



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	水中運動実施の水温が感情, 体温, 血中NK細胞活性に及ぼす影響—中高年女性における水温30℃と34℃の比較—
Author(s)	森谷, 絜; MORIYA, Kiyoshi
Citation	北海道大学大学院教育学研究科紀要, 99, 55-69
Issue Date	2006-09-25
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/b.edu.99.55">https://doi.org/10.14943/b.edu.99.55</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14788">https://hdl.handle.net/2115/14788</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	2006-99-55.pdf



# 水中運動実施の水温が感情，体温， 血中NK細胞活性に及ぼす影響

— 中高年女性における水溫 30℃ と 34℃ の比較 —

森 谷 絜\*

Effects of water temperature differences on emotion, body temperature and blood natural killer (NK) cell activity during water exercise among middle-aged women

— Comparison between a pool water temperature of 30- and 34-degrees centigrade —

Kiyoshi MORIYA

**【要旨】** 水中運動は低体力者や障害をもつ人たちにも、「積極的休養法」になりうる運動と考えられる。本研究では、中高年女性を対象として、楽しみながら無理なく行う強度の水中運動が、実施者の感情・自律神経機能・免疫機能・体温に及ぼす効果を検討した。午後7時から、音楽のある環境で、熟練した指導者に従って、4-9名の集団で50分間の水中運動を実施させた。50分間の水中運動の代わりに、写真集を眺めて過ごす対照安静日を別な日の同一時刻に設けた。プールの水溫は、29-30℃、33-34℃の2種とし、可久的に同様の水中運動を行い、水中運動と対照安静実験前後の測定値を比較した。両水溫ともに、水中運動後に快感とリラックス感得点が高まり、血漿ノルアドレナリン (NA) 濃度が上昇したが、対照安静後に有意な変化は認められなかった。自然免疫能の指標である血中ナチュラルキラー (NK) 細胞活性は、水溫 33-34℃のプールで実施した水中運動後に上昇したが、29-30℃のプールと対照安静では変化しなかった。直腸温は、水溫 33-34℃のプールで実施した水中運動では、運動開始数分後から上昇したのに対し、29-30℃では最初低下し40-50分で上昇した。対照安静実験では低下し続けた。平均直腸温変化量積分値とNK活性変化量との間に、有意な正の相関が認められた。両水溫での50分間の水中運動実施は、交感神経活動(血漿NA濃度)を適度に高めることで感情を改善する可能性が推察される。水溫 29-30℃に比べて、33-34℃のプールは、水中運動実施によって、深部体温を上昇させてNK活性を高めるのに適していると考えられる。

**【キーワード】** emotion, NK cell activity, catecholamine, body temperature, water exercise

\* 北海道大学大学院教育学研究科健康スポーツ科学講座  
Graduate School of Education, Hokkaido University

## 緒言

現代に生きる日本人の「健康づくり」に重要な課題として、ストレス解消、疲労回復、体力向上に有効な「積極的休養法」の確立と普及があると考えられる。その休養法を継続して実施していくと、種々のストレスに対して耐性が強化され、防衛体力の向上、即ち健康づくりが期待できるような積極的休養法である。我々の従来の研究結果から、優れた積極的休養法として、水中運動の可能性に注目してきた (Oda et al, 1999; 2001; Moriya et al, 2003; 森谷, 2006)。

水中運動は水の性質 (浮力, 抵抗, 静水圧など) によって、陸上では運動能力の低い運動不足者, 高齢者, 障害者でも、身体が動きやすいことから、無理なく楽しく運動でき、急性効果とトレーニング効果が期待できる (Sova, 1995; 花井, 2006)。しかし、防衛体力の要である免疫機能や自律神経機能に対する水中運動の急性効果とトレーニング効果の検討は極めて少ない。我々は、陸上での快適自己ペース運動が自然免疫能であるナチュラルキラー (NK) 細胞活性を高め (松本他, 1998; Mizuno et al, 2001; 2003; 森谷他, 2001a; 井瀧他, 2002), 運動後に副交感神経優位の状態を作ること認めている (佐美他, 2001; 渡辺他, 2003)。NK 細胞は、過去に遭遇したことがなくても癌細胞などの異常細胞やウイルスなどに感染した細胞, 異物を標的として殺傷する免疫能を有するが、細胞表面にカテコールアミン, オピオイドなど多種類のホルモン受容体を有し、ストレス-神経内分泌系と深い関係のあることが報告されている (Whiteside et al, 2000)。我々は、自然免疫能と自律神経機能の指標として、血中 NK 細胞活性とカテコールアミン濃度に及ぼす水中運動の影響を検討してきた。本研究では、水中運動実施が感情と体温に及ぼす効果を併せて測定し、感情・体温・自律神経・免疫能の関連を考察することを目的とした。長寿高齢社会に必要なストレス耐性の向上, 防衛体力の改善, 健康づくりの方法を水中運動から検討しようと意図するものである。水の温度中性域は 34-36℃とされている (清水, 1997) ので、水の熱伝導率が高いことを考慮すると、水温 29-30℃のプールでの運動は、体温調節機能に対する改善効果が期待できると考えられる。一方、温度中性域の 34-36℃での水中運動が体温調節機構に及ぼす効果については未解明の点が多い。実験動物ラットを温度中性域である 35℃水温で 1 日 120 分間泳がせ、4-6 週間経過した後に耐寒能の向上したことが報告されている。120 分の水泳中にラットの直腸温を測定したが、有意な変動は認められなかった (森谷他, 1980)。

40-60 歳代の中高年齢女性では、加齢によって卵巣機能が低下し、女性ホルモンの分泌が低下することを主要因として、心身のバランスが崩れる更年期症状を呈する者の極めて多いことが報告されている (武谷, 2002)。水中運動は皮下脂肪の多い中高年齢女性にも適した運動であり、積極的休養法になり、防衛体力を高める可能性が推測される。水中運動を継続実施することによって、心身の健康度が上昇したという報告もある (Bravo et al, 1997)。本研究では 1 回実施の効果を検討するが、長期継続実施は、1 回実施の効果がくりかえされることで大きくなると考えられることから、本研究結果に基づいて長期継続実施の効果の可能性を考察する。

## 研究方法

### 1. 実験期間と被験者

水温 29-30℃のプールでの水中運動実験 (実験 1; 2000 年 12 月), 水温 33-34℃のプールでの

水中運動実験（実験 2；2002 年 2－3 月）を行った。被験者は本実験の目的と実験方法について十分に説明をうけ、実験被験者として本実験に参加することに文書で同意した、健常な 40－60 歳代女性（実験 1）、40－50 歳代女性（実験 2）各 9 名であった。実験 1 と 2 の被験者に同一者は含まれていなかった。その後、実験 1、2 の被験者とは異なる健常な 40－60 歳代の女性 9 名で、水温 29-30℃ と 33-34℃ のプールでの水中運動実験を行った（実験 3；2004 年 3 月）。実験 3 では、従来の実験デザインに直腸温の測定を加えて行った。

## 2. 水中運動を行った施設と実験環境

水温 29-30℃ での水中運動実験（実験 1）は、札幌市川下公園リラックスプラザ温水プール（平均水温：29.9℃、プールサイドの平均室温と相対湿度：31.4℃、57.0%）で水中運動を行い、安静と回復をプラザ内会議室（平均室温と相対湿度：25.0℃、50.0%）で全て行った。水温 33-34℃ の水中運動実験（実験 2）は、北広島市にあるワンデイ・スパ西の里店のプール（水温：33.0-34.0℃）で水中運動を行い、安静と回復をプールサイド（室温と相対湿度：28.8℃、83.0%）で行った。実験 1 の水中運動時に、被験者は上下半身の繋がった水着を着用したが、非運動対照安静日と水中運動日の安静時は T シャツと短パンで過ごした。一方、実験 2 では全ての時間を水着で過ごした。このような着衣の相違は、環境温湿度の違いによって選択され、どちらも被験者が快適と感じるものであった。実験 3 は、実験 1 と実験 2 の施設で、連続した期間内に、実験 1（水温：29-30℃）と実験 2 の施設内プール（水温：33-34℃）で、同一の被験者で、同じ水中運動指導者による可及的に同じプログラムの 50 分間の水中運動を行った。安静時と回復時は、T シャツと短パンで過ごした。

## 3. 実験の流れと測定項目・測定方法

図 1 に示すように、実験 1、実験 2、実験 3 の流れは可及的に同じであり、19 時から 19 時 50 分まで水中運動を行う運動日と同時刻に座位安静に過ごす非運動対照安静日で構成し、実験 1 と 2 では、両実験日を被験者にカウンターバランスをとって割り当てた。実験 3 では、被験者全員を水温 33-34℃ のプール、29-30℃ のプールでの水中運動実験、対照安静実験の順で、1 日の休みを入れて行った。実験 1、2、3 ともに、音楽のある環境で、同一の水中運動指導者が行う可及的に同じ言葉による指示と動きに合わせて水中運動をさせ、「無理をしないで、気持ちよく運動するように」と被験者に伝えた。50 分間の水中運動（非運動対照安静）の前 30 分と後 30 分間を安静に過ごさせた。心拍数をハートレートモニター（POLAR 社；アキュレックスプラス）によって全実験時間測定した。50 分間の水中運動（非運動対照安静）前後に肘静脈から採った血液サンプルを用いて、NK 細胞活性とノルアドレナリン（NA）、アドレナリン（A）、ドーパミン（DA）濃度を測定した。NK 細胞活性は、<sup>51</sup>Cr 遊離法（押味，1993）により、血中カテコールアミン濃度は HPLC（high performance liquid-chromatography）法（辻他，1988）によって測定した。測定は SRL 社に委託して行った。1 分間ごとの心拍数から、心拍予備率を下記の式によって求め、運動負荷強度の指標とした。

$$\text{心拍予備率} \{ \text{Heart Rate (HR) Reserve} : \% \text{HRR} \} = (\text{運動時 HR} - \text{安静時 HR}) / (\text{HR}_{\text{max}} - \text{安静時 HR}), \text{HR}_{\text{max}} = 220 - \text{年齢}$$

本実験では、図 1 に示すような時間間隔で感情の変化を、標準化されて信頼性と妥当性の得られた心理質問紙 Mood Check List-Short Form 1（MCL-S.1）（橋本と徳永，1996）によっ

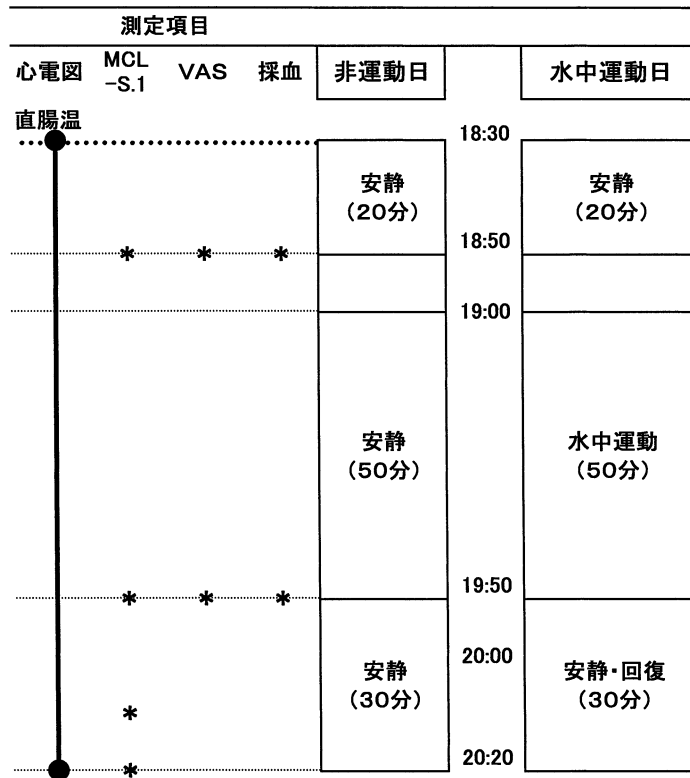


図1 水中運動実験と非運動対照安静実験の測定項目と時間の流れ図  
MCL-S.1: Mood Check List-Short Form 1, VAS: Visual Analog Scale

て測定した(実験1と2)。実験3では、MCL-S.1に加えて、標準化されている Visual Analog Scale (VAS) (Fukuda et al, 1998) によって感情と自覚的感覚を測定した。被験者の同意を得て、水温 29-30℃ と 33-34℃ のプールでの水中運動と対照安静実験で、実験を通して直腸温を測定した (おんどとり Jr. RTR-52, T&R 社)。

#### 4. 統計処理

水中運動日と対照安静実験日に反復測定した各測定項目について、実験条件ごとに、測定数が2点の場合には関連2群のt検定、3点以上の場合には1元配置分散分析を行った。1元配置分散分析で有意差が認められた時に多重比較検定 (Bonferroni 法) を行った。実験条件間の比較には反復測定2元配置分散分析 (条件×時間) を行い、条件の主効果と交互作用の有意差を検定した。交互作用に有意差が認められた場合に、関連2群のt検定で下位検定を行った。実験1と2における同一測定項目の比較は独立した2群の差の検定による。2つの測定値の関連について、Pearson 相関係数を求めて検討した。統計処理はすべて統計ソフト Statcel 2 (柳井, 2004) による。有意水準を危険率5%以下とした。

測定値は全て、平均値±標準誤差 (SEM) で表した。

## 5. 倫理的配慮

いずれの実験も、北海道大学大学院教育学研究科の「人間を対象とする研究倫理委員会」の審査を経て許可され、実施した。

## 結 果

### 1. 被験者の身体的特徴

実験 1 (水温 29-30℃) で 50 分間の水中運動実験に参加した被験者 9 名は、平均年齢 (±SEM) が  $49.2 \pm 3.2$  歳であった。実験 2 (水温 33-34℃) の被験者 9 名の平均年齢は  $50.8 \pm 0.7$  歳であり、両群に有意差は認められなかった。実験 1 (水温 29-30℃) に参加した被験者 9 名の平均身長は  $155.8 \pm 1.4$  cm, 実験 2 (水温 33-34℃) の被験者 9 名は  $154.4 \pm 1.4$  cm であり、両群に有意差はなかった。実験 1 (水温 29-30℃) の被験者 9 名の平均体重は  $56.0 \pm 1.9$  kg, BMI  $23.1 \pm 0.8$ , 実験 2 (水温 33-34℃) の被験者 9 名では  $52.5 \pm 0.6$  kg, BMI  $22.1 \pm 0.6$  であった。平均体重, BMI とともに両群に有意差は認められなかった。実験 3 の被験者 9 名は、46 歳から 64 歳 (平均年齢  $54.9 \pm 1.8$ ) であった。平均身長  $154.4 \pm 1.2$  cm, 体重  $55.3 \pm 2.6$  kg, BMI  $23.4 \pm 1.5$  であった。

### 2. 推定運動負荷強度

実験 1 (水温 29-30℃) で 50 分間の水中運動実験中に、1 分間隔で測定した心拍数から求めた平均心拍予備率 (%HRR) は、 $41.4 \pm 0.8\%$  (25-50%) であった。一方、実験 2 (水温 33-34℃) の平均心拍予備率 (%HRR) は、 $40.7 \pm 3.4\%$  (20-60%) であり、両者ともに中等度強度の負荷量であった。両群の平均 %HRR に有意差はなく、運動負荷量は実験 1 (水温 29-30℃) と実験 2 (水温 33-34℃) でほぼ同程度と考えられた。実験 3 の安静時心拍数は  $77.8 \pm 5.0$  拍/分 (bpm) (29-30℃),  $77.0 \pm 10.0$  bpm (33-34℃),  $75.0 \pm 7.3$  bpm (対照安静日) で 3 日の実験日間に有意差は認められなかった。29-30℃ の水中運動時の平均 %心拍予備率 (%HRR) は、 $16.4 \pm 3.3\%$  から  $56.7 \pm 8.5\%$  の範囲で変動し、50 分間の平均値は、 $39.7 \pm 8.9\%$  であった。一方、33-34℃ の水中運動時の %HRR は、 $16.0 \pm 3.0\%$  から  $49.5 \pm 7.0\%$  の範囲で変動し、50 分間の平均値は、 $33.1 \pm 6.4\%$  と 29-30℃ より幾分小さい値であったが有意差はなかった。

### 3. 水中運動実施による感情得点の変化

質問紙 MCL-S.1 によって測定した感情得点の結果は、既報と類似していた (森谷他, 2001 b; 清野他, 2002; 侘美と森谷, 2005; 侘美他, 2005)。実験 3 では MCL-S.1 と VAS で評価した快感情, リラックス感, 不安感などの感情の変化は、29-30℃ と 33-34℃ の温水プールで水中運動をしたときに安静にしていたときに比べて変化が大きかった。快感情, リラックス感のようなポジティブな感情得点は水中運動で高まった (図 2)。一方, 不安感のようなネガティブな感情得点は水中運動で低下したが、33-34℃ で実施したときに 29-30℃ で実施したときより不安感得点の低下が大きい傾向が示唆された。実験 3 における VAS の結果から、覚醒度, 気分, 意欲, 気持ち, 身体的疲労, 集中力得点のいずれにおいても、50 分間の水中運動後と回復 30 分後には対照安静日より有意に高い得点が認められた (表 1)。29-30℃ と 33-34℃ の温水プールの水温による違いは、食欲得点で見られ、33-34℃ の温水プールで 29-30℃ のプールよりも回復時ま

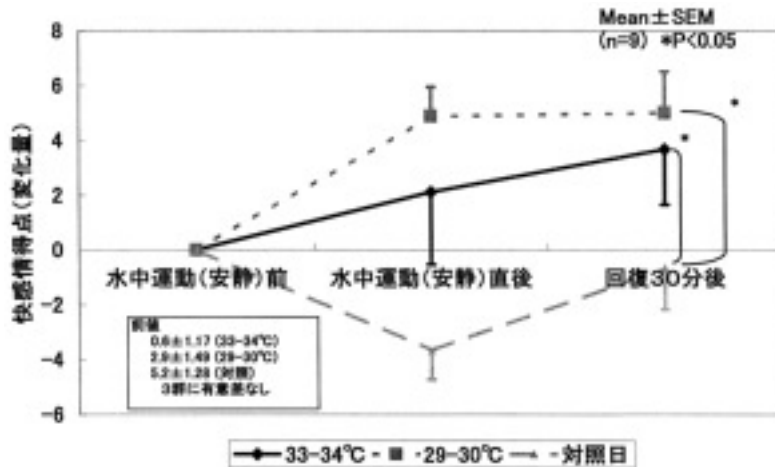


図2 50分間の水中運動(安静)による快感情得点(MCL-S.1)の変化

で高く維持された(表1)。

#### 4. 水中運動実施後の血中NK細胞活性の変化

実験1(水温29-30°C)で、50分間の水中運動を行った後にNK細胞活性の有意な変化は認められなかった(表2)(水中運動日の前値;  $35.0 \pm 5.0\%$ , 水中運動日の変化量;  $-2.9 \pm 2.2\%$  / 対照安静日の前値;  $27.9 \pm 4.3\%$ , 対照安静日の変化量;  $+0.8 \pm 4.2\%$ )。一方、水温33-34°Cで水中運動を行った実験2では、NK細胞活性は有意に上昇し、非運動対照安静日の同一時刻に比べても有意に大きい値を示した(表2)。(水中運動日の前値;  $20.7 \pm 2.0\%$ , 水中運動日の変化量;  $+6.3 \pm 2.1\%$  / 対照安静日の前値;  $20.8 \pm 3.2\%$ , 対照安静日の変化量;  $-2.8 \pm 2.0\%$ )。実験3では、実験1と2を支持するような結果が得られた。血中NK細胞活性は水温33-34°Cのプールで実施した50分間の水中運動によって有意に上昇した(水中運動日の前値  $8.3 \pm 1.8\%$ , NK活性変化量;  $+7.0 \pm 7.4\%$ )。一方、29-30°CでのNK活性前値  $11.3 \pm 2.5\%$ , 変化量は  $+2.8 \pm 5.3\%$ , 対照安静日のNK活性前値  $9.3 \pm 2.0\%$ , 変化量は  $-0.3 \pm 5.3\%$ で有意な変化は認められなかった(図3)。

#### 5. 水中運動実施後の血漿カテコールアミン濃度の変化

実験1(水温29-30°C)において、対照安静日に比べ水中運動を行った後、血漿NA濃度は有意に上昇した{ $F(1, 16) = 27.48, P = 0.000$ } (表3)。同様にDA濃度の上昇も有意であった{ $F(1, 16) = 6.95, P = 0.018$ }が、A濃度に変化は認められなかった。一方、水温33-34°Cで水中運動を行った時のカテコールアミン濃度の変化は、29-30°Cでの水中運動時と類似しており、対照安静日に比べ33-34°Cで水中運動を行った後、血中NA濃度は有意に上昇した{ $F(1, 16) = 16.51, P = 0.000$ }。一方、DA濃度の上昇は有意傾向にあり{ $F(1, 16) = 3.50, P = 0.080$ }、水中運動終了後の値は対照日の後値より有意に高かったが、A濃度の変化は有意でなかった(表2)。実験3でも類似した結果が得られた。

表 1 50 分間の水中運動（対照安静）による自覚的感覚（VAS）の変化

		水中運動前	水中運動直後	回復 30 分	ANOVA
覚醒度	1. 対照安静	7.5±1.0	4.6±0.8	7.1±1.2	P=0.028
	2. 29-30℃	8.0±1.0	9.1±0.6	8.6±0.9	
	1 vs 2		*		
	3. 33-34℃	7.6±0.5	9.0±0.4	9.1±0.3	
	1 vs 3		*		
	2 vs 3		NS		
気分	1. 対照安静	7.6±0.6	5.7±0.8	7.6±0.9	P=0.011
	2. 29-30℃	7.1±0.8	9.0±0.5	8.2±0.7	
	1 vs 2		*		
	3. 33-34℃	6.2±0.7	8.1±0.9	8.4±0.6	
	1 vs 3		*		
	2 vs 3		NS		
意欲	1. 対照安静	7.8±0.6	5.9±0.6	6.9±0.8	P=0.039
	2. 29-30℃	7.7±0.6	8.6±0.6	7.8±0.7	
	1 vs 2		*		
	3. 33-34℃	7.0±0.6	7.3±0.8	7.5±0.6	
	1 vs 3		*		
	2 vs 3		NS		
気持ち	1. 対照安静	8.2±0.6	6.9±0.6	8.5±0.4	P=0.045
	2. 29-30℃	7.9±0.6	9.0±0.3	8.2±0.6	
	1 vs 2		*		
	3. 33-34℃	6.8±0.6	8.1±0.8	8.3±0.6	
	1 vs 3		*		
	2 vs 3		NS		
身体的疲労	1. 対照安静	6.9±0.5	5.3±1.0	6.9±0.9	P=0.016
	2. 29-30℃	7.4±0.6	8.2±0.6	8.1±0.6	
	1 vs 2		*		
	3. 33-34℃	6.2±0.5	7.7±0.5	7.9±0.5	
	1 vs 3		*		
	2 vs 3		NS		
集中度	1. 対照安静	7.6±0.5	6.0±0.9	6.7±0.8	P=0.010
	2. 29-30℃	7.7±0.5	8.8±0.4	7.8±0.7	
	1 vs 2		*		
	3. 33-34℃	6.7±0.6	7.7±0.7	8.0±0.5	
	1 vs 3		*		
	2 vs 3		NS		
食欲	1. 対照安静	6.0±0.5	6.2±0.7	6.7±0.8	P=0.080
	2. 29-30℃	6.3±0.4	6.7±0.7	6.8±0.8	
	1 vs 2				
	3. 33-34℃	5.5±0.4	7.3±0.6	7.6±0.5	
	1 vs 3		*		
	2 vs 3		*		

Mean±SEM (n=9), \*P&lt;0.05 (Bonferroni 法), NS: 有意差なし

ANOVA: 交互作用の P 値を示す

VAS の下位得点は高いほど良好なことを示す

表 2 血中 NK 細胞活性の水中運動（対照安静）前後の比較

		水温	29-30℃	33-34℃
NK (%)	対照安静日	前	27.9±4.3	20.8±3.2
		後	28.7±5.4	18.0±3.7
		-----		
	水中運動日	前	35.0±5.0	20.7±2.0
		後	32.1±5.1	27.0±3.9*、 <sup>s</sup>
		-----		
ANOVA (P 値)	2 群間		0.434	0.329
	時間		0.661	0.248
	交互作用		0.449	0.007

Mean±SEM (n=9), NK: ナチュラルキラー細胞活性, \*P<0.05 vs 前値  
<sup>s</sup>P<0.05 vs 対照安静日, ANOVA 2 群間: 対照安静日と水中運動日

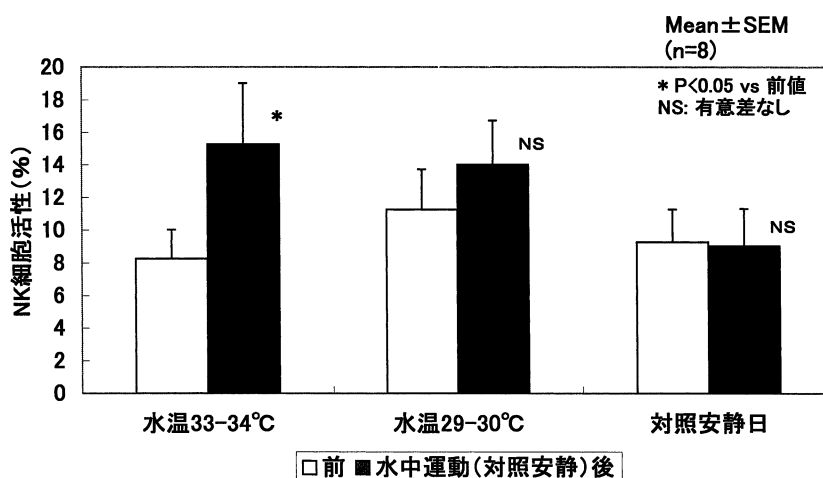


図 3 異なる水温での 50 分間の水中運動（対照安静）における NK 細胞活性の変化

## 6. 水中運動実施後の血中 NK 細胞活性とカテコールアミン濃度の相関

水中運動（対照安静）日におけるカテコールアミン濃度の変化量と NK 細胞活性変化量間の相関を検討した結果、水温 29-30℃では、NK 細胞活性変化量は、NA, DA, A 濃度のいずれの変化量とも有意な相関を示さなかった。水温 33-34℃の場合には、NK 細胞活性の 50 分間における変化量と NA 濃度の 50 分間における変化量間に、有意な正相関が認められた（図 4）。実験 3 においても、水温 29-30℃、水温 33-34℃のプールで実施した水中運動前後のカテコールアミン濃度の変化量と NK 細胞活性変化量間の相関は類似したものであった。

## 7. 体温の変化

実験 3 で測定した水中運動（対照安静）前の安静時平均直腸温 (n=8/1 名は測定に失敗した) は、37.2±0.3℃ (水温 29-30℃), 37.3±0.3℃ (33-34℃), 37.1±0.2℃ (対照安静日) で、3 日間の実験間に有意差は認められなかった。水温 29-30℃プールでの水中運動 50 分間による平均体温変化の時間推移は、水温 33-34℃のプールで実施した時の体温変化の推移と異なっていた。水中運動開始直後に低下し、40-50 分後に上昇したのに対し、水温 33-34℃のプールでは運動開始数分後から体温上昇が見られた（図 5）。50 分後の上昇は、+0.13±0.16℃ (水温

表 3 カテコールアミン血漿濃度の水中運動（対照安静）前後の比較

		水温	29-30℃	33-34℃
NA (pg/ml)	対照安静日	前	416.4±30.3	286.8±26.5
		後	385.0±29.4	260.1±27.1
	水中運動日	前	375.3±54.9	312.1±27.5
		後	538.0±51.0*,\$	408.8±47.8*,\$
	ANOVA (P 値)	2 群間	0.349	0.070
		時間	0.003	0.035
交互作用		0.000	0.001	
DA (pg/ml)	対照安静日	前	26.8± 9.0	12.1± 1.0
		後	20.4± 6.6	9.3± 0.7
	水中運動日	前	11.6± 0.6	12.8± 0.9
		後	14.4± 1.9*	14.7± 2.2\$
	ANOVA (P 値)	2 群間	0.192	0.038
		時間	0.339	0.955
交互作用		0.018	0.080	
A (pg/ml)	対照安静日	前	30.0± 5.8	18.3± 3.0
		後	22.4± 4.5	19.2± 3.8
	水中運動日	前	40.8± 7.6	27.3± 2.4
		後	28.7± 4.3	34.7± 8.0
	ANOVA (P 値)	2 群間	0.284	0.058
		時間	0.001	0.231
交互作用		0.378	0.344	

Mean±SEM (n=9), NA: ノルアドレナリン, DA: ドーパミン, A: アドレナリン  
 \*P<0.05 vs 前値, \$P<0.05 vs 対照安静日, ANOVA 2 群間: 対照安静日と水中運動日

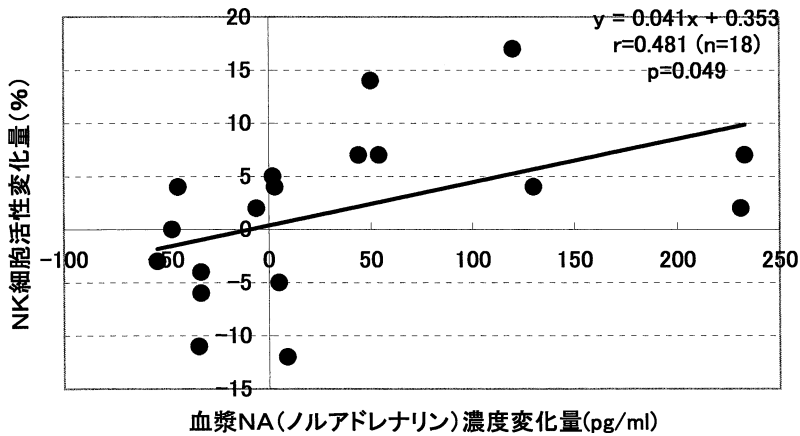


図 4 血漿ノルアドレナリン (NA) 濃度変化量とナチュラルキラー (NK) 細胞活性変化量間の相関 (水温 33-34℃での水中運動と対照安静)

33-34℃), +0.17±0.24℃ (水温 29-30℃), -0.19±0.09℃ (対照安静) であったが, 3 群の体温変化量の時系列データにすべての群間で有意差が認められた (Bonferroni 法)。水温 33-34℃, 水温 29-30℃, 対照安静日における直腸温変化に有意差が認められた。さらに, 50 分間の変化量を 1 分ごとの積分値としてみると, 水温 33-34℃での水中運動時の平均値 (+4.19±

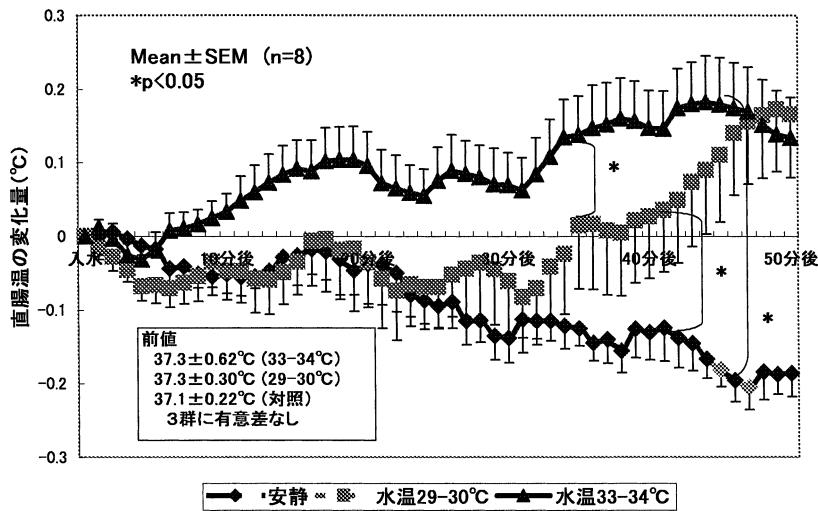


図 5 50 分間の水中運動（対照安静）による直腸温の変化

表 4 50 分間の水中運動（対照安静）後の回復時 30 分間における直腸温変化量の比較

	回復時前値	回復時変化量		
		10 分	20 分	30 分
1. 対照安静	37.1±0.08	-0.03±0.04	-0.13±0.12	-0.16±0.16
2. 水温 29-30°C	37.2±0.11	-0.04±0.05	-0.14±0.07	-0.27±0.09
1 vs 2	NS		*	
3. 水温 33-34°C	37.3±0.10	0.04±0.04	-0.07±0.07	-0.21±0.10
1 vs 3	NS		NS	
2 vs 3	NS		*	

Mean±SEM (n=8), \*P<0.05 (Bonferroni 法), NS: 有意差なし

1.63°C・50 分), 29-30°C の水中運動時の平均値 (-0.39±2.76°C・50 分), 対照安静時の平均値 (-4.59±1.19°C・50 分) であった。1 元配置分散分析で 3 群間の時系列データに有意差が認められたが, Bonferroni 法では水温 33-34°C での水中運動時と対照安静時に有意差があり, 水温 33-34°C での水中運動時の体温上昇は対照安静時より有意に大きいと考えられた。

また, 50 分間の水中運動（対照安静）終了後, 30 分間の回復時における直腸温変化量を 3 条件で比較すると, 水温 33-34°C のプールで実施した水中運動後は水温 29-30°C プールで実施した水中運動後に比べて, 体温低下が有意に小さかった（表 4）。水温 33-34°C のプールで実施した水中運動後の直腸温変化量は, 対照安静実験日の変化量と有意差がなかった。水温 29-30°C プールで実施した水中運動後の直腸温変化量は, 対照安静実験日の変化量より大きく, 体温低下が有意に大きい結果であった（表 4）。

#### 8. 水中運動実施による体温変化量と血中 NK 細胞活性変化量の相関

水中運動（対照安静）実施による体温変化量を 1 分ごとに求めて 50 分間の積分値とし, NK 細胞活性値の変化量との相関を検討した。直腸温を測定できた 8 名の水温 33-34°C のプールで実施した水中運動, 水温 29-30°C プールで実施した水中運動と対照安静条件ごとに体温変化量

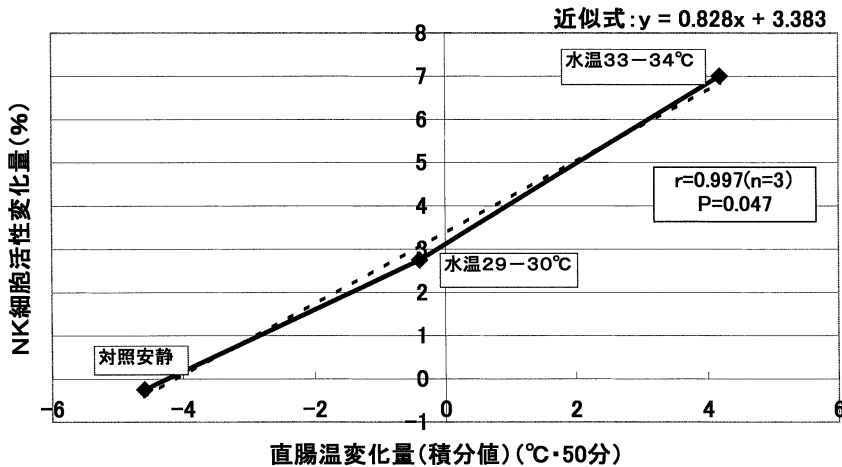


図6 直腸温変化量(50分間の積分値)とNK細胞活性変化量平均値間の相関  
破線は近似直線を示し、実線は平均値に対応している

積分値の平均値を求めると、NK細胞活性値の50分間の変化量平均値との間に有意な正の相関が認められた(図6)。

## 考 察

標準化され、信頼性と妥当性のある質問紙 MCL-S. 1, VAS によって測定した感情と自覚的感觉得点の結果は、既報と類似しており、50分間の水中運動実施によって快感情やリラックス感等のポジティブな感情が向上し、ネガティブな感情が低減した(森谷他, 2001b; 清野他, 2002; 侘美と森谷, 2005; 侘美他, 2005)。体温とNK細胞活性の間には正の対応のあることが報告されている(Kappel et al, 1997; Hiramoto et al, 1999; Isowa et al, 2006)ように、本研究でも、中高年女性が水温29-30°Cで中等度強度の水中運動を50分間実施したとき(実験1)に、水温33-34°Cでの水中運動と異なって、NK細胞活性が増加しなかった要因として、水温の違いによる中心部温の低下が関与する可能性が推測された。50分間の中等度強度で快適な自己ペース運動を陸上で実施した成年男性で、NK細胞活性と体温の上昇を認めている(松本他, 1998; Mizuno et al, 2001; 2003; 森谷他, 2001a)ので、本結果に29-30°Cという水温による体温の低下が影響している可能性が推察された。この可能性を検討する目的で、温度中性域33-34°Cのプールで可及的に水温29-30°Cの時と同一水中運動を行ない、血中NK細胞活性とカテコールアミン濃度に及ぼす影響の比較を行った(実験2)。さらに、同一被験者で、水温29-30°Cと水温33-34°Cの両実験を行って確認した(実験3)。実験3では、個人差の問題を解決し、体温の測定も同時に行う再実験を行ったことになる。しかし、水温が温度中性域とされる34°Cより低い33°Cに近かったという点が問題になるかもしれない。民営のプールを借りて実験を行ったための制約ではあるが、水温34°Cの結果と33°Cの結果は類似していたので、33-34°Cのプールは温度中性域であり、水温によるストレス負荷の小さい温水プールとして許容される範囲と考える。

水中運動によってカテコールアミン、特にノルアドレナリンの分泌が増加し、NK細胞活性が

変化することは既報に一致した結果であった (Whiteside et al, 2000)。水中運動によって、交感神経活動が亢進することを示す結果である。水温 29-30℃ (森谷他, 2001b; 侘美と森谷, 2005) と水温 34℃ (清野他, 2002; 侘美他, 2005) の水中運動実験ともに、感情の変化は好ましいものであった。快感得点とリラックス感得点が高まり、不安感得点が減少した。感情の改善には脳内ドーパミンやセロトニンが関係していると報告されている (Liechti et al, 2000)。血中カテコールアミンが血液脳関門のない部位 (視床下部など) から、脳内に取り込まれる可能性が記述されている (本間, 2005; 川口, 2005)。水温 29-30℃ のプールで実施した水中運動後に血中ドーパミン濃度が有意に高まり、水温 33-34℃ のプールで実施した水中運動後にも上昇傾向が認められた。水温 29-30℃ のプールで実施した水中運動についての既報 (Moriya et al, 2003) に記述したように、ドーパミン濃度変化量と不安感得点低下量間に有意な負の相関があり、心拍数と快感得点、ドーパミン濃度と心拍数の間に有意な正の相関が観察された。これらの結果からも、血中カテコールアミン濃度の上昇が感情の改善に関与している可能性が示唆される。

水温 33-34℃ のプールで実施した水中運動後には、ノルアドレナリン変化量と NK 細胞活性変化量間に有意な正相関が認められたが、ドーパミン濃度変化量と NK 細胞活性変化量間に有意な正相関は見られなかった。また、水温 29-30℃ のプールで実施された 50 分間の水中運動では、NK 細胞活性変化量はノルアドレナリン・ドーパミン濃度変化量の何れとも相関を示さなかった。水中運動では、NK 細胞活性の増大(変化量)がドーパミン濃度変化量と有意な正相関を示した陸上で実施した快適自己ペース運動 (Mizuno et al, 2001) とは異なっていた。この背景に、水中運動では、陸上での運動に比べて体温が上昇しにくいことが関係している可能性が推察される。快適自己ペースの水中運動によっても、血中カテコールアミン濃度の変化が生じることは明らかになったが、NK 細胞活性には体温の影響の大きいことが報告されている (Kappel et al, 1997) ため、水中運動では、陸上での運動とは異なる NK 細胞活性の変化が現れるのではないかと考える。詳細なメカニズムについては今後明らかにされていくものと考えられるが、恒温動物であるヒトの体温の恒常性とリズム性変動を考慮しなくてはならない。恒温性の体温が 1℃ 上昇すると、NK 細胞活性は数倍にも高まったという報告もあるため、今後の検討課題として残された。

本研究では水中運動を 1 回実施した時の感情・体温・自律神経活動・免疫機能に対する効果を検討したが、長期継続実施することで健康づくりに繋がる。1 回実施の効果がくりかえされることで大きくなると考えられることから、本研究結果に基づいて長期継続実施の効果の可能性を考察する。侘美と森谷(2005)は、水温 29-30℃ のプールで実施された 50 分間の水中ウォーキング教室に週 1 回 12 週間参加した後で、感情の改善や体力の向上を認めた。また、水温 33-34℃ のプールで実施された 50 分間の水中運動教室に週 2 回 12 週間参加することで、感情の改善や体力の向上と同時に、QOL 得点の向上やストレス感の低下がみられた (侘美他, 2005)。このように、無理のない運動強度で行う水中運動は、長期継続実施で健康づくりに繋がる可能性を有していると考えられる。

## まとめ

(1) 水温 29-30℃ と 33-34℃ のプールで中等度強度の水中運動を 50 分間実施した中高年女性に

- において、50 分間の対照安静に比べて、感情改善が顕著であった。
- (2) 水温 29-30℃ のプールで中等度強度の水中運動を 50 分間実施した中高年女性においては、自然免疫能の指標となるナチュラルキラー (NK) 細胞活性が増加しなかった。一方、温度中性域である水温 33-34℃ のプールで 50 分間の中等度強度の水中運動を実施した中高年女性においては、NK 細胞活性が有意に上昇した。対照安静では NK 活性は変化しなかった。
  - (3) 水温 29-30℃ で実施した 50 分間の水中運動によって、ノルアドレナリン (NA) とドーパミン (DA) 濃度が有意に上昇したが、アドレナリン (A) 濃度には変化が認められなかった。一方、水温 33-34℃ で 50 分間の水中運動によって、NK 細胞活性と NA 濃度が有意に上昇し、DA 濃度には上昇傾向が見られたが、A 濃度に変化は認められなかった。
  - (4) 水温 33-34℃ で実施した 50 分間の水中運動で、血中 NK 細胞活性の変化量と NA 濃度の変化量間に正相関が認められた。
  - (5) 水温 29-30℃ で実施した中等度強度の水中運動を 50 分間実施した中高年女性において、33-34℃ の場合と異なり NK 細胞活性が増加しなかった要因として、水温の違いによる中心部体温の変動の違いが関与する可能性が推察された。水温 29-30℃ と 33-34℃ での水中運動 50 分間実施時の直腸温を測定して比較した結果、50 分間の体温上昇度 (積分値) は 33-34℃ の方が 29-30℃ の時より有意に大きかった。水中運動後の回復時 30 分間における直腸温低下は、水温 29-30℃ で水中運動を実施した時が 33-34℃ の時より有意に大きかった。
  - (6) 水中運動 (対照安静) 実施による平均体温変化量積分値と平均血中 NK 細胞活性変化量の間、有意な正の相関が認められた。

## 謝 辞

北海道大学教育学研究科に在職した長い期間に、多くの院生や共同研究の方達と一緒に、「情動を最適化する運動」という研究課題にとりくみました。「主観的快」に基づいて運動強度を実施者に決めさせ、無理をしないで楽しくできる快適自己ペース運動に着目し、その心身効果を明らかにする研究を多面的に行うことができました。快適自己ペース運動を提唱された橋本公雄先生の助言を、研究の初期に頂くことができたことにも感謝申し上げます。「無理なく楽しく行う」水中運動は、陸上で行う「快適自己ペース運動」とは異なる面があり、本論文では水中運動のみにしぼりましたが、多くの課題を残しています。研究に「終わり」のないことを痛感しますが、時間は有限なので、ここでペン (パソコン) を終えます。これからの残された時間の中で、研究者としての思考を深めることができるのではないかと楽しく願っています。この場を借りて、長期にわたる研究室の関係者、健康スポーツ科学講座の皆様等のご協力とご鞭撻に心からお礼を申し上げます。さらに、本実験に被験者としてご協力いただいた皆様、プール関係者の皆様、運動指導をいつもやって下さった福岡永告子氏、実験 1-3 をサポートしてくれた健康教育ゼミの学生など、関係された皆様に心から厚くお礼を申し上げます。

大学・大学院において長期間にわたって研究できた私の原点は、医学部生理学講座で助手として勤務し、研究・教育に関わったことでした。研究者の基礎を育てて頂いた、伊藤眞次先生 (故)、広重力先生にこの場を借りて衷心より感謝申し上げます。その後、教育学部・教育学研究科に移ったあとも、「人間発達の科学」としての教育学研究に魅せられて過ごしてきました。「体と心から人間を測る」研究手法をある程度確立できてから、15 年間ほどが経過しました。この間に、「環境温度」から出発して、「運動」「食事」「香り」「入浴」「音楽」「仕事」などの心身

効果（影響）について、比較的類似した研究手法で取り組むことができました。科学的真理を解明することに加えて、社会が研究成果として期待することに応えることの重要性にも気づき、一定程度は対応することができたと考えます。この時期の折々にも、研究者としての道を拓かれた先達の先生や新進気鋭の方たちにお会いし、励ましと「力」を頂きました。何よりも、自由で構成員を大事にする教育学部の気風を育て発展させて来られた皆様に心より感謝し、今後とも良い伝統が引き継がれ発展することを衷心から祈念致します。

## [引用文献]

- Bravo, G, Gauthier, P, Roy, PM (1997) A weight-bearing, water-based exercise program for osteopenic women: Its impact to bone, functional fitness and well-being. *Arch Phys Med Rehabil*, 78: 1375-1380.
- Fukuda, N, Kohsaka, M, Sasamoto, Y, Koyama, E, Kobayasi, R, Honma, H, Matsubara, H, Nakano, T, Sakakibara, S (1998) Effects of short duration morning bright light in healthy elderly subjects. I: Subjective feeling and ophthalmological examinations. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 52: 250-251.
- 橋本公雄, 徳永幹雄 (1996) 運動中の感情状態を測定する尺度 (短縮版) 作成の試み — MCL-S. 1 尺度の信頼性と妥当性 —. *健康科学*, 18: 109-114.
- 花井篤子 (2006) 水と健康～水泳・水中運動～. *生涯スポーツと運動の科学* (森谷黎監／上杉尹宏・晴山紫恵子・川初清典編), 市村出版, 111-127.
- Hiramoto, RN, Solvason, HB, Hsueh, C, Rogers, CF, Demissie, S, Hiramoto, NS, Gauthier, DK, Lorden, JF, Ghanta, VK (1999) Psychoneuroendocrine Immunology: perception of stress can alter body temperature and natural killer cell activity. *International J Neuroscience*, 98: 95-129.
- 本間研一 (2005) 視床下部ホルモン. 本郷利憲, 広重力, 豊田順一 (監), *標準生理学* (第6版), 医学書院, 872-873.
- Isowa, T, Ohira, H, Murashima, S (2006) Immune, endocrine and cardiovascular responses to controllable and uncontrollable acute stress. *Biol Psychol*, 71 (2): 202-213.
- 井瀧千恵子, 本間裕子, 菅原誠, 渡辺明日香, 森谷黎 (2002) 中高年女性における 50 分間の快適自己ペース運動が血中 NK 細胞活性とカテコールアミン濃度に及ぼす影響. *体力科学*, 51: 727.
- Kappel, M, Poulsen, TD, Hansen, MB, Galbo, H, Pedersen, BK (1997) Immune changes during whole body hot water immersion: the role of growth hormone. *J Gravit Physiol*, 4 (2): 117-118.
- 川口三郎 (2005) 神経系の機能／概説 — 総論 —. 本郷利憲, 広重力, 豊田順一 (監), *標準生理学* (第6版), 医学書院, 180.
- Liechti, ME, Saur, MR, Gamma, A, Hell, D, Vollenweider, FX (2000) Psychological and physiological effects of MDMA (“Ecstasy”) after pretreatment with the 5-HT (2) antagonist ketanserin in healthy humans. *Neuropsychopharmacology*, 23: 396-404.
- 松本徳子, 小田史郎, 武田秀勝, 菅原誠, 森谷黎 (1998) 快適感を伴う走運動と免疫機能 — 体温との関連 — 快適自己ペース走前後の NK 細胞活性値, 鼓膜温, 皮膚温の変化 —. *体力科学*, 47: 978.
- Mizuno, T, Oda, S, Takeda, H, Sugawara, M, Moriya, K (2001) Immunological and hormonal responses to comfortable self-paced running in untrained healthy volunteers. *Med Sci Sport Exerc*, 33 (5) suppl: 303.
- Mizuno, T, Oda, S, Takeda, H, Mizuno, M, Moriya, K (2003) Immunological, hormonal, and psychological effects of comfortable self-paced running as compared to bed-resting relaxation in untrained healthy men. *Med Sci Sports Exerc*, 35 (5) suppl: S379.
- 森谷黎, 井川和夫, 広重力 (1980) ラットの非ふるえ産熱と血漿遊離脂肪酸利用に及ぼす運動鍛錬効果. *日本生気象学会雑誌*, 17: 59-64.
- 森谷黎, 小田史郎, 高橋貴子, 武田秀勝, 菅原誠 (2001a) 50 分間の快適自己ペース走が血中 NK 細胞活性値とカテコールアミン濃度に及ぼす影響. *北海道体育学研究*, 36: 71.

- 森谷黎, 小田史郎, 清野彩, 佐美靖, 井瀧千恵子, 渡部成江, 福岡永告子 (2001b) 夕方に実施した水中運動による情動と夜間睡眠の改善—中高年女性における検討—日本体育学会第 52 回大会号, 567.
- Moriya, K, Itaki, C, Oda, S, Sugawara, M (2003) Water exercise of moderate intensity improves emotion and sleep consciousness, with special reference to catecholamine secretion. *Physical activity, health promotion, and regional development in Northeast Eurasia. Proceedings of the International Council on Health, Physical Education and Sports in Northeast Eurasia 2002*. Kyodo Bunkasya (Sapporo), 1-7.
- 森谷黎 (2006) 防衛体力と行動体力に及ぼす水中運動の効果. 第 71 回日本温泉気候物理医学会総会プログラム・抄録集, 16.
- Oda, S, Matsumoto, T, Nakagawa, K, Moriya, K (1999) Relaxation effects in humans of underwater exercise of moderate intensity. *Eur J Appl Physiol*, 80: 253-259.
- Oda, S, Mizuno, T, Nakagawa, K, Moriya, K (2001) Recreational underwater exercise facilitates the sleep continuity in physically untrained males. *Adv Exercise Sports Physiol*, 7: 59-63.
- 押味和夫 (1993) NK 細胞 基礎から臨床へ. 金原出版, 23-32.
- 清水富弘 (1997) アクアと人間. 清水富弘 (監), アクアスポーツ科学, 科学新聞社, 1-26.
- 清野彩, 小田史郎, 井瀧千恵子, 森谷黎 (2002) 中高年女性における夕方 50 分間, 34°C の水中運動実施が情動と夜間睡眠に及ぼす影響. *体力科学*, 51: 726.
- Sova, R (1995) Water Fitness After 40. *Human Kinetics*, 3-123.
- 武谷雄二 (2002) ライフステージからみたクリマクテリウム. *日医雑誌*, 128: 1189-1191.
- 佐美靖, 渡辺明日香, 小田史郎, 森谷黎 (2001) 50 分間の快適自己ペース走が心拍数と心臓自律神経に及ぼす影響. *北海道体育学研究*, 36: 72.
- 佐美靖, 森谷黎 (2005) 週 1 回 12 週間の水中ウォーキング教室に参加した中高年女性の健脚度関連体力, 感情及び冬道セルフエフィカシーの向上. *日本生気象学会誌*, 42(1): 5-15.
- 佐美靖, 森谷黎, 小田史郎, Adikari, Merissa, Ocampo, 福岡永告子 (2005) 週 2 回 12 週間にわたって水中運動を実施した高齢女性の健脚度関連体力, 冬道セルフエフィカシー, 精神的健康度と QOL の改善. *日本生気象学会誌*, 42(1): 17-27.
- 柳井久江 (2004) 4 Steps エクセル統計第 2 版. オーエムエス社.
- 辻潮, 中西豊文, 中井一吉, 塩見寿太郎, 船橋修之 (1988) 全自動カテコールアミン分析計 (HLC-8030) による血中, 尿中カテコールアミンの分画測定. *臨床検査機器・試薬*, 11: 635-641.
- Whiteside, TL, Baum, A, Herberman, RB (2000) Natural Killer (NK) Cells (Ed. Fink, G) *Encyclopedia of Stress*. Academic Press, 3: 1-7.
- 渡辺明日香, 森谷黎, 清野彩, 本間裕子 (2003) 中高年女性における 50 分間のダンスムーブメント活動が心臓自律神経活動と感情におよぼす影響. *日本体力医学会北海道地方会抄録集*, 7.