被験者自身に運動レベルを設定していただきます。CDデッキによるデモ音響の試聴では、実験中に不快感が出ることを避けるため、あらかじめ音が大きすぎず心地よいと思われる日常レベルに被験者自身に音量レベルを設定していただきます。

② 実験実施段階

計測装置による連続測定を開始し、両耳内脈波データ、耳内温度・湿度、三軸加速度を計測し、実験実施者が操作するパソコンにワイヤレスでデータ送信し、記録します。まずCOMBI製エアロバイクを用いて5分程度の軽い運動を行ってもらいます。次に、座位、閉眼、リラックスした状態において、4連CDデッキにより4種類の音楽等各種音響を切り替えながら、日常レベルの音量で連続して30分程度提示します。計測装置を装着したままで5分ほどの休憩時間を取ります。この間に計測装置の装着状態を微調整してから、上記課題をもう一度繰り返します。

③ 実験終了段階

計測装置を取り外し、アンケート用紙にて音楽等各種音響の試聴経験を伺うと共に、各種事務手続きも行います。

被験者実験においては、協力いただく被験者に不利益を与えたり苦痛を感じさせたり

危険性があってはなりません。事前に考え得る予測を立てて、それに対する予防・安全確保の対策を講じておく必要があります。特に開発した計測機器に被験者が不快感や圧迫感を抱いていないことを、随時確認しながら実験を進める必要がありました。

4. 研究成果

(1) 耳内脈波の相関と非対称性

座位、閉眼、リラックスした状態にて計測した両耳脈波波形を用いて、規格化した左耳内脈波 Ln と規格化した右耳内脈波 Rn を算出し、左右耳内脈波の相関関係を示したのが図 1 (上) です。予想されるとおり、左右の耳内脈波間に良好な相関関係が見られます。

左右耳内脈波の左右差を調べる指標として、一般的に用いられている非対称性指標

$$(L_n - R_n) / (L_n + R_n)$$

を選択しました。規格化左耳内脈波 Ln と規格化右耳内脈波 Rn から非対称性指標を算出し、時刻に対して示したのが図 1 (下) です。わずかにマイナス側に基線がずれているのがわかります。

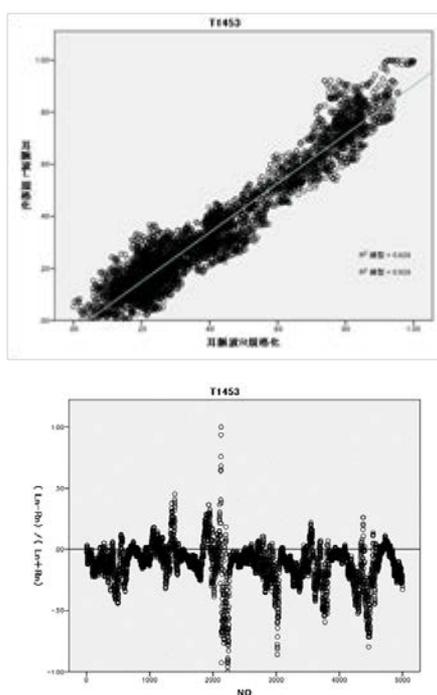


図 1 左右耳内脈波の相関と非対称性

(2) 軽運動時の脈波

エアロバイクでの軽運動時の両耳脈波波形の計測結果を図 2 に示します。時間軸に対して計測点における相対的な血流量を縦軸に示してあります。相対的に振幅の大きい波形が左耳脈波波形、小さい方が右耳脈波波形です。脈波波形のピーク間隔が約 1 秒にあたります。

左右両耳共に、ほぼ規則的な脈波波形が得られました。軽運動負荷により血流の流れが安定した結果と解釈できます。

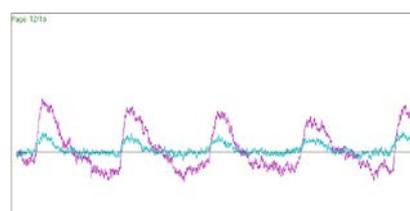


図 2 軽運動負荷時の両耳脈波波形

(3) 音響提示時の脈波

次に、音楽等各種音響を提示した際の両耳脈波波形の計測結果例を示します (図 3)。「言語」を含まない「音楽」のみの音響刺激として管弦楽曲を選択しました。図 2 と同様、時間軸に対して計測点における相対的な血流量を縦軸に示してあります。相対的に振幅の大きい波形が左耳脈波波形、小さい方が右耳脈波波形です。脈波波形のピーク間隔が約 1 秒にあたります。

定性的には、軽運動時に比べ、左右両耳共に脈波波形に左右差を示唆する揺らぎが見られます。血流の流れが安定していない結果ですが、原因に関しては複数切り替えて提示した音響間の波形差も含めて詳細な定量解析が必要です。

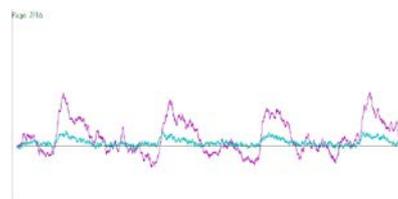


図 3 管弦楽曲提示時の両耳脈波波形

(4) 実験上の課題

耳内脈波計測機を用いて複数の音響を提示する被験者実験を実施しました。被験者からは、心配された「不快感」や「圧迫感」は無い、との感想をいただいたものの、脈波計測機の汎用性や実験手法上の課題も明らかになりました。

現状では、軽運動を負荷することで血流状態をリセットしてから、体動の影響を取り除くために座位閉眼状態で複数の音響を提示しています。モニターしていると、軽運動負荷後に座ってから数分で血流量減少のため振幅が減少し、脈波波形が判別しにくくなるのがわかりました。また、座位閉眼状態で音楽を聴いていると眠くなるとの指摘もあり、実際、頭部が動くケースも見受けられました。

軽運動時には血流の流れが安定して振幅の大きい脈波波形が得られているので、軽運動を負荷しながら音楽等各種音響を提示するのも一つの方策かもしれません。

実験中、様々な要因からイヤホン部がずれて脈波波形を拾えなくなる不具合が発生しました。現状の計測装置は脈波波形を拾えるようにイヤホン部を回転させることで、耳内部センサーの角度を血管が存在する方向に調整しています。このため、計測ポイントのずれにつながるイヤホン部のずれは致命的であり改善が切望されます。

頭部形状、頭囲サイズも個人差があり、現状の脈波計測機は頭部サイズに関して融通が利きません。頭髮油や頭髮の分量による計測機のずれなど、計測装置本体の固定不具合の問題も一部生じました。

(5) 今後の展望

音楽等各種音響の提示実験から、左右耳内脈波波形に左右差を示唆するデータを得ることができた。今後、左右両耳内の脈波波形の關係に着目して脈波解析をすすめ、提示した音楽等各種音響の耳内脈波への影響を探る予定である。

前述(4)の原因で被験者を増やして統計精度を上げるには至りませんでした。被験者実験を通して計測機の汎用性を詳細に検証することにより本研究で使用した耳内脈波計測機に内在する課題を具体的に抽出することができた。今後の計測装置の開発の進展に資するものと期待できる。

我々は職場や家庭における日常生活の中の人間の疲労やストレス度合いを含めた健康状態を評価する研究をしており、そのための基礎データの一つとして脈波データを収集、解析しています。本研究が進むことにより、日常生活を送る中で人間の健康状態を簡易に調べられる装置開発に貢献できることを願っています。

<引用文献>

- ① Nauchi, A. and Sakai, K.L., Greater leftward lateralization of the inferior frontal gyrus in second language learners with higher syntactic abilities, *Hum. Brain Mapp.* 30, 3625-3635(2009).
- ② 山口浩二他、加速度脈波にてローレンツプロットを用いた自律神経機能解析、第八回日本加速度脈波・複雑系研究会、2010.
- ③ Christopher E Clark et al, Association of a difference in systolic blood pressure between arms with vascular disease and mortality: a systematic review and meta-analysis, *The Lancet*, 379, 905-914(2012).
- ④ 森川善富他、無線型脈波計による脈波測定、第八回日本加速度脈波・複雑系研究会、2010.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- ① 森川 善富、音響提示中の被験者の耳内脈波計測に関する考察、日本音響学会聴覚研究会資料H、査読無、47 巻 3 号、pp. 151-154、2017
- ② Yoshitomi Morikawa、Measurements of Pulse Waves in the Both Ears、SEIBUTSU BUTSURI (SUPPLEMENT)、査読無、56 巻 1-2 号、pp. 224-224、2016
- ③ 森川 善富、耳内脈波計測の試み(音響提示)、2016 年度精密工学会秋季大会講演論文集、査読無、一、pp. 193-194、2016
- ④ 森川 善富、左右両耳内の脈波解析: 相関性と非対称性、第 15 回産総研・産技連 LS-BT 合同研究発表会要旨集、査読無、15 巻 1 号、pp. 55-55、2016

[学会発表] (計9件)

- ① 森川 善富、左右耳内脈波計測: 被験者実験のアウトライン、第 16 回 LS-BT 合同研究発表会、2017 年 01 月 31 日、産総研共用講堂(茨城県つくば市)
- ② Yoshitomi Morikawa、Measurements of Pulse Waves in the Both Ears、第 5 4 回日本生物物理学会年会(国際学会)、2016 年 11 月 25 日、つくば国際会議場(茨城県つくば市)
- ③ 森川 善富、耳内脈波計測の試み(音響提示)、2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会、2016 年 09 月 07 日、茨城大学(茨城県水戸市)
- ④ 森川 善富、耳内脈波信号計測への取り組み、つくば医工連携フォーラム 2016、2016 年 01 月 22 日、産総研共用講堂(茨城県つくば市)

[その他]

アウトリーチ活動情報(計4件)

- ① 森川 善富、鈴木 章夫、一木 正聡、池原 毅、岡田 浩尚、自分の脈波を見てみよう!、産総研つくばセンター一般公開、2014 年 07 月 19 日、産総研中央地区(茨城県つくば市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森川 善富 (MORIKAWA, Yoshitomi)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・集積マイクロシステム研究センター・主任研究員
研究者番号: 60358182