

オープンウォータースイマーの皮膚温度感覚特性と ウェットスーツ普及のための基礎的研究

新潟医療福祉大学 藤本知臣
(共同研究者) 日本大学 原怜来
新潟医療福祉大学 馬場康博
同 松浦由生子

Characteristics of Skin Thermal Sensitivity in Open-Water Swimmers -Basic Research for Wetsuit Promotion-

by

Tomomi Fujimoto,
Yasuhiro Baba, Yuiko Matsuura
Department of Health and Sports,
Faculty of Health Sciences,
Niigata University of Health and Welfare
Reira Hara
College of Sports Sciences, Nihon University

ABSTRACT

In open water swimming (OWS) in cold water (water temperature:16-18 °C), swimmers are allowed to wear a wetsuit. Given that wetsuits retain heat, the wearing a wetsuit during OWS in cold water is considered to have a significant effect on the swimmer's body core temperature and thermal sensation. However, it is unclear how wearing a wetsuit affects body core temperature during OWS in cold water. Therefore, in the present study, we examined (1) the local skin thermal sensitivity of OWS swimmers, and (2) the effect wetsuit on body core temperature during OWS in cold

water. In experiment 1, local skin warm and cool sensitivities were measured in 8 OWS swimmers (OWS group) and 15 healthy adults (Control group). Although local skin warm sensitivity did not differ between groups, the OWS group tended to be less cold-sensitive than the Control group ($P = 0.075$). In experiment 2, four OWS swimmers performed two 2-hour OWS trials in cold water (water temperature: 15-16°C) with (wetsuit trial) and without wetsuits (swimsuit trial). Body core temperature was measured during OWS by ingestible thermometer. Body core temperature during OWS was higher in wetsuit trial than swimsuit trial ($P = 0.046$). These results suggest that OWS swimmers tend to be more tolerant of cold than non-swimmers. In addition, wearing a wetsuit can prevent decrease in body core temperature during OWS in cold water.

キーワード

マラソンスイミング、耐寒性、深部体温、温度感覚、スポーツセーフティ

Keyword

Marathon swimming, Cold tolerance, Core temperature, Thermal sensation, Sports safety

要 旨

ウェットスーツの着用が低水温下（水温16-18°C）でのオープンウォータースイミング（OWS）中の体温にどのような影響を及ぼすかは明らかではない。本研究では、①OWSスイマーの皮膚温度感覚特性および②ウェットスーツ着用がOWS競技中の深部体温に及ぼす影響を検討した。実験①では、OWS選手8名（OWS群）および健常成人15名（Control群）において皮膚温冷覚を測定し、OWS群でControl群よりも冷感受性が鈍い傾向にあった（ $P = 0.075$ ）。実験②では、OWS選手4名において低水温下（水温15-16°C）におけるOWS中の深部体温をウェットスーツの着用の有無で比較し、OWS中の深部体温はウェットスーツ着用時に高かった（ $P = 0.046$ ）。これらの結果から、OWS選手は寒冷に強い傾向があり、ウェットスーツの着用により低水温下でのOWS中の深部体温低下を防ぐことができる事が示唆された。

された。

諸 言

オープンウォータースイミング（OWS）は、海や川で5-25kmといった長距離を最大5時間程度泳ぐ水泳競技であり、2008年北京オリンピックから正式種目として採用されて以来、その人気と競技人口は世界中で増加している。その一方で、OWSのレースが行われる水温の範囲は16-31°Cと非常に幅広く、体温の変化による様々な弊害も生じる。特に低水温環境下では、深部体温の低下を防ぐためのふるえなどによって運動中に過度に代謝が増加し、持久性の運動パフォーマンスが低下する¹⁾。また、過度に体温が低下する場合には低体温症を発症し、レース中の事故やリタイアにつながることが報告されている²⁻⁴⁾。そのため、OWSレース時の安全性の向上だけでなく、レースにおいて高い運動パフォーマンスを發揮する上でも、過酷なレース中の体温を適切に管理・維持

する衣服戦略が非常に重要である。

低水温環境下（水温16-18°C）でのOWS競技時には、保温用スーツであるウェットスーツの着用が国際水泳連盟により許可されている。プール（水温29°C）でのOWSを模した泳運動時には、ウェットスーツを着用することで通常水着着用時より体温が上昇することが報告されているが⁵⁾、これまでウェットスーツの着用が低水温環境下（水温18°C以下）での泳運動時の体温に及ぼす影響は十分に明らかになっていない。また、ウェットスーツを着用することで推進効率が向上することが報告されているにも関わらず⁶⁻⁸⁾、ウェットスーツ着用による不快感の増加のために着用を避ける選手が多くいる⁹⁾。そのため、OWS競技におけるウェットスーツ普及のためには、OWS選手の感覚特性に合わせたウェットスーツの開発が求められる。OWS選手の感覚特性、とりわけ温度感覚特性を明らかにし、ウェットスーツの快適性を向上させることができることが求められるが、OWS選手の皮膚温度感覚特性についてはこれまで明らかではない。

そこで本研究では、OWS競技におけるウェットスーツ普及のための基礎的研究として、①OWSスイマーの皮膚温度感覚特性を明らかにし、②ウェットスーツ着用が低水温環境下でのOWS中の深部体温に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。本研究では、OWS選手は日ごろから海やプールといった熱伝導率が高い水中において低温ストレスに曝されていることから、一般健常成人よりも皮膚の冷感受性（冷たさに対する敏感さ）が鈍くなる、また、低水温環境下でのOWS時においてウェットスーツを着用することで体温の低下を防ぐことができると仮説を立てた。

1. 研究方法

1. 1 研究①

1. 1. 1 研究対象者

研究対象者は、OWS選手8名（OWS群、23±3歳）および一般健常成人15名（Control群、21±1歳）とした。OWS選手は日本水泳連盟OWSナショナルチームに所属する選手を対象とし、一般健常成人は新潟医療福祉大学に所属する学生から機縁法を用いて募集した。いずれの研究対象者も喫煙歴、心血管疾患および皮膚感覚障害はなかった。全ての研究対象者に対して、研究内容に関する説明を行い、研究への参加に同意を得た後に実験を実施した。本研究は新潟医療福祉大学研究倫理委員会の承認を得て行われた（課題番号:1884-220525）。

1. 1. 2 実験プロトコル

研究対象者には、実験当日の激しい運動と測定前2時間の水以外の飲食を控えるように指示した。研究対象者は空調で気温を管理した実験室（約25°C）に来室後、30分間の安静座位を維持した。その後、局所皮膚温冷感受性をそれぞれ3回ずつ測定した。

局所皮膚温冷感受性は、25×25mm (6.25cm²) のペルチェ素子でできた測定プローブ、温度センサーおよび熱流速センサーで構成された局所皮膚温冷覚閾値測定器（Intercross-210, Intercross, Japan）を用いて測定した^{10, 11)}。測定時には、測定プローブを前腕部の測定箇所に押し当て、皮膚温と同様の温度〔初期皮膚温: Initial skin temperature (Tsk)〕に設定し、熱流速が30W/m²以下になることを確認して測定を開始した。測定開始後、温覚閾値測定時には0.1°C /s、冷覚閾値測定時には-0.1°C /sで温度を徐々に上昇もしくは低下させ、研究対象者が測定箇所において「温かさ」もしくは「冷たさ」を感じた時点でボタンを押すことで感知皮膚温（Noticeable Tsk）を測定し

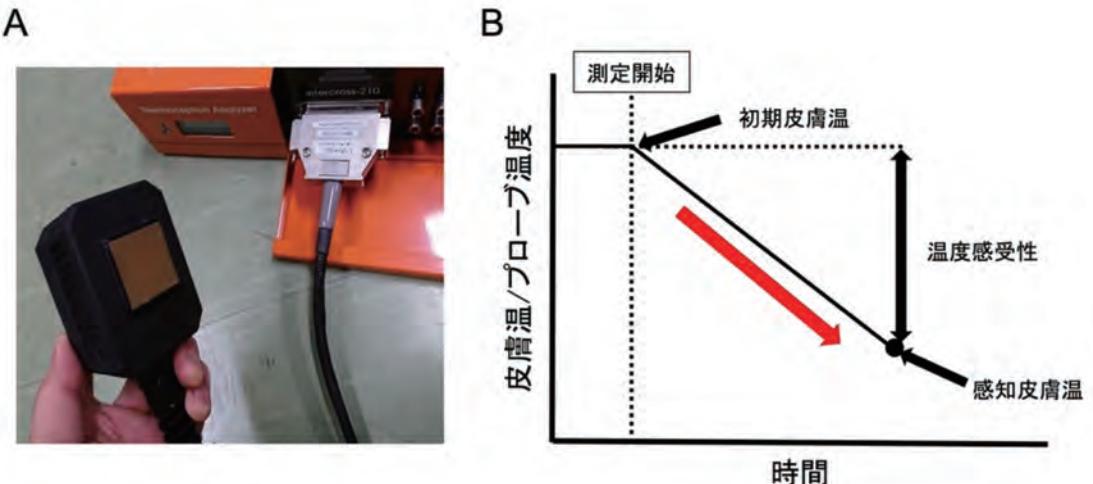


図1 皮膚温冷覚閾値測定器(A)および局所皮膚温冷感受性の測定原理(B)

た(図1). また, Initial Tsk および Noticeable Tsk の差分(温かさもしくは冷たさを感じるまでに要した温度変化量)を局所皮膚温冷感受性として評価した. 本研究では, 温かさもしくは冷たさを感じるのに要した温度変化量が小さい場合に敏感, 大きい場合に鈍感であると評価した. 局所皮膚温冷感受性はそれぞれ3回ずつを行い, 値の近い2つの値の平均値を解析に用いた.

1. 1. 3 統計解析

全てのデータは平均値および95%信頼区間で示した. 局所皮膚温冷感受性のデータは, Shapiro-Wilk検定を用いて正規性を確認し, 正規性が得られなかつたため, Mann-Whitneyのノンパラメトリック検定を用いて分析した. 有意水準は5%未満とした. 作図および統計解析にはGraphPad Prism 10 (version 10.2.3) を用いた.

1. 2 研究②

1. 2. 1 研究対象者

研究対象者は, 日本水泳連盟OWSナショナルチームに所属するOWS選手6名(22 ± 3 歳)とした. いずれの研究対象者も喫煙歴, 心血管疾患および皮膚感覚障害はなかった. 全ての研究対象者に対して, 研究内容に関する説明を行い, 研究へ

の参加に同意を得た後に実験を実施した. 本研究は新潟医療福祉大学研究倫理委員会の承認を得て行われた(課題番号: 1884-220525).

1. 2. 2 実験プロトコル

研究対象者は水温15-16°Cの湖において, 約2時間のOWSを競泳水着もしくはウェットスーツを着用した2条件で行った. 2条件は別日に行うものとし, 本研究では競泳水着着用条件を初日に行った.

実験当日, 研究対象者には激しい運動と測定前2時間の水以外の飲食を控えるように指示した. また, 研究対象者は実験の3時間前に経口摂取可能なピル型温度計(e-Celsius, BodyCap, France)を水と共に摂取した. 研究対象者は実験1時間前に湖に移動し, 各自ウォーミングアップおよび水着の着用を行った. いずれの条件も同時刻(およそ午前10時)にスタートし, 湖を周回するOWSを行った. 給水は各自で自由に行うものとし, 約2時間のOWS中の深部体温を2分毎に計測した.

1. 2. 3 統計解析

全てのデータは平均値および95%信頼区間で示した. また, 本研究では2名の研究対象者において試技開始前にピル型体温計を排出してしまったため, 4名の研究対象者のデータを分析した.

深部体温のデータは、Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性を確認した。本研究では、深部体温の低下および強い疲労感により試技を終了した研究対象者がいたため、試技開始直前から102分目（1時間42分目）までのデータで2要因（条件および時間）の分散分析を行った。有意水準は5%未満とした。作図および統計解析にはGraphPad Prism 10 (version 10.2.3) を用いた。

2. 研究結果

2. 1 研究①

図2に局所皮膚温度感受性の結果を示す。温

かさを感じるまでに要した温度変化量はOWS群およびControl群で差は見られず ($P > 0.05$, 図2A), 局所皮膚温感受性に差は見られなかった。一方、冷たさを感じるまでに要した温度変化量はOWS群でControl群よりも大きい傾向があり ($P = 0.0755$, 図2B), 局所皮膚冷感受性はOWS群でControl群よりも鈍感な傾向が見られた。

2. 2 研究②

図3にOWS試技開始直前から終了時までの深部体温を示す。深部体温は給水によって一時的に低下する傾向が見られた。また、競泳水着条件

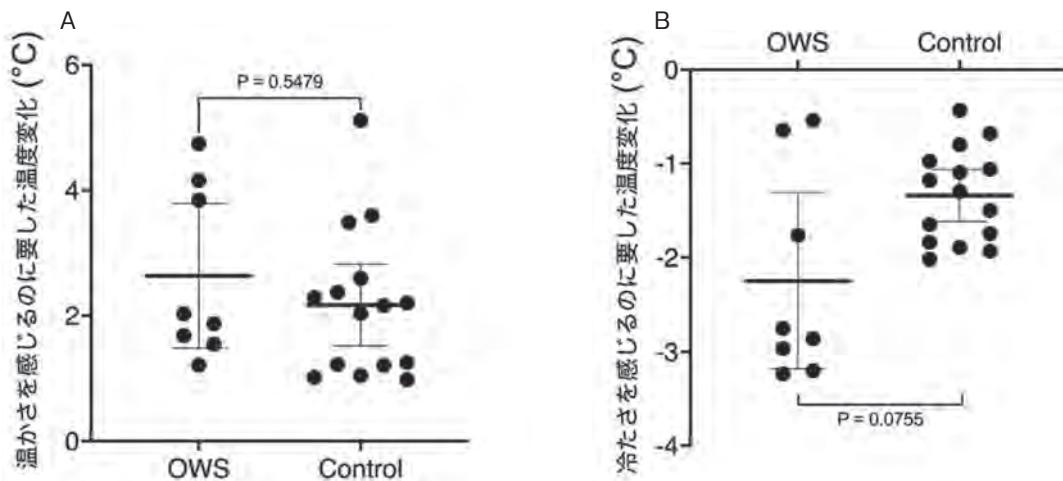


図2 OWS群およびControl群における局所皮膚温感受性(A)および冷感受性(B)

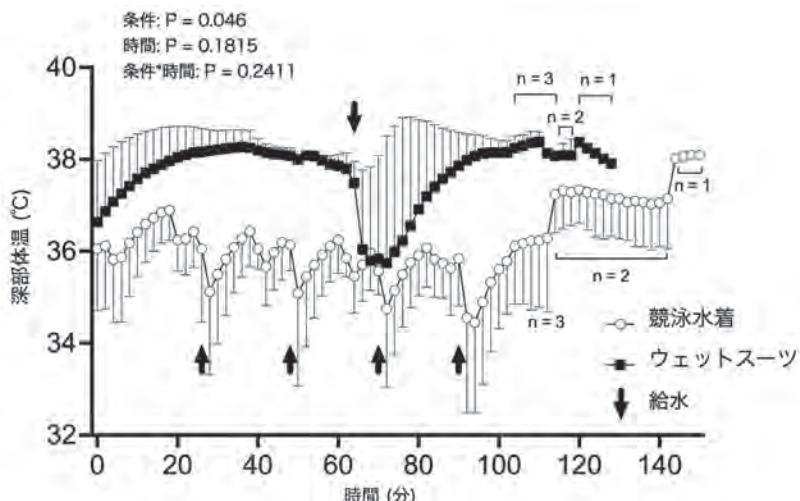


図3 低水温環境下におけるOWS中の深部体温動態

では一部の研究対象者で低体温症の基準となる35°Cを下回っていた。また、深部体温には条件間の主効果が見られ ($P = 0.046$)、OWS中の深部体温はウェットスーツ条件で競泳水着条件よりも高値を示した。一方、時間の主効果および条件と時間の相互作用は見られなかった。

3. 考 察

本研究では、エリート OWS選手を対象として、OWS選手の皮膚温度感覚特性と低水温環境下におけるOWS時のウェットスーツ着用が深部体温に及ぼす影響を検討した。その結果、OWS選手は一般健常成人と比較して皮膚の冷感受性が鈍い傾向が見られた。また、低水温環境下でのOWS中のウェットスーツの着用により、競泳水着着用時よりも体温が高値を示した。これらの結果から、OWS選手は寒冷耐性が高いという特性を持つこと、さらに、低水温環境下におけるOWS中のウェットスーツの着用は高体温の維持に効果的であることが示唆された。

低水温環境下におけるOWS中には、体温の低下によって持久性パフォーマンスが低下するだけでなく¹⁾、レースのリタイアが多く発生する。Drigny et al.¹²⁾は、25kmのOWSレース中にリタイアした選手は、深部体温が低体温症レベル(35°C未満)まで低下していないにも関わらず、強い寒さ感覚が生じていたことを示している。また、Fujimoto et al.¹⁰⁾は水温22°Cの環境下における10kmのOWS中に深部体温は低下しないものの、皮膚冷感受性が高い選手はOWS後に寒さを感じやすいことを報告している。このことから、OWSの安全性を考える上で、深部体温だけでなく皮膚の温度感覚が重要であると言える。そこで、本研究ではOWS選手の皮膚温度感覚特性について検討したところ、OWS選手は一般健常成人よりも皮膚冷感受性が鈍く、高い耐寒性を持つ可能性が示された。これには2つのメカニズムが

関連していると考えられる。1つ目のメカニズムとして、OWS選手の高い有酸素能力が挙げられる。Maeda et al.¹³⁾は基礎代謝が高い個人は寒冷暴露時に高い耐寒性を有することを示している。本研究では、OWS群およびControl群の有酸素能力に関する測定は行なっていないが、OWSは水泳競技の中でも最も競技時間が長く、持久力を要する競技であることから、OWS選手は高い有酸素能力を有していたと考えられる。そのため、皮膚への冷刺激に対して耐性が高かったのかもしれない。

2つ目のメカニズムとして、OWS選手における寒冷順化が考えられる。Tipton et al.¹⁴⁾は、5回程度の冷水への浸水によって皮膚温および深部体温の低下を繰り返し経験することで、冷水浸水時の過換気反応やふるえを減弱させ、浸水時間を延長させることを報告している。本研究では、各選手のトレーニング環境の調査までは行えていないが、日頃からプールや屋外水中環境下でのトレーニングを繰り返し行なっているOWS選手は一般健常成人よりも寒冷環境に多く曝されていたと考えられる。それにより、OWS選手では寒冷順化が生じ、皮膚の冷感受性が鈍化していたのかもしれない。今後は、OWS選手の競技レベルや男女差、日頃のトレーニング環境などが皮膚冷感受性に及ぼす影響などを検討し、耐寒性の程度が皮膚冷感受性から評価できるようになれば、低水温環境下で行われるOWS時のスクリーニング手法の開発に繋がり、OWSの安全性向上に寄与できると考えられる。

OWS選手は高い耐寒性を有しているにも関わらず、ウェットスーツの着用が義務付けられている水温16-18°Cの低水温環境下では深部体温が低下し、低体温症を生じる可能性がある¹⁵⁾。本研究では、競泳水着条件では4名中2名の選手が寒さによりOWSを中断した。この2名の選手は、低体温症のレベルまで深部体温が低下していな

かったものの、一時的に深部体温が35℃台まで下がっていた。一方、ウェットスーツ着用条件では、上述した2名の選手を含めた4名の選手全員が深部体温38℃付近を推移していた。このことから、ウェットスーツの着用は深部体温低下および低体温症予防として有用であると考えられる。これまで、低水温環境下でのウェットスーツ着用が深部体温に及ぼす影響については明らかになっておらず、特に日本人選手はウェットスーツに慣れていないうことでウェットスーツを避ける傾向にあった。ウェットスーツの着用は深部体温の維持だけでなく、推進効率の改善などにもつながることから、日頃から行うプールでのトレーニングにおいても着用してウェットスーツに慣れることで、低水温環境下でのOWS時に最大限の効果を得られると考えられる^{5,9)}。

本研究の限界として、局所皮膚温冷感受性の評価を前腕のみで行ったことが挙げられる。局所温度感受性には部位差があることも報告されていることから¹⁶⁾、今後の研究では複数の部位において局所温度感受性を測定し、本研究において得られた前腕部の結果と比較することで、OWS選手の局所温度感受性が全身で同様に生じているのかを明らかにできると考える。

4. 結 論

本研究の結果から、OWS選手は皮膚冷感受性が鈍化し高い耐寒性を有すること、低水温環境下で行われるOWSにおけるウェットスーツの着用が体温の維持に貢献し、OWSの安全性とパフォーマンスを高める可能性が示唆された。本研究はウェットスーツ普及のための基礎的研究であることから、今後更なる研究を行う必要がある。

謝 辞

本研究の実施に当たり、研究デザインの考案やデータ収集を始め、多くの建設的な意見をいただ

いた共同研究者の原 恵来氏、馬場 康博氏、松浦 由生子氏、さらに、研究に参加していただき、現場の貴重な意見をくださったOWSナショナルチームの選手とコーチの皆様に感謝の意を表する。また、本研究の遂行にあたり助成金によって支援してくださった公益財団法人石本記念デサンツスポーツ科学振興財団（第46回課題学術研究）に深く御礼を申し上げる。

文 献

- 1) Fujimoto T., Sasaki Y., Wakabayashi H., Sengoku Y., Tsubakimoto S., Nishiyasu T., Maximal workload but not peak oxygen uptake is decreased during immersed incremental exercise at cooler temperatures., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 116(9): 1819-1827(2016)
- 2) Asplund C.A., Creswell L.L., Hypothesised mechanisms of swimming-related death: a systematic review., *Br. J. Sports Med.*, 50(22): 1360-1366(2016)
- 3) Chamberlain M., Marshall A.N., Keeler S., Open water swimming: Medical and water quality considerations: Medical and water quality considerations., *Curr. Sports Med. Rep.*, 18(4): 121-128(2019)
- 4) Murphy M., Polston K., Carroll M., Alm J., Heat injury in open-water swimming: A narrative review., *Curr. Sports Med. Rep.*, 20(4): 193-198(2021)
- 5) Fujimoto T., Matsuura Y., Baba Y., Hara R., Effect of wetsuit use on body temperature and swimming performance during training in the pool: Recommendations for open-water swimming training with wetsuits., *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 19(4): 407-411(2024)
- 6) Gay A., Zacca R., Abraldes J.A., et al., Swimming with swimsuit and wetsuit at typical vs. Cold-water temperatures (26 vs. 18°C)., *Int. J. Sports Med.*, 42(14): 1305-1312(2021)
- 7) Chatard J.C., Senegas X., Selles M., Dreanot P., Geyssant A., Wet suit effect: a comparison between competitive swimmers and triathletes., *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27(4): 580-586(1995)
- 8) Tomikawa M., Nomura T., Relationships between swim performance, maximal oxygen uptake and

- peak power output when wearing a wetsuit., *J. Sci. Med. Sport.*, **12**(2) : 317-322(2009)
- 9) Quagliarotti C., Cortesi M., Gatta G., et al., Wetsuit use during open water swimming. Does it "suit" everybody? A narrative review., *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, **16**(9) : 1217-1224(2021)
- 10) Fujimoto T., Matsuura Y., Baba Y., Hara R., Thermal sensation after the 10-km open-water swimming in cool water depends on the skin' s thermal sensitivity rather than core temperature., *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, **19**(1) : 28-33(2024)
- 11) Fujimoto T., Fujii N., Dobashi K., et al., Effects of low-intensity exercise on local skin and whole-body thermal sensation in hypothermic young males., *Physiol. Behav.*, **240**(113531) : 113531(2021)
- 12) Drigny J., Rolland M., Pla R., et al., Risk factors and predictors of hypothermia and dropouts during open-water swimming competitions., *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, **16**(11) : 1692-1699(2021)
- 13) Maeda T., Fukushima T., Ishibashi K., Higuchi S., Involvement of basal metabolic rate in determination of type of cold tolerance., *J. Physiol. Anthropol.*, **26**(3) : 415-418(2007)
- 14) Tipton M.J., Wakabayashi H., Barwood M.J., Eglin C.M., Mekjavić I.B., Taylor NAS., Habituation of the metabolic and ventilatory responses to cold-water immersion in humans., *J. Therm. Biol.*, **38**(1) : 24-31(2013)
- 15) Castro RRT., Mendes FSNS., Nobrega ACL., Risk of hypothermia in a new Olympic event: the 10-km marathon swim., *Clinics(Sao Paulo)*, **64**(4) : 351-356(2009)
- 16) Inoue Y., Gerrett N., Ichinose-Kuwahara T., et al., Sex differences in age-related changes on peripheral warm and cold innocuous thermal sensitivity., *Physiol. Behav.*, **164**(Pt A) : 86-92(2016)