

知的生産性と心拍数との関係の分析

堀田竜士¹ 小村晃雅¹ 千葉祥子¹

概要：本研究は、装着の負荷が小さく、長時間の連続的なデータ取得が可能な携帯型生体センサーで取得できる生理指標と、知的作業の成績との関係を明らかにすることを目的とした。そのために、多くの携帯型生体センサーで取得できる生理指標である心拍数と、代表的な知的作業のひとつである計算課題の成績との関係を分析した。研究仮説は、心拍数と知的作業の成績は、逆U字の関係を示す、とした。一定の条件を満たした33名の被験者に、統制条件と実験条件の2つの条件で課題を与え、その結果を比較した。統制条件では、被験者に2桁の加算・減算を行う計算課題を与え、正解数を算出した。実験条件では、計算課題に加えて、1桁の暗算課題を同時に与え、統制条件と同様に、計算課題の正解数を算出した。2つの条件の計算課題の正解数の変化率と、心拍数(HR)の平均値、標準偏差、180拍移動平均の標準偏差の3つの指標の上昇率との関係を、正常にデータを取得できた27名分のデータを対象に分析した。

本研究の主な結論は以下の2点である。

1点目は、回帰分析の結果、HRの平均値および標準偏差の上昇率と計算課題の変化率との関係は、線形の1次式よりも、逆U字の2次曲線の方が、モデルの当てはまりが良いことが示された。特にHR平均値の上昇率に関しては、回帰分析における分散分析の結果と、係数であるHR平均値の上昇率の2乗が回帰式に与える影響が共に5%水準で有意だったため、他の指標と比較して、計算課題の成績を予測する際に有用であると考えられる。ただし、本研究で観測できたデータは、主に逆U字の頂点付近から右側のデータであり、決定係数も必ずしも高くなかったことから、更なるモデルの適合性の検証のために、HRの指標の変化率が低い被験者のデータを収集する必要がある。

2点目は、HRの平均値および標準偏差が中央値以上の群に関しては、HRの各指標の上昇率と計算課題の正解数の変化率との間に強い負の相関がみられた($r=-.793, -.741$, 共に $p<.01$)。つまり、暗算課題を課された際、心拍数が大きく上昇する被験者は、知的作業である計算課題の成績が大きく下がる可能性が高い。ゆえに、心拍数の上昇を抑えることによって、知的作業の成績の低下を予防でき、知的生産性の向上に寄与できる可能性があることが示された。

キーワード：知的生産性、知的作業、心拍数、心拍変動

Analysis of Relationship between Intellectual Productivity and Heart Rate

RYOJI HORITA^{†1} AKINORI KOMURA^{†1}
SHOKO CHIBA^{†1}

1. はじめに

企業や研究機関等において、知的生産性の向上が課題となっている。知的生産性とは知的作業の効率を表す[1]。知的作業は情報処理、知識処理、知識創造の3つに分類される[2]。多くの企業や研究機関等では、これらの知的作業を組み合わせながら日々の業務を行っている。そのため、知的作業の成績を向上させることによって、知的生産性の向上に寄与できると考えられる。

知的作業の成績は、生理指標と相関がみられることが明らかになっている[3]。現状では複数の非携帯型の生体センサーから得られた生理指標を用いる研究が主に行われているが、これらのセンサーの装着は、企業や研究機関等の従業員にとって負荷が大きい。一方、近年、携帯型の生体センサーが普及し始めている。携帯型の生体センサーは、非携帯型のセンサーと比較して、装着の負荷が小さいものが多い。また長時間の連続的なデータ取得が可能であるため、携帯型の生体センサーから得られる生理指標を用いて知的

作業の成績が予測できれば、作業中の成績を常にモニタリングでき、知的生産性の向上に寄与できる可能性がある。しかし、携帯型の生体センサーから得られるデータは種類が限られていることが多いため、少ない種類の生理指標を用いた知的作業の成績の予測が必要である。

本研究は、携帯型の生体センサーでも取得可能な生理指標と、知的作業の成績との関係を明らかにすることを目的とする。そのために、多くの携帯型の生体センサーで取得可能な生理指標である心拍数と、代表的な知的作業のひとつである計算課題の成績との関係を明らかにする。このことによって、将来的には、知的作業中の人の連続的な成績予測を可能にし、知的生産性の向上に寄与することを目指す。

本稿は以下のような構成である。2章で知的作業を含む認知課題と心臓血管反応との関係を明らかにした関連研究を挙げ、本研究の位置づけを示した上で、仮説を提示する。3章で仮説を検証するための実験方法について述べる。4章で実験結果、5章で結果から導出される考察を述べ、6章で

¹ 富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部 コミュニケーション技術研究所
Communication Technology Laboratory, Research & Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

まとめを行う。

2. 関連研究

2.1 認知課題と心臓血管反応との関係

知的作業を含む認知課題を行っている時の人の心臓や血圧の反応、つまり心臓血管反応に関する研究は多数行われてきた。Williams[4]は、ストレス下における人の心臓血管反応を以下の2つのパターンに分類した。パターン1は、心筋収縮活動の増大による心拍数および血圧の上昇がみられるもので、暗算等、能動的対処が求められる課題を実施している時に生じる。パターン2は、抹消血管収縮の増大による心拍数の減少、および血圧の上昇がみられるもので、恐怖映像視聴等、明確な対処行動がない課題を実施している時に生じる。

このような課題に対する心臓血管反応の分化を説明しようと試みる研究は複数存在する。Obrist[5]は、能動/受動的対処モデルを提示した。本モデルは、課題に対する認識の違いが、上記のような反応の分化を引き起こすと主張したものである。能動的対処においては、課題の遂行者は、「努力次第で課題によって引き起こされるストレスを低減できる」と認識し、心拍数の上昇が引き起こされる。一方、受動的対処においては、課題の遂行者は「課題によるストレスは耐えるしかない」と認識し、抹消血管収縮の増大が引き起こされる。前者はWilliams[4]のパターン1、後者はパターン2の反応と類似する。

Lacey and Lacey[6]は、環境の取り入れ/拒否モデルを提示した。本モデルでは、課題に対する心臓血管反応の分化を、外界の環境に対する意識づけの側面から説明する。環境の取り入れでは、外界の出来事に積極的に注意を払う。この場合、心拍数は減少する。一方、環境の拒否では、邪魔となる外界の出来事を積極的に無視、もしくは拒否する。この場合、心拍数は上昇する。

Biascovich and Mendes[7]は、挑戦/脅威モデルを提示した。本モデルは、成果が求められる課題における心臓血管反応の分化を、個人の資源(知識・能力)と課題に求められる需要(危険・不安・労力)のバランスの側面から説明したものである。資源が需要を上回る挑戦時には、心拍数の増加および血圧の減少がみられる。需要が資源を上回る脅威時には、心拍数・血圧双方の増加がみられる。

このように様々な課題に対する心臓血管反応を明らかにした研究は多いが、これらの課題の成績と心臓血管反応との関係を明らかにした研究は少ない。Biascovich and Mendes[7]は、挑戦時の方が脅威時よりも、引き算課題の成績が回答数・正答数共に高く、心拍数も高いことを示した。また岩永ほか[8]は、ピアノの実技試験における不安反応と実技試験の成績との関係を分析し、実技試験の客観的成績が高い被験者は、テスト前の心拍数がテスト後と比較して低いことを明らかにした。特にテストが行われる実験室へ

の入室直前の心拍が抑えられ、退出後に一時増加する after discharge 現象がみられることを示した。しかし、知的作業の成績と心臓血管反応との関係を明らかにした研究の蓄積は不足している。特に本研究が扱う心拍数と知的作業の成績との関係を示した研究は少ない。近年、企業や研究機関等で知的作業の割合が増加しており、その効率性が求められるため、知的作業の成績と心拍数との関係を明らかにできれば、知的生産性の向上に寄与できると考える。

2.2 仮説

本研究では、以下の仮説を立てた。

- ・仮説：実験中の心拍数と知的作業の成績は、逆U字の関係を示す。

課題成績と心理指標との関係を明らかにした研究として、Yarkes and Dodson[9]は、マウスに迷路を解かせる課題を与えた際、学習効率と覚醒度との間に逆U字の関係があることを示した。覚醒度は課題失敗時の刺激強度を指標とした。刺激が与えられない時や非常に強い刺激を与えた際は学習効率が下がり、中程度の刺激を与えた際に最も学習効率が上がることを明らかにした。

Spence[10]は、不安と課題遂行量との関連について、逆U字関係を仮定した。不安は一種の活性動因とみなされ、不安が低すぎる場合は反応が鈍くなるため、課題遂行量も低くなる。逆に不安が高すぎる場合には、妨害反応や拮抗反応が強まり、課題遂行量が減少する[8]。

Easterbrook[11]は、覚醒の程度と選択的作業の成績との間に逆U字関係が存在することを示した。低覚醒状態では、課題を行うのに必要な手がかりと不必要な手がかりの両方を認知してしまうため、成績が低くなる。また高覚醒状態では、必要な手がかりに対する知覚も低下するため、成績が低下する。

以上の研究で示されたように、様々な課題の遂行能力は、覚醒や不安といった心理指標と逆U字の関係があることが明らかになっている。一方、これらの心理指標を代替する生理指標として、心拍数が用いられている。例えば岩永[8]は、不安の生理指標として心拍数を採用し、ピアノの実技試験の際の成績との関連を調査した。またYuda et, al. [12]は、覚醒の生理指標として心拍数を採用し、青い光が覚醒状態に与える影響を分析した。

以上の研究から、覚醒や不安といった心理状態を代替する生理指標として用いられる心拍数と、作業成績との間には、逆U字の関係が存在することが推測される。ただし、実験環境下では、被験者は特殊な環境で作業を行うため、低覚醒(不安)状態であることは考えにくく、中程度から高程度の覚醒(不安)状態になることが予測される。そのため、実験環境下の心拍数と作業成績との関係は、逆U字の頂点付近から右側のみ、すなわち、心拍数が上昇するにつれて

成績が下がる部分のみが観察できる可能性が高い。

さらに、心拍変動特徴量の水準によって、認知能力と心拍変動特徴量との相関が変化することを示した研究も存在する[13]。本研究でも心拍変動特徴量の一つである心拍数を指標に採用するため、同様の現象が生じる可能性がある。そこで、心拍数が異なる水準の被験者の知的作業の成績と心拍数との関係も合わせて分析した。

3. 方法

3.1 研究対象

以下の3つの条件を満たす健康者33名を研究対象とした。

- (1). 直近の健康診断で聴覚異常と診断されていない
- (2). 心電図が洞調律を示す
- (3). 学歴が大卒以上

(1)は後述する暗算課題で音声を用いるため、(2)は正常な心拍数のデータを取得する必要があるため、(3)は後述する計算課題の成績に学歴が与える影響を抑えるために条件に加えた。

全員が本研究への参加について口頭による説明を受け、参加同意書に署名した。

3.2 課題

以下の2種類の課題を実施した。統制条件では計算課題のみを、実験条件では、計算課題に加えて、暗算課題を同時並行で実施した。

3.2.1 計算課題

知的作業として、2桁の加算・減算を採用した。知的作業の選考基準として、体動による心拍数への影響を最小限に抑えるため、作業中の体動が少ないものを選択した。加えて、前述の通り、知的作業の成績と心拍数との関係を明らかにした研究は少ないため、まずは単純な知的作業との関係の分析から始めることが妥当と考え、1章で示した知的作業の3つの分類のうち、最も単純な情報処理に該当する計算課題を採用した。

ExcelのRandom関数を用いて2種類の問題を作成した。双方とも、1ページに40問の問題を20ページ、計800問の問題を用意した。被験者には、できる限り早く正確に問題に回答するよう指示した。

3.2.2 暗算課題

被験者の心拍数に影響を与える課題として、1桁の暗算を採用した。暗算課題は心拍数を上昇させることが複数の研究で明らかになっていることから[4, 6, 14]、本課題を採用した。

既存研究[15]を参照した上で予備実験を行い、難易度を調整した。20秒間に1桁の数字が4つと問題の区切りを示す効果音が流れる音声データを作成し、実験時にPCで音声データを再生した。被験者に対して、PCに接続されたイヤホンを用いて音声を聞きながら、読み上げられた数字を

暗算で足していき、4つの数字が読み上げられた時点で、4つの数字を全て足した値を解答欄に記入するよう指示した。読み上げられた数字をメモすること、暗算課題を無視して計算課題の回答を進めることは控えるよう指示した。

3.3 プロトコール

実験前の運動、食事、睡眠、カフェイン・アルコールの摂取による心拍数への影響を抑えるため、被験者に対して、実験前日の21時以降、激しい運動とカフェイン・アルコールの摂取を行わないこと、実験前日に7時間以上の睡眠をとることを指示した。また日内変動の影響を抑えるため、実験は午前10時から12時の間に実施した。さらに室温・外光の影響を抑えるため、空調設備が備わっている実験室で実験を行い、室温を24度に設定し、外光を遮光した。

実験は、1度に1人から4人の被験者を対象に実施した。複数人を対象に実験を行う場合は、被験者間の距離が心拍数に与える影響を最小限に抑えるため、近接学[16]における社会距離に該当する1.5m以上の距離をとって着席するよう指示した。

被験者の着席後、研究目的の説明を行い、実験前日の指示内容の遂行状況を伺う事前アンケートに対する回答と、実験参加同意書への署名を求めた。その後、携帯型の生体センサー(ユニオンツール社、myBeat®)を上胸部に装着した。被験者がセンサーの装着を行っている間、実験室内の温度・湿度の記録を行った。

センサーを装着後、座位・閉眼の状態です5分間の安静の時間を設けた。その後、3.2節で示した統制条件・実験条件の課題を各15分間実施した。各条件の実施順序、および2種類の計算課題の出題順は、被験者間でカウンターバランスをとった。また、イヤホンの装着の有無が心拍数に与える影響を考慮し、統制条件・実験条件を問わず、被験者にはイヤホンを装着するよう求めた。

3.4 測定

実験中の時刻および心電図を上述の生体センサーを用いて記録した。心電図は1000Hzで記録した。ユニオンツール社の専用ソフトウェアによる解析から、1拍毎のR-R間隔のデータを取得した。R-R間隔とは、心電図に表れる最も鋭いピーク(R波)の間隔である。センサーエラーのデータを除いた上で、得られたR-R間隔のデータを用いて、心拍や脈拍の測定において一般的に用いられる指標である8拍の単純移動平均HR(bpm)(以下、HRと記す)を1拍毎に算出した。生体センサーが拍動を記録したタイミングがtのときのR-R間隔をRRI(t)とすると、HR(t)は以下の式で算出した。

$$HR(t) = (60 / \sum_{t-7}^t (RRI(n))) / 8$$

そのデータを元に、HRの平均値、標準偏差、ならびに長周期のゆらぎを示す180拍の単純移動平均の標準偏差を算

出した。180 拍の単純移動平均を $SMA(t)$ 、生体センサーが拍動を記録したタイミングが t のときの HR を $HR(t)$ とすると、 $SMA(t)$ は以下の式で算出した。

$$SMA(t) = \sum_{n=t-179}^t (HR(n)) / 180$$

平均値、標準偏差に関しては、課題 15 分間の全時間分のデータを分析対象とした。180 拍移動平均の標準偏差に関しては、課題開始から 3 分間のデータは課題開始前のデータが反映されることを考慮し、後半 12 分間のデータのみを分析対象とした。なお、データの質を担保するため、洞調律 R-R 間隔が占める時間の割合が 80% 以上の被験者のデータのみを分析に使用した。

3.5 統計処理

統計処理には、IBM SPSS Statistics 20® を使用した。統制条件・実験条件の実施順序、および 2 種類の計算問題の出題順による計算問題の正解数の有意差の検定には、 t 検定を用いた。正解数と HR の各指標との相関係数の算出には、Pearson の相関係数を用いた。心拍数の水準が異なる被験者の正解数と HR の各指標との相関係数の算出には、Spearman の相関係数を用いた。統制条件・実験条件の条件間における計算問題の正解数、および HR の有意差の検定には、 t 検定を用いた。

4. 結果

33 名中、センサーエラーが発生した事例や、実験中の洞調律の割合が基準を満たさなかった事例等を除き、正常にデータを取得できた 27 名分のデータを分析に使用した。表 1 に、分析対象とした被験者の年齢と性別を示す。年齢に関しては、20 代の数が多かったが、30 代から 60 代の被験者も存在した。性別に関しては男性の数が多かった。

表 1 分析対象とした被験者の年齢と性別

| 年齢 | 性別 | 人数 |
|-----|-------|----|
| 20代 | 15 男性 | 21 |
| 30代 | 4 女性 | 6 |
| 40代 | 2 | |
| 50代 | 3 | |
| 60代 | 3 | |
| 計 | 27 計 | 27 |

表 2 に、被験者の前日の睡眠時間、直前の食事からの経過時間、実験室の温度・湿度の平均値と標準偏差を示す。睡眠時間がやや短い被験者が存在したが、平均的には概ね 7 時間の睡眠を取っていた。直前の食事からの経過時間に関しては、全ての被験者が指示通り 2 時間以上の時間を取っていた。朝食を摂らなかった被験者が複数存在したため、標準偏差がやや大きな値を示した。実験時の温度・湿度に関しても問題はみられなかった。

表 2 被験者と実験室の状況

| | 直前の食事からの経過時間(h) | | | |
|------|-----------------|---------|--------|---------|
| | 睡眠時間(h) | 経過時間(h) | 温度(°C) | 湿度(%Rh) |
| 平均値 | 6.93 | 5.80 | 24.49 | 42.33 |
| 標準偏差 | 0.70 | 5.74 | 1.08 | 8.30 |

4.1 実施順序および計算課題の実施順による差

統制条件・実験条件の実施順序による計算課題の回答状況の差を検証した。統制条件の回答状況に関しては、回答数($p=.201$)、正解数($p=.223$)、誤答数($p=.265$)、実験条件の回答状況に関しては、回答数($p=.401$)、正解数($p=.328$)、誤答数($p=.222$)となり、いずれも有意差はみられなかった。

次に、2 種類の計算問題の出題順による差を検証した。統制条件の回答状況に関しては、回答数($p=.531$)、正解数($p=.482$)、誤答数($p=.704$)、実験条件の回答状況に関しては、回答数($p=.458$)、正解数($p=.406$)、誤答数($p=.411$)となり、いずれも有意差はみられなかった。

ゆえに、統制条件・実験条件の実施順、および計算問題の出題順は、計算課題の回答状況に統計的に有意な影響を与えないことを確認できた。

4.2 統制・実験条件による差

表 3 に、統制条件・実験条件における計算課題の回答状況と HR の各指標の差を示した。計算問題に関しては、回答数、正解数に有意差がみられた($p<.001$)。また、HR に関しては、平均値($p<.001$)、標準偏差($p<.01$)、180 拍移動平均の標準偏差($p<.01$)の全てにおいて有意差がみられた。

表 3 統制・実験条件による差

| | 平均値 | | t 値 | 自由度 | 有意確率 (両側) |
|-----------------|--------|--------|--------|-----|--------------|
| | 統制条件 | 実験条件 | | | |
| 回答数 | 261.70 | 135.67 | 13.500 | 26 | .000 |
| 正解数 | 249.70 | 126.96 | 14.413 | 26 | .000 |
| 誤答数 | 12.00 | 8.70 | 1.881 | 26 | .071 |
| HR 平均値 | 79.48 | 83.74 | -6.057 | 26 | .000 |
| HR 標準偏差 | 4.12 | 5.18 | -3.147 | 26 | .004 |
| HR180 拍移動平均標準偏差 | 1.37 | 2.00 | -3.941 | 26 | .001 |

4.3 正解数変化率と HR の各指標の上昇率との関係

4.3.1 全体の相関

計算課題の正解数の変化率と HR の各指標の上昇率との関係を分析した。正解数の変化率 C は、統制条件の正解数を c_1 、実験条件の正解数を c_2 としたとき、以下の式で算出した。

$$C = (c_2 - c_1) / c_1$$

HR に関しては、平均値、標準偏差、180 拍移動平均の標準偏差の各指標について、上昇率を算出した。上昇率を I 、統制条件の HR の各指標の値を hr_1 、実験条件の HR の各指標の値を hr_2 としたとき、以下の式で算出した。

$$I = (hr_2 - hr_1) / hr_1$$

その上で、正解数の変化率と HR の各指標との相関係数を算出した結果を表 4 に示す。正解数の変化率と HR の標準偏差の上昇率との間に、有意な負の相関($r = -.425, p < .05$)がみられた。その他の HR の指標と正解数の変化率との相関はみられなかった。

表 4 正解数変化率と HR の各指標の上昇率との相関

| | | HR 上昇率 | | |
|-----------------|------|--------|---------------|----------|
| | | 平均値 | 標準偏差 | 移動平均標準偏差 |
| 正解数 | 相関係数 | -0.29 | -.425* | -0.23 |
| 変化率 | 有意確率 | 0.143 | 0.027 | 0.248 |
| * 5% 水準で有意 (両側) | | | | |

4.3.2 心拍数の水準が異なる被験者の相関

次に、心拍数の水準が異なる被験者の正解数の変化率と HR の各指標との相関を分析した。心拍変動の特徴量はばらつきが大きく、全てが正規分布に従っていると仮定することは難しいと考えられる[13]。そこで、HR の各指標の中央値を基準として、HR の各指標の値が中央値より高い被験者と低い被験者に分離した上で、正解数の変化率と HR の各指標の上昇率との相関係数を算出した(表 5)。HR の平均値の上昇率が中央値以上の群において、正解数の変化率と HR の平均値の上昇率との間に、有意な強い負の相関がみられた($r = -.793, p < .01$)。HR の標準偏差の上昇率でも同様の傾向がみられた($r = -.741, p < .01$)。180 拍移動平均の標準偏差の上昇率が中央値以上の群、および HR の各指標の上昇率が中央値以下の群では、有意な相関はみられなかった。

表 5 HR の各指標の水準が異なる被験者の計算課題の正解数変化率と HR の各指標の上昇率との相関

| | 中央値以上 | | | 中央値以下 | | |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------|------------|-------------|-----------------|
| | HR 平均値 上昇率 | HR 標準偏差 上昇率 | HR 移動平均標準偏差 上昇率 | HR 平均値 上昇率 | HR 標準偏差 上昇率 | HR 移動平均標準偏差 上昇率 |
| 相関係数 | -.793** | -.741** | -.160 | .088 | .363 | .071 |
| 有意確率 (両側) | .001 | .002 | .584 | .775 | .223 | .817 |
| N | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 |
| ** .1% 水準で有意 (片側) | | | | | | |

4.3.3 モデルの適合性の比較

HR の平均値と標準偏差に関して、HR の各指標の水準が中央値以上の群と以下の群で相関関係が大きく変化したことから、これらの HR の指標の上昇率と、計算課題の正解数の変化率との関係は、1 次式では表せない可能性が示唆された。そこで、これらの 2 つの指標に関して、線形(1 次式)および曲線推定(2 次式)の回帰分析を行い、モデルの適

合性を比較した。1 次式の近似直線および 2 次式の近似曲線を描いた散布図を図 1, 2 に示す。

まず線形(1 次式)の回帰分析の結果を示す。HR 平均値に関して、モデルの当てはまりの良さを示す決定係数は $R^2 = .084 (p > .05)$ であった。HR の標準偏差に関しては、決定係数は $R^2 = .181 (p < .05)$ であり、5% 水準で有意だった。

次に 2 次式の結果を示す。HR の平均値に関して、モデルの決定係数は $R^2 = .273 (p < .05)$ であり、5% 水準で有意だった。また HR の平均値の標準化係数と有意確率を表 6 に示す。係数である HR 平均値の上昇率の 2 乗は、計算課題の成績の変化率を 5% 水準で有意に説明することが分かった。HR の標準偏差に関しては、決定係数は $R^2 = .258 (p < .05)$ であり、5% 水準で有意だった。また HR の標準偏差の標準化係数と有意確率を表 7 に示す。係数である HR の標準偏差の上昇率の 2 乗は、計算課題の成績の変化率を有意に説明しないことが分かった。

以上の結果から、HR 平均値および HR 標準偏差の上昇率の双方に関して、1 次式より 2 次式の方が、モデルの適合性が高かった。また図 1, 2 を見ると、共に逆 U 字を示すことが分かった。ただし、今回観測できたのは、主に頂点付近から右側のデータだった。

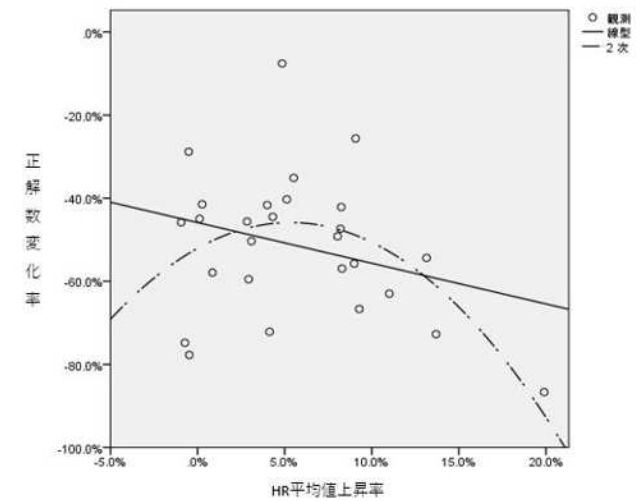


図 1 正解数変化率と HR 平均値の上昇率との関係

表 6 HR 平均値の標準化係数と有意確率

| | 非標準化係数 | | 標準化係数 | t | 有意確率 |
|-------------------------|---------|-------|--------|---------|-------------|
| | 回帰係数 | 標準誤差 | ベータ | | |
| HR 平均値 上昇率 | 2.324 | 1.448 | .687 | 1.605 | .121 |
| HR 平均値 上昇率 ² | -.218 | .087 | -1.069 | -2.498 | .020 |
| (定数) | -52.059 | 5.109 | | -10.189 | .000 |

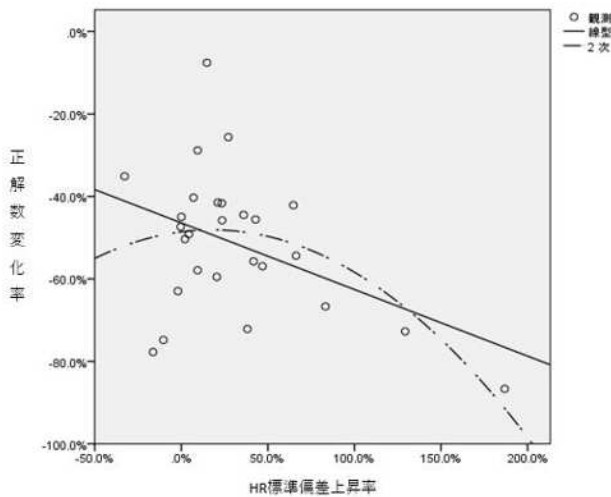


図 2 正解数変化率と HR 標準偏差の上昇率との関係

表 7 HR 標準偏差の標準化係数と有意確率

| | 非標準化係数 | | 標準化係数 | t | 有意確率 |
|------------------------|---------|-------|--------|---------|------|
| | 回帰係数 | 標準誤差 | ベータ | | |
| HR標準偏差上昇率 | 0.053 | 0.151 | .141 | 0.353 | .727 |
| HR標準偏差上昇率 ² | -.002 | .001 | -0.630 | -1.582 | .127 |
| (定数) | -48.584 | 3.892 | | -12.484 | .000 |

5. 考察

4.2 節において、統制条件・実験条件を比較すると、計算問題の回答数・正解数および HR の各指標に有意差がみられた。まず計算問題の回答数・正解数に有意差がみられたことは、容易に想像できる結果である。理由として、実験条件では、計算課題と暗算課題を同時並行で行うことによって、計算課題に対する集中力が低下した等が考えられる。マルチタスク状況では情報処理能力が低下することが既存研究でも指摘されており[17]、本研究の結果はそれらの報告と一致する。次に 2 つの条件間で HR の各指標に有意差がみられたことは、実験条件で課された暗算課題の影響がみられたと考えられる。暗算課題は Williams[4]の示したパターン 1 を示す典型的な課題として認知されており、 β アドレナリン作動性の交感神経興奮[18]、および心臓迷走神経興奮の抑制[19]によって心拍数が上昇することが明らかになっている。心拍数が上昇することにより、HR の平均値が上昇すると共に、ゆらぎの指標である標準偏差や 180 拍移動平均の標準偏差も上昇したと考えられる。

本研究の主な結論は以下の 2 点である。1 点目は、回帰分析の結果、HR の平均値および標準偏差の上昇率と計算課題の正解数の変化率との関係は、線形の 1 次式よりも、逆 U 字の 2 次曲線の方が、モデルの当てはまりが良いことが示された。既存研究においては、不安や覚醒という心理指標と、様々な課題の成績との間に逆 U 字の関係があることが示されたが[9,10,11]、本研究によって、心理指標ではな

く、生理指標である心拍数と知的作業である計算課題の成績との間に、逆 U 字の関係があることが示唆された。特に、HR 平均値に関しては、回帰分析における分散分析の結果と、係数である HR 平均値の上昇率の 2 乗が回帰式に与える影響が共に 5%水準で有意だったため、他の指標と比較して、計算課題の成績を予測する際に有用である可能性がある。

2.2 節で述べた通り、HR 平均値は、様々な課題の遂行能力と逆 U 字の関係を示す不安や覚醒といった心理指標を代替する生理指標として用いられてきた。知的作業に関して、不安や覚醒の程度が中程度の時に最も成績が向上し、不安や覚醒の程度が著しく低いまたは高いときは成績が低下することが予想される。そのため、本研究でも HR 平均値と、知的作業のひとつである計算課題の成績が、逆 U 字の関係を示したと考えられる。ただし、本研究では、モデルの当てはまりの良さを示す決定係数の値は、必ずしも高いとはいえなかった。また、本研究で観測できたデータは、主に逆 U 字の頂点付近から右側のデータであった。今後更なるモデルの適合性の検証のため、被験者の心拍数の変化率が低い状態のデータを収集する必要がある。

2 点目は、HR の平均値および標準偏差が中央値以上の群においては、HR の各指標と計算課題の正解数の変化率との間に 1%水準で有意な強い負の相関($r=-.793, -.741$)がみられた。HR の指標の中央値は、HR 平均値(図 1)および標準偏差(図 2)の双方において、逆 U 字の頂点付近に位置するため、それより右側の領域に限定すれば、HR の各指標の上昇率と計算課題の成績は線形の関係で捉えられる可能性が示唆された。つまり、暗算課題を与えられた際、心拍数が大きく上昇する被験者は、知的作業の成績が大きく低下する可能性が高い。以上の結果から、心拍数の上昇を抑えることによって、知的作業の成績の低下を予防でき、知的生産性の向上に寄与できる可能性がある。

暗算課題による心拍数の上昇は、前述の自律神経の反射によって引き起こされると同時に、不安や焦り、緊張等の心理状態を伴うと考えられる。不安や焦り、緊張等の程度が大きいかほど作業成績が下がり、心拍数は上昇することが予測される。Bascovich and Mendes[7]でも、需要(危険・不安・労力)が資源(知識・能力)を上回る脅威時には、資源が需要を上回る挑戦時と比較して、引き算課題の成績が下がり、心拍数が上昇することが報告されている。そのため、このような線形の関係がみられたと考えられる。ただし、本研究では、HR の上昇がどのような心理状態に起因するかを明らかにすることはできなかった。暗算課題は日本語版 POMS の緊張-不安、怒り-敵意、疲労、混乱、活気の項目に有意な影響を与えることが明らかになっている[20]。暗算課題によって引き起こされる可能性が高いこれらの心理状態が、HR の上昇に影響を与えた可能性がある。場合によっては、特定の心理状態で引き起こされた HR の上昇

のみが、計算課題の成績に影響を与える可能性も考えられる。暗算課題が引き起こす心理状態と、HRの上昇率や計算課題の成績との関係を明らかにすることによって、知的作業の成績の低下を抑制するために避けるべき心理状態を特定できる可能性がある。

6. まとめ

本研究は、携帯型の生体センサーでも取得可能な生理指標と、知的作業の成績との関係を明らかにすることを目的とした。そのために、多くの携帯型の生体センサーで取得可能な生理指標である心拍数と、代表的な知的作業のひとつである計算課題の成績との関係を分析した。研究仮説は、心拍数と知的作業の成績は、逆U字の関係を示す、とした。一定の条件を満たした33名の被験者に、統制条件と実験条件の2つの条件で課題を与え、その結果を比較した。統制条件では、被験者に2桁の加算・減算を行う計算課題を与え、正解数を算出した。実験条件では、計算課題に加えて1桁の暗算課題を与え、統制条件と同様に、計算課題の正解数を算出した。両条件の計算課題の正解数の変化率と、心拍数の平均値、標準偏差、180拍移動平均の標準偏差の3つの指標の上昇率との関係を、正常にデータを取得できた27名分のデータを対象に分析した。

本研究の主な結論は以下の2点である。

1点目は、回帰分析の結果、HRの平均値および標準偏差の上昇率と計算課題の変化率との関係は、線形の1次式よりも、逆U字の2次曲線の方が、モデルの当てはまりが良いことが示された。特にHR平均値の上昇率に関しては、回帰分析における分散分析の結果と、係数であるHR平均値の上昇率の2乗が回帰式に与える影響が共に5%水準で有意だったため、他の指標と比較して、計算課題の成績を予測する際に有用であると考えられる。ただし、本研究で観測できたデータは、主に逆U字の頂点付近から右側のデータであり、決定係数も必ずしも高くなかったことから、更なるモデルの適合性の検証のために、HRの指標の変化率が低い被験者のデータを収集する必要がある。

2点目は、HRの平均値および標準偏差が中央値以上の群に関しては、HRの各指標の上昇率と計算課題の正解数の変化率との間に強い負の相関($r=-.793, -.741$, 共に $p<.01$)がみられた。つまり、暗算課題を課された際、心拍数が大きく上昇する被験者は、知的作業である計算課題の成績が大きく下がる可能性が高い。ゆえに、心拍数の上昇を抑えることによって、知的作業の成績の低下を予防でき、知的生産性の向上に寄与できる可能性がある。

付記 myBeat は、ユニオンツール株式会社の登録商標である。SPSS は、インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーションの登録商標である。

参考文献

- [1] 宮城和音, 内山皓介, 大林史明, 岩川幹生, 石井裕剛, 下田宏. 知的生産性評価のための集中指標の提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 2014, 16 巻, 1 号, p. 19-28.
- [2] 建築環境・省エネルギー機構. 知的創造とワークプレイス, 武田ランダムハウスジャパン, 2010.
- [3] 國政秀太郎, 瀬尾恭一, 下田宏, 石井裕剛. 知的作業中の生理指標計測による作業成績推定手法, 計測自動制御学会論文集, 2019, 55 巻, 4 号, p. 260-268.
- [4] Williams, R. B. Patterns of reactivity and stress. In K. A. Matthews, S. M. Weiss, T. Detre, T. M. Demobroski, B. Falkner, S. B., Manuck & R. B. Williams (Eds.) Handbook of Stress, Reactivity, and Cardiovascular Disease. New York. John Wiley & Sons. 1986, p.109-125.
- [5] Obrist, P. A. Cardiovascular psychophysiology: A Perspective. New York: Plenum Press. 1981.
- [6] Lacey, B. C., & Lacey, J. I. Studies of heart rate and other bodily processes in sensorimotor behavior. In P. A. Obrist, A. H. Black, J. Brener, & L. V. DiCara (Eds.), Cardiovascular psychophysiology: Current issues in response mechanisms, biofeedback and methodology. 1974, p. 538-564.
- [7] Blascovich, J., & Mendes, W. Challenge and threat appraisals: The role of affective cues. In J. P. Forgas(Ed.) Feeling and thinking: The role of affect in social cognition. London: Cambridge University Press. 2000, p. 59-82.
- [8] 岩永誠, 宇野宏, 吉田一誠. テスト不安状況における不安反応の時系列変化と課題遂行量との関連. 行動療法研究. 1986, 第11巻, 2号, p. 119-126.
- [9] Yerkes, R. M., and Dodson, J.D. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. J. Comp. Neurol. Psychol. 1908, vol.18, p. 459-482.
- [10] Spence, K. W. Anxiety (drive) level and performance in eyelid conditioning. Psychological Bulletin, 1964, vol. 61, p. 129-139.
- [11] Easterbrook, J.A. The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. Psychol. Rvw. 1959, vol. 66, no. 3, p. 183-201.
- [12] Emi Yuda, Hiroki Ogasawara, Yutaka Yoshida and Junichiro Hayano, Enhancement of autonomic and psychomotor arousal by exposures to blue wavelength light: importance of both absolute and relative contents of melanopic component, Journal of Physiological Anthropology, 2017, 36:13.
- [13] 角田啓介, 千葉昭宏, 千明裕, 吉田和広, 水野理, 心拍変動を用いた認知能力逐次推定手法, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービス(GN)ワークショップ論文集, 2015, p. 1-10.
- [14] John T. Cacioppo and Curt a. Sandman. Physiological differentiation of sensory and cognitive tasks as a function of warning, processing demands, and reported unpleasantness. Biological Psychology. 1978, vol.6, p. 181-192.
- [15] Logie, h. R., Gilhooly, J. K., WYNN, V.: Counting on working memory in arithmetic problem solving, Memory & Cognition, 1994, vol. 22, no. 4, p. 395-410.
- [16] エドワード・T・ホール. かくれた次元, みすず書房, 1970.
- [17] Holding, Lynn. "The Multitasking Monster." Mindful Voice. Journal of Singing 68, 2012, no. 4, p. 451-455.
- [18] 田中豪一, 澤田幸展, 藤井力夫. 暗算と反応時間作業における心臓血管系ストレス反応の血行力学的対比. 心理学研究, 1994, 64 巻, 6 号, p. 442-450.
- [19] 田中豪一, 澤田幸展, 藤井力夫. ストレス作業遂行時の迷走神経抑制 -圧反射感度および呼吸性不整脈による推定-. 心理学研究, 1994, 65 巻, 1 号, p. 9-17.
- [20] 山田晋平, 三宅晋司, 大須賀美恵子. 精神疲労を評価する指標の探索. 人間工学, 2012, 48 巻, 6 号, p. 295-303.