

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月8日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650155

研究課題名（和文）呼吸循環カップリング指標を用いた新規ストレス強度判定システムの開発

研究課題名（英文）Development of a new stress assessment system using cardiorespiratory coupling index

研究代表者

新関 久一（NIIZEKI KYUICHI）

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00228123

研究成果の概要（和文）：呼吸性不整脈(RSA)の位相差ゆらぎに着目した新たなストレス指標を提案した。ストレスとして暗算課題を課したとき、血圧と呼吸周波数(f_R)の上昇、RR間隔の短縮、RSAの減弱とともに呼吸リズムとRSA間の位相同期指標(λ)の低下が認められた。 λ はRR間隔で正規化した高周波成分のパワー(nHF)およびRSAと強い正の相関を示し、低周波成分(nLF)のパワーとnHFの比(nLF/nHF)と負の相関を示した。 f_R の随意的な増加に対してnHFやRSAは減弱するのに対し、 λ はほとんど影響を受けなかった。 λ は f_R の変化に干渉を受けないストレス反応に関連した自律神経活動を示す指標となる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We proposed a new psychological stress index using the phase-lag variations between respiratory sinus arrhythmia (RSA) and breathing. Heart rate (HR), systolic blood pressure, and breathing frequency (f_R) increased in response to mental arithmetic test, while the amplitude of RSA (A_{RSA}), high-frequency (HF) component of HR variability (HRV) and the degree of phase synchronization (λ) between RSA and breathing decreased. The λ was correlated with normalized A_{RSA} and the HF power of HRV, and was inversely related with normalized low-frequency (LF) component to HF ratio. In addition, λ was not susceptible to f_R influence. It is suggested that the λ could be a marker for assessing the interaction between psychological states and autonomic control.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	360,000	2,660,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，応用健康科学

キーワード：ストレスマネジメント，カップリング

1. 研究開始当初の背景

現代社会は「ストレス社会」とも言われ、多くの人が仕事や勉強、学校や職場での人間関係、家庭の問題などからストレスを感じており、うつ病などストレスが原因の「心の病」

は社会問題化している。ストレスに日常的に悩み、その解消や緩和を切望する生活者や就労者が多いにもかかわらず、ストレスの状態を正確に把握する判定方法や誰もが簡単かつ安価にストレスを判定できるシステムは

開発されていない。精神ストレスは心疾患発症の危険因子と見なされており、メンタルヘルスの管理は労働安全衛生上の重要な課題である。

2. 研究の目的

ストレス度を評価する手法として、問診や心理テスト等による主観評価が一般的である。また、血液・尿・唾液などに含まれるストレス関連物質を測る方法が提案されているが、医療機関や研究機関での実験に利用されているに留まっており、日常生活や就労状態での連続的なデータ取得は難しい。また連続的なモニタリングとは言えない。個人が日常、自己のストレス状態を定量的に把握する手段は今のところないのが現状である。

本研究では精神ストレスが心拍リズムと呼吸性不整脈(RSA)の位相差を攪乱させ、呼吸リズムと心拍リズムゆらぎ間のカップリングを低下させるのではないかと仮説を立てた。もしそうならば、カップリング強度(RSAと呼吸リズム間の位相コヒーレンシー)は精神的ストレス強度を反映する有益な尺度になると考えられる。これを検証するため、被験者が暗算課題を遂行しているときの心拍、呼吸、血圧を連続的に計測し、心拍リズムゆらぎの周波数解析から得られる指標との関連性を検討した。また、液性ストレス指標として用いられている唾液 α アミラーゼ活性も計測した。

3. 研究の方法

被験者：13名の男性と7名の女性の計20名(平均年齢 24 ± 3.5)を対象とした。被験者に実験概要を説明しインフォームドコンセントを得た。また実験は山形大学工学部倫理委員会の承認を得た。

被験者は座位で5分間安静の後、PCによる二桁の暗算課題に挑戦した。暗算は1問につき5秒以内で解答させ、100問正解するまで続けた。誤答はブザーで警告を与えた。暗算終了後再び5分間の安静を保った。その間、ワイヤレス心電計による心電図、インダクタンスプレチスモグラフィ法による呼吸、フィナプレスによる血圧を連続的に計測し、唾液 α アミラーゼ濃度を実験開始3分、6分、11分後および実験終了1分前に計測した。

ストレスは呼吸周波数(f_R)を増加させることが知られており、 f_R の上昇がRSAに間接的に影響を与えるため、ストレス負荷をかけないで随意的に f_R を変化させたときの位相コヒーレンス(λ)への影響を調査した。

データ解析：心電図と血圧波形からR-R間隔(RRI)と一拍毎の収縮期血圧(SBP)と拡張期血圧(DBP)を求めた。RRIはスプライン補間により10 Hzで再サンプリングした。呼吸波形も10 Hzでサンプリングした。RRIと呼吸波

形はさらに0.15~0.75 Hzのバンドパスフィルタを通した。Hilbert変換により呼吸とRSAの瞬時位相 ϕ_{resp} と ϕ_{RSA} を求め、それらの正規化した位相差 $\psi(t_k) = \{\phi_{resp}(t_k) - \phi_{RSA}(t_k)\} \bmod 2\pi$ から位相同期指標 $\lambda = [\cos\psi(t_k)]^2 + [\sin\psi(t_k)]^2$ を算出した。[...]は時間平均を表しており、時間窓は10秒とした。また、RSAの瞬時振幅(A_{RSA})を求めた。

心拍リズムゆらぎの周波数解析を行い、RR間隔で正規化した高周波成分(nHF)と低周波成分(nLF)のパワーを算出した。また、呼吸リズムとRSAのコヒーレンス(MSC)を求めた。

データは暗算開始前の安静時3分間(RST)、暗算開始直後の3分間(ART1)、暗算終了前3分間(ART2)、実験終了前3分間(RCV)の4区間に分けて解析した。

4. 研究成果

暗算遂行で血圧の上昇、RRIの短縮、呼吸数(f_R)の上昇、 A_{RSA} の減弱、 λ の低下が認められた(図1)。 α アミラーゼの濃度は暗算開始6分後に有意に上昇し交感神経活動の賦活が示唆された。

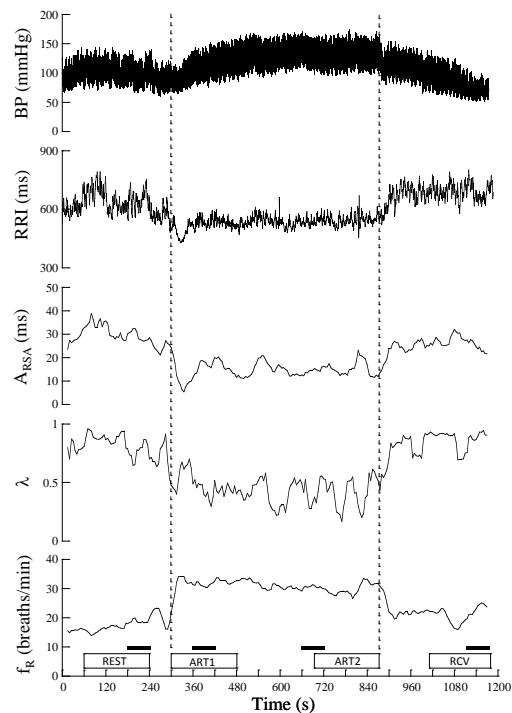


図1 血圧(BP)、心拍間隔(RRI)、RSA振幅(A_{RSA})、位相同期指標(λ)、呼吸周波数(f_R)に対する暗算課題の影響を示す1名の典型的な例。太線は唾液採取区間を示す。

λ はnHF(図2)および A_{RSA} と強い正の相関を示し、nLF/nHF(図3)と負の相関を示した。また、MSCとも高い相関を示した。

f_R を随意的に暗算時のレベルに増加させるとnHFや A_{RSA} 、MSCは減弱するのに対し、 λ は

ほとんど影響を受けなかった。

以上の結果から、 λ はストレス反応に関連した副交感神経活動の情報を反映すると考えられた。RSAの位相差ゆらぎから f_R の変化に影響を受けない自律神経活動の正規化指標が得られる可能性が示唆された。

今後は解析手法を携帯用デバイスに組み込むことで、日常生活におけるストレス度を提示する装置の開発に取り組む予定である。

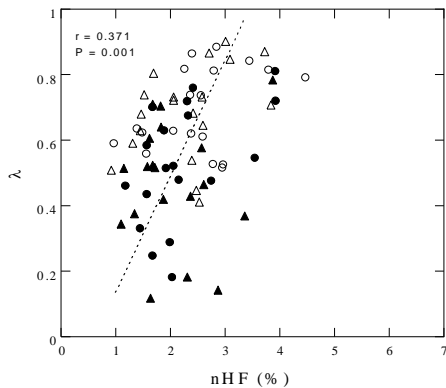


図2 正規化したHFパワー(nHF)と位相同期指標 λ の関係

○:RST, ▲:ART1, ●:ART2, △:RCV

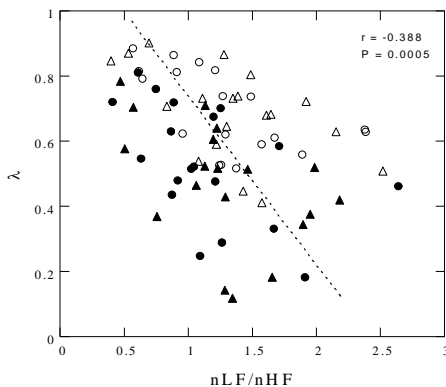


図3 正規化したLFとHFパワーの比(nLF/nHF)と位相同期指標 λ の関係

○:RST, ▲:ART1, ●:ART2, △:RCV

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

① Niizeki K, Saitoh T, Incoherent oscillations of respiratory sinus arrhythmia during acute mental stress in humans, American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology, 査読有, Vol. 302, No.1, 2012, 359-367, doi: 10.1152/ajpheart.00746.2011

② Niizeki K, Imano W, Harada N, Saitoh T, Assessment of mental stress by incoherent oscillations of respiratory sinus arrhythmia, Proceedings of 8th International Conference on Ubiquitous Healthcare 2011, 査読有, Vol.8, 2011, pp.49-52

③ Nishidate I, Wiswadarma A, Hase Y, Tanaka N, Maeda T, Niizeki K, Aizu Y., Noninvasive spectral imaging of skin chromophores based on multiple regression analysis aided by Monte Carlo simulation, Optics Letters, 査読有, Vol. 36 No.16, 2011, pp. 3239-3241, doi:10.1364/OL.36.003239

④ Nishidate I, Tanaka N, Kawase T, Maeda T, Yuasa T, Aizu Y, Yuasa T, Niizeki K, Noninvasive imaging of human skin hemodynamics using a digital RGB camera, Journal of Biomedical Optics, 査読有, Vol.16, 2011, 086012, DOI: 10.1117/1.3613929

⑤ Niizeki K, Tominaga T, Saitoh T, Nishidate I, Takahashi T, Uchida K. Effects of lower-leg rhythmic cuff inflation on cardiovascular autonomic responses during quiet standing in healthy subjects, American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology, 査読有, Vol. 30, No.5, 2011, pp. 1923-1929, doi:10.1152/ajpheart.01228.2010

⑥ 齊藤直, 深見忠典, 柳田裕隆, 高橋龍尚, 新関久一, 近赤外分光法によるヘモグロビン濃度測定は血流速度変化の影響を受けない, 生体医工学, 査読有, 49巻, 1号, 2011, pp. 185-190

⑦ Watanabe S, Tsuyuki K, Takahashi K, Ebine K, Sakamoto T, Matsuo T, Niizeki K, Takahashi T., Heart rate response to oxygen uptake during graded exercises as an index of cardiopulmonary functional reserve in patients on hemodialysis, The journal of rehabilitation sport, 査読有, Vol. 29, 2010, pp.2-6

⑧ 新関久一, 富永貴則, 知久幸之介, 名淵恵美, 齊藤直, 起立時の循環系応答に及ぼす模擬筋ポンプの影響, 第25回生体生理工学シンポジウム論文集, 査読無, Vol. 25, 2010, pp. 301-304

⑨ Saitoh T, Ooue A, Kondoh N, Niizeki K, Koga S., Active muscle oxygenation dynamics measured during high-intensity exercise by using two near-infrared spectroscopy methods, Advance in Experimental Medicine and Biology, 査読有, Vol. 662, 2010, pp.225-230

〔学会発表〕(計11件)

- ①新関久一, 菊池聖也, 今野稚奈, 原田直季, 齊藤直, 呼吸性不整脈の位相差ゆらぎに基づいたメンタルストレスの評価, 第23回日本臨床モニター学会総会, 2012.4.21, 横浜シンポジア(神奈川県横浜市)
- ②Niizeki K, Imano W, Harada N, Saitoh T., Assessment of mental stress by incoherent oscillations of respiratory sinus arrhythmia. Proceedings of 8th International Conference on Ubiquitous Healthcare 2011, 9.22, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス(滋賀県草津市)
- ③Niizeki K, Tominaga T, Chiku K, Nabuchi M, Saitoh T, Uchida K, Rhythmic lower-leg cuff inflation enhances cardiovagal reflex during quiet standing in healthy humans, 第58回アメリカスポーツ医学会議, 2011.5.31, コロラド, デンバー
- ④Saitoh T, Ishida Y, Matsumoto Y, Okuyama G, Niizeki K, Determination of the trends in the hemoglobin concentrations in inactive muscle during cycling exercise, 第58回アメリカスポーツ医学会議, 2011.5.31, コロラド, デンバー
- ⑤原田直季, 百瀬亮, 知久幸之介, 齊藤直, 新関久一, 筋収縮由来心拍リズム位相反応特性の抽出, 第50回日本生体医工学会大会, 2011.4.29, 東京電機大学(東京都千代田区)
- ⑥新沼大樹, 齊藤直, 新関久一, 三次元加速度による歩行運動時エネルギー代謝動態の推定, 第50回日本生体医工学会大会, 2011.4.29, 東京電機大学(東京都千代田区)
- ⑦今野稚奈, 鈴木香理, 齊藤直, 新関久一, 視聴覚刺激を用いた対人間の心拍リズム間位相同期の解析, 生体医工学シンポジウム2010, 2010.9.11, 北海道大学大学院情報科学研究科(北海道札幌市)
- ⑧新関久一, 富永貴則, 知久幸之介, 名淵恵美, 今野稚奈, 原田直季, 齊藤直, 起立時の循環系応答に及ぼす模擬筋ポンプの影響, 第25回生体生理工学シンポジウム, 2010.9.23, 岡山大学鹿田キャンパス(岡山県岡山市)
- ⑨Nabuchi M, Handa M, Chiku K, Saitoh T, Niizeki K. Effect of cognitive task on pulmonary oxygen uptake kinetics during moderate cycling exercise, 第49回日本生体医工学会大会, 2010.6.27, 大阪国際交流センター(大阪府大阪市)
- ⑩Saitoh T, Tomioka K, Muroi H, Niizeki K, Muscle deoxygenation dynamics in active and inactive muscles during heavy and moderate cycling exercise, 第87回日本生理学会大会, 2010.5.19, 盛岡市民文化ホール(岩手県盛岡市)

〔図書〕(計1件)

- ①新関久一, 野村国彦, 西川正範, メディカル情報出版社, カップリング理論でスマートに, 2010, 総ページ105p(担当部分61-76p)

〔産業財産権〕

○取得状況(計1件)

- ①
名称: 酸素摂取量測定方法およびこの方法を用いる装置
発明者: 新関久一, 吉澤保夫
権利者: 有限会社タック リサーチ
種類: 特許
番号: 特許第4719768号
取得年月日: 平成23年4月8日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://ecyber0.yz.yamagata-u.ac.jp/~nzk>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新関 久一 (NIIZEKI KYUICHI)
山形大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 00228123

(2) 研究協力者

齊藤 直 (SAITOH TADASHI)
山形大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 20454770