

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21256

研究課題名（和文）心拍変動評価による個人の心身ストレス度合いの定量化を目指した新たな評価法の確立

研究課題名（英文）Establishment of an evaluation method of an individual's mental and physical stress level using heart rate variability

研究代表者

田上 友季也（Tanoue, Yukiya）

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構（BKC）・研究員

研究者番号：70962463

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は心拍変動評価を用いた心身のストレス度合いを個別に評価する方法の検討を目的とした。初めに数日間の心拍変動を測定し、個人内・個人間の一致性を検討したところ、心拍変動値は個人間での一致性は認められず、その一方で個人内では一致性がありつつも日々の変動が確認された。そこで、個人の数日間の心拍変動値の平均値からの差分を日々の変化として評価し、心拍変動の日々の変動が引き起こされる要因を探索したところ、身体活動量、睡眠状態、心理状態の日々の変化との関連が認められた。このことから、数日間測定した心拍変動値の平均値からの差分を個別に評価することで、日々の心身のストレス状態を評価できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

心拍変動は死亡リスクやストレスとの負の関連があることから、心身の状態を簡易的に評価できる指標として期待されている。しかし、疾患以外の要因の影響も大きいことから、正常値と異常値の境界を設定することは難しく、臨床への応用は限られていた。本研究では日々の変動に着目し、個別に数日間の心拍変動の平均値を個人の基準値として設定し、平均値からの変化を評価することで、身体活動量や睡眠状態、心理状態の日々の変化とらえることができる可能性を示すことができた。このことは心拍変動評価が日常生活における心身のストレス状態を個別に把握できる手段の一つとなることが期待され、一次予防への一助になると考える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to investigate an individualized method of assessing the mental and physical stress using heart rate variability. Initially, we measured heart rate variability over several days and examined intra- and inter-individual consistency. We found that heart rate variability were not consistent among individuals, while intra-individual consistency was observed, but with daily fluctuations. Therefore, we evaluated the difference from the average of heart rate variability values over several days of individuals as daily changes, and searched for factors causing daily changes in heart rate variability. We found that daily changes in heart rate variability were related to these in physical activity, sleep status, and psychological status. These results suggested the possibility of evaluating daily physical and mental stress states by individually evaluating differences from the average of heart rate variability values measured over several days.

研究分野：運動生理学

キーワード：心拍変動 日間変動 ストレス 身体活動量 睡眠 心理

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

過度なストレスは身体的・精神的な健康に負の影響をもたらす。そのため、日ごろからストレス状態を把握することは、心身の健康悪化を未然に防ぐという観点から非常に重要である。これまで、ストレスの評価においては血液や唾液、毛髪などの生体試料や主観的な質問紙が用いられてきた。しかし、生活スタイルが多様化する現代社会の中で、手軽に、即時的にかつ継続的に評価できるシステムは不十分であると考えられる。

心拍は手軽に、即時的にかつ継続的に測定可能な指標の一つである。心拍は自律神経活動による調節を受けており、心拍の1拍毎の時間間隔は一定ではなく、常に揺らいでいる。この心拍の揺らぎ(心拍変動)は自律神経活動の評価方法の一つとして古くから用いられてきた。これまでの先行研究において、安静時の心拍変動が慢性的に小さい状態は将来の死亡リスクと関連することが報告されている(Jarczok et al., *Neurosci Biobehav Rev*, 2022)。つまり、心拍変動が低下した状態は心身が負の状態にあると考えられる。しかし、呼吸や年齢など疾患以外の要因の影響も大きいことから、正常値と異常値の境界を設定することは難しいとされ、臨床への応用は限られていた(Xhyheri et al., *Prog Cardiovasc Dis*, 2012)。

一方、心拍変動は日常生活におけるイベント(飲酒や風邪、激しいトレーニングなど)により一時的に低下することが示されており(Altini et al., *Sensors*, 2021)心拍変動評価を用いて日常生活のストレス評価にも応用できる可能性がある。しかし、この結果は集団での平均値の違いに基づいているため、実際の日々のストレス度合いを心拍変動により個別に評価できるかについては不明であった。

2. 研究の目的

本研究は、心拍変動評価を用いた心身のストレス度合いを個別に評価する方法の検討を目的とした。研究1では、心拍変動における日々の変動を考慮した各個人の基準値を設定する方法を検討する。研究2においては、研究1で設定した心拍変動の基準値からの日々の変化が日常生活状況のどのような要因と関連しているのかについて検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 実験プロトコルの概要

若年健康成人男女11名を対象に連続した4日間の就寝時の心拍計測を行った。連続した4日間においては、心拍の計測に加えて、日中の身体活動量、就寝時の睡眠状態の評価を行った。連続した4日間の心拍計測の翌朝(5日目)に実験室にて仰臥位、座位、立位、運動負荷(20% VO_{2max} と50% VO_{2max})時の心拍を計測した。連続した4日間の計測および翌朝の実験室での計測は1人当たり合計3回実施した。なお、実験室での心拍計測日の前日から測定日当日の朝にかけては、飲酒、カフェインの摂取、激しい運動は控えるように指示した。しかし、カロリー、カフェインの含まれない水の摂取は制限しなかった。

(2) 心拍変動評価

就寝時の心拍変動解析においては、就寝30分後から2時間の心拍データを採用し、心拍変動を算出した。また、仰臥位、座位、立位、運動時においては、各体位6分間の心拍データのうち、4分から6分の2分間の心拍データを採用し、心拍変動を算出した。本研究の心拍変動指標はRoot Mean Square of Successive Differences(RMSSD)とし、心拍変動解析ソフトウェア(Kubios, Finland)を用いて算出した。

(3) 身体活動量、睡眠状態の評価

身体活動量は3軸加速度計(HJA-750C active style pro, オムロンヘルスケア株式会社, 京都)を腰部に装着してもらい、起床時から就寝時まで常時装着するように指示した。身体活動量は歩数および中高強度身体活動量を評価した。また、睡眠状態の評価においては、3軸加速度計(GT9X, アクチグラフリンク, アクチグラフ社, アメリカ)を就寝前に非利き腕の手首に装着してもらい、就寝時は常時装着するように指示した。睡眠状態は睡眠効率、総睡眠時間、途中覚醒時間、平均覚醒時間、運動指数、断片化指数、総睡眠断片化指数により評価した。

(4) 統計解析

心拍変動の日々の違い、および個人間の違いを確認するために、個人内および個人間の級内相関係数を算出した。個人ごとの日々の変化量は、個人ごとに得られたデータを平均し、その平均値からの各日の測定値との差を算出した。すべての変数(心拍変動、身体活動量、睡眠状態、心理状態)において個人の平均値からの日々の変化量をそれぞれ算出し、単回帰分析を用いて心拍変動と身体活動量、睡眠状態、心理状態の日々の変化との関係を検討した。本研究における優位水準は5%未満とした。

4. 研究成果

研究1: 心拍変動の日々の状態を考慮した基準値の設定方法の検討

就寝時(4日間×3週)、安静時(仰臥位、座位、立位:週1回×3週)、運動時(週1回×3週)の心拍変動における、個人間および個人内の一致性を検討した。その結果、個人間での一致性は認められない、もしくは非常に低い一致性が確認された。このことから、心拍変動値は健常な若年層において個人間で異なることが示唆された。その一方で、心拍変動値は日々の変動が認められつつも、個人内においては中程度から高い一致性が認められた(Table 1)。これらの結果をまとめると、ストレスに対する心拍変動の変化を評価するためには、個別に基準値を設ける必要があり、個人内においては日々の変動はありつつも一定のレベルで変動していることが示唆された。この結果を踏まえて、日々の心拍変動値の平均値を個人の基準値とし、その基準値からの差分を日々の変化として評価することで、ストレスに対する反応を検出できるのではないかと考えた。

Table 1. 心拍変動における対象者内、対象者間の一致性

		ICC	95%CI (下限, 上限)	P値
RMSSD (ms)				
就寝時	対象者内	0.923	(0.795, 0.990)	<0.001
	対象者間	0.008	(-0.008, 0.150)	n.s.
仰臥位	対象者内	0.765	(0.499, 0.922)	<0.001
	対象者間	0.008	(-0.014, 0.524)	n.s.
座位	対象者内	0.695	(0.388, 0.895)	<0.001
	対象者間	0.033	(-0.011, 0.700)	n.s.
立位	対象者内	0.656	(0.331, 0.879)	<0.001
	対象者間	0.012	(-0.021, 0.622)	n.s.
運動負荷_20%VO ₂ max	対象者内	0.737	(0.453, 0.911)	<0.001
	対象者間	0.049	(-0.004, 0.737)	0.048
運動負荷_50%VO ₂ max	対象者内	0.551	(0.197, 0.832)	0.001
	対象者間	0.027	(-0.024, 0.721)	n.s.

RMSSD, root mean square of successive differences; ICC, intraclass correlation coefficient, 級内相関係数; CI, confidence interval, 信頼区間; VO₂max, 最大酸素摂取量; n.s. not significant.

研究2: ストレスに対する心拍変動反応の個別検出の可能性についての検討

研究1の結果から、心拍変動の日々の変動が日常生活下におけるどのような要因によって引き起こされるのかを明らかにするために、日常生活における身体活動量、睡眠の状態、心理状態の日々の変化と心拍変動の日々の変化(個人の平均値からの差)との関係を検討した。その結果、就寝時、安静時(仰臥位、立位)、運動時の心拍変動の日々の変化は、身体活動量、睡眠状態、心理状態の日々の変化とのあいだに一部関連性が認められたことから、日常生活における身体的・精神的ストレスの変化の大きさによって心拍変動が日々変化する可能性が示唆された。このことは、個別に数日間測定した心拍変動値を平均し、その平均値からの差分を個別に評価することで、日常生活における心身の日々のストレス状態を把握できる可能性が示唆された。本研究の成果は心拍変動評価が心身のストレス状態を個別に把握する方法の一つとしての提案につながり、健康状態の悪化を防ぐ一次予防への一助になると考える。

Table 2. 日々の心拍変動と身体活動量、睡眠状態、心理状態との関係

評価項目	RMSSD (ms)					
	就寝時	仰臥位	座位	立位	運動負荷 20%VO ₂ max	運動負荷 50%VO ₂ max
身体活動量						
歩数(歩)	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001*	0.000
中高強度身体活動量(METs・時)	-0.196	1.009	0.673	0.249	1.511*	-0.033
睡眠						
睡眠効率(%)	-0.019	0.327	-0.198	-0.084	0.196	-0.068
総睡眠時間(分)	0.017	0.056	-0.063	-0.053	0.032	-0.019*
総覚醒時間(分)	0.009	-0.091	-0.037	-0.012	-0.007	0.007
平均覚醒時間(分)	-0.399	-1.798	1.247	1.931	-1.018	0.357
運動指数	0.031	-0.046	0.576	0.560	-0.413	0.026
断片化指数	0.073	0.534	-0.829	-1.124*	-0.216	0.116
総睡眠断片化指数	0.063	0.265	-0.153	-0.321	-0.329	0.076
心理						
AH (a.u.)	-0.035*	0.618	0.961	3.171*	-2.481*	-0.331
CB (a.u.)	0.035	2.024*	0.677	0.352	0.493	0.164*
DD (a.u.)	-0.071	0.683	0.113	0.098	-0.172	0.150*
FI (a.u.)	-0.050	0.340	0.088	-0.095	-0.152	-0.011
TA (a.u.)	-0.096	-0.354	0.734	0.677	-0.167	-0.020
VA (a.u.)	-0.086	0.242	0.428	0.599	-0.545	-0.011
F (a.u.)	-0.073*	0.043	0.079	0.748	-0.753	0.308*
TMD (a.u.)	-0.141	0.213	0.029	0.034	0.002	0.019

数値は回帰係数を示す。従属変数はRMSSDとし、独立変数は身体活動量、睡眠、心理とした。単回帰分析においては、各変数それぞれにおいて、個人ごとに平均値を算出し、平均値からの各日の値の差分を用いて係数を算出した。RMSSD, root mean square of successive differences; AH, Anger-Hostility; CB, Confusion-Bewilderment; DD, Depression-Dejection; FI, Fatigue-Inertia; TA, Tension-Anxiety; VA, Vigor-Activity; F, Friendliness; TMD, Total mood disturbance (AH+CB+DD+FI+TA-VA); a.u., Arbitrary units. *p < 0.05.

(文献)

M. N. Jarczok, K. Weimer, C. Braun, D. P. William, J. F. Thayer, H. O. Gündel, et al., Heart rate variability in the prediction of mortality: A systematic review and meta-analysis of healthy and patient populations, *Neurosci Biobehav Rev.*, 2022, p104907

B. Xhyheri, O. Manfrini, M. Mazzolini, C. Pizzi and R. Bugiardini, Heart rate variability today, *Prog Cardiovasc Dis.*, Vol. 55 Issue 3, 2012, p321-331.

M. Altini and D. Plews, What Is behind Changes in Resting Heart Rate and Heart Rate Variability? A Large-Scale Analysis of Longitudinal Measurements Acquired in Free-Living, *Sensors*, Vol. 21 Issue 23, 2021, p7932.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tanoue Yukiya, Nakashima Shihoko, Komatsu Tomohiro, Kosugi Miki, Kawakami Saki, Kawakami Shotaro, Michishita Ryoma, Higaki Yasuki, Uehara Yoshinari	4. 巻 23
2. 論文標題 The Validity of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability during Cycling Exercise	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 3325 ~ 3325
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s23063325	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------