

【総説】

体温調節の脳機構と加齢による変容

－特に温度感覚と行動性体温調節の観点から－

永島 計

早稲田大学 人間科学学術院 体温・体液研究室

要約

恒温動物の体温調節は、大きく自律性と行動性に分類される。自律性体温調節については、幅広く研究がなされ多くのことがわかってきている。一方、行動性体温調節については、ほとんどの動物が持つ基本的なシステムでありながら、そのメカニズムは明らかではない部分が多い。行動性体温調節は、主として望ましくない環境からの逃避行動と、望ましい環境への探索行動からなっている。この人におけるメカニズムとして皮膚の温度センサーからの入力による環境の客観的評価（狭義の温度感覚）、コア体温の変化によって影響を受ける環境温度の主観的評価が行われる（温熱的快不快感）と考えられている。特に温熱的快不快感は行動性体温調節の動機の大きな一つであると考えられている。温熱的快不快感に関わる脳部位は、主にニューロイメージングにより探索され、そのうち島が重要な役割を持つと考えられている。他にも扁桃体、眼窩前頭皮質、前帯状回、腹側線条体の関与が予想されている。

キーワード：温度感覚、島皮質、求心路、行動性体温調節、温熱的快不快感

はじめに

人を含む大動物の体温調節の最大の目的は、様々な温熱的外乱に対して一定のコア体温を保つことである。コア体温とは、体の中心部、特に脳や心臓、肝臓などの重要臓器がある場所の温度を意味する。温熱的外乱のひとつに、環境、特に温湿度、太陽光をはじめとする輻射熱、気流による影響がある。さらに、運動は熱産生を短時間で増加させる強力な外乱因子である [1, 2]。

恒温動物の体温調節は、自律性体温調節と行動性体温調節に分類される。変温動物を含む、ほぼすべての動物が体温調節を行うが、自律性体温調節を行うのは鳥類、哺乳類の恒温動物である。自律性体温調節は、体の熱産生や環境への熱放散を短時間で可能にする。寒冷刺激は、筋肉の短周期の収縮によるふるえ熱産生、褐色脂肪や筋で非ふるえ熱産生を行う。皮膚血管の拡張や収縮により、体中心から皮膚、皮膚から環境への熱交換を調節する。発汗は皮膚から環境への熱放散を促す。自律性体

温調節は、恒温動物にとって体温調節のキープレーヤーであり、急な環境変化での生存、長時間の高強度運動を可能にする。研究面では、脳から効果器（熱放散や産生に直接関わる臓器や組織、例えば汗腺など）に至る生理解剖学的、生化学的解析により多くの知見が得られている。一方、行動性体温調節については未だ十分な知見が得られておらず、単純な行動学的、生理心理学的観察や解析にとどまっている部分が多い。この章では、行動性体温調節のメカニズム、この体温調節に関わる温度受容のメカニズムについての現在の知識、今後の研究の展開に重要になる脳神経メカニズムをまとめた。また、加齢に伴う影響についても言及する。

1. 温度受容と行動性体温調節

行動性体温調節は最適な体の熱バランス維持のための、現在の環境からの逃避とよりよい環境の探索を基本とする。営巣や体を寄せ合うハドリング、住居の建設なども含まれる。人に特徴的かつ短時間で観察されるのは衣服の着脱や空調の使用である。恒温動物において、行動性体温調節は自律性体温調節の補助的な役割しかなく、その調節能力には限りがあるとされる [3]。しかし、行動性体温調節により至適環境が一旦得られれば、自律性体温調節に必要なエネルギー（熱産生）、水（発汗）、

連絡先：永島 計

早稲田大学人間科学学術院

〒 359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15

E-mail : k-nagashima@waseda.jp

血液の再分布（皮膚血管拡張）は最小となり、生存にとって大きな利点となる。

人の行動性体温調節で興味深いのは生物学的温度情報だけに依存しないことである。例えば、われわれは外出前に快適な部屋の中で天気予報などの環境情報を入手し、適切な衣服を選んで外出する。しかし、一般的に行動性体温調節をおこすものは体の温度情報である [4]。体表の温度センサーは全身に分布しているが、人では着衣のため顔や手など一部が環境へ露出しているにすぎないし、動物では体表の大部分が毛皮で覆われている。このため、体表の温度分布は大きく異なっており、単純に局所皮膚の温度感受性や、その分子メカニズムを調べるだけでは温度受容の機序は明らかにならない。また、皮膚の温度感受性は地域性があると報告されている [5-7]。行動性体温調節に関わる温度情報は主に四肢末端のものに由来し、自律性体温調節とは異なることも報告されている [8, 9]。

2. 温度感覚の分類とその評価方法

温度感覚は一般に、狭義の温度感覚（客観的な温冷感覚）と温熱的快不快感（主観的な温度感覚）に分類される。人での行動性体温調節は、主に温熱的快不快感がトリガーになると予想されている。しかし、意識外でのコントロールにかかわる間脳視床下部の特定ニューロンの刺激によっても行動性体温調節がおこることが示されている（後述）。

初期の研究では、皮膚の温点や冷点の同定が行われている。暖めたり、冷した細い金属棒で皮膚を刺激し、温冷感の有無や強さを評価する地道な方法である。体表の冷点の絶対数は温点に比べて多い。冷点は顔で多く、体幹や手の温点密度は少ない。しかし、これら温冷点の特徴から体表での温度感受性の違いを説明するのは実は難しい。

温度感受性 TRP チャンネル（Temperature-sensitive

transient receptor potential channels）は狭義の温度感覚の分子メカニズムの本態であると考えられる [10-12]。温度感受性 TRP チャンネルは、感覚神経の一次ニューロン（特に温度情報の伝達に関わる C および A δ 線維）に多く見られる。実験動物を用いた研究では、高温の温度受容にかかわる TRPV1 チャンネルの拮抗剤を投与すると自律性体温調節への影響が見られるが、至適な環境温度の選択行動に影響を与えないと報告されている [13, 14]。低温の温度受容に関わる TRPM8 チャンネルは環境温度の嗜好性に関係する。TRPM8 のアゴニストであるメントールの静脈投与もしくは局所皮膚投与は環境温度の嗜好性を変える [12, 15]。TRPM8 チャンネルのノックアウトマウスでは、寒冷逃避行動が減弱する [16-18]。

人の温度感覚の評価は、未だに主観的心理学的スケールを用いて行われることが多い。数値で評価を申告する point sensation scale や visual analog scale (VAS) が用いられる。これらのスケールを用いた研究では、顔は温度変化に最も敏感に反応し、末端は小さく、他の部位は中間であると報告されている [20, 21]。温熱的快不快感に関して、Cotter と Taylor [22] が暑熱暴露した人に、局所温度刺激を与え全身の温熱的快不快感の変化を調べている。顔の冷刺激が、最も強く温熱的快感を生じさせると報告している。

3. 温熱的快不快感に関わる温度情報

Chatonnet and Cabnac [23] は、体表からの温度情報は客観的な温度分別に、体中心からの情報は温熱的環境が許容できるものか否かを判断する役割があると推測している。Mower [24] らは、被験者を高、中、低温の3種類の水を満した浴槽に全身浴させてコア体温を高温、平温、低温にした上で、コア体温の温熱的快不快感への影響を調べている（図1）。この際、被験者の片側の前腕のみを同じく3種類の温度の水につけ、その（狭義の）温度感覚、温熱的快不快感を申告させた。前腕の

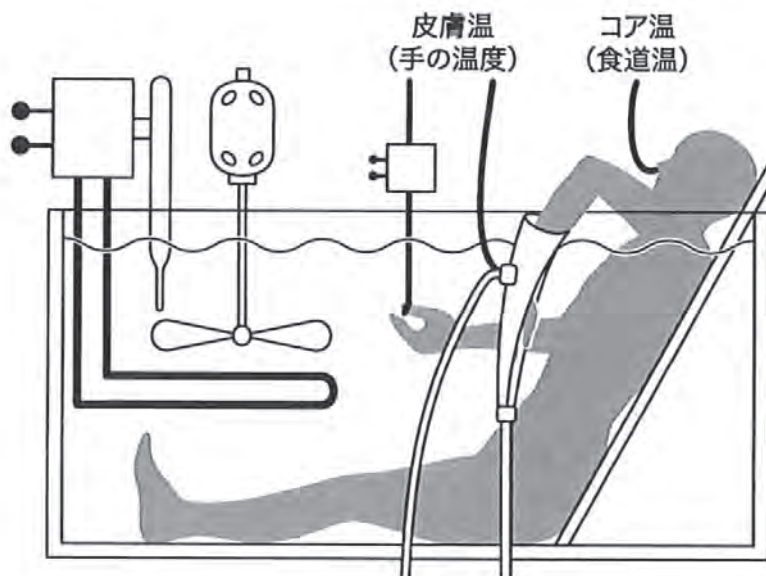


図1 温度感覚（狭義）と温熱的快不快感を分離する実験（出典 24 より改変）

温度感覚は、コア体温の高低に関わらず、前腕の水温に依存した。温熱的快感は、コア体温と前腕の水温が逆の時（例えばコア体温が高体温で、前腕の水温が低温）に生じた。温熱的不快感は、コア体温と前腕の水温が同方向の時に生じた（例えばコア体温が高体温で、前腕の水温が高体温）。この研究は、コア体温は温熱的快不快感を決定する重要な因子であること、体表の温度感覚はコア体温から独立し体表の温度そのものに依存することを示している。Frankら [25] は温熱的快不快感に関わるコア体温と体表温の寄与度は、人で約1:1であると報告している。例えば1℃のコア体温の低下による温熱的不快感は、1℃の平均皮膚温の低下と同等である。ふるえ熱産生では、コア体温と体表温の寄与度が、人で約4:1であるので大きな違いである [26]。

4. 加齢と温度感覚

加齢に伴う感覚神経一般の機能低下が報告されている。感覚神経の機能低下は、触覚や圧覚などととも、狭義の温度感覚も含むと予想される。しかし、一定の見解が得られているとは言い難い。Inoueら [27] は、全身の皮膚表面で温度感受性が加齢によって低下すると報告している。しかし、加齢による皮膚からの温度入力の変化が、体温調節に影響を与えているのか否かという本質的な問題点への答えにはなっていない。

脳から体温調節の効果器にいたる遠心路においては、神経刺激に対する皮膚血管拡張や発汗にかかわる神経伝達物質の分泌低下、化学的刺激に対する血管の拡張能の低下や汗の分泌の低下が報告されている。加齢に伴う基礎代謝の低下や筋肉量の低下は、コア体温の基本的な維持システムに影響を与え、コア体温が下がりやすい状況に常にあることを示唆している。これらは行動性体温調節に大きな影響を与えているであろう。

5. 温度感覚と行動性体温調節の神経機構

1) 脳機能画像を用いた研究

Positron emission tomography (PET) や functional magnetic resonance imaging (fMRI) を用いた研究により、いくつかの脳部位が温度感覚や温度感覚の部位差に関わっていることが報告されている。島皮質、扁桃体、眼窩前頭皮質、前帯状皮質、腹側線条体などは温熱的快不快感にかかわる脳部位の候補としてあげられている [28, 29]。Craigら [30] は手掌への冷刺激 (20℃)、温刺激 (40℃)、痛みがでる冷刺激 (5℃)、痛みがでる温刺激 (47℃) を行い脳の活動を評価している。痛みがでる温冷刺激で島皮質と帯状皮質前部が活動することを報告している。また、段階的な冷却により、刺激部位の対側の島皮質の中部から後部背側に活動が見られることを報告している。さらに、冷刺激の主観的強度が、同側の島皮質の前部、眼窩前頭皮質の活動に相関することを発見している。島皮質は温冷刺激により活動する重要部位であるのに対し、体性感覚野での活動はわずかである。右の島皮質が温熱的な体の恒常性を評価、決定する上で重要な役割を持つと予想されている。

Rollsら [31] は、手を温刺激 (41℃)、冷刺激 (12℃)、温冷両刺激を同時に与えた際の温熱的快不快感を脳活動と共に評価している。眼窩前頭皮質中部、帯状皮質前部、腹側線条体での活動が、温熱的快感の強さと相関していた。不快感は、外側および眼窩前頭皮質前部の活動に相関すると報告している。体性感覚野や後部腹側の島皮質の活動は温度刺激そのものの強さには比例するものの、温熱的快感の強さには相関しないと報告している。Farrellら [32] は、全身の冷却もしくは加温中の温熱的快不快感と脳活動を評価している。帯状皮質中～後部が重要な役割をすると報告している。これら一連の実験から、共通した脳部位と温熱的快不快感との関係が見出せるものの、一部は異なる見解が示されている。この原因として、狭義の温度感覚による影響が、温熱的快不快感の評価において排除されていない可能性が予想される。

筆者ら [33] は新しい実験のパラダイムを用いて温熱的快不快感に関わる脳部位を探索している。実験では体表の温度を、水還流スーツで変化させながら、前腕皮膚を41.5℃もしくは18.0℃で局所刺激した。先に示したMowerらの実験結果と同様、温熱的快感は全身体表温度と前腕皮膚温度が逆方向になった際に、温熱的不快感は全身体表温度と前腕皮膚温度が同方向になった際に惹起される。この際、例えば温熱的快感が得られた試行を全て解析対象とし、全身表面温度や前腕皮膚温度の直接的な影響を除外した。温熱的快感は帯状皮質前部、両側尾状核、中前頭回などで、温熱的不快感は前頭前野内方部などが関わっていることがわかった (図2)。

Grabenhorstら [34] は、快適な温刺激もしくは不快な冷刺激を与え、その際の客観的な評価をするとともに、その刺激を別の試行で望むかどうかを意思決定する実験を行なっている。この実験で、温熱感の評価に関しては帯状皮質膝前部、眼窩前頭皮質、島皮質が、意思決定に関しては内側眼窩前頭皮質が関係していると報告している。温熱感覚の地域性に関しては、Huaら [35] が、手と首の温熱刺激時の島皮質の脳活動を調べ、島の中のソマトトピーがあることを報告している。

2) 実験動物を用いた研究

間脳視床下部、とくに視索前野には多くの温度感受性ニューロン（特に加温によって活動が増加する温ニューロン）が存在し、かつ視索前野から自律性体温調節の効果器を制御する神経核や神経野への遠心性神経連絡がある。このため視床下部は自律性体温調節の最上位中枢と考えられている。サルの視索前野を局所温度刺激すると体温調節行動が見られ、視索前野の温度感受性ニューロンが関わっている可能性が示されている [36, 37]。Tanら [38] は、この温度感受性ニューロンには神経ペプチドの一種であるBDNFやPACAPを共に持つものがあり、環境温の上昇によって活動することを報告している。オプトジェネティクスを用いた温度感受性ニューロンの刺激により、熱放散反応や熱産生低下をきたすことを示している。さらに寒冷探索行動が誘発され、行動性体温調節との関わりが示されている。一方、体温調節に重要

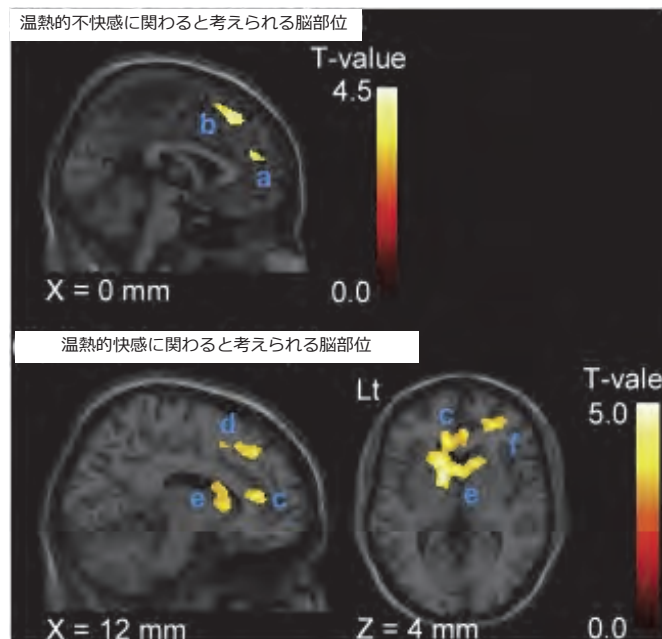


図2 温熱的快不快感に関わると予想される脳部位 (出典 33 より改変)
 (a) 前頭前野内方部、(b) 前補足運動野、(c) 帯状皮質前方部、(d) 前補足運動野、(e) 両側尾状核、(f) 右中前頭回

であると考えられる前視床下部の内側部を外科的破壊しても、行動性体温調節は保存されるとする報告もある。この理由の一つとして、行動性体温調節が、自律性体温調節のような視索前野/前視床下部を頂点とするシステムでない可能性がある。実際、Roberts らの一連の研究は、この可能性を示している [39, 40]。ラットを暑熱曝露すると、グルーミング、逃避行動、体の伸展など体温調節にかかわる様々な行動が見られる。また、これらの反応は、脳の異なる部位を局所加温することで別々に観察される。また、異なる脳部位の局所破壊により特定の行動が消失する。

Nakamura と Morrison [41, 42] は、自律性体温調節に必要な体表からの温度情報は、橋の外側腕傍核を経て、視床下部にいたると述べている。意識に上る皮膚からの温度感覚は、脊髄視床路を経て体性感覚野を経て、主に島皮質に至り処理されると考えられる。しかし、温熱的快不快感に対する、コア体温と皮膚からの温度情報の関わりを示す神経回路は未だ明らかではない。

おわりに

温度感覚とくに温熱的快不快感と行動性体温調節にかかわる知見をまとめた。これらには、コア体温と表面皮膚温の2つの温度情報が重要であるが、各々どのように神経科学的に関わり合いながら、温熱的快不快感、続く行動性体温調節が生じるのかは明らかでない。大きな温熱環境の変化が予想される今、精力的な研究が必要な課題である。

謝辞

論文内の研究の一部は日本学術振興会、科学研究費基盤研究 B (25280101) によって行われた。

申告すべき、利益相反はない。

引用文献

1. Nagashima K (2006) Central Mechanisms for Thermoregulation in a Hot Environment. *Ind Health* 44:359-367 . doi: 10.2486/indhealth.44.359
2. Nagashima K, Nakai S, Tanaka M, Kanosue K (2000) Neuronal circuitries involved in thermoregulation. In: *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*. Elsevier, pp 18-25
3. Werner J (2010) System properties, feedback control and effector coordination of human temperature regulation. *Eur J Appl Physiol* 109:13-25 . doi: 10.1007/s00421-009-1216-1
4. Benzinger TH (1963) Peripheral cold- and central warm-reception, main origins of human thermal discomfort. *Proc Natl Acad Sci US* 49:832-839
5. Nakamura M, Esaki H, Yoda T, et al (2006) A new system for the analysis of thermal judgments: Multipoint measurements of skin temperatures and temperature-related sensations and their joint visualization. *J Physiol Sci*. doi: 10.2170/physiolsci.TN009306
6. Nakamura M, Yoda T, Crawshaw LI, et al (2008) Regional differences in temperature sensation and thermal comfort in humans. *J Appl Physiol* 105:1897-1906
7. Nakamura M, Yoda T, Crawshaw LI, et al (2013) Relative importance of different surface regions for thermal comfort in humans. *Eur J Appl Physiol* 113:63-76 . doi: 10.1007/s00421-012-2406-9

8. Flouris AD, Cheung SS (2009) Human conscious response to thermal input is adjusted to changes in mean body temperature. *Br J Sports Med* 43:199–203 . doi: 10.1136/bjism.2007.044552
9. Flouris AD (2011) Functional architecture of behavioural thermoregulation. *Eur J Appl Physiol* 111:1–8 . doi: 10.1007/s00421-010-1602-8
10. Romanovsky AA (2007) Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *Am J Physiol Integr Comp Physiol* 292:R37-46
11. Romanovsky AA (2014) Skin temperature: its role in thermoregulation. *Acta Physiol* 210:498–507 . doi: 10.1111/apha.12231
12. Tajino K, Hosokawa H, Maegawa S, et al (2011) Cooling-Sensitive TRPM8 Is Thermostat of Skin Temperature against Cooling. *PLoS One* 6:1–6 . doi: 10.1371/journal.pone.0017504
13. Steiner AA, Turek VF, Almeida MC, et al (2007) Nonthermal activation of transient receptor potential vanilloid-1 channels in abdominal viscera tonically inhibits autonomic cold-defense effectors. *J Neurosci* 27:7459–68 . doi: 10.1523/JNEUROSCI.1483-07.2007
14. Garami A, Pakai E, Oliveira DL, et al (2011) Thermoregulatory phenotype of the Trpv1 knockout mouse: Thermoeffector dysbalance with hyperkinesis. *J Neurosci* 31:1721–1733
15. Almeida MC, Hew-Butler T, Soriano RN, et al (2012) Pharmacological Blockade of the Cold Receptor TRPM8 Attenuates Autonomic and Behavioral Cold Defenses and Decreases Deep Body Temperature. *J Neurosci* 32:2086–2099 . doi: 10.1523/JNEUROSCI.5606-11.2012
16. Colburn RW, Lubin M Lou, Stone DJ, et al (2007) TRPM8 is required for cold sensation in mice. *Neuron* 54:371–8 . doi: 10.1016/j.neuron.2007.02.024
17. Bautista DM, Siemens J, Glazer JM, et al (2007) The menthol receptor TRPM8 is the principal detector of environmental cold. *Nature* 448:204–8 . doi: 10.1038/nature05910
18. Colburn RW, Lubin M Lou, Stone DJ, et al (2007) Attenuated cold sensitivity in TRPM8 null mice. *Neuron* 54:379–86 . doi: 10.1016/j.neuron.2007.04.017
19. Arens E, Zhang H, Huizenga C (2006) Partial- and whole-body thermal sensation and comfort—Part II: Non-uniform environmental conditions. *J Therm Biol* 31:60–66 . doi: 10.1016/j.jtherbio.2005.11.027
20. Crawshaw LI, Nadel ER, Stolwijk JA, Stamford BA (1975) Effect of local cooling on sweating rate and cold sensation. *Pflugers Arch* 354:19–27
21. Stevens JC (1979) Variation of cold sensitivity over the body surface. *Sens Processes* 3:317–26
22. Cotter JD, Taylor NAS (2005) The distribution of cutaneous sudomotor and alliesthesial thermosensitivity in mildly heat-stressed humans: an open-loop approach. *J Physiol* 565:335–345 . doi: 10.1113/jphysiol.2004.081562
23. Chatonnet J, Cabanac M (1965) The perception of thermal comfort. *Int J Biometeology* 9:183–193
24. Mower GD (1976) Perceived intensity of peripheral thermal stimuli is independent of internal body temperature. *J Comp Physiol Psychol* 90:1152–1155
25. Frank SM, Raja SN, Bulcao CF, Goldstein DS (1999) Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans. *J Appl Physiol* (Bethesda, Md 1985) 86:1588–1593
26. Cheng C, Matsukawa T, Sessler DI, et al (1995) Increasing mean skin temperature linearly reduces the core-temperature thresholds for vasoconstriction and shivering in humans. *Anesthesiology* 82:1160–8
27. Inoue Y, Gerrett N, Ichinose-Kuwahara T, et al (2016) Sex differences in age-related changes on peripheral warm and cold innocuous thermal sensitivity. *Physiol Behav* 164:86–92 . doi: 10.1016/J.PHYSBEH.2016.05.045
28. Craig AD (2002) How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat Rev Neurosci* 3:655–66 . doi: 10.1038/nrn894
29. Kanosue K, Sadato N, Okada T, et al (2002) Brain activation during whole body cooling in humans studied with functional magnetic resonance imaging. *Neurosci Lett* 329:157–160 . doi: 10.1016/S0304-3940(02)00621-3
30. Craig AD, Reiman EM, Evans A, Bushnell MC (1996) Functional imaging of an illusion of pain. *Nature* 384:258–60 . doi: 10.1038/384258a0
31. Rolls ET, Grabenhorst F, Parris BA (2008) Warm pleasant feelings in the brain. *Neuroimage* 41:1504–1513 . doi: 10.1016/J.NEUROIMAGE.2008.03.005
32. Farrell MJ, Johnson J, McAllen R, et al (2011) Brain activation associated with ratings of the hedonic component of thermal sensation during whole-body warming and cooling. *J Therm Biol* 36:57–63 . doi: 10.1016/J.JTHERBIO.2010.11.003
33. Aizawa Y, Harada T, Nakata H, et al (2019) Assessment of brain mechanisms involved in the

- processes of thermal sensation, pleasantness/unpleasantness, and evaluation. *IBRO Reports* 6:54–63 . doi: 10.1016/J.IBROR.2019.01.003
34. Grabenhorst F, Rolls ET, Parris BA (2008) From affective value to decision-making in the prefrontal cortex. *Eur J Neurosci* 28:1930–9 . doi: 10.1111/j.1460-9568.2008.06489.x
 35. Hua LH, Strigo IA, Baxter LC, et al (2005) Anteroposterior somatotopy of innocuous cooling activation focus in human dorsal posterior insular cortex. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 289:R319–R325 . doi: 10.1152/ajpregu.00123.2005
 36. Adair ER, Casby JU, Stolwijk JA (1970) Behavioral temperature regulation in the squirrel monkey: changes induced by shifts in hypothalamic temperature. *J Comp Physiol Psychol* 72:17–27
 37. Adair ER, Rawson RO (1974) Autonomic and behavioral temperature regulation. Unilateral vs bilateral preoptic thermal stimulation. *Pflugers Arch* 352:91–103
 38. Tan CL, Cooke EK, Leib DE, et al (2016) Warm-Sensitive Neurons that Control Body Temperature. *Cell* 167:47–59.e15 . doi: 10.1016/j.cell.2016.08.028
 39. ROBERTS WW (1988) Differential Thermosensor Control of Thermoregulatory Grooming, Locomotion, and Relaxed Postural Extension. *Ann N Y Acad Sci* 525:363–374 . doi: 10.1111/j.1749-6632.1988.tb38620.x
 40. Roberts WW, Martin JR (1977) Effects of lesions in central thermosensitive areas on thermoregulatory responses in rat. *Physiol Behav* 19:503–511 . doi: [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(77\)90226-8](https://doi.org/10.1016/0031-9384(77)90226-8)
 41. Nakamura K, Morrison SF (2007) A thermosensory pathway that controls body temperature. *Nat Neurosci* 11:62
 42. Nakamura K, Morrison SF (2008) Preoptic mechanism for cold-defensive responses to skin cooling. *J Physiol* 586:2611–20 . doi: 10.1113/jphysiol.2008.152686

Brain mechanism involved in thermoregulation and the influence of aging – focusing on thermal perception and behavioral thermoregulation –

Kei Nagashima, MBBS and DMSci

Body temperature and fluid laboratory, Faculty of Human Sciences, Waseda University

Abstract

Thermoregulation of warm-blooded animals is broadly classified into the autonomic and behavioral. A wide range of research has been conducted on autonomous thermoregulation and much knowledge has been accumulated. On the other hand, behavioral thermoregulation is a basic system possessed by most animals; however, the mechanism remains unclear yet. Behavioral thermoregulation consists mainly of escape from thermally-undesired environment and search for thermally-preferable environment. As this mechanism, objective evaluation of the environment by inputs from the skin temperature sensor (thermal sensation in a narrow sense) and subjective evaluation of the environmental temperature based on core body temperature are performed (thermal comfort). In particular, thermal comfort and discomfort are considered to be one of the major motivations for behavioral thermoregulation. The brain regions involved in thermal comfort and discomfort are mainly searched by neuroimaging techniques, and it is believed that the insula plays an important role. In addition, involvement of amygdala, orbitofrontal cortex, anterior cingulate gyrus, ventral striatum is expected.

Keywords : thermal sensation, thermal comfort, insula, afferent nerve