

令和元年6月25日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K13189

研究課題名（和文）寒冷・精神性ストレスによる二重の生体負荷が認知機能と運動能に及ぼす影響とその対策

研究課題名（英文）Effect of dual stress due to cold and mental stress on cognitive function and motor ability and its countermeasure

研究代表者

今井 大喜 (Imai, Daiki)

大阪市立大学・都市健康・スポーツ研究センター・講師

研究者番号：40614483

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、「寒冷ストレスと精神ストレスの二重の生体負荷が過度な交感神経活動の亢進によって認知機能および持久的運動パフォーマンスを低下する」という仮説を検証した。若年男性を対象に、寒冷刺激に加えて精神性疲労を誘発する条件、およびコントロール条件の2条件の下、ストレス負荷の前後にフланカー課題とトレイルメイキングテストによる認知機能検査を実施した。またストレス負荷後に80% Vo2peak強度による疲労困憊に至るまでの自転車漕ぎ運動を実施した。その結果、寒冷および精神性の複合ストレスは交感神経活動を亢進して疲労感を増悪させるが認知機能および持久的運動パフォーマンスを低下しないことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

寒冷ストレスと精神性ストレスによる二重の生体負荷が認知機能、運動能に及ぼす影響について明らかにしたことは、フィジカルな現象に対するメンタルな側面を定量的に表現した事になり、目下、災害対策・山岳遭難さらにはスポーツ現場で実際に起きている事象の具体的かつ論理的な解釈に寄与する。さらには運動・スポーツ活動を国民がより安心・安全そして効果的に実施するための方法に対する論拠を提供することとなる。

研究成果の概要（英文）：We tested the hypothesis that dual stress due to cold stimulation and a mental task decreases cognitive function and endurance exercise performance. Young male subjects participants performed the flanker task and trail making test before and after a mental task with cold exposure. In addition, a cycling test was carried out to exhaustion at 80% V02peak. While sympathetic nerve activity was enhanced and the sensation of fatigue was increased, cognitive function and endurance exercise performance were not lowered by dual stress.

研究分野：運動生理学、環境生理学

キーワード：寒冷ストレス 精神性ストレス 交感神経活動 認知機能 持久的運動能

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

災害大国日本では近年においても大震災による甚大な被害がもたらされている。とりわけ冬季に発生した阪神大震災や東日本大震災では、避難所では防寒設備の不足による寒冷ストレス、共同生活によるプライバシーの不保護や生活不安からの精神性ストレスによる二重の生体負荷が避難者にかかっている。近年、余暇スポーツとして登山が人気を博しており、それに伴って山岳遭難者数も増加していることから、その対策が急務である。山岳遭難者は、災害時の避難所生活と類似した状況におかれる。則ち、雪山に限らず、昼夜を外で過ごさなければならない状況から寒冷ストレスに曝され、また、生命確保の観点から精神性ストレスに曝されている。これら二重の負荷による生体への影響を検証することは、上述のような社会問題に大いに資すると推察されるが、災害や遭難を再現することは難しい。そこで、本研究は報告者が確立したスポーツモデルを用いてこれら課題を検証することであった。

暑熱環境では、運動前に皮膚温を低下させる身体冷却が、持久的運動能を向上させる方法として知られている。プレクーリングは、暑熱環境下での運動パフォーマンス低下を抑制するので、既に様々なスポーツ現場で使用されている。一方、冬季スポーツ現場では、環境要因によって競技前から競技者の身体が冷却される状況にある。報告者らは冷涼環境下のプレクーリングが瞬発的運動能を低下すること¹⁾、持久的運動能を決定する乳酸性作業閾値を低下すること²⁾を報告している。それは全身の皮膚表面冷却による交感神経活動の亢進に起因する。つまりプレクーリングが寒冷下ではネガティブに働くことを示唆している。また、寒冷曝露は中枢神経系のカテコラミン濃度を低下することが報告されており³⁾、認知機能に影響する可能性もある。スポーツ現場では精神的な影響によって運動パフォーマンスの低下する状況が数多く見られる。実際、精神性ストレスは交感神経活動を亢進させることが知られており、暑熱環境下では急性の精神性ストレスが安静時の局所発汗量を増加し⁴⁾、運動時の心拍数や換気量を増加することが報告されている⁵⁾。これらの研究結果は、いずれにおいても急性の精神性ストレスが交感神経活動を亢進させること、それによって持久的運動パフォーマンスの発揮に重要な体温調節機能および呼吸循環応答に影響を及ぼすことを示している。現在、環境ストレスと精神性ストレスの複合要因が認知機能に加えて持久的運動パフォーマンスに及ぼす影響についての報告は国際誌に一件⁶⁾暑熱下での検討のみであり、寒冷および精神性の複合ストレスが及ぼす影響については未だ不明な点が多い。

2. 研究の目的

以下の仮説を検証すること。

本研究の目的は、「寒冷および精神性の複合ストレスが認知機能および持久的運動パフォーマンスを低下する」(仮説)を検証することである。本研究の成果から、これらの機序解明にせまる考察を得ることをめざす。

3. 研究の方法

(1) 被験者

健全な若年男性(20-22歳)7名とした。呼吸・循環器系疾患、代謝・内分泌疾患、喫煙者、肥満者(体格指数 $30\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上)は除外した。被験者の身体特性は、年齢 21 ± 1 歳、身長 $172\pm 4\text{cm}$ 、体重 $63.9\pm 8.3\text{kg}$ 、最大酸素摂取量 $42.6\pm 6.0\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{分}^{-1}$ であった。

(2) 研究デザイン・方法

無作為化単盲検対照クロスオーバー比較研究とした。初回の試行の前に最大酸素摂取量の測定を実施した。各試行のプロトコルを図1に示した。実験は、温度28%相対湿度~30%に設定した人工気候室内にて実施した。被験者は、水循環

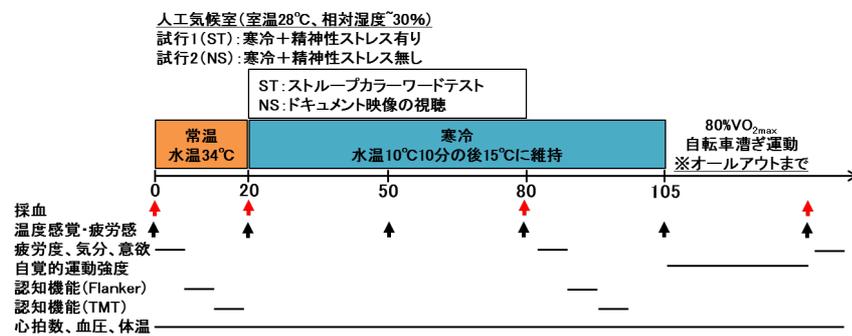


図1. 研究プロトコル

スーツを着用して椅座位安静20分(循環水温34°C)の間にChalder疲労度、Brunel気分スケール、Matthew意欲スケールを回答し、その後正面40cmの位置に設置したパソコンにてトレイルメイキングテストおよびフランカータスクによる認知機能検査を実施した。引き続き椅座位安静(10分後15°Cに維持)による寒冷刺激に加えてストループカラーワードテスト(500刺激×2セット55分)による精神性疲労を誘発する試行(Stress:ST)およびドキュメント映像を視聴するコントロール試行(Non-Stress:NS)の2試行の下、再び認知機能検査を実施した。

最後に最大酸素摂取量の 80% 相対強度による疲労困憊に至るまでの自転車漕ぎ運動を実施した。ウォーミングアップとして 0、20、40、60% の相対強度で各 1 分ずつ負荷して運動開始 5 分目に 80% 相対強度になるように設定した。この間 4 回の採血と 6 回の VAS による温度感覚および疲労感の評価をおこなった。心拍数、血圧、体温は連続的に測定した。

(3) 測定項目

主要評価項目は、トレイルメイキングテストの回答時間およびフランカータスクの正答率、平均反応時間、無反応数、疲労困憊に至るまでの運動継続時間とした。

副次評価項目は、VAS 温度感覚および疲労感、Chalder 疲労度、Brunel 気分スケール、Matthew 意欲スケール、自覚的運動強度、心拍数、血圧、皮膚温（前腕、上腕、胸、背中、大腿、下腿）、食道温とした。また採取した血液からアドレナリン、ノルアドレナリンおよびコルチゾールを分析した。

4. 研究成果

表 1 にストレス介入前後におけるトレイルメイキングテストおよびフランカータスクによる認知機能検査の結果を示した。回答時間、正答率、平均反応時間、無反応数において、いずれも各試行のストレス介入前・後 (Time) 試行間 (Trial: NS vs ST)、およびそれらの交互作用 (Time × Trial) に有意な差は認められなかった。

表 1. ストレス介入前後における認知機能検査の結果

	NT		ST		P 値		
	介入前	介入後	介入前	介入後	Time	Trial	Time × Trial
トレイルメイキングテスト							
回答時間 (s)	89.6 ± 4.0	96.3 ± 6.1	94.3 ± 4.1	96.2 ± 4.2	0.725	0.165	0.364
フランカータスク							
正答率 (%)	36.0 ± 1.0	34.6 ± 0.8	34.5 ± 0.9	35.2 ± 0.7	0.158	0.669	0.210
平均反応時間 (ms)	431 ± 15	400 ± 11	424 ± 14	427 ± 15	0.567	0.160	0.131
無反応数 (回)	1.1 ± 0.4	0.6 ± 0.3	1.3 ± 0.7	2.9 ± 1.9	0.356	0.573	0.208

7 名の平均値 ± 標準誤差

図 2 に持久的運動パフォーマンス

テスト時の疲労困憊に至るまでの運動継続時間の結果を示す。NS と ST との試行間に有意な差は認められなかった。

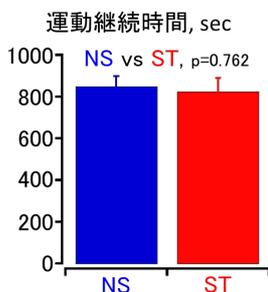


図 2. 80% VO_{2peak} 強度による疲労困憊に至るまでの運動継続時間。NS: ストレスなし, ST: ストレスあり。7 名の平均値 ± 標準誤差。

表 2 にストレス介入前後および運動終了後における疲労度、気分、意欲スケールの結果を示す。疲労度および気分スケールにおいて、Time に有意な差を認めた。

図 3 および図 4 に VAS による温度感覚および疲労度の結果を示す。温度感覚は正の値 (+100) で「極めて暖かい」を負の値 (-100) で「極めて寒い」を示す。また疲労感も正の値 (+100) で「完全に疲労」を示す。温度感覚では時間経過 (Time) に有意な差を認めた。一方で試行間 (Trial) に差は認められず、交互作用 (Time × Trial) も認められなかった。疲労感では時間経過 (Time) に有意な差を認めたが、試行間 (Trial) には認められなかった。一方、有意な交互作用 (Time × trial) が認められた。

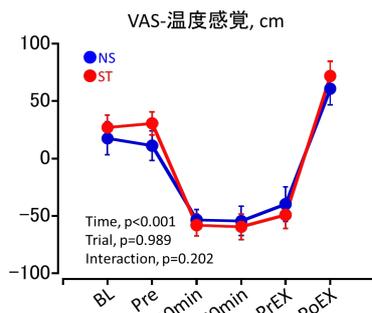


図 3. ビジュアルアナログスケールによる温度感覚の変化。NS: ストレスなし, ST: ストレスあり。BL: ベースライン, Pre: 介入直前, 30min: 介入 30 分目, 60min: 介入 60 分目, PrEX: 運動直前, PoEX: 運動終了直後。7 名の平均値 ± 標準誤差。

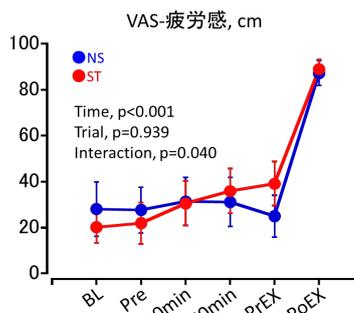


図 4. ビジュアルアナログスケールによる疲労感の変化。NS: ストレスなし, ST: ストレスあり。BL: ベースライン, Pre: 介入直前, 30min: 介入 30 分目, 60min: 介入 60 分目, PrEX: 運動直前, PoEX: 運動終了直後。7 名の平均値 ± 標準誤差。

表 2. ストレス介入前後および運動終了後における疲労度、気分、意欲スケールの結果

NT			ST			P 値		
介入前	介入後	運動終了後	介入前	介入後	運動終了後	Time	Trial	Time × Trial
疲労度 (24 点中)								
11.1 ± 3.1	11.0 ± 3.8	17.7 ± 4.6	5.9 ± 1.6	12.1 ± 2.7	19.6 ± 5.2	0.025	0.755	0.014
気分スケール [疲労 - 無力感] (16 点中)								
3.3 ± 1.0	4.3 ± 1.3	8.7 ± 2.0	7.0 ± 0.9	9.0 ± 2.3	7.7 ± 1.8	0.005	0.790	0.858
意欲スケール (28 点中)								
8.4 ± 1.7	7.7 ± 1.9	8.7 ± 2.0	7.0 ± 0.9	9.0 ± 2.3	7.7 ± 1.8	0.709	0.802	0.303

7 名の平均値 ± 標準誤差

有意な差を認めたものの試行間 (Trial) に有意な差は認められず、交互作用も認められなかった。

また、疲労度のみ Time × trial に有意な交互作用が認められた。いずれの項目においても試行間に有意な差は認められなかった。

図 5 に持久的運動パフォーマンステスト中の自覚的運動強度を示す。プロットは運動開始 5 分目から 3 分ごとの 8 分目・11 分目と運動終了時の値を示す。経過時間 (Time) に有意な差を認めたものの試行間 (Trial) に有意な差は認められず、交互作用も認められなかった。

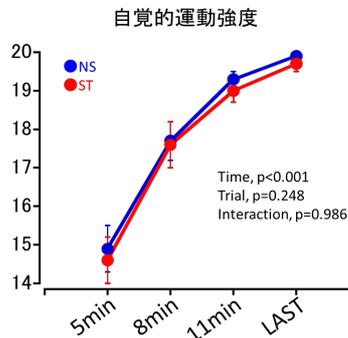


図5. 持久的運動パフォーマンステスト中における自覚的運動強度の変化。
NS: ストレスなし, ST: ストレスあり. 5min: 運動開始5分目, 8min: 運動開始8分目, 11min: 運動開始11分目, LAST: 運動終了時.
7名の平均値±標準誤差.

表3 にストレス介入前・中における心拍数、平均血圧、平均皮膚温、食道温の変化を示す。各値はストレス負荷の介入直前5分間・介入開始5分間・介入終了5分間の平均値を示す。心拍数、平均血圧、平均皮膚温の時間経過 (Time) に有な差を認めしたが、食道温には認められなかった。また、試行間 (Trial) に有意な差は認められず、交互作用 (Time×trial) も認められなかった。

表4 に持久的運動パフォーマンステスト中における心拍数、平均血圧、平均皮膚温、食道温の結果を示す。各値は運動開始5分目・8分目・11分目・運動終了直前1分間の平均値を示す。いずれの項目においても時間経過 (Time) に有な差を認めしたが、試行間 (Trial) に有意な差は認められなかった。また、交互作用 (Time×trial) も認められなかった。

表3. ストレス介入前・中における心拍数、平均血圧、平均皮膚温、食道温の変化

NT			ST			P値		
介入直前 5分	介入開始 5分	介入終了 直前5分	介入前	介入開始 5分	介入終了 直前5分	Time	Trial	Time ×trial
心拍数 (bpm)								
73.0±6.8	70.7±5.3	66.0±5.8	69.7±4.0	70.0±3.1	68.1±4.7	0.034	0.850	0.190
平均血圧 (mmHg)								
83.2±3.3	84.1±3.9	91.5±3.3	82.9±2.7	86.7±3.8	89.7±4.2	0.029	0.960	0.691
平均皮膚温 ()								
36.20±0.20	35.39±0.13	32.54±0.22	36.05±0.26	35.42±0.25	32.76±0.51	<0.001	0.906	0.723
食道温 ()								
36.74±0.09	36.76±0.10	36.61±0.12	36.30±0.44	36.33±0.39	36.61±0.12	0.852	0.487	0.349

7名の平均値 (食道温は4名) ±標準誤差

表4. 持久的運動パフォーマンステスト中における心拍数、平均血圧、平均皮膚温、食道温の変化

NS				ST				P値		
運動開始 5分目	8分目	11分目	運動終了 直前	運動開始 5分目	8分目	11分目	運動終了 直前	Time	Trial	Time ×trial
心拍数 (bpm)										
141.6±2.6	168.0±2.9	173.0±2.7	170.7±6.2	138.6±5.7	162.1±6.1	166.3±4.7	173.0±5.8	<0.001	0.603	0.575
平均血圧 (mmHg)										
105.3±4.5	111.9±4.8	111.2±4.3	111.5±5.0	102.34.3	118.8±5.7	107.1±9.4	107.1±6.8	0.076	0.761	0.310
平均皮膚温 ()										
33.44±0.49	34.00±0.38	34.29±0.28	34.45±0.29	33.53±0.47	33.47±0.47	34.16±0.50	34.27±0.54	0.001	0.710	0.493
食道温 ()										
36.38±0.26	36.61±0.13	37.11±0.08	37.48±0.20	36.02±0.21	36.45±0.22	36.96±0.23	37.23±0.31	0.026	0.308	0.623

7名の平均値 (食道温は4名) ±標準誤差

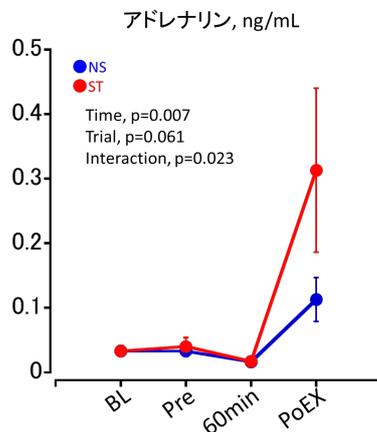


図6. 血中アドレナリン濃度の変化。
NS: ストレスなし, ST: ストレスあり. BL: ベースライン, Pre: ストレスなし, ST: ストレスあり. 60min: 介入60分目, PoEX: 運動終了直後.
7名の平均値±標準誤差.

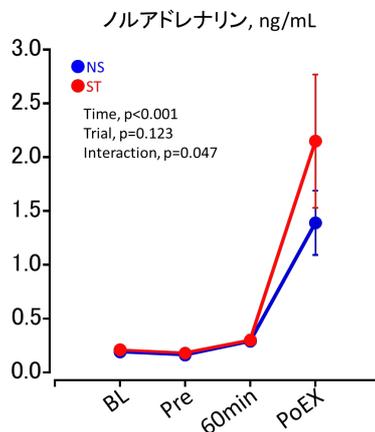


図7. 血中ノルアドレナリン濃度の変化。
NS: ストレスなし, ST: ストレスあり. BL: ベースライン, Pre: ストレスなし, ST: ストレスあり. 60min: 介入60分目, PoEX: 運動終了直後.
7名の平均値±標準誤差.

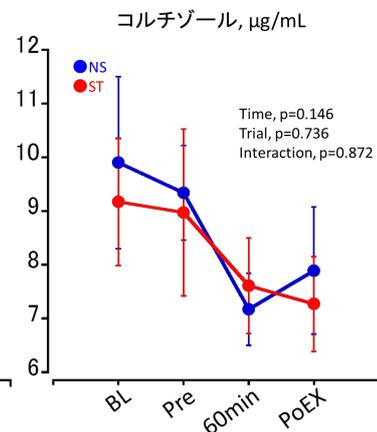


図8. 血中コルチゾール濃度の変化。
NS: ストレスなし, ST: ストレスあり. BL: ベースライン, Pre: ストレスなし, ST: ストレスあり. 60min: 介入60分目, PoEX: 運動終了直後.
7名の平均値±標準誤差.

図6は、血中アドレナリン濃度の変化を示す。運動終了直後でいずれの試行においても有意

に上昇し (Time) 試行間 (Trial) に有意傾向が認められた。さらに有意な交互作用 (Time × trial) が認められた。

図7は、血中ノルアドレナリン濃度の変化を示す。運動終了直後でいずれの試行においても有意に上昇したが (Time) 試行間 (Trial) に有意な差は認められなかった。また有意な交互作用 (Time × trial) が認められた。

図8は、血中コルチゾール濃度の変化を示す。経過時間 (Time) 試行間 (Trial) に有意な変化は認められず、交互作用 (Time × trial) も認められなかった。

以上の成果から、寒冷および精神性の複合ストレスは、交感神経活動を亢進して疲労感を増悪するが、認知機能および持続的運動パフォーマンスを低下しないことが示唆された。

< 引用文献 >

- 1) Imai D et al., Osaka City Med J. 57(2):67-77, 2011.
- 2) Imai D et al., Eur J Appl Physiol. 118(3):551-562, 2018.
- 3) Taylor L et al., Front Physiol. 6:372, 2015.
- 4) Machado CA and Taylor NA. Acta Physiol. 4:571-81, 2012.
- 5) Acevedo EO et al. Int J Sports Med. 12:1013-22, 2006.
- 6) Otani H et al., Eur J Appl Physiol. 117(1):119-129, 2018.

5 . 主な発表論文等

[学会発表] (計5件)

Takeda R, Imai D, Kawai E, Ota A, Saho K, Morita E, Suzuki Y, Yokoyama H, Okazaki K. The effects of core and skin temperatures and dehydration on heart rate response during interval exercise in warm and cool conditions. Experimental Biology 2018 (国際学会) 2018年

Okazaki K, Takeda R, Imai D, Kawai E, Ota A, Saho K, Morita E, Suzuki Y, Yokoyama H. Exercise in a warm condition enhances plasma volume expansion compared to a cool condition with an increased skin but not core temperature. Experimental Biology 2018 (国際学会) 2018年

Kawai E, Hanno G, Takeda R, Ota A, Morita E, Imai D, Suzuki Y, Yokoyama H, Okazaki K. Effects of fragrance inhalation of essential oil on control of blood pressure and muscle sympathetic nerve activity in humans. Experimental Biology 2018 (国際学会) 2018年

竹田良祐, 今井大喜, 河合英里子, 太田暁美, 佐保光祐, 森田恵美子, 鈴木雄太, 横山久代, 岡崎和伸. 高強度間欠的運動時の心拍応答に及ぼす皮膚温度上昇の影響. 第73回日本体力医学会大会. 2018年

河合英里子, 竹田良祐, 太田暁美, 森田恵美子, 今井大喜, 鈴木雄太, 横山久代, 岡崎和伸. 精油の匂い吸入に対する血圧および筋交感神経活動の応答. 第72回日本体力医学会大会. 2017年

6 . 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：岡崎和伸

ローマ字氏名：OKAZAKI Kazunobu

研究協力者氏名：横山久代

ローマ字氏名：YOKOYAMA Hisayo

研究協力者氏名：竹田良祐

ローマ字氏名：TAKEDA Ryosuke

研究協力者氏名：河合英里子

ローマ字氏名：KAWAI Eriko

研究協力者氏名：佐保光祐

ローマ字氏名：SAHO Kosuke

研究協力者氏名：太田暁美

ローマ字氏名：OTA Akemi