

温浴後の冷水浴における自律神経機能と血液成分の変化

Change of autonomic nervous function and blood component in cold water shower after a warm bath

永吉英記*, 渡辺剛**, 梶沢靖弘***, 川村協平****

Hideki NAGAYOSHI *, Tsuyoshi WATANABE **, Yasuhiro KABASAWA ***
and Kyohei KAWAMURA ****

ABSTRACT

It is recognized that cold bath is effective in the treatment of bronchial asthma and atopitic dermatitis. The cold bath training has been done broadly, but the science-based study must be warranted. Lately, in animal experiments repeated cold bath influenced not only autonomic nervous system, but reduced airway responsiveness. In addition, it revealed neuropeptide reduction in respiratory tract tissue even in the NANC (non-adrenergic non-cholinergic nervous system) defected by the blockade of both parasympathetic system and sympathetic system.

In this study, Single round cold bath loading was performed after a warm bath. The main search parameter was autonomic nervous function in terms of frequency analysis of R-R interval variability and adrenalin / noradrenaline and T cell / NK cell / N K T cell / neutrophils / lymphocytes / monocytes by blood examination. Obtained results showed that sudden rise and drop of parameter in sympathetic nervous system occurred in one minute after cold bath. A rise of noradrenaline occurred. However, the change of immune system was not remarkable.

Key words; cold bath training, Autonomic nervous function, blood component

はじめに

従来、気管支喘息やアトピー性皮膚炎などの鍛錬療法として冷水浴は経験的に有効との認識のもとに比較的広く行われてきた。現在でも多くの喘息患児が冷水浴を実施し効果を上げている。この

効果は、自律神経機能の調節、体力増強及び精神鍛錬などにより得られると考えられている¹⁾が、必ずしも冷水浴における科学的評価を行った研究は多くはない^{2, 9, 10) 18)}。

近年、動物実験において反復冷水浴が自律神経、内分泌に影響し、喘息動物の気道反応性を低下さ

* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Lab.of Graduate School of Sports System, Kokushikan University)

** 国士舘大学体育学部運動生理学教室 (Lab.of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

*** 国士舘大学体育学部スポーツ医科学科 (Department of Sport and Medical Science, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

**** 山梨大学教育人間科学部体育学教室 (Lab.of Outdoor Education, Faculty of Physical Education, Yamanashi University)

せることが確認され、また、副交感神経（コリン作動性神経）と交感神経（アドレナリン作動性神経）の2種類の他に、両神経を薬理的にブロックしておいても自律神経刺激によって下気道の反応が生じる、非アドレナリン非コリン作動性神経においても冷水浴による気道組織中の神経ペプチド減少がみられ、喘息予防効果のあることが確認された^{18, 19)}。これらの報告により、交感神経・副交感神経系以外に種々のニューロペプチド（Substance P）が喘息の病態に関与していると考えられ、冷水浴のさらなる研究が進められている。一方、近年になって白血球やリンパ球サブセットに α_1 adrenergic レセプターを多く出すものと cholinergic レセプターを多く出すものとの2種類があり、それぞれ交感神経興奮時、副交感神経興奮時に免疫細胞数が増加することが報告された¹⁻³⁾。これらのことから、自律神経機能に関わる冷水浴の効果として、冷水負荷における交感神経興奮と一時的な免疫細胞数の変化が影響していると推察できる。

本研究では、温浴中の体温上昇から、温浴直後の冷水シャワーによる急激な温度変化による、経時的な自律神経機能を評価する手法として、心血管系の循環調節機能を反映しているとされている、心拍変動の周波数解析を用いた^{4-8), 13, 16)}。

研究方法

I. 被験者

被験者は、次の13名とした（Table 1）。全員特に激しい運動を日常していない者で、加速度脈派測定により末梢循環良好で、問診、心電図による検査、及び血液学的検査で以上を認めていない。被験者には測定前日から激しい運動と欠食及び多量な飲酒を禁止し、実験の趣旨を十分に説明して理解させ測定に参加させた。また、全員より血液学検査内容を含む参加承諾書を得た。

Table 1 Age and stigma of subjects

Subject	Age	Height (cm)	Weight (kg)
K.S	31	166	68
T.T	25	182	71
Y.S	24	178	82
T.K	22	175	62
Y.Y	21	176	75
M.M	23	182	71
H.K	19	174	73
M.E	19	170	76
T.I	19	173	69
A.K	19	176	72
Y.S	22	180	76
S.T	22	181	86
M.T	22	168	65
Mean	22.15	175.46	72.77
S.D	3.31	5.22	6.50

II. 実験の手順

温浴5分前から温浴中（40～41℃）7分間、冷水シャワー（19℃）1分間の計14分間、心拍数および心電図R-R間隔を連続測定・記録した。

採血は、被験者に約10分間座位安静をとらせ、温浴5分前と冷水シャワー1分間直後の2回行い、温浴前と冷水シャワー後において比較した。また、実験中、医師及び看護婦同伴の上、採血は看護婦によって行なわれた。実験実施期間は2001年5月17日～5月22日であった。

III. 測定項目および分析方法

1. 心拍数、心電図R-R間隔の測定は、ジー・エム・エス社製アクティブトレーサーAC-300を用い、胸部双極誘導により、心拍数、R-R間隔を連続測定・記録した。
2. 心拍数の解析は、心拍数自動解析システムCHRAMを用いて解析した。
3. 自律神経機能の解析は、諏訪トラスト社製解析ソフトMemCalkを用いて、R-R間隔の時系列データを600secごとのセグメントに分け、セグメントごとにMEM（最大エントロピー

法)による周波数領域解析を行った。周波数における低周波数領域(0.04~0.15hz)、高周波領域(0.15~0.40hz)のパワーをそれぞれLF、HFとし、HFを副交感神経機能、LF/HF値を交感神経機能とした。

4. 血液成分は、安静座位にて採血し、以下の成分を三菱化学ピー・シー・エルに依託分析した。

- (a) 血液学検査：白血球数、赤血球数、血小板数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値。
- (b) 生化学検査：血清ナトリウム・クロール濃度、血清鉄。
- (c) 内分泌検査：血漿アドレナリン・ノルアドレナリン濃度(高速液体クロマトグラフィ法)・副腎皮質刺激ホルモン(ACTH)。

(d) 免疫学検査

<白血球像>

①adrenergic系…好中球、単球

②cholinergic系…リンパ球

<リンパ球サブセット>

(CD3およびCD16の二重染色法)

①adrenergic系…胸腺外分化T細胞(NKT細胞)、NK細胞

②cholinergic系…通常T細胞

IV. 統計的検定法

温浴前と冷水浴後との比較は対応のあるT検定を行なった。p<0.05をもって有意差ありと判定した。

結 果

II. 自律神経機能(HF・LF/HF)の変化

交感神経機能評価となるLF/HF値において、温浴直前(60sec)の安静時平均は2.23±1.06であった。温浴終了直前(60sec)の平均は12.14±4.12であった。冷水シャワー時(60sec)の平均は14.71±5.31であった(Fig.1)。温浴直前と温浴終

了直前、冷水シャワー後のLF/HF値に、有意な差がみられた。

副交感神経機能評価となるHF値において、温浴直前(60sec)の安静時平均は207.54±46.21であった。温浴終了直前(60sec)の平均は176.53±12.78であった。冷水シャワー時(60sec)の平均は173.91±19.46であった(Fig.2)。温浴直前と温浴終了直前、冷水シャワー後のHF値に、有意な差がみられなかった。

温浴直前から冷水シャワー終了までの経時的な交感神経機能の特徴は、温浴直前から交感神経機能のゆらぎがみられ、それぞれの高低差をもって変動し、冷水シャワー時に測定中の最も高い値に急激に上昇し、その後直ちに下降した。この反応は全ての被験者にみられた。に示す。一方、温浴直前から冷水シャワー終了までの経時的な副交感

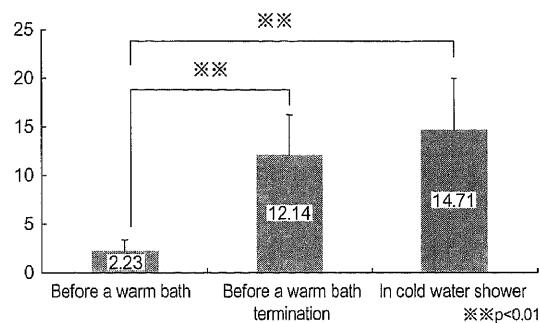


Fig.1 Change of mean LF/HF value to cold water shower for a warm

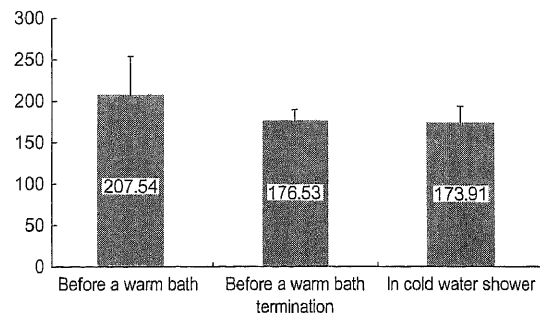


Fig.2 Change of mean HF value to cold water shower for a warm

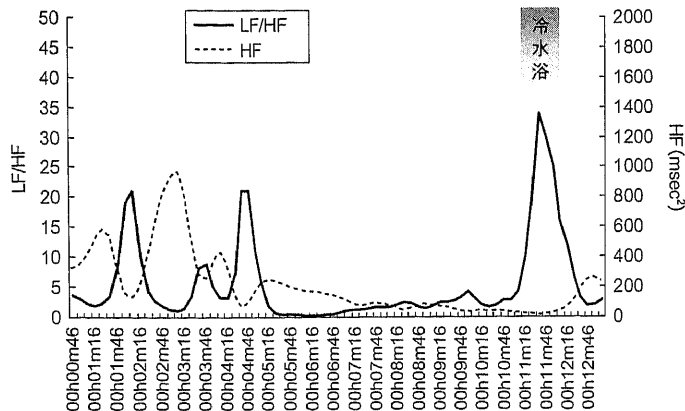


Fig.3 Change of LF/HF/HF value to a cold water shower termination for a warm bath (Sub:U.Y)

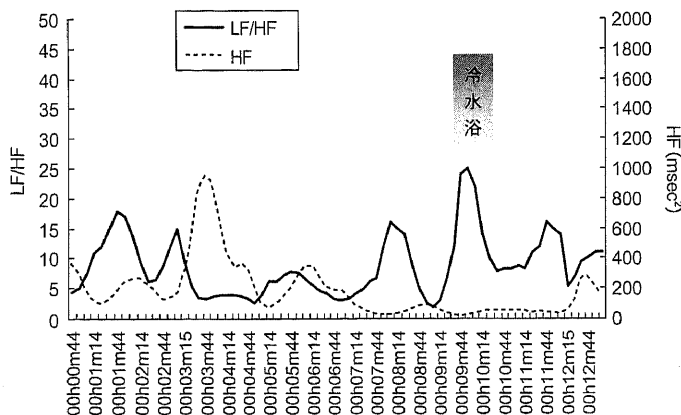


Fig.4 Change of LF/HF/HF value to a cold water shower termination for a warm bath (Sub:T.T)

神経機能は温浴前においてHF値の変動があるが、温浴中、冷水シャワーにおいては変動が少ない。この反応が顕著に現れた2名における温浴直前から冷水シャワー終了までのLF/HF・HF値の変化をFig.3、Fig.4に示す。

Ⅲ. 血液成分

1. 白血球数・赤血球数

被験者14名の平均値及び標準偏差において、温浴前、冷水シャワー後の白血球数は、 $6553.85 \pm 1021.94 / \mu\text{l}$ 、 $6700.00 \pm 1118.03 / \mu\text{l}$ であった。赤血球数は、 $482.62 \pm 15.81 / \mu\text{l}$ 、 $487.38 \pm 29.29 / \mu\text{l}$ であった。白血球数、赤血球数のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後とに有意な差はみられなかった。

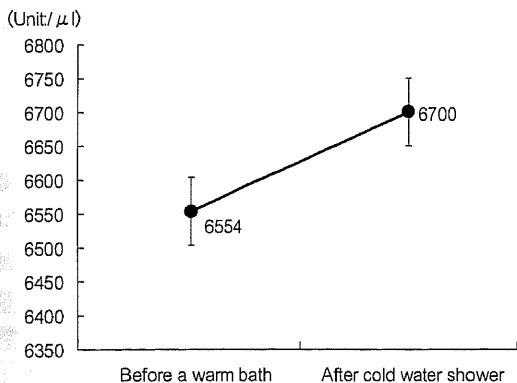


Fig.5 difference of average leukocyte

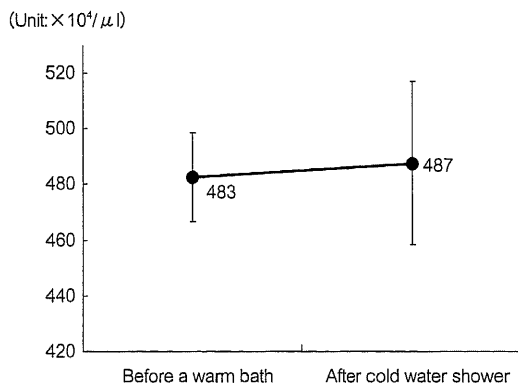


Fig.6 difference of average Erythrocyte

2. 血漿アドレナリン・血漿ノルアドレナリン・ACTH濃度

被験者14名の平均値及び標準偏差において、温浴前、冷水シャワー後の血漿アドレナリン濃度は $0.05 \pm 0.02 \text{ ng/ml}$ 、 $0.04 \pm 0.02 \text{ ng/ml}$ であった。血漿ノルアドレナリン濃度は $0.23 \pm 0.05 \text{ ng/ml}$ 、 $0.30 \pm 0.11 \text{ ng/ml}$ であった。ACTH濃度は $28.69 \pm 11.41 \text{ pg/ml}$ 、 $28.15 \pm 12.88 \text{ pg/ml}$ であった。血漿アドレナリン濃度、ACTH濃度のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後に有意な差はみられなかったが、血漿ノルアドレナリンにおいて、冷水シャワー後に有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

3. 好中球・単核・リンパ球の比率

被験者14名の平均値及び標準偏差において、温

浴前、冷水シャワー後の好中球比率は、 $59.21 \pm 3.45\%$ 、 $63.21 \pm 3.68\%$ であった。単核比率は、 $3.26 \pm 0.98\%$ 、 $5.26 \pm 1.26\%$ であった。リンパ球比

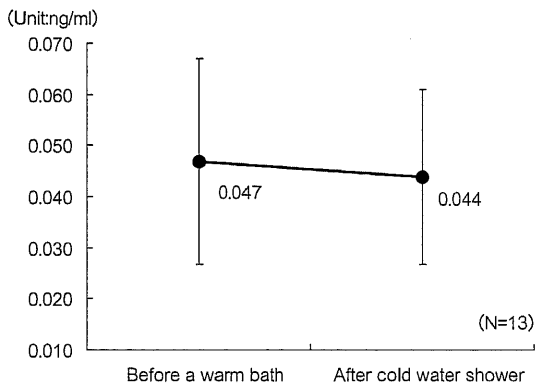


Fig.7 difference of average Adrenalin

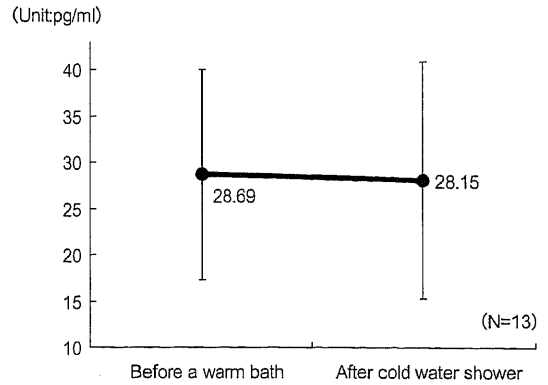


Fig.9 difference of average ACTH

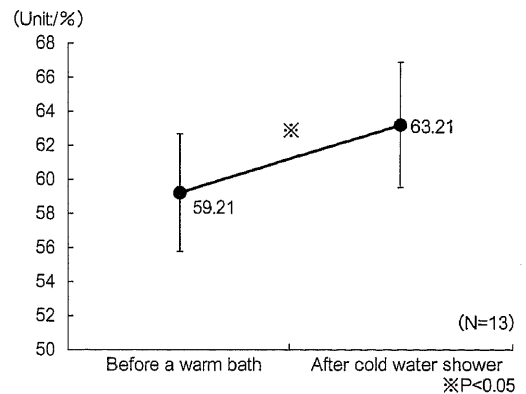


Fig.10 difference of average Neutrophilic

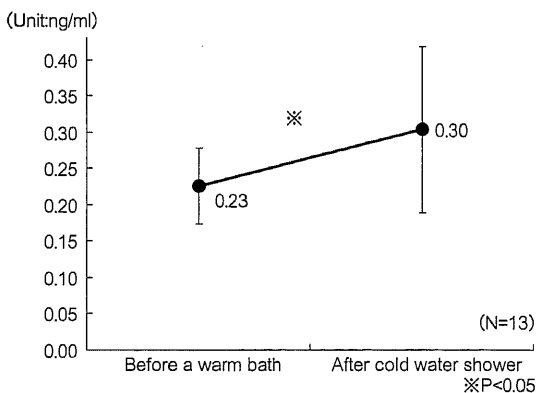


Fig.8 difference of average Noradrenalin

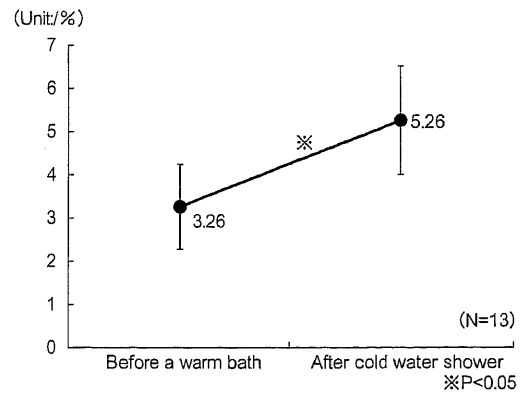


Fig.11 difference of average Monocytes

率は、 $29.11 \pm 8.63\%$ 、 $29.97 \pm 9.43\%$ であった。好中球比率、単球比率のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後とに有意な差がみられ ($p < 0.05$)、冷水シャワー後に高い値を示した。

4. NK細胞、NKT細胞、T細胞数

被験者14名の平均値及び標準偏差において、温浴前、冷水シャワー後のNK細胞数は、 $290.38 \pm 144.89 / \mu\text{l}$ 、 $252.23 \pm 80.91 / \mu\text{l}$ であった。NKT細胞数は、 $5.77 \pm 8.15 / \mu\text{l}$ 、 $9.77 \pm 10.29 / \mu\text{l}$ であった。T細胞数は、 $1218.46 \pm 408.55 / \mu\text{l}$ 、 $1248.38 \pm 388.55 / \mu\text{l}$ であった。NK細胞数、T細胞数のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後とに有意な差はみられなかったが、NKT細胞数において、冷

水シャワー後に有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

考 察

本調査で行なわれた冷水浴の方法は温浴直後に冷水シャワーを利用して、全身に冷水をかけるという条件であった。この条件設定は、実際の小児気管支喘息やアトピー性皮膚炎における冷水浴鍛錬療法として一般的な方法であることから設定をおこなった。本調査における温浴は 40°C から 41°C のやや高い温度設定で7分間であったため、被験者の多くは発汗を伴った。その直後の冷水シャワーの温度は 19°C と、比較的冷水にしては高い温度であった。自律神経機能の反応は、心血管系によ

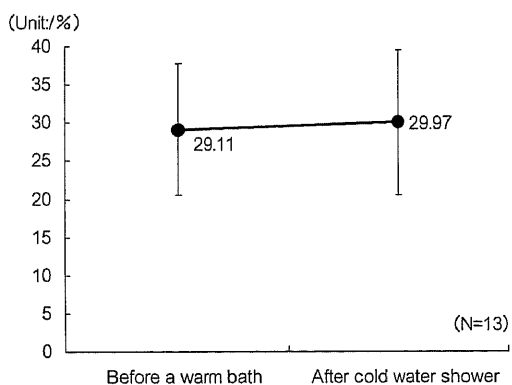


Fig.12 difference of average lymphocytes

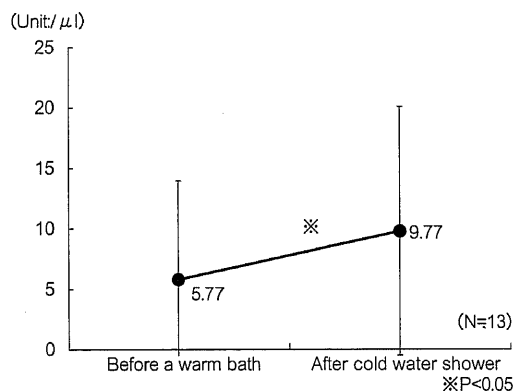


Fig.14 difference of average NKT cell ($\text{CD}3^+\text{CD}16^+$)

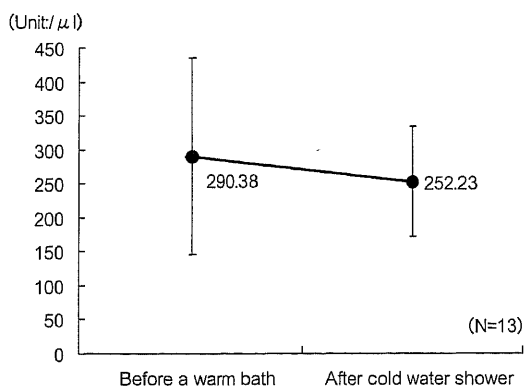


Fig.13 difference of average NK cell ($\text{CD}3^-\text{CD}16^+$)

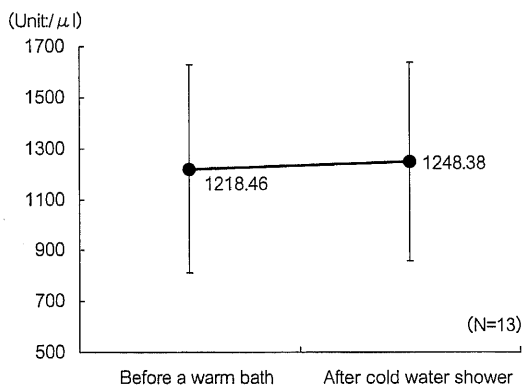


Fig.15 difference of average Thymus-derived cell ($\text{CD}3^+\text{CD}16^-$)

る自律神経機能評価として一般化されているR-R間隔変動の周波数解析を用いたが、呼吸性不整脈による反応を伴うため、温浴中や冷水シャワー中の大きな呼吸の乱れに注意を払って測定を行なった。交感神経活動の指標とされるLF/HF値の変動は、冷水シャワー直後急激な変動をし、その後の採血によって、血漿ノルアドレナリン濃度の上昇が顕著であった。しかし、副腎皮質ホルモン(ACTH)の上昇がみられなかった。冷水浴の効果として小山内¹⁴⁾は副腎皮質刺激ホルモンの分泌低下の改善に有効であると報告しながらも、機能的未発達段階である、乳児期や幼児期からの冷水浴により効果が高まると報告し、冷水浴の継続によりその効果が期待できることを述べている。また、吉原ら¹⁵⁾はHartley系雄モルモットによる水鍛錬療法モデルとして2週間の期間を設定している。これらのことから、ACTHなどの反応がみられなかった理由として、本調査が単回冷水負荷によるものであったと考えられる。また、採血のタイミングにおいても今後の検討が必要であろう。

白血球における好中球、単球、NK細胞、胸腺外分化T細胞は膜上にadrenergicレセプターをもち、逆にT細胞、B細胞はcholinergicレセプターをもっている。このため、日中、運動時、ストレス時の交感神経刺激状態で好中球、単球、NK細胞、胸腺外分化T細胞は活性化する¹⁾。また、副交感神経優位の体調になるとリンパ球、T細胞、B細胞が活性化する¹⁾。つまり、副交感神経優位状態でのリンパ球数の上昇にともなって、T細胞、B細胞は活性化し、アレルギー反応が起こりやすくなるという報告がある²⁾。したがって、冷水浴による効果として、交感神経活動の上昇に伴うT細胞、B細胞の抑制が考えられる。本調査において、adrenergicレセプターをもつ、好中球、単球が交感神経緊張に同調してその数を増やしたと考えられる。しかし、cholinergicレセプターをもつT細胞、B細胞の低下はみられなかった。これは、副交感神経活動がさほど変化しなかったためと考えられる。

ま と め

本研究では、男子大学生13名を対象に、温浴5分前から温浴中(40~41℃)7分間、冷水シャワー(19℃)1分間の計14分間、心拍数および心電図R-R間隔を連続測定・記録し周波数解析による自律神経機能調査をおこなった。また、温浴前と冷水シャワー直後に採血を行い、内分泌、免疫機能の評価とした。以上の調査内容から次のことが明らかとなった。

1. 交感神経機能評価となるLF/HF値において、温浴直前と温浴終了直前、冷水シャワー後のLF/HF値に有意な差がみられた ($p<0.05$)。
2. 副交感神経機能評価となるHF値において、温浴直前と温浴終了直前、冷水シャワー後のHF値に有意な差がみられなかった。
3. 温浴直前から冷水シャワー終了までの経時的な交感神経機能の特徴として温浴直前から高低差をもって変動し、冷水シャワー時に測定中の最も高い値に急激に上昇し、その後直ちに下降した。
4. 白血球数、赤血球数のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後とに有意な差はみられなかった。血漿アドレナリン濃度、ACTH濃度のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後とに有意な差はみられなかったが、血漿ノルアドレナリンにおいて、冷水シャワー後に有意に高い値を示した ($p<0.05$)。
5. 好中球比率、単球比率のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後とに有意な差がみられ ($p<0.05$)、冷水シャワー後に高い値を示した。
6. NK細胞数、T細胞数のどちらにおいても温浴前と冷水シャワー後とに有意な差はみられなかったが、NKT細胞数において、冷水シャワー後に有意に高い値を示した ($p<0.05$)。
7. 以上のことから、温浴後の冷水浴の効果として、交感神経系に関与する免疫細胞が、冷水浴時に一時的に急激な比率変化を起こすこと

により活性化され、継続することにより、アレルギーの原因となるT.B細胞の抑制に影響を及ぼすことが示唆された。

引用・参考文献

- 1) 安保徹,鳥谷部真一, 鈴木晋:白血球の自律神経レセプターとその働き, 炎症と免疫 4(5). 102-109, 1996.
- 2) 安保徹: 神経性食欲不振患者の末梢白血球中の好中球/リンパ球比と自律神経機能との関連, 心身医 40(8). 612-616, 2000.
- 3) 安保徹: 未来免疫学, 日本良導絡自律神経学会雑誌 42(11). 243-255, 1997.
- 4) AldredgeJL, WeichAJ: Variations of heart rate during dynamics to clinical cardiology. Ann N.M.Acad.Sci. 504, 1973.
- 5) Eckberg, D. I.: Human sinus arrhythmia as an index of vagal outflow, J. Appl. physiol.; Respirat. Environ. Exercise Physiol. 54(4), 961-966, 1983.
- 6) Fouad, F. M., Tarazi, R. C., Farrano, C., M. Fighaley, S. & Alicandri, C.: Assessment of parasympathetic control of heart rate by a noninvasive method, Am. J. Physiol., 246: H838-H842, 1984.
- 7) Hirsch, J. A. & Bishop, B.: Respiratory sinus arrhythmia in humans; how breathing Pattern modulates heart rate, Am. J. Physiol., 241: H620-H629, 1981.
- 8) Katona, P. G. & Jih, F.:Respiratory sinus arrhythmia; noninvasive measure of parasympathetic cardiac control., J. Appl. Physiol., 39: 801-805, 1975.
- 9) 勝呂宏, 山崎扶佐江, 杉内政己, 池部敏市, 高橋由利子, 五藤和子, 市村登寿, 吉原重美, 浅井秀美, 阿部利夫, 栗原和幸, 浅井義之, 寺道由晃:水浴及び水泳訓練による小児気管支喘息の機能訓練に関する研究報告. 公害健康被害補償予防協会委託業務報告書. 6-20, 1991.
- 10) 勝呂宏, 山崎扶佐江, 杉内政己, 池部敏市, 高橋由利子, 市村登寿, 吉原重美, 浅井秀美, 阿部利夫, 栗原和幸, 浅井義之, 寺道由晃:水浴及び水泳訓練による小児気管支喘息の機能訓練に関する研究報告. 公害健康被害補償予防協会委託業務報告書. 24-2, 1992.
- 11) 中島豊: 東京都M区における喘息時キャンプの研究(II). 弘前学院短期大学生生活福祉論集第2号. 11-20, 1998.
- 12) 大塚邦明, 山中崇, 久保豊, 中島茂子, 渡辺晴雄, 小沢利男:自律神経と生体リズム-1/f 揺らぎの臨床的意義とそのサーカディアンリズム, クリニカ, 東京, 1993.
- 13) 大友詔雄, 田中幸雄:最大エントロピー法の基礎理論とMemCalc, 生体時系列データ解析に関する最近の進歩—MemCalcの基礎と医学・生物学への応用—講演要旨集2-3, 生体時系列データ解析研究会, 1993.
- 14) 小山内博:健康づくりの基礎—予防医学の立場から—, 労働科学研究所出版部, 1987.
- 15) Pagani, M.et al:Power spectrum analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and in conscious dog, Cir. Res., 59: 178-193, 1986.
- 16) 中村好男, 玉木啓一, 篠原 稔, 木村裕一, 村岡功:漸増負荷運動中の心拍揺動パワースペクトルの推移, 体力科学, 38: 204-208, 1989.
- 17) 奈津井悌次郎:神経性調節(自律神経);生理学, 415-418, 医学書院, 東京, 1982.
- 18) 吉原重美:気道におけるサブスタンスP, VIPの存在意義.小児呼吸器疾患学会誌 2. 62-66, 1991.
- 19) 吉原重美:神経ペプチド-喘息の病態・治療での役割と意義-.日本小児呼吸器疾患学会雑誌 8. 8-19, 1997.