

原著論文

ワーキングメモリタスク時と安静時における
脳波と心電図の関係中畑 雄斗¹⁾, 萩原 啓²⁾¹⁾立命館大学大学院 情報理工学研究科, ²⁾立命館大学 情報理工学部

Relationship between EEG and ECG during rest and working memory task

Yuto NAKAHATA¹⁾, Hiroshi HAGIWARA²⁾¹⁾Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University,²⁾Collage of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

Abstract: Tools such as the Information and Communication Technology and the Internet of Things enable easy access to biological information. Humans need to rest in accordance with individual biological status. We focused on electroencephalogram (EEG) and electrocardiogram (ECG) as biological information. The present study aimed to elucidate time series change and relationships between EEG and ECG findings as physiological indexes at rest and during brain activity. We use auditory 2-back task as working memory task. Many subjects have significant negative correlation between power of alpha wave and R-R Interval in seated rest and seated rest on a massage chair. It indicates that power of alpha brain waves decreased as RRI increased. However, this study did not show correlations between power of alpha wave and RRI in seated rest + the auditory two-back task and seated rest on a massage chair + the auditory 2-back task. This is because brain activity status differed among subjects. Values for the RRI and the power of alpha waves during tasks changed depending on whether the participants were relaxed or engaged. In conclusion, this results show relationship between power of alpha wave and RRI in seated rest, suggesting the possibility of estimating brain activity from RRI.

Keywords: alpha wave, theta wave, RRI, working memory task, and correlation

キーワード: α 波, θ 波, RRI, ワーキングメモリ課題, 相関

1. はじめに

IoT(Internet of Things)やビックデータなどの情報技術の発展により、一人ひとりの生体情報の取得・保存・活用が可能となってきた。また、総務省が平成 29 年に公表した調査[1]では、平成 28 年度におけるスマートフォンの普及率は 71.8%となり、また平成 22 年度比約 7 倍となるなどウェアラブル端末の普及も進んでいる。それと同時に日本を含む多くの国では長時間労働、睡眠不足、対人関係など、様々なストレス要因が日々の中に存在している。多大なストレスを受けることにより、うつ病や生活習慣病が引き起こされ、健康的な日常生活を送ることができなくなる。それらを防ぐためには、一人ひとりの生体情報を用いることで自分自身の状態を把握し、その状態に応じた休息を行うことが重要であるといえる。

2017年11月14日受理(2017年3月10日シンポジウム「モバイル'17」にて発表)

そこで本研究では脳波と心電図の生体情報に着目し、実験を行った。脳波は中枢神経系の活動を反映しており、睡眠深度や脳の仕事量の推定に用いられている。先行研究においては、Fzにおける θ 波帯域パワーとPzにおける α 波帯域パワーの比を求めそれを脳のワークロードとして定義した研究[2]や疲労に伴う脳活動の変化に関する研究[3]、疲労が増すほど前頭の θ 波が増加すると報告する研究[4]、また創造的なものを考えている時の脳活動の変化に関する研究[5]など、課題を行った時のワークロードや疲労に関する研究が数多く行われている。対して心電図は自律神経系の活動を反映しており、ストレスやリラクスの評価に用いられている。先行研究においては、ストレスを心拍数や心拍変動から推定する研究[6]や心拍変動を用いた副交感神経活動度の推定に関する研究[7]などが行われている。

また、脳波の電気信号は $1\mu\text{V}$ から $100\mu\text{V}$ [8]と、非常に小さい電気信号であるため、非常にノイズが乗りやすく、日常的な計測は困難である。それに対し心電図の電気信号は $100\mu\text{V}$ から 10mV [8]と、脳波の電気信号に比べ比較的大きく、日常

的な計測が比較的容易である。そのため、日常生活における心電図の計測方法が多く研究されている[9-10]。また Airitmo(ダイキン工業)という椅子に座っただけで心電図情報が計測できる椅子や Hitoe(東レ)[11]という着衣型の心電図計測デバイスも開発されている。今後このような生体の情報を日常的に計測し、利用者にフィードバックすることで生活の質を向上することやビックデータや人工知能を用いることでさらなる研究が進められることが期待される。

このような研究背景を基に本研究では、脳活動時と安静時における心電図と脳波の関係性の解明を目的とする。それらの関係性を解明することにより、心電図の情報から自律神経系の情報のみならず、脳波に代表される中枢神経系の活動情報が得られるようになり、生体センシング技術の向上に繋がると考えている。

2. 実験概要

2.1 被験者・実験機器

本実験は健康な成人 20~23 歳の 12 名(男性:9 名、女性:3 名)の協力のもと実験を行った。また、被験者には実験前に十分なインフォームド・コンセントを得た上で実験を行った。脳波・心電図の計測には多用途脳波計 EEG1100(日本光電)を用いた。サンプリングレートは 500Hz で設定をした。また、被験者の頭部の揺れによるノイズと眼球運動によるノイズの影響を少なくするため、被験者前方に注視点を設け、開眼中はその注視点を見るように指示をした。課題の提示には Multi Trigger System(メディカルトライシステム)を用い、押しボタンを用いて平均反応時間の算出を行った。

2.2 実験プロトコル

実験プロトコルを Fig.1 に示す。実験プロトコルは 3 分間の AAT(Alpha Attenuation Test;α 波減衰テスト)(閉眼 30 秒・開眼 30 秒)×3 回[12]、10 分間のタスク(4 種類)、3 分間の AAT の合計 16 分間の計測を 1 サイクルとした。また、計測の前後に RAS(Roken Arousal Scale;疲労・覚醒主観評価指標)[13]の記入を被験者に行ってもらった。被験者の疲労を取るため、1 サイクルごとに 5 分程度の休憩を取り入れた。

タスクは、安静座位、安静座位+音声 2-back 課題、マッサージ、マッサージ+音声 2-back 課題の 4 種類である。なお、タスク 4 種類はタスクの順序効果が出ないように被験者ごとにランダムに入れ替え、実験を行った。安静座位のタスクについては、目を閉じた状態で椅子に座ってもらった。マッサージチェアを使うタスクについては、刺激位置を肩とし、刺激の種類をもみに設定を行い、目を閉じてもらった状態で行った。またマッサージチェアに頭をつけた状態で実験を行うとノイズのりやすい。そのため被験者にはマッサージチェアから頭を離れた状態を維持するように指示した。マッサージチェアをタスクに組み込んだ理由としては、マッサージを行うことでリラックス

状態を作り出し、その時の α 波帯域パワーや RRI の変化・関係性を求め安静座位との違いを比較するためである。

1min	3min	10min	3min	1min
RAS	AAT	タスク	AAT	RAS

Fig. 1 Experimental protocol

2.3 音声 2-back 課題

本実験では閉眼状態で積極的に脳活動を必要とするタスクとして音声 2-back 課題を用いた。2-back 課題は被験者のワーキングメモリ(短期記憶)のレベルを調査する代表的な課題の一つである。本実験では、2.5 秒間隔で音声で呈示される 1 から 4 までの数字を記憶し、聞こえた数字が 2 個前に聞こえた数字と同じ数字の場合にのみ被験者にはボタンを押してもらう。音声 2-back 課題は短期記憶でとらえたものの維持や処理を行うため、被験者には持続的に脳の活動を促すことができる[14]。また、先行研究においてワーキングメモリタスクにおいてタスク要求が増加すると θ 波帯域パワーが増加し、α 波帯域パワーが減少すると報告されている[15]。

2.4 電極装着位置

脳波計測における電極は、国際式 10-20 法により定められた Fz、Pz、C3、C4、O1、O2、A1、A2 に装着した。心電図計測における電極は、3 点誘導法に則り被験者の左右鎖骨の下 2 か所と左の肋骨下から 2 本目にあたる箇所電極を装着した。

3. 評価指標

3.1 心電図

本実験では、心電図のデータとして心拍間隔 RRI(RR Interval)を用いた。副交感神経活動度を表す HF(High Frequency Component)や CV(Coefficient of Variation)-RR、交感神経活動度を表す LF(Low Frequency Component)/HF など心拍変動(Heart Rate Variability)の周波数解析を用いた研究が多く行われている。しかし、心電図を周波数解析する場合は最低でも 30 秒の時間が必要でありリアルタイム性が損なわれる。また筆者らの先行研究[15]において RRI は、閉眼状態における安静座位とマッサージとの間に有意な違いが見られ、CV-RR には有意な違いが見られなかった。このことからマッサージチェアのような外的刺激には心拍の変動よりも心拍間隔に大きな影響をもたらすと考えられる。それら 2 つの理由から本研究では、心電図の評価指標として RRI を用いた。

3.2 脳波

先行研究においてタスク要求が増加すると前頭(Fz)の θ 波が増加し、後頭(Pz)の α 波が減少すると報告されている[16]。またその α 波と θ 波の比率を取った θ 波(Fz)/ α 波(Pz)という指標も提案されている[2]。精神的疲労に関する研究でも前頭の θ 波が精神的疲労の増加に伴い増加すると報告している[4]。これらのことから本研究では、解析箇所として θ 波は前頭 Fz-A1、 α 波は後頭 Pz-A1 から求められる脳波を解析対象とし FFT(Fast Fourier Transform)周波数解析を行った。また先行研究[12]において安静・閉眼・覚醒状態において α 波帯域パワーが後頭部優位に出現すると述べられている。そのことから、Pz よりも後頭部に位置する O1-A2 も α 波の解析対象とした。なお本研究では θ 波帯域を 4-8Hz、 α 波帯域を 8-13Hz として定義し解析を行った。

3.3 統計的解析

RRI や α 波帯域パワーの結果における課題有り/無しの比較および音声 2-back 課題の比較には、t 検定における対応のある 2 標本の母平均の差の検定を用いた。また、タスク 10 分間における α 波帯域パワーと RRI の相関係数をピアソンの積率相関係数を用いて求め、有意性の検定を行った。

4. 結果

本章に各指標における実験結果を示す。本論文では、タスク中における EEG と RRI について焦点をあてて結果を述べており、RAS と AAC については述べていない。なお心電図データや脳波データのような生理指標は個人差が非常に大きいため、加算平均などの統計処理を行う前に標準化(正規化)を行った。標準化とはデータの平均値を 0、標準偏差を 1 に変換することである[17]。また、統計的検定の結果として 5%以下 ($p < 0.05$) を有意差と記述し、10% ($p < 0.10$) を有意傾向と記述している。なお本実験では 12 人の被験者を採用しているが、ある被験者 1 人のマッサージタスクにおいてノイズが大きかったため解析対象から除外した。

4.1 心電図

Fig.2 に安静座位状態における RRI の時系列変化のグラフを、Fig.3 にマッサージ状態における RRI の時系列変化のグラフを示す。各グラフともそれぞれの点は 2 分間の平均値をとったもので、実験プロトコルにおけるタスク 10 分間の時系列での変化を表している。

音声 2-back 課題の有無で比較すると、すべての時間において安静座位、マッサージの状態ともに 2-back 課題なしに比べ 2-back 課題ありの方が RRI は低い値を示した。また 2~4 分については両状態(安静座位、マッサージ)ともに 10%の有意傾向を示した。4 分以降は有意に低い値 ($p < 0.05$) を示していることが分かる。

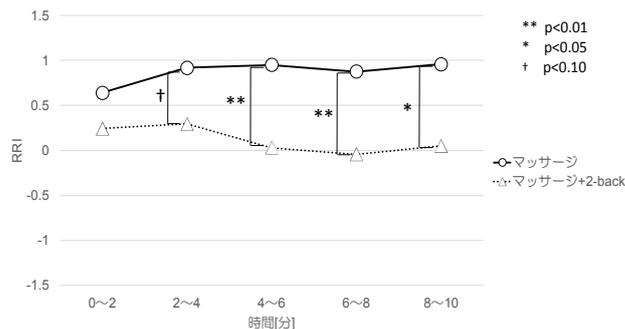


Fig. 2 Average RRI in seated rest during 10 minutes task for the 12 subjects

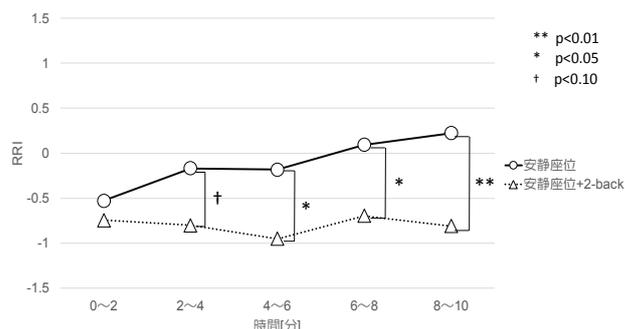


Fig. 3 Average RRI in seated rest on a massage chair during 10 minutes task for the 12 subjects

4.2 α 波帯域パワー

Fig.4 に安静座位状態における α 波帯域パワーの時系列変化のグラフを、Fig.5 にマッサージ状態における α 波帯域パワーの時系列変化のグラフを示す。RRI と同様、各グラフとも各点 2 分間の平均値をとったもので、タスク 10 分間の時系列変化を表している。

4 種類におけるすべてのタスクについて時間経過とともに減少傾向にあることが分かる。また音声 2-back 課題の有無で比較すると、4 分以降の時間において安静座位、マッサージの状態ともに 2-back 課題なしに比べ 2-back 課題ありの方が α 波帯域パワーは高い値を示した。安静座位状態において 2 分以降では 6~8 分に有意傾向 ($p < 0.10$) を示し、それ以外の時間帯(2~4 分、4~6 分、8~10 分)については有意に高い値 ($p < 0.05$) を示した。

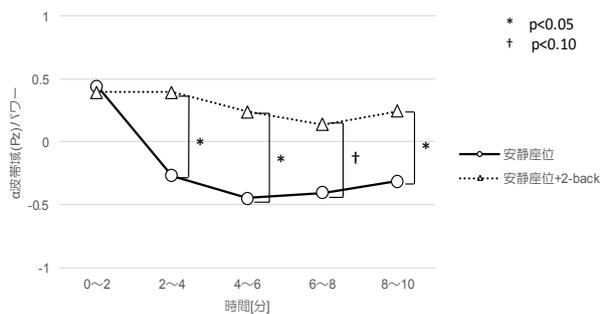


Fig. 4 Average power of the alpha wave in seated rest during 10 minutes task for the 12 subjects

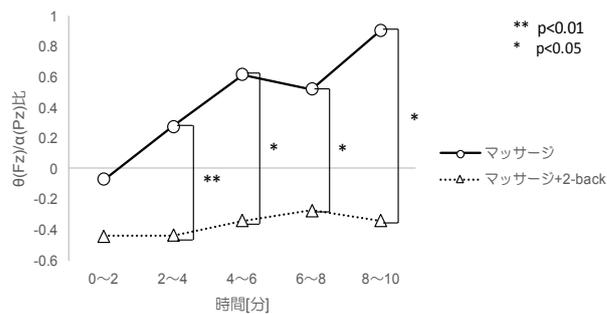


Fig. 7 Average theta-alpha ratio in seated rest on a massage chair during 10 minutes task for the 12 subjects

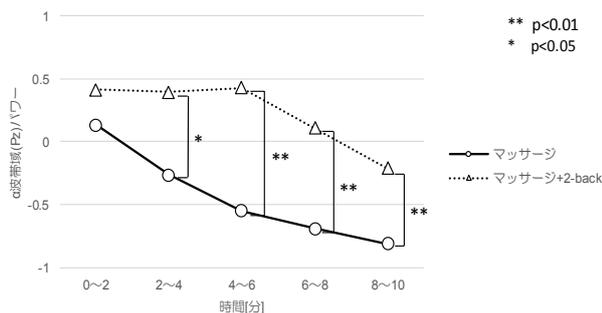


Fig. 5 Average power of the alpha wave in seated rest on a massage chair during 10 minutes task for the 12 subjects

4.3 $\theta(Fz)/\alpha(Pz)$ 比

Fig.6 に安静状態における $\theta(Fz)/\alpha(Pz)$ 比の時系列変化のグラフを、Fig.7 にマッサージ状態における $\theta(Fz)/\alpha(Pz)$ 比のグラフを示す。各グラフとも各点2分間の平均値をとったもので、タスク10分間の時系列変化を表している。

安静座位・マッサージの状態ともにすべての時間帯において課題無しタスクに比べ、課題有りのタスクの方が低い値をとっていることが分かる。また、有意差では安静座位の状態において2~4分に有意傾向($p<0.10$)、4~6分に有意差($p<0.05$)が見られた。マッサージ状態においても2分以降に有意差($p<0.05$)が見られた。

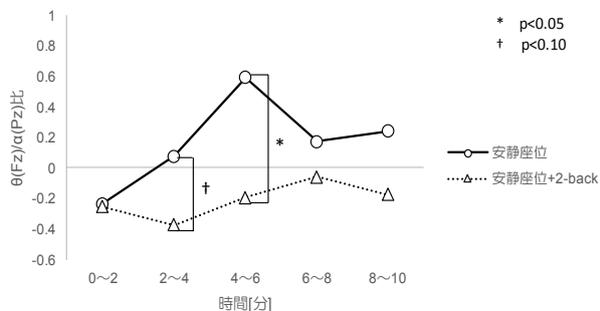


Fig. 6 Average theta-alpha ratio in seated rest during 10 minutes task for the 12 subjects

4.4 脳波と心電図の関係性

4.4.1 α 波帯域パワー(Pz)とRRIの関係性

Table 1 にタスク10分間における α 波帯域パワー(解析位置:Pz)とRRIの相関係数を示す。RRI $\cdot\alpha$ 波帯域パワーはタスク10分間を30秒ごとの各20点に分け、その30秒の平均を求めた。各被験者、タスクごとに相関係数を求め有意差が見られた被験者には記号([*]: $p<0.01$ 、[*]: $p<0.05$ 、[†]: $p<0.10$)で示した。また、表の一番下にある全体という項目は、各20点における被験者12人のRRIと α 波帯域パワー(Pz)の平均を求めその相関係数を求めたものである。安静座位のタスクでは12人中10人が負の相関を示し、その内2人に有意傾向($p<0.10$)、4人に有意差($p<0.05$)が見られた。マッサージのタスクでは11人中8人に負の相関を示し、そのうち3人に有意差($p<0.05$)が見られた。2-back課題を行ったタスクでは安静座位、マッサージの状態に関わらず両方とも統一した傾向が見られなかった。

Fig.8 に安静状態における縦軸を α 波帯域パワー、横軸にRRIをプロットしたグラフを示す。各20点は12人のデータを加算平均したものである。またプロットした20点を線でつなぎ、始点(0~30秒の平均)を丸印、終点(570~600秒の平均)を三角印で示した。始点が左上にあり、終点が右下にあることから時間が経つにつれRRIが増加し α 波帯域パワーが減少していることが分かる。同様にマッサージのタスクにおいても同じ傾向が見られた。音声2-back課題有りでは時系列変化に統一した傾向が見られなかった。

Table 1 Correlation coefficient between power of alpha wave (Pz) and RRI for 10 minutes task

	安静座位	安静座位 + 2-back	マッサージ	マッサージ + 2-back
A	-0.52 *	-0.42 †	-0.25	0.21
B	-0.78 **	0.16	-0.16	0.31
C	0.17	-0.03	-0.22	-0.01
D	0.25	-0.30	-0.05	0.30
E	-0.69 **	0.49 *	-0.69 **	-0.29
F	-0.06	-0.47 *	-0.15	-0.39 †
G	-0.07	-0.13	0.20	-0.04
H	-0.43 †	0.11	0.37	-0.34
I	-0.08	-0.28	0.13	-0.03
J	-0.51 *	-0.27	-0.62 *	0.28
K	-0.38 †	0.33	-0.62 *	-0.03
L	-0.35	-0.25	No Data	0.34
全体	-0.65 **	0.21	-0.55 *	0.44 †

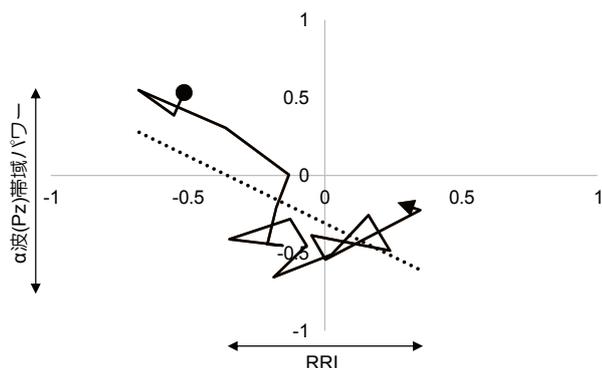


Fig. 8 Time-series change of power of alpha wave (Pz) and RRI in seated rest for the 12 subjects

4.4.2 α 波帯域パワー(O1)と RRI の関係性

Table 2 にタスク 10 分間における α 波帯域パワー(解析位置:O1)と RRI の相関係数を示す。安静座位のタスクでは 12 人中 10 人が負の相関を示し、その内 7 人に有意差($p < 0.05$)が見られた。マッサージのタスクでは 11 人中 9 人に負の相関を示し、そのうち 4 人に有意差($p < 0.05$)が見られた。2-back 課題を行ったタスクでは安静座位、マッサージの状態に関わらず両方とも統一した傾向が見られなかった。

Fig.9 に安静状態における縦軸を α 波帯域パワー、横軸に RRI をプロットしたグラフを示す。始点が左上にあり、終点が右下にあることから時間が経つにつれ RRI が増加し α 波帯域パワーが減少していることが分かる。同様にマッサージのタスクにおいても同じ傾向が見られた。音声 2-back 課題有りでは時系列変化に統一した傾向が見られなかった。

Table 2 Correlation coefficient between power of alpha wave (O1) and RRI for 10 minutes task

	安静座位	安静座位 + 2-back	マッサージ	マッサージ + 2-back
A	-0.49 *	-0.41 †	-0.43 *	0.21
B	-0.88 **	0.39 †	-0.23	0.27
C	-0.01	0.03	-0.27	-0.13
D	0.05	0.60 *	-0.29	0.02
E	-0.62 **	0.56	-0.79 **	-0.21
F	-0.01	-0.42	-0.02	-0.20
G	0.28	-0.34	0.06	-0.24
H	-0.53 *	0.02	-0.11	-0.15
I	-0.30	-0.33	0.06	-0.05
J	-0.62 **	-0.58 **	-0.70 **	0.49 *
K	-0.63 **	-0.16	-0.56 **	0.14
L	-0.56 **	0.06	No Data	0.28
全体	-0.64 **	0.28	-0.55 *	0.58 **

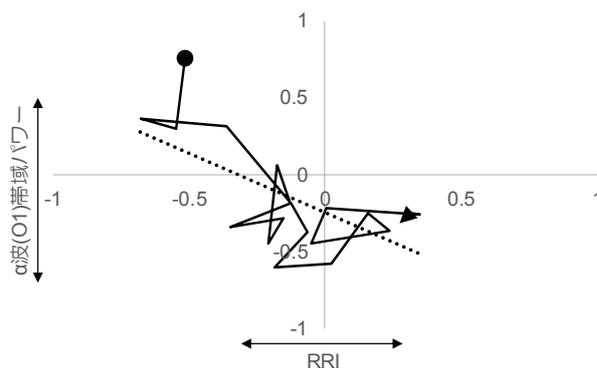


Fig. 9 Time-series change of power of alpha wave (O1) and RRI in seated rest for the 12 subjects

4.4.3 パフォーマンス結果

Fig.10 に安静座位+音声 2-back 課題タスクにおける被験者 C と G の音声 2-back 課題の結果を示す。タスク 10 分間における最初の正反応 10 回と最後の正反応 10 回に関して反応時間を平均したものである。平均反応時間について、C と G ともに前半の方が後半に比べ有意に大きい値を示した。また、他の 10 人については C と G と同じ傾向を示した被験者や反対の傾向を示した被験者など、被験者により様々な傾向を示した。

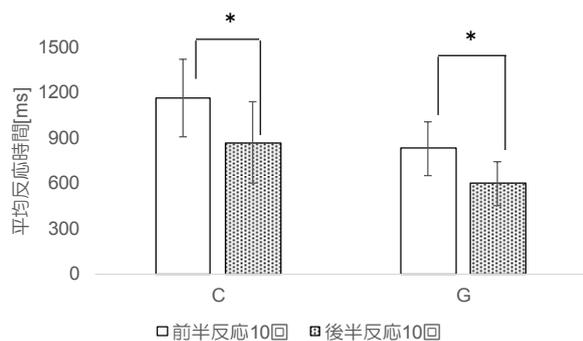


Fig. 10 Performance result of auditory 2-back task

5. 考察

5.1 心電図

RRIの結果より、タスク開始4分以降において安静座位とマッサージの両状態で音声2-back課題有り無しに有意な違いが見られた。これは課題を解くことにより、副交感神経活動系優位から交感神経活動系優位に移行したと考えられる。副交感神経活動の低下によりRRIの減少が引き起こされる。そのため、課題無しに比べ課題有りの方がRRIが低い値を示したと考えられる。

5.2 α 波帯域パワー

先行研究において覚醒度が比較的高い状態では、安静閉眼状態において多くの α 波が後頭部に出現すると報告されている[18]。このことより、課題を解いているタスクの方が課題を解いていないタスクよりも覚醒度は高いと考えられる。その結果、課題無しのタスクに比べ課題有りのタスクの方が α 波帯域パワーが高い値を示したと考えられる。そして、比較的容易で単調な2-back課題を解いているため、課題有りのタスクにおいてもタスク後半にかけて覚醒度が減少し、その結果 α 波帯域パワーの減少が引き起こされていることが分かる。また、Holmらの研究[2]ではタスク要求が増加すると α 波帯域パワーが減少すると報告されているが、この研究では4種類の課題を行うことにより、処理能力のオーバーフローが起きた可能性があると考えられる。その結果、2種類のタスクを行った場合よりも4種類のタスクを行った場合の方が覚醒度は低くなり、 α 波帯域パワーが減少した結果を示したと考えられる。そのため本研究とは逆の傾向を示したのではないかと考えられる。

5.3 θ/α 比

θ/α 比の結果より、タスク中すべての時間帯において課題無しに比べ課題有りの方が θ/α 比が低い値をとり、またいくつかの時間帯において有意差が見られた。この結果も α 波帯域パワーと同様に先行研究[2]において、タスク要求が増加すると θ/α 比が増加するという主張と異なる結果である。また、筆者らが実施した実験[19]では課題負荷を変更した低負荷課題と高負荷課題での θ/α 比の比較を行った。この実験では θ/α 比について高負荷課題の方が低負荷課題に比べ大きい値を示し

た。これらのことより先行研究で論じられている θ/α 比は、課題を行っている課題負荷の変化するタスク同士では有効であるが、タスクを行っていない状態とタスク遂行時の比較には適切ではないことが示唆された。

5.4 脳波と心電図の関係性

Pz領域における α 波帯域パワーでは、多くの被験者が負の相関を示し、安静座位・マッサージの両タスクにおいていくつかの被験者には有意に強い負の相関関係が見られた。また、時系列でのRRI・ α 波帯域パワーの変化を見てみると、時間経過とともにRRIは増加傾向、 α 波帯域パワーは減少傾向を示した。これらより、 α 波帯域パワーとRRIは「安静閉眼状態において、RRIは増加すると α 波帯域パワーは減少する」という関係性であることが示唆された。また、Pzよりもより後頭部にあたるO1領域では、安静座位・マッサージの両状態においてPzに比べさらに多くの被験者に有意に強い相関関係が見られた。先行研究[12]では、安静・閉眼・覚醒状態において α 波帯域パワーが後頭部優位に出現すると述べている。このことから、Pzに比べより後頭部に位置するO1においてより特徴的な α 波が記録され、よりRRIと強い相関関係が得られたのではないかと考える。

しかし、課題遂行時においては相関係数において統一した傾向が見られなかった。これは被験者により、またタスク10分の中で課題への取り組みに対する変化(反応)が異なるためではないかと考える。ここでいう課題への取り組みとはモチベーションや同じタスクに対する飽きや慣れなど被験者個人による様々な要因の総称である。そして大須賀らの研究[20]では、被験者による課題への取り組みに対する多様性の原因を2つ述べている。1つ目は個人の生物学的(身体的)な多様性である。これは年齢や性別、体格、運動量などの個人ごとの違いである。2つ目は精神負荷の受け止め方や対処の仕方の違いによる多様性(認知・心理的なもの)である。これは個人ごとの性格や行動特性によるものである。本実験においては、同じ年齢層の被験者を採用しているため身体的な違いというものは少ないと考えられる。しかし、2つ目に述べた認知・心理的な違いは比較的大きいと考えられる。本実験で用いた音声2-back課題は正答率が約95%程度の比較的簡単なタスクである。また、音声2-back課題のパフォーマンス結果より被験者によっては前半と後半の反応時間に有意な違いがあり、また被験者ごとに傾向が異なるパフォーマンス結果を示した。これらのことより個人の性格や実験日の状態によって課題への取り組みが大きく変わるのではないかと考えられる。そのため、タスク10分間において認知・心理的な状態が比較的安定している、つまり課題への取り組みの多様性が少ない安静座位やマッサージのタスクでは上記で述べた関係性が見られた。それに対し被験者の課題への取り組みがタスク内でも変わりやすい課題有りのタスクではタスク10分間においては統一した傾向というも

のが見られなかったのではないかと考える。また、課題を解く必要がない安静座位・マッサージタスクにおいて RRI と α 波帯域パワーの間に負の相関が見られ、さらに時間経過と共に RRI が増加したことから、同じ閉眼安静座位状態でも脳活動を積極的に行っている状態であるのか、または脳活動を積極的に行っていない休息状態にあるのかを RRI の時系列変化の情報から判断できる可能性が示唆された。

これらのことから、今後は時系列におけるパフォーマンス結果を用い、時間による場合分けを行うことが必要であると考えられる。そしてパフォーマンス結果が良い時や悪い時、集中している状態やしていない状態では脳波や心電図の生理指標はどのような変化を起こしているのか、またそれらにどのような関係性があるのかを調査する必要があると考える。

6. まとめ

本研究では、日常計測が容易な心電図と日常計測が困難な脳波という生理指標を用いて、それらの関係性を求めることを目的とし実験を行った。課題無しのタスクでは多くの被験者に RRI が上昇すると α 波帯域パワーが減少するという負の相関が見られた。しかし、課題有りのタスクでは統一した傾向は見られなかった。これは被験者やタスク間における課題への取り組みの違いによるものであると考えられる。今後はこの問題点を考慮し、パフォーマンス結果などで場合分けを行い解析する必要があると考えている。そして今後の実験テーマとして二重課題やワーキングメモリではなく、認知・判断を必要とするストループ課題を用いての実験が考えられる。本実験は閉眼で統一して行ったが、日常生活においては開眼での状態も存在するため開眼・閉眼による違いも見していきたい。それらの異なった状態での生理指標の変化、関係性を見ていくことが重要であると考えられる。また、本研究をさらに進め現在開発されている日常的に計測できる心拍センサー(AiritmoやHitoeなど)に応用させ、さらなる生体情報センシング技術の向上に繋がることを願ってやまない。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(平成 25~29 年)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 総務省: 平成 28 年通信利用動向調査 (2017).
- [2] Holm, A., Lukander, K., Korpela, J., Sallinen, M., and Müller, K. M.: Estimating brain load from the EEG, *The Scientific World Journal*, 9, pp.639-651 (2009).
- [3] Craig, A., Tran, Y., Wijesuriya, N., and Nguyen, H.: Regional brain wave activity changes associated with fatigue, *Psychophysiology*, 49(4), pp.574-582 (2012).
- [4] Wascher, E., Rasch, B., Sanger, J., Hoffmann, S., Schneider, D., Rinkenauer, G., et al.: Frontal theta

- activity reflects distinct aspects of mental fatigue, *Biological psychology*, 96, pp.57-65 (2014).
- [5] Fink, A., Graif, B., and Neubauer, A. C.: Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers, *NeuroImage*, 46(3), pp.854-862 (2009).
- [6] Vrijkotte, T. G., Van Doornen, L. J., and De Geus, E. J.: Effects of work stress on ambulatory blood pressure, heart rate, and heart rate variability, *Hypertension*, 35(4), pp.880-886 (2000).
- [7] 豊福史, 山口和彦, 萩原啓: 心電図 RR 間隔のローレンツプロットによる副交感神経活動の簡易推定法の開発, *人間工学*, 43(4), pp.185-192 (2007).
- [8] 牧川方昭, 吉田正樹, 南部雅幸, 塩澤成弘, 岡田志麻: ヒト心身状態の計測技術一人にやさしい製品開発のための日常計測一, コロナ社 (2010).
- [9] 栗原陽介, 渡辺嘉二郎, 田中博: 無拘束生体計測による睡眠指標と睡眠段階の推定法, *生体医工学*, 45(3), pp.216-224 (2007).
- [10] 渡辺嘉二郎, 渡辺春美: エアマットレス型無拘束生体計測の実用化研究, *計測自動制御学会論文集*, 36(11), pp.894-900 (2000).
- [11] 河西奈保子, 小笠原隆行, 中島寛, 塚田信吾: 着るだけで生体情報計測を可能とする機能素材 hitoe の開発及び実用化, *電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン*, 11(1), pp.17-23 (2017).
- [12] 萩原啓, 荒木和典, 道盛章弘, 斎藤正己: 覚醒度の定量的評価方法とその応用に関する研究, *精神神経学*, 99(1), pp.23-34 (1997).
- [13] 高橋誠, 北島洋樹, 本城由美子: 精神的作業負担チェックリストの作成とそれによる眠気とリラクセス状態の関係構造の検討, *労働科学*, 72(3), pp.89-100 (1996).
- [14] 山下富美代: 注意機能測定に関する考察—注意と精神的負荷作業の関係について—, *立正大学心理学研究所紀要 第 2 号*, pp.1-14 (2004).
- [15] Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., and Doppelmayr, M.: Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory, *International Journal of Psychophysiology*, 57(2), pp.97-103 (2005).
- [16] 中畑雄斗, 萩原啓: Relationship between EEG alpha wave pattern and heart rate variability in rest and alertness state, *ライフエンジニアリングシンポジウム 2016 論文集 (Proceedings of Life Engineering Symposium 2016)*, pp.40-43 (2016).
- [17] 市原清志: バイオサイエンスの統計学, 南江堂 (1990).
- [18] 萩原啓, 荒木和典, 道盛章弘, 斎藤正己: 脳波を用いた覚醒度定量化の試みとその応用, *BME*, 11(1), pp.86-92 (1997).
- [19] 中畑雄斗, 萩原啓: 課題の難しさ・種類の違いにおける脳波・心電図の時系列変化とその関係性, *モバイル学会研究報告集*, 13(2), pp.23-26 (2017).
- [20] 大須賀美恵子, 寺下裕美, 下野太海 & 戸田真美子: 特集 メンタルワークロードのとらえ方 ストレス反応の定量的評価法, *人間工学*, 29(6), pp.353-356 (1993).

著者紹介



中畑 雄斗(学生会員)

2016 年立命館大学情報理工学部知能情報学科卒業。同年 4 月立命館大学大学院情報理工学研究科人間情報科学コース入学、現在に至る。主に EEG や ECG を用いた体内活動計測の研究に従事。



萩原 啓(正会員)

1977 年大阪大学基礎工学部生物工学科卒業。同年松下電工株式会社入社。電器 R&D センター健康科学研究所主幹研究員を経て 2003 年立命館大学へ。現在、立命館大学情報理工学部知能情報学科教授。博士(医学)。生体情報計測評価技術、特に睡眠・覚醒・生体リズムの研究に従事。