

【総説】

暑熱環境下における脳循環調節

芝崎 学

奈良女子大学研究院生活環境科学系

背景

地球表面の大気や海洋温度の上昇は気象の変化をもたらし、生態系や人類の活動への悪影響が懸念されている。2015年には5月にインドで、6月にパキスタンで熱波によって2000人以上が死亡し、7月にはヨーロッパにも熱波が襲った。日本においても2010年の6-8月が観測史上最も暑い夏となったことは記憶に新しく、熱中症による死者数は1,700人を超え、5万人以上の方が熱中症の症状で緊急搬送されている(2013年にも5万人を超えたが、死者数は約1,000人)。気温の上昇に加え、都市部ではヒートアイランド化による環境温度の上昇も、熱中症発症のリスクが高まる要因として懸念されている。

熱中症とは暑熱環境下における身体適応の障害によっておこる状態の総称である。熱中症は救急などでは重症度によって分類されるが、病態生理学に基づく熱失神、熱痙攣、熱疲労、熱射病に分類される。熱中症の初期症状としては、めまい、頭痛、吐き気、強い眠気、気分が悪くなる、手足のしびれ、大量発汗、頻脈や血圧低下などがあげられる。これら初期症状の多くは脳機能に関連しているようであり、その他は循環機能に影響した症状である。比較的軽度の熱失神は脳への血液供給量が不十分であることが主たる要因と考えられている。本稿では循環調節、特に脳血流量調節を取り上げ、高体温時に起こる症状と脳血流の関係について考えてみたい。

熱失神は暑熱環境下での長時間の活動や高温多湿の室内外で発症する。多量発汗や末梢血管拡張に加え、上半身を起こした状態になった際に脳への血液循環量が不十分になった際に起こりやすい。また、姿勢変化だけでなく、運動終了時に血圧が低下する際にも起こりうる。熱中症は運動時に起こりやすいが、運動時の循環調節は非常に複雑であるため、本稿では受動的な温熱刺激による体温上昇について取り上げる。暑熱環境下では多

くの調節機能が動員されており、伏線となる生体機能についても解説したい。

脳血流調節

脳神経細胞が賦活すると酸素とエネルギー供給のために血流量は増加する。機能的磁気共鳴画像($fMRI$)は脳活動の可視的な指標として用いられているが、 $fMRI$ は活動領域を同定するために神経活動に伴う酸素代謝の変化、すなわち血液中の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの濃度変化を検出している。神経細胞に酸素を供給したヘモグロビンは脱酸素化ヘモグロビンとなる。酸素化ヘモグロビンは反磁性であるのに対し、脱酸素化ヘモグロビンは常磁性であるため、もともとの磁場の不均一をもたらし、核磁気共鳴信号が減少する。すなわち、神経活動が増加すると、神経活動亢進部位への酸素供給を増加させ、神経活動亢進部位における酸素化ヘモグロビン濃度が相対的に増加し、脱酸素化ヘモグロビンの濃度が減少する。その結果、磁場の不均一性が減少し、核磁気共鳴信号が増加する。 $fMRI$ では、このような脳活動亢進部位を検出しており、その領域では血流供給が増加していることを意味している。 $fMRI$ は空間的な脳血流変化を評価することに適しているが、時間分解能が低く、瞬時の血流変化を評価することは難しい。比較的大きな血管が測定対象となるが、時間分解能に優れ、瞬時の変化を評価するのに適しているのは超音波ドップラー法である。超音波ドップラーによる血流測定は赤血球に向かって超音波を送信し、受信する周波数変化から血流の速度や方向を測定することができる。

脳血流は平均動脈圧と内頸静脈圧の差(脳灌流圧)と脳血管抵抗で規定される。一拍毎の変化を見れば血圧の収縮期と拡張期の変化に合わせて類似した波形を示すが、もう少し長い経時的変化で見ると、脳灌流圧が低下すると、脳血管は拡張して血流量を増やそうとし、逆に脳灌流圧が上昇す

ると、脳血管が収縮して脳血流量がそれ以上増えないように調節することで脳灌流圧を保つ作用がある（脳血流自動調節機能）。脳血流自動調節能には、静的なものと動的なものが存在する（岩崎、2008）。静的脳血流自動調節とは、血圧がある一定範囲内（60～150mmHg）であれば脳血流は一定に保たれるという概念である。しかし、より細かな時間の中で見ると、血圧の急速な変動に伴い、脳血流も影響を受けて変動している。この観点から血圧変動と脳血流変動の関係を考えたものが、動的脳血流自動調節である。いずれも脳血管に過大な圧力がかからないように脳灌流圧を一定に保つための調節機能である。

脳血管抵抗は比較的口径が大きな脳動脈（50 μ 以上）では神経性調節が、細い動脈では化学的調節が作用している（田中、2004年）。脳血管には様々な物質が拡張および収縮メディエータとして作用する。脳血流調節に作用している最も強力な生理的脳血管拡張メディエータは二酸化炭素である。例えば、息止めや5～7%くらいの二酸化炭素を吸引すると、脳血流は増加する。その逆に換気を亢進させると脳血流は低下する。高温時には換気が亢進され、拡散速度の速い二酸化炭素は体外へ排出されやすくなり、血中の二酸化炭素分圧が低下し、脳血流量は低下する。暑熱環境下に暴露され、体温があるレベル（個人差があるが、身体内部の温度が1.2～1.4℃）を越えると換気が亢進され、呼気終末二酸化炭素分圧（動脈血二酸化炭素分圧よりも2～5mmHgほど低い）が低下する（Crandall & Wilson、2015）。そのため、ある一定レベルの体温上昇時には脳血流が低下する。脳血管は非常に二酸化炭素に対する反応性が高いことから高温時の脳血流低下は換気亢進による血中二酸化炭素分圧低下によるものと考えられるが、それ以外の要因も関与している。

高温時の心拍出量

脳血流は脳神経活動や血管抵抗に関与する神経性調節や化学的調節以外にも血液の供給源である心拍出量にも影響される。例えば、あるレベルまでの運動時であれば心拍出量の増加に伴って脳へ供給される血流量も増加する。暑熱負荷による体温上昇時に心拍出量は増加する。これはヒト特有で他の哺乳類では暑熱負荷によって心拍出量はほとんど変化しない（Crandall & Wilson、2015）。

ヒトは熱放散のために皮膚血管が能動的に拡張する。皮膚血管が寒冷もしくは温熱刺激を受けていない場合、皮膚血流量は毎分500mL程度であるが、かなりシビアな暑熱刺激による高体温状態になると毎分7～8Lに達することもある（Rowell、1986）。すなわち、能動的な皮膚血管拡張に対して血液を供給するために心拍出量が増加していると考えられる。

心拍出量の増加には、心拍数の増加もしくは一回拍出量の増加が必要である。暑熱負荷の程度にもよるが、体温が上昇すると心拍数は増加する。心臓は交感神経と副交感神経の調節を受けており、暑熱負荷は交感神経活動を増加させ、副交感神経活動を低下させる。一方、一回拍出量への暑熱負荷の影響は複雑である。実際に暑熱負荷時の一回拍出量はほとんど変化しないか、やや低下する程度である。心筋は弛緩期に伸展していればいほど強い収縮力を発生する（Starlingの法則）。心筋の伸展度を示す心室弛緩末期圧（＝心筋の伸展度）に対して一回拍出量を評価すると、緩やかな正のカーブを描く。暑熱負荷時には皮膚血管の拡張や発汗によって中心血液量は減少するため、心室弛緩末期圧は低下する。これだけを考えれば、一回拍出量は低下すると予測されるが、実際には暑熱負荷時にこの関係は左上にシフトするため、心室弛緩末期圧が低下しても維持される（Crandall & Wilson、2015）。ちなみに、この関係は交感神経を刺激すると左上にシフトする。

高温時には交感神経活動が亢進するため、心筋の収縮力も増加することが予測される。心筋の収縮力は心エコーによっても評価することができ、この手法を用いることで暑熱負荷時には心室および心房の収縮力が増大していることが示された（Crandall & Wilson、2015）。そのため、中心血液量が減少しても一回拍出量を維持できるのかもしれない。中心血液量が低下するので拡張機能は低下すると予測されるが、興味深いことに拡張機能はほとんど変化しない。その要因として心筋のツイストする力が関係していると考えられている（心筋はツイストするように収縮する）。すなわち、より強く収縮すると、弛緩期にもより強く血液を引き込むのではないかと推察されている。しかし、暑熱負荷時に心筋の収縮力が増加しない頸椎損傷者においても拡張機能は低下していない（Shibasaki et al、2015）。ただし、中心血液量が

健常者と同程度に低下するわけではないので、さらなる検討が必要である。

高体温時の皮膚血管反応

体温が上昇すると熱放散のために発汗が促進され、皮膚血管が拡張する。前述のように、この能動的な皮膚血管の拡張はヒトの体温調節反応の特徴である。通常、血管の神経支配はアドレナリン作動性神経によるが、皮膚血管はアドレナリン作動性神経だけでなく、コリン作動性神経によっても神経性に制御されている (Johnson ら、2014)。高体温時にはコリン作動性神経活動が亢進し、能動的に皮膚血管は拡張する。コリン作動性神経から放出される主たる神経伝達物質はアセチルコリンであるが、共伝達物質や血管内皮から放出される血管拡張物質によって皮膚血管拡張は促進される (Shibasaki & Davis、2016)。熱放散の観点からは発汗だけでなく、皮膚血管を拡張させることによって皮膚表面へ熱を移動させ、放散することは効果的である。体液調節においても発汗による水分損失を抑制することとなるため、効果的であるが皮膚血管拡張による弊害もある。高体温時には心拍出量の半分近くの血液が皮膚に供給されることもある。そのため、循環調節において大きな負担となる。

二足歩行であるヒトは起立時に心臓の位置が高く、重力によって血液は下方に貯留しやすい。そのため、起立時には一過性に中心血液量が低下し、血圧が低下するが、筋ポンプや内臓血管収縮によって血圧は維持される。皮膚血管も収縮反応を示すが、状況によってその効果は異なる。皮膚血管収縮神経活動はどのような温度環境においても起立性ストレス時に亢進する。高体温時には多くの血液が皮膚循環に分配されるため、起立時の血圧調節のために収縮し、中心血液量の維持に貢献するべきであるが、皮膚血管は拡張すると収縮しにくい特性がある (Shibasaki & Davis、2016)。そのため、高体温時には起立耐性が低下することが知られている。いわゆる暑いところにいると目眩や立ちくらみしやすいことにつな

がる。

皮膚血管拡張は一酸化窒素による拡張反応の割合が高く、一酸化窒素は血管の収縮反応性を低下させる作用がある (Johnson ら、2014)。これは皮膚血管だけでなく、筋血管など他の血管でも同様である。すなわち、収縮神経活動による収縮反応以外の方法で皮膚循環に分配された血液を中心循環に戻す方が効果的である。皮膚血管は神経性だけでなく、局所温度によっても筋原性によっても収縮反応を示す。これらのアプローチを用いることで効果的に起立耐性の低下を抑制することができる。

高体温時の脳血流調節

目眩や立ちくらみは、脳への血液供給が不十分であることが主たる要因と考えられている。暑熱負荷は徐々に脳灌流を低下する。脳灌流は、脳灌流圧と脳血管抵抗で規定される。平均動脈圧は仰臥位であれば、ある程度までの体温上昇では維持されるが、過度の体温上昇 (安静時よりも 1.5℃ 以上) では血圧は徐々に低下する。しかし、前述のように体温が上昇すると、起立耐性が低下すると紹介したように、皮膚血管が拡張すると、血圧を維持することが難しい。血圧の低下だけでなく、体温上昇は脳血管抵抗の変化も大きく影響する。脳血流を評価する方法としてよく用いられるのは経頭蓋ドップラー法 (TCD) で、主に中大脳動脈や後大脳動脈を対象に血流速度を測定し、脳血流の変化を評価するのに非常に有効な方法である。しかし、TCD では血管径を測定することはできないため、条件によっては過大もしくは過少評価することがある。そのため、脳へ供給される血流量を評価する場合にはこれらの近位 (心臓側) 動脈である内頸動脈や椎骨動脈を測定して評価することもある (Bain ら、2015)。

安静時よりも 1.2~1.4℃ 上昇するような高体温時には前述のように換気が亢進するために血中二酸化炭素分圧が低下する。前述のように二酸化炭素は血管拡張メディエータであるが、濃度が低下すると、脳血流量は低下する。したがって、高体温時に

換気が亢進すると脳血流量は低下する。高体温時の脳血流低下の主たる要因は血中二酸化炭素分圧の低下であるが、吸気の二酸化炭素濃度を増加させて、血中二酸化炭素分圧を暑熱負荷前レベルに戻しても脳血流量が暑熱負荷レベルに戻るわけではない

(Crandall & Wilson, 2015)。高体温時には交感神経活動が亢進する。内臓血流量の低下や筋交感神経活動の亢進でも明らかであり、血中のノルアドレナリン濃度も高体温時に上昇する。比較的口径の大きな脳動脈は神経性調節に影響されるので、血中の二酸化炭素分圧を増加しても脳血流が暑熱負荷前まで戻らないのはノルアドレナリンによる収縮反応が影響している可能性が示唆されている。

暑熱環境下に長時間滞在すると、頭がぼーっとするなど脳活動が低下するような感じがする。熱中症の初期症状でもこの感覚が取り上げられている。おそらく脳血流量が低下することが関係していると思われるが、fMRIを用いて認知機能テスト時の脳活動を暑熱負荷前後で評価すると、非常に興味深い結果が得られたので、未発表データであるが紹介したい。認知機能テストとして視覚刺激のGo/No-go課題とFlanker課題を実施した。いずれも暑熱負荷前後で同様の刺激をボタン押しで反応する。視覚的認知課題に対して反応する視覚野、前頭前野、側頭連合野だけでなく、運動準備に関連する補足運動野および運動前野の活動領域が暑熱負荷中に増大した。今回の手法では課題時と安静時の差分を比較するブロックデザインを用いたために差分の相対的な比較になる。そのため、暑熱負荷前と単純な比較をすることは難しいが、活動範囲が広がっていることは、より多くの神経活動を動員していると推察され、同じボタン押しという軽動作をするにも活動領域が増大している。fMRIを用いてある活動をプロフェッショナルとアマチュアで比較すると、前者の方が賦活される領域が少ない。すなわち、高体温時には同じ労作でも効率が悪くなっていることを暗示しているのかもしれない。高体温時には全体的な脳血流量が低下するために脱酸素化が亢進した可能性もあるが、同じ労作を課すにしても困難さが上がることを示している。

脳への血液供給ルートは総頸動脈から分岐した

内頸動脈と、鎖骨下動脈から分岐した椎骨動脈である(Bainら、2015)。内頸動脈から供給される血液は主に中大脳動脈に、一部が前交通動脈を経て前大脳動脈に、後交通動脈を経て後大脳動脈に供給され、椎骨動脈から供給される血液は脳底動脈で合流し、後大脳動脈に供給される。脳血管は二酸化炭素分圧に対する反応性が高いが、これらを比較すると、椎骨動脈-脳底動脈側よりも内頸動脈から上行する動脈側の方が血中の二酸化炭素分圧に対する反応性が高いことが知られている

(Bainら、2015)。内頸動脈は総頸動脈から分岐するがもう一方は主に頭部や顔面部の皮膚へ血液を供給する外頸動脈に分岐する。外頸動脈血流量は高体温時に皮膚血管抵抗が低下するため数倍まで増加する。頭部冷却などは内頸動脈血流量を維持するために有効な方法であるが、脳機能を改善するほどではない(Shibasakiら、2017)。また、起立性ストレス時のこれらの血流反応を観察すると、内頸動脈から中大脳動脈に供給される血流はストレスの強度依存性に低下するが、椎骨動脈血流量は一過性の変化はみられるものの、ほとんど変化しない(Ogoh et al, 2014)。また、この実験で失神の兆候である血圧と心拍数の低下や気分が悪くなり始めたときと申告した被験者では椎骨動脈血流量が低下し始めていたことから、比較的血管径の大きな内頸動脈側は起立性ストレスの強度に依存するが、椎骨動脈側は耐性が維持できなくなってしまうと低下し始めるのかもしれない。同じ脳へ血液を供給する動脈でも二酸化炭素分圧に対する反応性や圧力に対する反応性が異なり、脳機能への影響も状況やストレスによって異なることが考えられる。

要約

地球温暖化やヒートアイランド化により熱中症への十分な対策が必要である。熱中症の初期症状には脳機能や循環に関連するものが多いことから脳循環に注目して高体温時に起こりうる循環に関連する生体反応を踏まえて最近掲載された総説を中心に紹介した。脳灌流は血圧と脳血管抵抗に規定されることから、これらを如何に維持するかが重要である。高体温時には熱放散のために皮膚血管が拡張し、それに伴い心拍出量が増加する。心拍出量の約半分が皮膚循環に分配される可能性もあり、皮膚へ供給された血液を如何に調節するか

が血圧維持に重要である。しかし、一度拡張した皮膚血管は収縮神経系の働きでは十分に血圧を維持するための収縮をもたらさないため、それ以外の皮膚冷却や圧迫などの方法で血圧を維持することがポイントになるのかもしれない。また、脳への血液供給に対しては換気亢進も踏まえた脳循環維持や増加した外頸動脈血流の再配分を配慮することも一つの方法であるかもしれない。(キーワード: 脳血流量調節、高体温、循環調節、熱失神)。

3. 引用文献

- Bain AR, Nybo L & Ainslie PN. (2015) : Cerebral Vascular Control and Metabolism in Heat Stress. *Compr Physiol*, 5(3), 1345-1380
- Crandall CG & Wilson TE. (2015) : Human Cardiovascular Responses to Passive Heat Stress, *Compr Physiol*, 5(1), 17-43
- 岩崎賢一 (2008) : 脳血流自動調節機能、日臨麻会誌、28(7)、889-899
- Johnson JM, Minson CT & Kellogg DL Jr. (2014) : Cutaneous Vasodilator and Vasoconstrictor Mechanisms in Temperature Regulation. *Compr Physiol*, 4(1), 33-89
- Rowell LB. (1986) : Thermal Stress *In* Human Circulation Regulation during physical stress, 174-212, Oxford
- Ogoh et al., (2015) : Blood flow in internal carotid and vertebral arteries during graded lower negative pressure in human. *Exp Physiol*. 100(3): 259-266
- Shibasaki et al., (2017) : Suppression of cognitive function in hyperthermia; From the viewpoint of executive and inhibitive cognitive processing. *Sci Rep* 7: 43528
- Shibasaki M, et al., (2015) : The role of cardiac sympathetic innervation and skin thermoreceptors on cardiac responses during heat stress. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 308 (11): H1336-H1342
- Shibasaki M & Davis SL. (2016) : Human Perspiration and Cutaneous Circulation. *In* Fluid Balance, Hydration, and Athletic Performance, 33-58, CRC Press, Taylor & Francis Group
- 田中耕太郎 (2004 年) : 脳血管作用メディエータ、脳循環代謝、16(4)、229-240

<連絡先>

〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町
奈良女子大学研究院生活環境科学系 芝崎 学
電話 : 0742-20-3992 FAX : 0742-20-3578
e メール : shiba@cc.nara-wu.ac.jp

【原著】

局所加温型衣服設計のための基礎的研究

—頸背部加温が人体生理反応に及ぼす影響から—

谷 明日香¹⁾ 中橋 美幸²⁾ 諸岡 晴美³⁾

1) 四天王寺大学短期大学部 2) 富山県工業技術センター生活工学研究所 3) 京都女子大学

要 約

局所加温型衣服を設計するための基礎的研究として、18℃の低温環境下における頸背部加温が人体生理に及ぼす影響を明らかにするために、夏季実験および冬季実験を行った。夏季実験においては下肢の皮膚温低下が大きく、平均皮膚温は加温時において約 0.3℃低下した。口腔温は加温の有無に関わらず夏季で低下したが、主観評価では加温時に暖かいと評価された。冬季実験の加温では、平均皮膚温で約 0.7℃上昇し、口腔温も加温時に有意に上昇することがわかった。しかし、夏季・冬季ともに末梢皮膚温や末梢皮膚血流量には加温の効果がみられず、足部の温冷感覚も時間とともに低下した。交感神経の指標である *LF/HF* については、季節にかかわらず、実験開始直後に上昇傾向がみられたが、加温時にはみられなかった。しかし、加温 30 分経過後に *LF/HF* が上昇し、ストレス上昇に繋がることが示唆された。以上、実験環境温度や着衣条件などが同一の実験であっても、夏季と冬季では局所加温が人体生理に及ぼす影響が異なることが明らかとなり、このことを踏まえた局所加温衣服の設計が必要であると考えられた。(キーワード: ヒータベスト、局所加温、頸背部加温、人体生理反応、季節)

1. 緒 言

冬季の災害等による空調機の切断、夏季における低温環境下での作業など、季節を問わず人は低温環境下に身を置かなければならない場合が多々ある。低温環境下においては、恒体温を維持するために、保温力のある衣服を着用してできるだけ体熱放散を防ぐ方法(これを消極保温とする)や、使い捨てカイロなどの携帯型熱源を用いる方法等(これを積極保温とする)がとられてきた。

近年では、蓄熱繊維を用いた衣服やヒータ内蔵

型の衣服など、様々な積極保温機能をもつ衣服が開発・上市されている。さらには、スマートテキスタイル等の研究開発^{1) 2)}も盛んに行われている現状にあって、導電性の繊維からなる布を用い、衣服内の温度を自由に制御できる衣服の実現も近いものと考えられる。しかしながら、積極保温のあり方を適切なものにしなければ、低温やけどを発症させる³⁾だけでなく、人の自律性体温調節を狂わせ、健康を害する結果に繋がることも危惧される。

身体の一部を加温する局所加温が人体生理・心理に及ぼす影響については、以下の研究がみられる。佐藤ら⁴⁾は、カイロ型試作加温装置を用いた研究において、2.23clo の着装で特に首・腰を加温したときに平均皮膚温の上昇が大きく、1.15clo の着装では経時的な平均皮膚温低下がみられたと報告し、末梢血流量への影響はみられなかったと述べるなど、着衣量による局所加温効果の違いについて述べている。申と田村⁵⁾は、温暖環境下(31℃)における局所加温が温熱生理と感覚に及ぼす影響について、上腕・前腕加温で鼓膜温および蒸発量の上昇が大きく、腰・下腿加温では低かったなど局所加温部位によって生理反応が異なると報告している。同じく、申と田村⁶⁾は、暑熱環境下(35℃)でも同様の実験を行っている。

一方、高山と関ら⁷⁾は、局所加温の医学方面からの効果について研究を行い、腹部(臍傍)加温が、胃腸系に効果的な漢方投与と同程度に、上腸間膜動脈血流値を増加させ、食欲増進に効果的であったと報告している。さらに、疼痛緩和やリラクゼーションのための腰背部温電法⁸⁾および背部温電法⁹⁾に関する研究や、頸部加温による肩こり症状の緩和など医学・看護学的利用としての局所加温効果についても期待されるところが大である。

本研究では、スマートテキスタイル等を用いた

積極保温機能をもつ局所加温衣服設計のための基礎研究として、頸背部加温型の市販ヒータベストを用いて、18℃の低温環境下における血液循環系、自律神経系および主観評価結果から、夏季と冬季のそれぞれの季節における局所加温の影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

1) 着衣条件

被験者を用いた着用実験における着衣条件を表 1 に示す。被験者は、パンティとブラジャーを各自のものとし、上衣には長袖ハイネック T シャツ、ヒータベスト、フリースジャケットを順次着用し、下衣にはソックス、レギンス、長ズボンを着用した。なお、長袖ハイネック T シャツの裾を長ズボンの中に入れた。ヒータベストには、背部および頸部にカーボンファイバーを内蔵した市販品（クマガイ（株）製）を用いた。衣服の保温力を文献値¹⁰⁾から単品の総和で算出した場合、1.25clo であった。

1clo とは、21.2℃、50%RH、0.1m/s の環境下で暑くも寒くもない快適な衣服の保温力と定義されている¹⁰⁾。本実験の環境温度 18℃の場合、着衣の熱抵抗 Rd は 0.39(℃・m・h/kcal)となる。これから空気の熱抵抗 0.14(℃・m・h/kcal)を差し引き、1clo の熱抵抗である 0.18(℃・m・h/kcal)で除すると衣服の熱抵抗を算定することができる。その結果、18℃環境下での快適な保温力は 1.41 clo と算出される。

すなわち、本実験における着衣条件は、快適な保温力よりやや低いものであった。冬の災害時を想定した場合には、さらに低温環境下での実験が

望まれるが、倫理的な問題があり、被験者に対して極度に不快な、あるいは健康を損なうような環境温度を設定することができなかったため、本研究では、低温環境として 18℃に設定し、着衣量をやや少なくした。

2) ヒータベストの熱特性

マイクロカーボンファイバーを内蔵したヒータベストの配線図を図 1(a)に示す。ベストの頸部には約 45×170mm、背部には約 320×60mm の面積内にマイクロカーボンファイバーの束が 4 列配置されている。ヒータベスト裏側のヒータ部分に熱電対型のセンサを貼付して測定した表面温度の変化挙動を図 1(b)に示す。表面温度は、通電約 5 分で頸部 46.6℃、背部 46.4℃の最高温度に到達後即座に低下し、約 10 分以後には頸部で平均 43.2℃、背部で平均 41.7℃のほぼ平衡値となった。

ヒータベストは、長袖ハイネック T シャツの上から着用させ、ヒータ部が直接皮膚に触れないように、低温やけどが生じないように配慮した³⁾。また、予備実験で測定したヒータ部の皮膚温の最高温度は、背部で 38.7℃、頸部で 38.0℃であることを確認の上、実験を行った。なお、実験に用いられたヒータベストは一般に広く用いられているものであるが、実験中は常に皮膚温をモニタリングして安全性を確保するとともに、被験者には実験途中であってもいつでも中止できる旨を伝えた。

3) サーマルマネキンを用いた定電力制御による実験

サーマルマネキン（京都電子工業（株）製、以後、マネキン）には、成人男性の体型をもつ FRP 樹脂製のものを用いた。マネキンは、熱的に独立

Table 1 Amount of clothes

Clothes	Material composition (%)	Clo value [※] (clo)
Panty and Bra.		0.03
Long sleeve T-shirt	Cotton 95 Polyurethane 5	0.25
Heater vest	Polyester 100	0.2
Fleece jacket	Polyester 100	0.4
Socks	Cotton 66 Polyester 30 Polyurethane 4	0.02
Leggings	Cotton 93 Polyurethane 7	0.25
Long pants	Cotton 49 Polyester 49 Polyurethane 2	0.1
Total		1.25

※ B. W. Olesen, Translation : Yae Hasebe ; Sen'i Gakkaishi, 43(6), P-210-221 (1987)

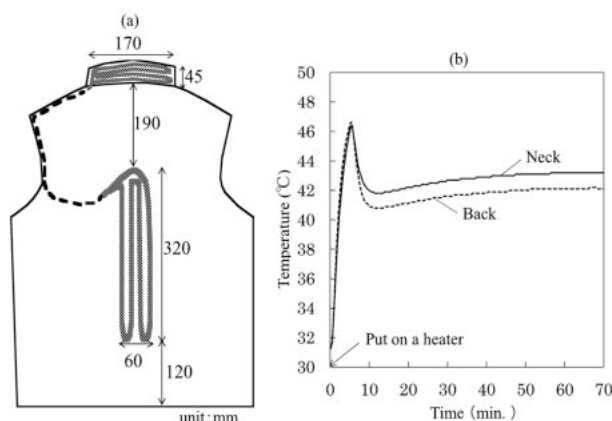


Fig. 1 Layout of a heater vest, in which is built a matrix of micro carbon fibers (a), and the surface temperature of the heater vest (b)

した 17 分割された部位からなり、部位ごとにニクロム線ヒータで熱供給され、表面が均一に発熱し、ニッケル線温度センサで各部位表面の平均温度が測定できるものである。

ヒータベストを ON にするなど外部から加熱した場合、マネキンの供給熱量は 0 となり、通常の定温度制御では吸熱応答を測定することはできない。そこでまず、前述の被験者実験での着衣条件と同一の衣服（ただし、成人男子用）を着用させたマネキンを用いて、18°C、50%RH の人工気象室内で、ヒータベスト OFF 時において各部位の表面温度がおおむね 33°C の一定温を維持できる平均供給熱量 W を確認した。

その後、各部位で確認された W を実験中供給し続ける定電力制御実験を行った。ヒータベスト ON および OFF 時における実験開始から 70 分後の最内衣服間隙の空気層温度（以後、最内層温度）を測定した。測定部位は、頸、背、胸、腹、腰、大腿、下腿の 7 個所である。

4) 被験者を用いた着用実験

a) 被験者

被験者は夏季 5 人（身長 159.6±5.7cm、体重 54.4±5.7kg）、冬季 5 人（身長 157.0±2.7cm、体重 50.0±5.7kg）の 21～22 歳の健康な女性とした。夏季と冬季で被験者は異なるが、本実験では低温環境下における夏季での加温の影響および、冬季における加温の影響を季節ごとに明らかにすることを目的としていることから問題ないものと思われる。実験は、日内リズムおよび性周期を考慮して、被験者ごとに同一時間帯とし、全被験者について低体温期、食後 2 時間以上経過後に行った。

なお、本研究を実施するにあたっては、京都女子大学臨床研究審査を受けて承認を得た。被験者に対しては、研究目的、方法、実験の安全性に問題がないことを十分に説明した上、自らの自由意志で本研究に参加し、実験途中であってもいつでも中止できる旨を伝えた。また、実験者は、被験者に対して十分配慮の上、実験を行った。

b) 実験期間および環境条件

夏季実験を 2014 年 7 月中旬～下旬（京都市内の平均外気温: $T_a = 27.0^\circ\text{C}$ ）¹¹⁾ に、冬季実験を 2014 年 11 月中旬～12 月上旬 ($T_a = 8.3^\circ\text{C}$)¹¹⁾ に実施し、いずれも 18.0°C、65%RH に設定した人工気象室内で実験を行った。

c) 測定項目

人体生理反応として、口腔温、皮膚温、皮膚血流量および心電図の 4 項目について測定を行った。口腔温の測定を舌下で、皮膚温の測定を胸、上腕、背、大腿、下腿の 5 部位で行うとし、ともに熱電対を用いてインターバル 2 秒で測定した。皮膚血流量の測定にはレーザー血流計（ALF21 アドヴァンス（株）製）を用い、左母趾球にセンサを貼付してインターバル 2 秒で測定した。心電図測定は、BIMUTAS®-Video（キッセイコムテック（株）製）を用いて行い、心電図生波形より R 波を検出して R-R 間隔から心拍数を算出した。また、周波数解析を行い、自律神経系への影響を検討した。さらに、実験開始直前と実験終了直後を含めて 10 分ごとに計 7 回被験者に SD 法 7 段階で温冷感評価させた。この時、口腔温測定に影響を及ぼさないように、口を閉じたまま評価用紙に記入してもらう方法とした。

d) プロトコル

プロトコルを図 2 に示す。実験は、1 人につき 2 日間行った。被験者は、夏季・冬季ともに 25°C に設定した前室において測定用センサを取り付けた後に実験室に入った。準備に要した時間はおよそ 30 分であった。18°C の環境下に入室後 10 分間安静にし、1 日目はヒータ OFF の状態のままで（以後、OFF）、さらに 50 分間椅座安静を維持した。2 日目はヒータ ON の状態（以後、ON）で 50 分間維持した。以後、時間 0 分を実験開始時とする。

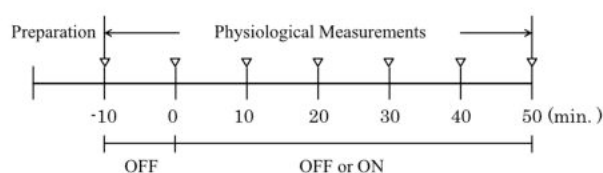


Fig. 2 Protocol (▽ : Subjective evaluation)

3. 結果

1) サーマルマネキンを用いたヒータベスト着用による熱的效果

定電力制御法により測定した最内層温度 (T_{cl}) を図 3 に示す。ヒータベストを OFF のままに維持した場合と、ON に切り替えた場合の T_{cl} を示している。血液循環系をもたない、また刺激に対するフィードバック効果をもたないマネキンを用いた実験においては、物理的な熱移動現象のみを捉える

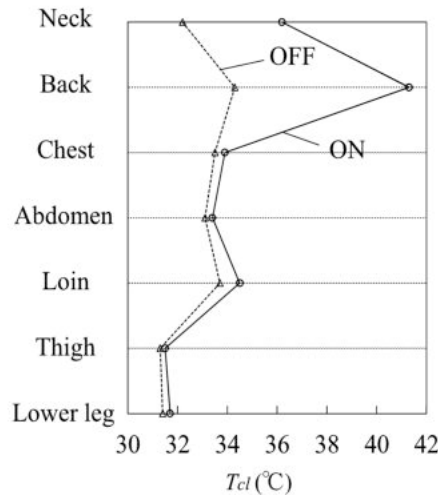


Fig. 3 Air temperature T_{cl} between the surface of mannequin and the long sleeve T-shirt during neck and back heating

ことができる。そこで、ヒータによって暖められた衣服間隙内の対流伝熱や、衣服が暖められることによる伝導伝熱の有無を捉えた。

その結果、ON では、ヒータが存在している背部で 7.0°C 、頸部で 4.0°C と大幅な上昇がみられ、腰部は 0.8°C であり、その他の部位ではほとんど温

度上昇がみられなかった。すなわち、加温部の上下方向である腰部についてわずかな温度上昇がみられたのみで、水平方向である胸腹部や、下肢への効果はほとんどないことがわかった。

2) 被験者実験における結果

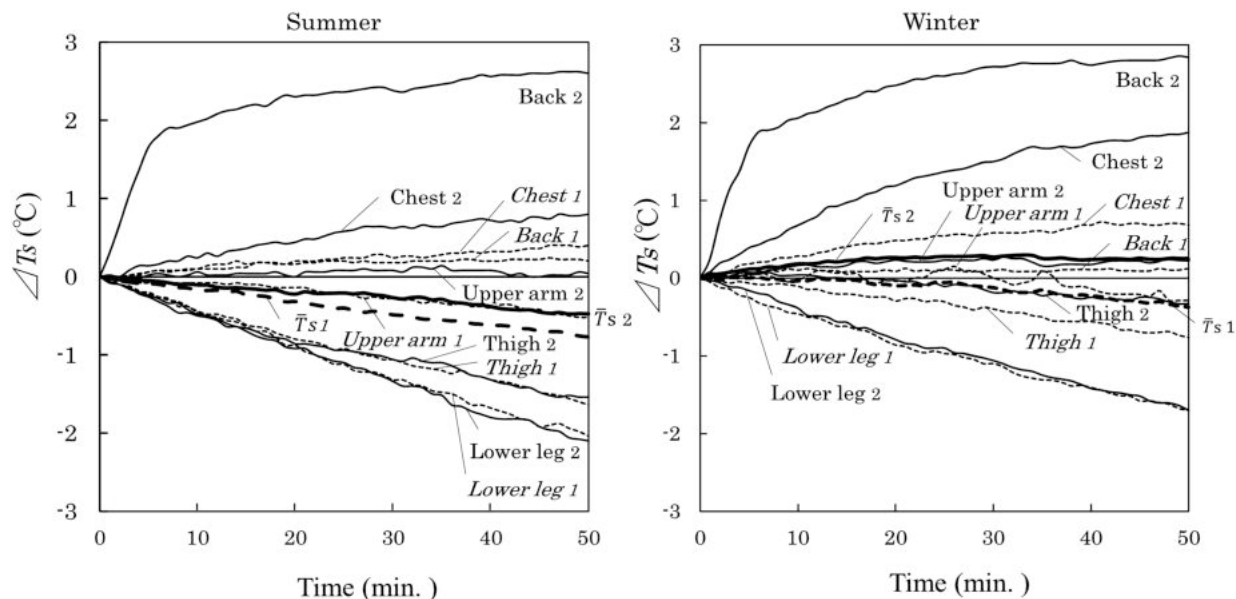
実験結果は、時間経過および加温の有無について、対のある t 検定により有意差検定を行った。実験開始時を 0 とし、そこから 10 分ごとの平均値を算出した。時間経過については、10 分までの平均値を基準に有意差検定を行い、 $^{\ast}p<0.05$ 、 $^{\ast\ast}p<0.01$ と表記した。また、加温の有無については、10 分間ごとの平均値間における ON と OFF の有意差検定を行い、 $^{\ast}p<0.05$ 、 $^{\ast\ast}p<0.01$ と ON 側の欄に表記した。なお、n.s.は有意差なしを示している。

a) 皮膚温への加温の影響

身体各部の皮膚温 T_s の被験者平均と標準誤差を表 2 に示す。また、時間経過に伴う皮膚温の変化挙動を実験開始時の T_s を基準として変化量 ΔT_s の被験者平均を算出して図 4 に示している。OFF は破線(添字 1)で、ON は実線(添字 2)で示している。太線は次式(1)式の Ramanathan の 4 点法

Table 2 Mean value and standard error of skin temperature (T_s)
(* , $^{\ast}p<0.05$, ** , $^{\ast\ast}p<0.01$)

Season	Time (min.)	Chest	Upper arms	Back	Thigh	Lower leg	Mean skin temperature
Summer	0	34.8 \pm 0.3	32.5 \pm 0.6	34.6 \pm 0.3	30.4 \pm 0.5	32.2 \pm 0.3	32.6 \pm 0.4
	10	34.9 \pm 0.3	32.4 \pm 0.6	34.7 \pm 0.3	30.2 \pm 0.6	32.0 \pm 0.3	32.5 \pm 0.4
	20	35.0 \pm 0.2 n.s.	32.4 \pm 0.6 n.s.	34.8 \pm 0.2 n.s.	29.8 \pm 0.6 **	31.6 \pm 0.3 **	32.3 \pm 0.4 **
	30	35.1 \pm 0.2 n.s.	32.3 \pm 0.7 *	34.8 \pm 0.2 n.s.	29.5 \pm 0.6 **	31.1 \pm 0.3 **	32.3 \pm 0.4 **
	40	35.1 \pm 0.2 n.s.	32.1 \pm 0.7 *	34.8 \pm 0.2 *	29.2 \pm 0.6 **	30.7 \pm 0.3 **	32.2 \pm 0.4 **
	50	35.2 \pm 0.2 *	32.0 \pm 0.7 *	34.9 \pm 0.2 *	29.0 \pm 0.6 **	30.3 \pm 0.3 **	32.0 \pm 0.4 **
	0	34.7 \pm 0.2	32.8 \pm 0.4	34.8 \pm 0.1	30.4 \pm 0.4	31.9 \pm 0.5	32.6 \pm 0.2
	10	34.8 \pm 0.2	* 32.8 \pm 0.4	** 36.2 \pm 0.4	** 30.2 \pm 0.4	** 31.6 \pm 0.5	** 32.5 \pm 0.2 n.s.
	20	35.1 \pm 0.2 **	** 32.8 \pm 0.3 n.s.	** 37.0 \pm 0.6 *	** 29.7 \pm 0.4 **	** 31.2 \pm 0.5 **	** 32.5 \pm 0.2 n.s. **
	30	35.3 \pm 0.2 **	** 32.9 \pm 0.3 n.s.	** 37.2 \pm 0.6 **	** 29.5 \pm 0.4 **	* 30.7 \pm 0.5 **	** 32.5 \pm 0.2 n.s. **
Winter	40	35.4 \pm 0.2 **	** 32.9 \pm 0.3 n.s.	** 37.3 \pm 0.6 **	** 29.3 \pm 0.4 **	n.s. 30.3 \pm 0.5 **	** 32.4 \pm 0.2 * **
	50	35.5 \pm 0.2 **	** 32.8 \pm 0.3 n.s.	** 37.4 \pm 0.6 **	** 28.9 \pm 0.4 **	n.s. 29.9 \pm 0.5 **	** 32.3 \pm 0.1 ** **
	0	34.1 \pm 0.2	31.1 \pm 0.5	34.8 \pm 0.2	28.5 \pm 0.4	31.5 \pm 0.8	31.9 \pm 0.2
	10	34.3 \pm 0.2	31.1 \pm 0.5	34.9 \pm 0.2	28.4 \pm 0.4	31.3 \pm 0.8	32.0 \pm 0.2
	20	34.5 \pm 0.2 *	31.1 \pm 0.5 n.s.	34.9 \pm 0.2 n.s.	28.3 \pm 0.4 n.s.	31.0 \pm 0.9 n.s.	32.0 \pm 0.3 n.s.
	30	34.6 \pm 0.1 *	31.1 \pm 0.4 n.s.	34.9 \pm 0.1 n.s.	28.1 \pm 0.4 n.s.	30.8 \pm 1.0 n.s.	31.9 \pm 0.3 n.s.
	40	34.7 \pm 0.1 *	31.0 \pm 0.5 n.s.	34.9 \pm 0.1 n.s.	28.0 \pm 0.4 *	30.6 \pm 1.1 n.s.	31.8 \pm 0.3 n.s.
	50	34.8 \pm 0.1 *	30.9 \pm 0.5 n.s.	34.9 \pm 0.1 n.s.	27.8 \pm 0.4 *	30.4 \pm 1.2 n.s.	31.8 \pm 0.3 n.s.
	0	33.9 \pm 0.3	31.1 \pm 0.4	34.8 \pm 0.2	28.5 \pm 0.2	30.9 \pm 0.4	31.7 \pm 0.2
	10	34.2 \pm 0.3 n.s.	31.2 \pm 0.3 **	36.2 \pm 0.3 **	28.5 \pm 0.2 **	** 30.8 \pm 0.4	** 32.2 \pm 0.2 **
Winter	20	34.8 \pm 0.2 **	** 31.3 \pm 0.3 n.s.	** 37.1 \pm 0.3 **	** 28.5 \pm 0.2 n.s.	** 30.3 \pm 0.3 **	** 32.4 \pm 0.2 ** **
	30	35.2 \pm 0.2 **	** 31.3 \pm 0.4 n.s.	** 37.4 \pm 0.2 **	** 28.4 \pm 0.2 n.s.	** 30.0 \pm 0.4 **	** 32.5 \pm 0.2 ** **
	40	35.5 \pm 0.2 **	** 31.2 \pm 0.4 n.s.	** 37.6 \pm 0.2 **	** 28.3 \pm 0.2 n.s.	** 29.7 \pm 0.4 **	** 32.5 \pm 0.2 ** **
	50	35.7 \pm 0.2 **	** 31.2 \pm 0.5 n.s.	** 37.6 \pm 0.2 **	** 28.2 \pm 0.2 n.s.	** 29.4 \pm 0.4 **	** 32.4 \pm 0.2 * **

Fig. 4 Changes in skin temperature (ΔT_s) during neck and back heating

Each line denotes the mean value of five subjects. Dotted line and subscript 1 indicate heater OFF. Solid line and subscript 2 indicate heater ON.

により算出した平均皮膚温 \bar{T}_s である。

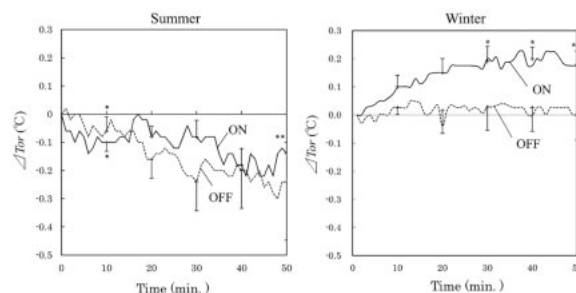
$$\bar{T}_s = 0.3(T_{\text{chest}} + T_{\text{upper arm}}) + 0.2(T_{\text{thigh}} + T_{\text{lower leg}}) \quad \text{----- (1)}$$

夏季・冬季ともに 50 分経過後の ON における背部での皮膚温上昇が最も高く（夏季 2.6°C、冬季 2.8°C 上昇）、次いで胸部（夏季 0.8°C、冬季 1.8°C 上昇）において皮膚温上昇が観察された。一方、夏季では大腿部と下腿部の皮膚温が加温の有無にかかわらず各々 1.5°C、2.0°C 低下し、下肢においては加温の効果はみられなかった。冬季においても大腿部と下腿部で皮膚温低下がみられたが、大腿部では ON で若干低下抑制効果がみられた。 \bar{T}_s は、夏季では ON あっても、 ΔT_s が 0.3°C 低下したのに対して、冬季では 0.7°C の上昇が認められた（表 2）。

このことは、四肢の皮膚温が夏季に比べて冬季に低いことに起因する。

b) 口腔温への加温の影響

口腔温の実験開始からの変化量 (ΔT_{or}) を図 5 に示す。夏季においては、加温の有無にかかわらず口腔温が低下した。しかし、OFF で ΔT_{or} が実験時間中低下し続けているのに対して、ON では約 20 分以降に若干ではあるが低下抑制効果が表れた。冬季においては、OFF でも ΔT_{or} の低下はほとんどみられず、ON では実験約 30 分経過以降に約 0.15°C 有意に上昇した。

Fig. 5 Changes in oral temperature (ΔT_{or}) during neck and back heating.

Dotted line indicates heater OFF.
Solid line indicates heater ON.
*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

c) 末梢皮膚血流量への加温の影響

皮膚血流量の変化量 ΔB を図 6 に示す。パソメーションによる変動が大きかったため、10 分毎に平均した値をプロットしている。夏季の OFF では時間経過に伴い有意に減少したが、ON では減少が若干抑制される傾向がみられた。冬季においても、加温の有無にかかわらず減少傾向がみられたが、皮膚血流量の減少幅は極めて少なかった。これは、夏季の皮膚血流量が入室前被験者平均で約 1V であったのに対し、冬季の皮膚血流量は約 0.1V と極端に低かったためと考えられる。

d) 心拍数および自律神経系活動への加温の影響

夏季における心拍数の実験開始からの変化量

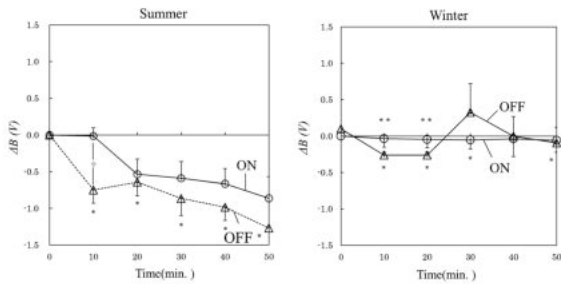


Fig. 6 Changes in skin blood flow (ΔB) during neck and back heating.

[The indicated lines are the same as before.
*, \dagger : $p < 0.05$, **, \ddagger : $p < 0.01$]

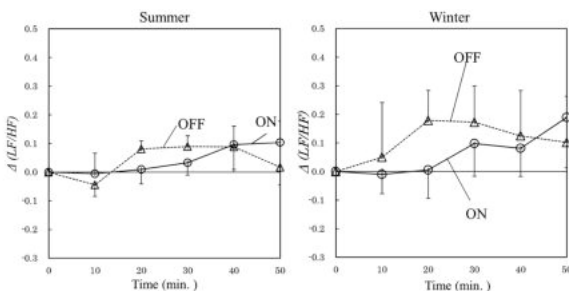


Fig. 7 Changes in $\Delta(LF/HF)$ during neck and back heating. (The indicated lines are the same as before.)

ΔHR は、ON・OFF とともに 1 拍以内であり、ほとんど変化はみられなかった。冬季においては、実験室の温度の方が戸外の温度よりも高いため、ON・OFF とともに時間経過に伴って 1.5~2 拍程度の増加がみられたが、加温の有無における影響はみられなかった。

交感神経系の優位性の指標である $\Delta(LF/HF)$ を図 7 に示す。ここで、低周波数帯(LF)を 0.04~0.15Hz、高周波数帯(HF)を 0.15~0.4Hz とした。 $\Delta(LF/HF)$ は、季節に関わらず OFF で実験開始から約 30~40 分間上昇傾向がみられたが、それ以降は減少に転じた。ON では、実験開始約 20 分までは変化が認められなかったが、その後、徐々に上昇に転じる傾向がみられた。しかし、いずれも有意な変化ではなかった。

e) 温冷感評価への影響

温冷感の主観評価値を図 8 に示す。体幹部においては、ON で夏季・冬季ともに有意に暖かいと評価された。OFF では冬季の実験開始時からの温冷感評価にほとんど変化がみられなかったが、夏季において時間とともに寒い側に評価され、ON との相違が時間とともに拡大した。

一方、足部の温冷感評価では、夏季では加温の

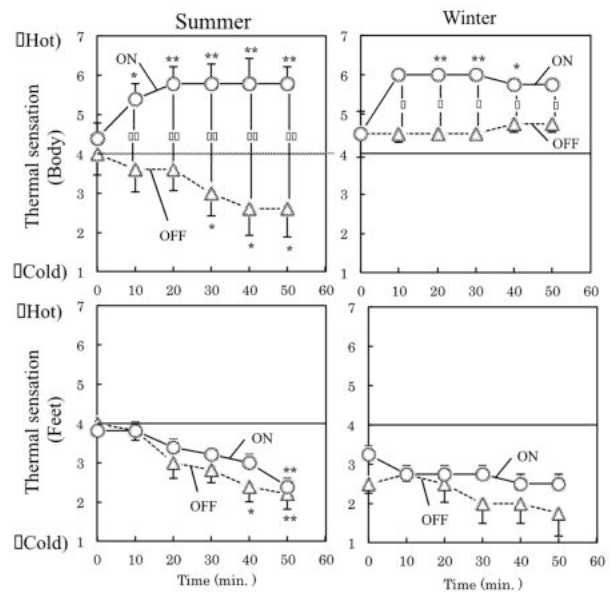


Fig. 8 Effects of neck and back heating on thermal sensation.

[The indicated lines are the same as before.
*, \dagger : $p < 0.05$, **, \ddagger : $p < 0.01$]

有無にかかわらず経時的に有意に寒い側に評価されたが、冬季では実験開始時から寒い側に評価され、経時的な変化は少なかった。

4. 考 察

1) 夏季と冬季における局所加温効果の相違

日本には明瞭な四季があり、夏季には視床下部前視床下野にある体温調節中枢からの反射によって体熱放散を促進するために末梢皮膚血管が拡張する。逆に、冬季には末梢皮膚血管が収縮する。このような季節適応に伴う皮膚血管応答により、局所加温が人体生理に及ぼす影響は異なり、実験終了後の皮膚温は、冬季で胸・背の上昇幅が大きく、大腿・下腿では夏季で低下幅が大きかった。また、実験終了時の平均皮膚温は、加温時、夏季で ΔT_s が 0.3°C 低下し、冬季では 0.7°C 上昇するなど、季節によって局所加温の影響が異なることがわかった。

また前述のマネキン実験では、加温部位である頸部と背部以外にほとんど最内層温度の上昇がみられなかったのに対して、被験者実験では、ヒータが存在する背部だけでなく、胸や、若干ではあるが上腕、冬季では大腿部でも局所加温効果がみられた。このことは、サーマルマネキンではみられなかった現象であることから、頸背部を加温し

たことによる血液循環系の作用によるものと推察された。三尾ら¹²⁾の熱布浴による腰背部への温熱適用では、加温部位だけではなく手掌や足底でも皮膚温の上昇がみられ、この加温による皮膚温変化は皮膚血流量の増加によるものと結論づけている。本研究においては、下肢の皮膚温上昇にまで至らなかったが、加温により血流量の増大や血液温の上昇があり、胸部や上腕部に熱が伝搬された結果と考察される。

一方、湯谷ら¹³⁾は、実験環境 28℃、裸体での研究において、腰背部加温が足背や指先、上腕を除くほぼ全身の皮膚温を上昇させたと述べており、本研究の実験条件とは異なるものの、下肢において皮膚温の上昇がみられなかった点で一致した。また、佐藤ら⁴⁾の研究結果において、冬季における 15℃の実験環境では着衣量との関係が大きく、1.15clo では末梢血流への影響がみられず、2.23clo で加温効果がみられたと報告している。このことから、加温にも関わらず、下肢皮膚温が低下した原因が着衣の保温力不足であったと推察され、下肢末梢の皮膚血流量の増加にも繋がらなかった理由と考えられる。

深部温の指標として測定した口腔温は、冬季加温で実験約 30 分経過以降に約 0.15℃有意に上昇した。冬季では実験開始時の末梢皮膚温が低いため顕熱放散が抑制されたこと、また日本人では基礎代謝が冬季に高くなる¹⁴⁾ことなどの諸要因が相乗して加温の効果を発現させたのではないかと考えられる。

一方、夏季では加温の有無に関わらず口腔温が低下した。これについては、入室時の末梢皮膚温が高かったため顕熱放散が促進されたこと、血管収縮応答の遅延や、日本人の基礎代謝が夏季に低い¹⁴⁾ことなどに起因するものと考えられる。夏季において深部温の低下を防げなかったことから、より効果的な加温のあり方を探る必要があると結論づけられる。

心拍数については、季節を問わず経時変化が 1 拍以内と少なく、加温の有無による相違もほとんどみられなかった。本研究における実験温度条件や着衣条件では加温が心拍数にまで影響を及ぼすものでなかったと思われる。

心電図の R-R 間隔における周波数解析からの自律神経系への影響については、季節にかかわらず、OFF で実験開始直後から交感神経系が有意になる

傾向が確認され、末梢血管の収縮を示唆する結果となった。ON では実験開始時から約 30 分頃までは交感神経系の亢奮が抑制された。体幹部で暖かいと主観評価されたことが緊張状態を抑制したものと考えられた。しかしその後、季節を問わず、交感神経系が高まる傾向がみられた。

加藤ら¹⁵⁾は、温熱刺激を施した後、LF/HF の交感神経系が徐々に上昇傾向がみられたと報告しており、今回の結果と一致していた。このことから、実験結果では、個人差が大きく有意差は認められなかったものの、加温が LF/HF の増加に繋がリストレスを増加させることが危惧され、局所加温の温度や継続時間の配慮が重要であることが示唆された。

一方で、夏季実験での口腔温が ON であっても低下傾向を示したにもかかわらず、主観評価で暖かいと評価されたことにも注意を要する。体幹部の温冷感評価が高かった理由には、頸部加温において暑熱感が大きいとの報告⁶⁾がみられることから、体幹部の皮膚温上昇のみでなく、体温調節中枢に近い頸部加温の影響が大きかったものと考えられる。また、末梢部である足部の温冷感については、夏季・冬季ともに、徐々に寒い側に評価され、加温の効果はほとんどみられなかった。

2) 局所加温衣服の設計に向けて

本研究では、局所加温衣服の設計に向けて、低温環境下における頸背部加温が人体生理に及ぼす影響について検討した。その結果、加温時、夏季で深部温が大きく低下したにもかかわらず、体幹部で暖かいと主観評価された。これは、体温調節中枢に近い頸部加温によるものと考えられ、温冷感覚に頼った加温のあり方には問題があると考えられた。また、着衣量が加温効果に影響を及ぼすことが示唆されたが、例えば災害時で衣服が不足している場合などを考えた時、適切な保温力より軽微な着衣量であっても有効な積極加温が得られる方策を探ることが重要である。一方、局所加温による末梢皮膚温の上昇が顕熱移動による体熱放散を増大させ、ひいては深部温を低下させることに繋がるのが夏季実験結果から示唆され、末梢皮膚温の上昇を目指した局所加温には慎重を要すると考えられた。

以上、夏季および冬季において、局所加温が人体生理反応に及ぼす影響は異なり、季節適応を考慮した局所加温衣服の設計が必要であり、今後の

研究においては、より効果的な局所加温部位とその範囲、至適温度等を明らかにしていく必要がある。

5. 結 言

本研究では、局所加温衣服設計のための基礎的研究として、夏季および冬季に同一条件にて実験を実施した。頸背部加温型の市販のヒータベストを用い、18℃の低温環境下における血液循環系、自律神経系および主観評価に及ぼす加温の影響を明らかにした。

夏季・冬季ともに加温における背部での皮膚温上昇幅が最も高く、次いで胸部であった。冬季は、夏季に比べて、加温による胸部・背部の皮膚温上昇幅が大きく、下肢の皮膚温低下幅が少なかった。平均皮膚温は、加温時においても、夏季で約 0.3℃低下したのに対して、冬季で約 0.7℃上昇するなど季節による相違がみられた。しかし、夏季・冬季ともに末梢皮膚温や末梢血流量には加温の効果がほとんどみられず、足部の温冷感覚も時間とともに低下した。

また、夏季においては、加温の有無に関わらず口腔温が低下したが、冬季においては、加温時に口腔温の上昇が観察された。しかし、加温は心拍数に影響を及ぼすものではなかった。

一方、低温環境下に入室して直後、季節にかかわらず、末梢血管の収縮に伴い *LF/HF* が上昇する傾向がみられたが、加温時にはみられなかった。しかし加温 30 分経過後に *LF/HF* が上昇し、頸背部加温がストレス上昇に繋がることが示唆された。

6. 引用文献

- 1) 板生清 (2015) : ウェアラブル技術がもたらす安心・快適な“衣服空間”, 繊維消誌, 71, 224
- 2) 事業企画委員会 (2016) : 第 24 回消費科学講座～世界に誇れる日本のクオリティ“スマートテキスタイル”～、繊維消誌, 57 (1), 75
- 3) 消費者庁 (2015) : 高齢者のやけどにご注意ください!
- 4) 佐藤有希, 藤村朋子, 大野静枝 (1994) : カイロ型試作加温装置による体幹・四肢部加温の効果と着装条件の影響, 繊維消誌, 36 (1), 74-81
- 5) 申正和, 田村照子 (1996) : 温暖環境下での人体の局所加温刺激が温熱生理・感覚反応に及ぼす影響, 人間と生活環境, 3 (1), 45-55
- 6) 申正和, 田村照子 (1996) : 暑熱環境下での人体の局所加温刺激が温熱生理・感覚反応に及ぼす影響, 人間と生活環境, 4 (1), 20-28
- 7) Takayama, S.; Seki, T.; Watanabe, M.; Takashima, S.; Sugita, N.; Konno, S.; Iwasaki, K.; Yambe, T.; Yoshizawa, M.; Nitta, S.; Maruyama, S.; Yaegashi, N. (2010) : The effect of warming of the abdomen and of herbal medicine on superior mesenteric artery blood flow – a pilot study, *Forschende Komplementärmedizin*, 17 (4), 195-201
- 8) 金子眞由美, 乗松貞子 (2012) : 腰背部温罨法における湿熱法と乾熱法によるリラクセーション効果の比較, 日本看護研究学会雑誌, 35 (4), 37-46
- 9) 深田順子, 鎌倉やよい, 日比野友子, 伊東美穂, 羽田野杏子 (2007) : 背部温罨法の温度の相違による効果の検討, 日本看護研究学会雑誌, 30 (4), 75-83
- 10) 日本衣料管理協会刊行委員会 (2016) : アパレル生理衛生論, 日本衣料管理協会, 46
- 11) 国土交通省気象庁 (2016) : 過去の気象データ検索
- 12) 三尾弘子, 大日向輝美, 北村愛子 (1997) : 腰背部熱布浴が生体に及ぼす影響, 看護総合, 28, 222-225
- 13) 湯谷操, 沈富子, 田村照子, 渡辺ミチ (1982) : 人体の局所加温が皮膚温に及ぼす影響, 衣服学会雑誌, 25 (2), 15-20
- 14) 万木良平 (1987) : 大気の温熱環境、環境適応の生理衛生学, 初版, 朝倉書店, 32
- 15) 加藤京里 (2010) : 後頸部温罨法による自律神経活動と快－不快の変化－更年期女性 3 事例からの検討一, 日健医誌, 19 (2), 64-69

Original : Fundamental Study on Clothing with Regional Heating – Effects of Neck and Back Heating on Human Physiological Responses –, Asuka Tani¹⁾, Miyuki Nakahashi²⁾, Harumi Morooka³⁾, 1) Shitennoji University Junior College 2) Human Life Technology Research Institute, Toyama Industrial Technology Center, 3) Kyoto Women's University, Abstract : This study aimed to determine the effect of neck and back heating on human physiological responses and thermal sensation in order to develop healthy and comfortable

heating clothes for cold environments. The same experiment was conducted in both summer and winter. We prepared a heater vest with a built-in matrix of carbon microfibers. In the summer experiment, the skin temperature of the legs and the mean skin temperature decreased despite heating. The oral temperature decreased in summer, regardless of heating, but thermal sensation was increased. In the winter experiment, the mean skin and oral temperature increased in response to heating. Skin temperature and skin blood flow at a distal point had no effect on heating in either summer or winter. The low/high frequency (*LF/HF*) ratio indicated sympathetic activation that increased with the vasoconstrictive effect when subjects entered cold environments, but did not acutely increase in response to heating. However, the *LF/HF* increased after heating

for 30 minutes. We surmise that this is a response to increased stress after heating. Our results show that physiological responses differ depending on the season.

Keywords : Heater vest, Regional heating, Neck and back heating, Human physiological response, Season

謝 辞

本研究は、JSPS科研費 (A) 25242011の助成によって行われたものであり、ここに謝意を表す。

<連絡先>

〒583-8501 大阪府羽曳野市学園前 3 丁目 2-1
四天王寺大学 短期大学部
谷 明日香
電話 : 072-956-3181 FAX : 072-956-6011
e メール : noda-a@shitennoji.ac.jp

【資料】

幼児と母親の夏期の睡眠温熱環境に関する実態調査

水野一枝¹⁾、水野康²⁾、白川修一郎³⁾⁴⁾

1) 東北福祉大学感性福祉研究所 2) 東北福祉大学教育学部 3) 睡眠評価研究機構
4) 国立精神・神経医療研究センター

要 約

本研究では幼児と母親の夏期の睡眠温熱環境に関する実態を調査し、問題点を明らかにすることを目的とした。仙台市内および近郊に住む幼稚園児（3歳～6歳）とその母親195組を対象とし、7月下旬～8月に週に1度、連続4回の調査と実測を行った。アンケート用紙と温湿度計を配布し、就寝前と起床時に寝室の温度および相対湿度を記録してもらった。就寝前の外気温が最も高い週では、寝室温度も30℃以上が30%と他の週より高かった。寝室での冷房等の空調機器の使用率、就寝してからの空調機器の変更は、最も外気温の高い週で他の週より増加した。母親と母親からみた幼児の睡眠時の発汗、母親の睡眠感で浅い側の申告は、最も外気温の高い週で他の週より増加した。母親から見た幼児の睡眠時の発汗は、母親自身の発汗より増加していた。夏の高温多湿環境では、寝室での空調機器の使用率は増加しても、使用方法が不適切なため母親の睡眠は妨げられ、幼児の睡眠時の温熱ストレスは増加している可能性が示唆された。

(キーワード: 睡眠、母親、幼児、夏期、調査)

1. 緒言

睡眠不足や、不規則な就寝・起床時刻からくる子供の健康被害が多数報告されている^{1,2)}。十分な睡眠は、幼児の成長や健康な生活に欠かすことができない。幼児の睡眠に影響を及ぼす要因は様々であるが、季節による温熱環境の変化も重要な要因となる。日本の夏に代表される高温多湿環境は、睡眠を著しく妨げることが成人では明らかになっている³⁾。しかし、温熱環境が子供の睡眠に及ぼす影響⁴⁾や実態調査については報告例が少ない^{5,6)}。日本では幼児と親が同室で就寝することが一般的であり、幼児の寝室環境は親の選択による。乳幼児を対象とした調査では、乳幼児の衣服や冷

暖房の使用は母親の感覚により設定されており⁵⁾、母親の体質が関与していることが報告されている⁶⁾。しかし、これらはいずれも覚醒時の調査であり、睡眠温熱環境に着目し、寝室の実測を行った報告は著者が知る限り見当たらない。

そこで、本研究では夏期に週に一度、4回連続の寝室内温湿度の実測と就寝状態の調査を行い、幼児と母親の睡眠温熱環境の実態を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

1) 調査期間

調査期間は2006年、2007年の7月下旬～8月とした。週による変化を比較するため、毎週水曜日に一度、都合が悪い場合は水曜日に近い、休前日を除いた日程で4回、連続4週間行った。

2) 調査対象者

本研究は東北福祉大学研究倫理委員会の承認を得て行った。対象は心身ともに健康な仙台市内および近郊に住む幼稚園児とその母親、195組(母親195名、幼児199名)であった。調査用紙は221組に配布(母親221名、幼児227名)し、回収率は88.1%であった。2006年は48組(母親48名、幼児49名)、2007年は147組(母親147名、幼児150名)であった。母親は、妊娠していない、2歳未満の乳幼児がいない者を対象とした。

3) 調査方法

アンケート調査および寝室内温湿度の実測を行った。アンケート用紙とともに温湿度計(Dretec, O-206BL)を配布した。温湿度計は枕元に設置してもらい、幼児と母親夫々の就寝前と起床時に寝室の温度および相対湿度を記録するとともに、アンケートの記入を依頼した。外気温および外気湿度は、気象庁が1時間毎に測定した仙台市のデータ

7) から寝室内温湿度の測定日時に該当する温度と湿度を使用した。

調査項目は、基本属性(年齢、職業、家族構成、健康状態、睡眠習慣、寝室および就寝状況)と、調査日毎に記入してもらう項目(寝室での空調使用、窓の開閉、寝具、寝衣、母親の温冷感、快適感、発汗、睡眠感、覚醒回数と要因、母親から見た幼児の睡眠、発汗、睡眠時の行動、覚醒回数と要因)とした。

4) 分析方法

4回の調査結果は週別にクロス集計し、 χ^2 検定を行った。また、母親と幼児の温熱環境、睡眠時の行動や感覚を従属変数、母親の睡眠感、母親から見た幼児の睡眠、睡眠時の幼児の発汗を目的変数としたロジスティック回帰分析(強制投入法)を行った。母親の睡眠感、母親から見た幼児の睡眠は良い、やや良いと回答した良好群と、どちらとも言えない、やや悪い、悪いと回答した不良群

にわけて解析した。幼児の睡眠時の発汗は、起床時に睡眠時の発汗の状態を母親に申告してもらった。発汗なし群と、やや汗をかいていた、汗をかいていた、非常に汗をかいていたと回答した発汗群にわけた。睡眠については良好群、幼児の発汗は発汗なし群を基準として、温熱環境や睡眠時の行動、感覚のオッズ比および95%信頼区間を算出した。P<0.05の場合に有意であるとした。統計処理にはSPSS Statistic 17.0を用いた。

3. 結果

1) 属性

表1に属性を示す。幼児の性別は、男女がほぼ同等で偏りはなかった。母親の年齢は30代が約68%と最も多く、仕事をしている母親は約30%であった。家族構成は4名が約50%であった。

2) 睡眠習慣

表1 対象者の属性

カテゴリー	N	%	カテゴリー	N	%
幼児年齢			母親職業		
3歳	40	20.1	有職	62	31.8
4歳	99	49.7	専業主婦	133	68.2
5歳	60	30.2	兄弟姉妹		
母親年齢			1人	46	23.1
20代	5	2.6	2人	120	60.3
30代	133	68.2	3人以上	33	16.6
40代	57	29.2	家族構成		
幼児性別			3人	48	24.1
男児	102	51.3	4人	105	52.8
女児	97	48.7	5人以上	46	23.1

表2 寝室および就寝状況

カテゴリー	N	%
寝室にある空調		
置いていない	42	21.2
エアコン	60	30.3
扇風機	53	26.8
エアコンと扇風機	36	18.2
その他	7	3.5
就寝時の冷房使用		
毎晩使用	4	2.5
暑いとすぐ	72	45.9
限界まで我慢	74	47.1
使用しない	7	4.5
ベッドの使用		
母親	46	23.8
幼児	64	32.2
幼児と同室で就寝する人		
兄弟姉妹	7	3.6
父母・父母と兄弟姉妹	135	69.2
母・母と兄弟姉妹	51	26.2
父・父と兄弟姉妹	2	1.0

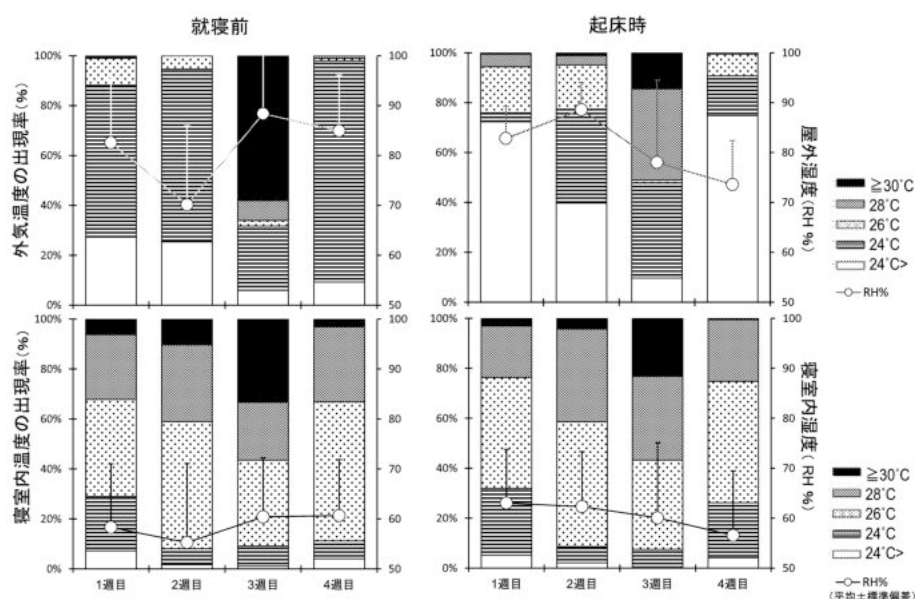


図1 就寝前と起床時の外気と寝室内温湿度

幼児と母親の就寝時刻、起床時刻、および睡眠時間に週による変化はみられなかった。4週を平均した幼児の就寝時刻は20:48±42(平均(時刻)±標準偏差(分))、起床時刻は7:00±36、睡眠時間は598±42分、22:00時以降に就寝する幼児は約20%であった。母親の就寝時刻は23:06±60、起床時刻は6:12±36、睡眠時間は417±54分であった。日中の昼寝は母親で13%、幼児で23%であった。

3) 寝室および就寝状況

寝室および就寝状況の結果を表2に示す。寝室の冷房設置は約50%、空調機器の設置なしは約20%であった。その他は隣接する部屋の冷房の使用だった。冷房使用は、暑いと感じたらすぐ、限界まで我慢が約46%と同等であった。幼児と同室に就寝する者は、母親が95%と最も多く、父親は70%であった。

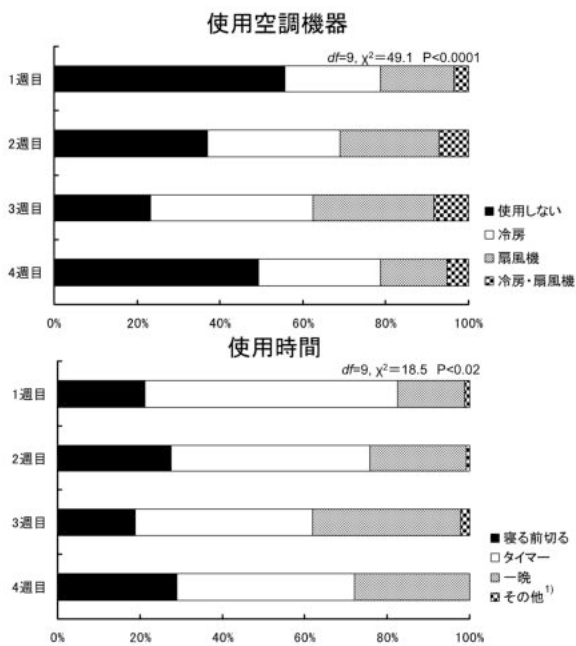


図2 就寝時の空調機器使用と使用時間

¹⁾ その他、冷房・扇風機使用者で、タイマーと一晚を併用

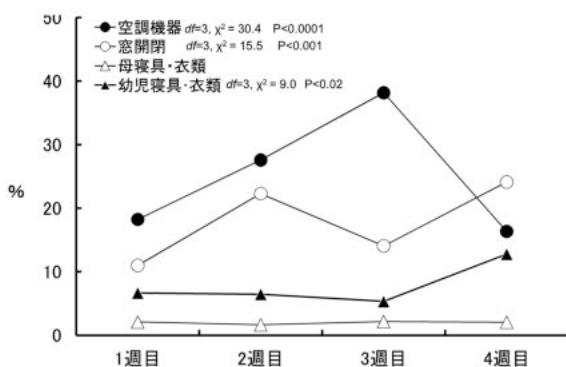


図3 就寝時の空調機器、窓開閉、寝具・衣類の変更

4) 寝室内温湿度と就寝状況

就寝前と起床時の外気温(就寝前 $\chi^2=769.3$, P<0.001;起床時 $\chi^2=631.0$, P<0.001)と寝室内温度(就寝前 $\chi^2=163.8$, P<0.001;起床時 $\chi^2=178.5$, P<0.001)には、週毎で差が見られた(図1)。就寝前の外気温は、1、2週目では30℃以上は殆ど見られないが、3週目では約60%であった。寝室内温度も1週目では30℃以上は約8%であるが、3週目では約30%であった。寝室内湿度は、4週とも平均50~60%で推移した。

就寝時の空調機器の使用率は、1週目の約40%に対し3週目では約80%と増加し(図2)、使用時間も3週目で空調機器の一晚使用が増加していた。就寝してから空調の設定を変更する回数は、1週目から3週目に増加していた(図3)。就寝してから幼児の衣服や寝具の変更は、4週目に寒さによる理由で増加した。

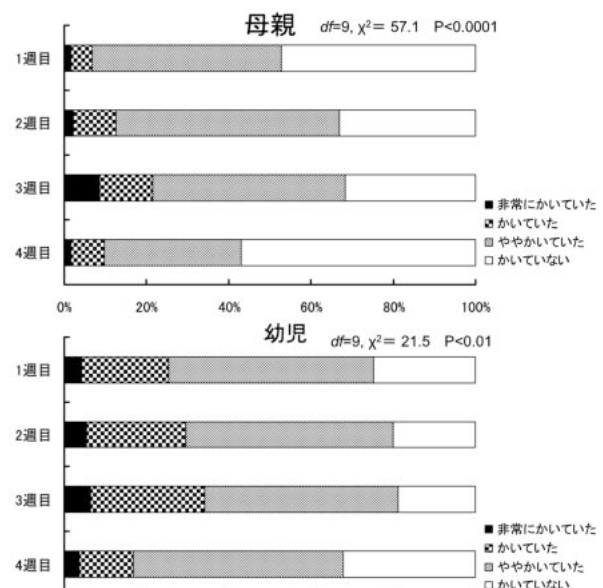


図4 幼児と母親の睡眠時の発汗

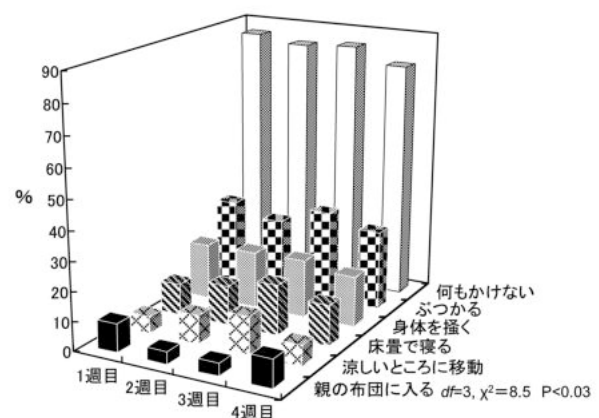


図5 幼児の睡眠時の行動

週による変化は、就寝時の窓開け（約 50%）、敷寝具（幼児と母親ともに 2 枚と 3 枚が約 90%）、掛寝具（1 枚が母親で約 90%、幼児で 80%）と着衣枚数（幼児と母親ともに 3 枚が約 60%）には見られなかった。

5) 睡眠時の発汗、行動、睡眠感、温冷感

母親と母親から見た幼児の睡眠時の発汗は 3 週目に最も多く、幼児では約 80%、母親では約 70% が汗をかいていた（図 4）。母親から見た幼児の発汗は、1~4 週すべてで母親自身の発汗よりも多かった（1 週目 $\chi^2=34.3$, $P<0.001$; 2 週目 $\chi^2=19.1$, $P<0.001$; 3 週目 $\chi^2=17.0$, $P<0.001$; 4 週目 $\chi^2=25.1$, $P<0.001$ ）。母親から見た幼児の睡眠時の行動では、何も掛けないが最も多く、親や壁にぶつかる行動も見られた。親の布団に入る行動は 2、3 週目に減少し、4 週目に増加していた（図 5）。

夜間の覚醒回数は幼児では週による差は見られなかったが、約 25% が 1 回以上覚醒していた。母親では 3 週目に他の週よりも覚醒が増加し、約 70% が 1 回以上覚醒していた（図 6）。母親の覚醒理由では、暑さが 3 週目に増加していた。幼児では、トイレ以外の覚醒（複数回答: 喉の渇き 24%、暑さ 20%、ぶつかる 12%、不明 12%）が 3、4 週目に増加していた（図 6）。母親では 3 週目に睡眠時の温冷感が暑く、睡眠が浅い申告が他の週よりも増加していた（図 7）。

6) 空調機器と寝室内温湿度・主観申告

空調機器の使用率が増加した 3 週目の空調機器と寝室内温度、主観申告の関連を検討した。就寝前の外気温は、空調無しで 30℃以上が 20% に対し、空調使用では 40~60% と高かった。寝室内温度が 30℃以上の頻度は、就寝前、起床時ともに扇風機で他条件より高かった（図 8）。冷房のタイマー設定では、除湿のみの設定が 27%、冷房の設定温度とタイマー設定時間の平均（±SD）は 26.3 ± 1.6℃、113.5 ± 65.4 分であった。

母親、幼児ともに扇風機と冷房のタイマー設定で 80~90% が睡眠時に発汗しており、他条件より高かった（図 9）。母親の睡眠時の暑い側の申告は扇風機で最も高く、冷房のタイマー設定が続いた。

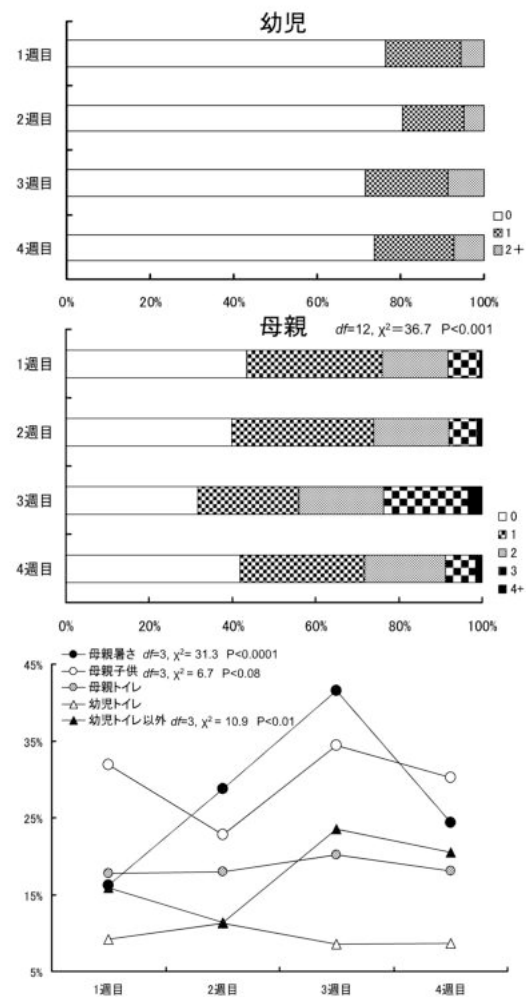


図 6 幼児と母親の覚醒回数と覚醒理由

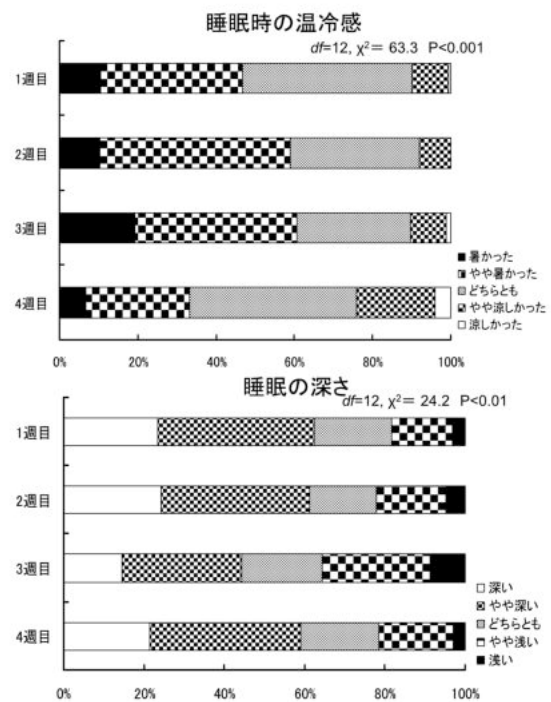


図 7 母親の温冷感と睡眠感

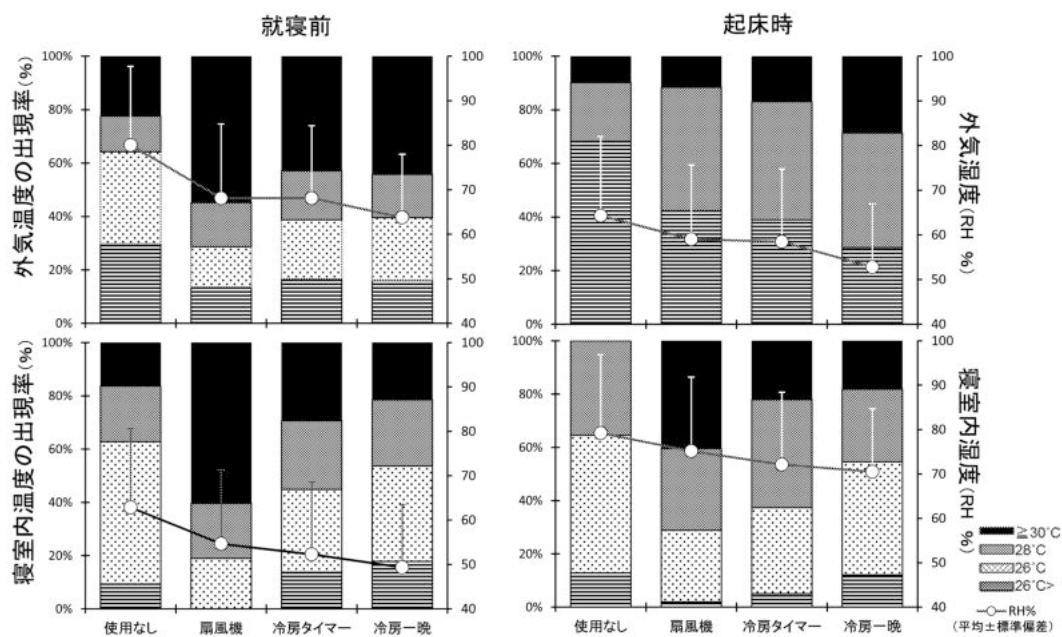


図8 空調機器の使用方法による就寝前と起床時の外気と寝室内温湿度

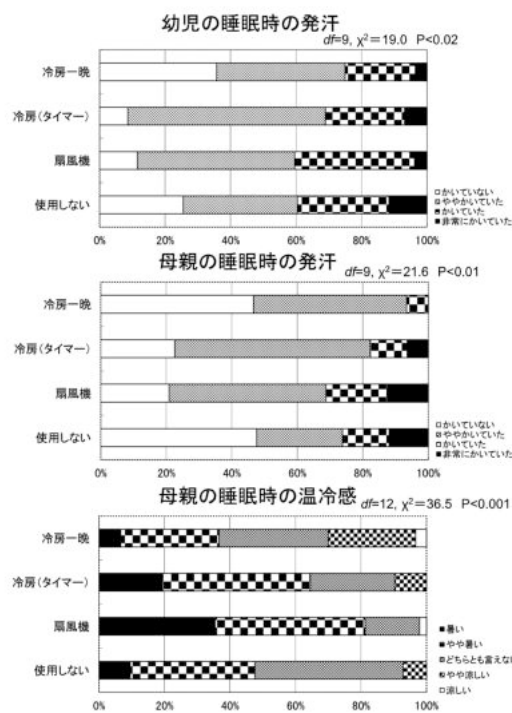


図9 空調機器の使用方法による睡眠時の発汗、母親の温冷感

表3 幼児の睡眠時の発汗と温熱環境、睡眠の関連

		n	OR	95%CI		p値
				下限	上限	
寝る前寝室温度	184	1				
		1.10	0.79	1.54	0.57	
寝る前寝室湿度	185	1				
		1.04	0.98	1.10	0.19	
起床時寝室温度	184	1				
		1.05	0.74	1.50	0.79	
起床時寝室湿度	183	1				
		0.97	0.91	1.03	0.29	
冷房	使用なし	100	1			
	使用あり	87	2.09	0.69	6.32	0.19
扇風機	使用なし	120	1			
	使用あり	67	1.21	0.37	3.99	0.75
空調機器タイマー	使用なし	125	1			
	使用あり	62	1.67	0.47	5.99	0.43
空調機器一晩	使用なし	136	1			
	使用あり	51	0.50	0.14	1.76	0.28
着衣枚数	4枚未満	149	1			
	4枚以上	36	4.24	1.04	17.33	0.04
寝具枚数	3枚未満	100	1			
	3枚以上	84	1.66	0.67	4.10	0.27
就寝前の発汗(母親) ¹⁾	無し	71	1			
	やや非常に汗をかいた	114	3.26	1.23	8.62	0.02
就寝前温冷感(母親) ²⁾	やや涼しい・涼しい	65	1			
	どちらとも～暑い	120	1.39	0.42	4.61	0.59
就寝前快適感(母親) ³⁾	快適・やや快適	43	1			
	どちらとも～不快	141	1.83	0.59	5.68	0.30
寝つき	やや良い・良い	142	1			
	どちらとも～悪い	45	5.49	0.97	31.18	0.05
全体的な睡眠	良い・やや良い	133	1			
	どちらとも～悪い	53	0.32	0.08	1.31	0.11
睡眠時間	やや十分・十分	137	1			
	どちらとも～不足	49	5.18	1.01	26.59	0.04

^{1)~3)} 幼児の就寝前の時点での母親の発汗、快適感、温冷感

7) 睡眠と温熱環境の関連

3 週目のデータで行ったロジスティック回帰分析では、母親から見た幼児の睡眠と睡眠温熱環境に有意な関連は見られなかった。幼児の睡眠時の発汗は、発汗無し群に対して発汗あり群では「全着用枚数が4枚以上」(オッズ比4.24、以下同様)、「幼児の就寝前の時点で母親が発汗」(3.26)、「睡眠時間が不十分」(5.18)で有意なオッズ比が示さ

れた(表3)。母親の睡眠感では、良好群に対して不良群では、「睡眠時に不快(4.51)」、「暑さで覚醒」(1.45)、子供による覚醒(2.64)でオッズ比が有意であった(表4)。

4. 考察

就寝形態は、両親または母親と幼児の組み合わせが95%であった。幼児の就寝形態は親との同室

表 4 母親の睡眠感と温熱環境、主観申告の関連

	n	OR	95%CI		p値
			下限	上限	
寝る前寝室温度	184	1 1.16	0.88	1.53	0.30
寝る前寝室湿度	183	1 1.01	0.97	1.06	0.56
起床時寝室温度	184	1 0.87	0.65	1.17	0.36
起床時寝室湿度	183	1 0.98	0.93	1.03	0.48
冷房	95 89	1 0.79	0.34	1.82	0.58
扇風機	124 60	1 0.88	0.35	2.21	0.79
空調機器変更	113 71	1 0.86	0.37	2.02	0.73
敷寝具枚数	99 84	1 1.24	0.59	2.62	0.57
着衣枚数	124 59	1 2.09	0.91	4.79	0.08
睡眠時発汗	58 126	1 1.24	0.49	3.13	0.65
睡眠時温冷感	110 71	1 1.61	0.73	3.55	0.24
睡眠時快適感	40 144	1 4.51	1.70	11.94	0.01
トイレ覚醒	145 36	1 2.18	0.78	6.12	0.14
暑さによる覚醒	105 76	1 3.50	1.45	8.44	0.01
子供による覚醒	119 62	1 2.64	1.14	6.12	0.02

が 80～92%⁸⁻⁹⁾であるという国内の先行研究と一致している。幼児の一般的な就寝形態は、欧米では母子別室であるが¹⁰⁾、日本では母子同室であることが確認された。

寝室内温度と外気温は、1～3 週目にかけて上昇が見られた。外気温と寝室内温度には強い相関があることから¹¹⁾、外気温の上昇により寝室内温度が上昇したと考えられる。外気温の上昇に対し、空調機器の使用は増加したが、寝具、寝衣に変化はなかった。このことから、夏期は着衣や寝具での調節による余地に限界があることが窺える。空調機器の使用率は、1～3 週目で約 80%まで増加し、使用時間も終夜使用が増加していた。本研究での寝室での冷房の設置率と使用率は約 50%であった。設置率は、愛知県で乳幼児のいる家庭の 79%⁶⁾、使用率も関西地区の約 80%¹²⁾より低い。また、使用方法も限界まで我慢する、使用しないが約 50%と、容易に使用していない。子供のいる家庭は、冷房の長時間使用に抵抗があり⁶⁾、就寝時の冷房使用を日中よりも嫌うこと¹³⁾が関連していると考えられる。更に、窓の開放が 50%と、関西の 28%¹⁴⁾よりも高い。本研究で寝室での冷房使用率が低い要因には、寝室の冷房設置率が他県より低く、窓を開放し、幼児がいる家庭であることが考えられる。

母親ではどの週も約 60%が一度は覚醒し、4 回以上も認められた。また、外気温が最も高かった週で空調機器の使用率や使用時間は増加しても、他の週よりも暑さによる覚醒、睡眠が浅い申告が

増加していた。寝室での冷房使用は一定でないことから、冷房使用時の外気温は使用しない場合より高いことが報告されている¹⁵⁾。本研究でも、冷房機器の使用なしで外気温が低く、先行研究と一致していた。冷房の使用方法では、タイマー設定が終夜使用よりも多く、外気温が高くなった際に寝室内温度を低下できてきない可能性が考えられる。空調機器別の寝室内温度は、冷房のタイマー設定と扇風機で高く、幼児と母親の睡眠時の発汗が多く、母親の睡眠時の温冷感も暑い側であった。外気温が 30℃以上になると、扇風機、除湿のみや約 2 時間のタイマー設定では、睡眠時の暑さを解消するには限界があることが窺える。更に、就寝後の空調機器の変更が 3 週目に他の週よりも増加しており、途中で設定変更するために覚醒し、寝室内温度を適切に維持できていないことも考えられる。この結果は、石丸らの調査¹⁶⁾とも一致しており、空調を使用しても使用方法が不適切なため、睡眠は妨げられている可能性を示唆している。

母親では暑さや就寝してからの空調機器の変更、子供が原因で覚醒回数が増加している。また、母親の睡眠感、睡眠時の快適感や暑さによる覚醒の増加と関連していた。不眠や睡眠不足は、日中活動だけでなく生活習慣病¹⁷⁾や肥満¹⁸⁾などの様々な健康被害とも関連がある。睡眠に影響のない寝室内温度の上限は 28℃と報告されている¹⁹⁾。一般家庭での調査では、冷房の終夜使用で暑さによる睡眠の悪化が改善された²⁰⁾。就寝時に冷房を睡眠前半の約 3 時間半使用すると、使用しない場合より覚醒が抑制された³⁾。母親の睡眠を改善するためには、冷房設定で使用時間を 3 時間半以上にし、暑さと空調機器の変更による中途覚醒を減らすことが重要と考えられる。

母親から見た幼児の覚醒は週による差はなかった。しかし、同じ環境で就寝しても母親から見た幼児の睡眠時の発汗は、母親よりも多かった。幼児の睡眠時の発汗は、睡眠時間が不十分であることに関連していた。また、暑さや喉の渇き等、トイレ以外の覚醒も外気温が最も高かった週に増加していた。覚醒時では、幼児の発汗は未発達であり、少ない発汗量を代償するために頭部や軀幹部の皮膚血流量を増大して熱放散を行う。皮膚温や深部体温が成人よりも上昇した場合に、子どもは非常に汗をかいている状態に見えると言われる²¹⁾。同じ環境でも、母親よりも幼児では睡眠時の

発汗が多く、温熱ストレスの増加が睡眠を妨げている可能性が考えられる。一方で、本研究では母親からみた幼児の睡眠と温熱環境に関連は見られなかった。寝室内温湿度の測定が就寝前と起床時のみで、睡眠の評価が主観であること、同室で就寝している人数等の影響が要因として考えられる。外気温が 30℃を超える暑熱環境の場合、寝室内温湿度とともに就寝前の母親や幼児の発汗を考慮し、幼児の 4 枚以上の着衣は控える必要があると考えられる。乳幼児の冷房設定や調節は、母親の感覚で行われ^{5,6)}、母親の暑がりや寒がりの体質も影響する⁶⁾。母親の体質との関連も検討する必要があるが、母親が快適で、暑さで覚醒しない空調設定を行い、幼児の着衣枚数を保護者と同等または減らすことで幼児の温熱ストレスを軽減することが重要であると考えられる。

幼児の睡眠時の行動では、何も掛けない行動が約 85%以上であった。成人では、就寝時の環境温湿度が 28℃75%まで上昇しても掛け寝具を全く掛けない行動は見られない²²⁾。1 週目と 4 週目は約 80%で就寝前の室温が 28℃以下であることから、何も掛けないで眠る室温の閾値が、幼児では成人よりも低い可能性を示唆している。先行研究²³⁾と一致して、本研究でも幼児では睡眠時に床畳で寝る、涼しいところへ移動、親の布団に入る等の行動が見られることから、睡眠時の行動的体温調節が成人よりも重要な役割を持つ可能性が考えられる。

以上のことから、夏の高温多湿環境により、母親は睡眠を妨げられており、母親から見た幼児の睡眠時の発汗は母親自身よりも多く、睡眠時の温熱ストレスが増加している可能性が示唆された。また、寝室での空調機器の使用率は増加しても使用方法が不適切なため、睡眠が改善されていないことが考えられた。

5. 結語

1) 幼児と母親の夏期の睡眠温熱環境の実態と問題点を検討するため、仙台市内の幼稚園児とその母親 195 組を対象とし、アンケート調査および実測を 8 月に週に 1 度、連続 4 回行った。

2) 就寝前の外気温が最も高い週では、寝室温度も 30℃以上が 30%と他の週より高かった。寝室での冷房等の空調機器の使用率、就寝してからの空調機器の変更は、最も外気温の高い週で他の週より

増加した。

3) 母親と母親からみた幼児の睡眠時の発汗、母親の睡眠が浅い側の申告は、最も外気温の高い週で他の週より増加した。母親からみた幼児の睡眠時の発汗は、母親自身の発汗より増加していた。

5) 幼児の睡眠時の発汗は、睡眠時間の不足と 4 枚以上の着衣に関連していた。母親の睡眠感は、睡眠時の快適感、暑さや子供が原因の覚醒に関連していた。

6) 以上のことから、夏の高温多湿環境により、寝室での空調機器の使用率は増加しても使用方法が不適切なため、母親の睡眠は妨げられ、幼児の睡眠時の温熱ストレスは増加している可能性が示唆された。

謝辞

本研究は平成 18 年度文部科学省科学研究費(若手研究 A:18680049)の助成を受けて実施された。調査にご協力いただいた保護者の皆様、愛子幼稚園、音の光幼稚園、お人形社幼稚園、福聚幼稚園、緑ヶ丘幼稚園、わかくさ幼稚園の諸先生方に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) Kagamimori S, et al (1999):The relationship between lifestyle, social characteristics and obesity in 3 year old Japanese children, *Childcare, health and development*, 25 (3), 235-248
- 2) Komada Y, et al (1999):Short sleep duration and irregular bedtime are associated with increased behavioral problems among Japanese preschool-age children, *Tohoku J Med Exp*, 224 (2), 127-136
- 3) Okamoto-Mizuno K, Mizuno K. (2012):Effects of thermal environment on sleep and circadian rhythm. *J Physiol Anthropol*, 31, 14
- 4) 水野一枝, 水野康, 山本光璋, 白川修一郎 (2010):夏期の睡眠温熱環境が子供の睡眠に及ぼす影響. *日本繊維製品消費科学会誌*, 51 (12), 930-936
- 5) 都築和代他(2001): 関東地域の住宅における乳幼児の衣住温熱環境調査, *日本家政学会誌* 2001, 52 (5), 429-438
- 6) 有富由香, 堀越哲美(2009):幼児のいる家庭における夏季の室内温熱環境と居住者の体温調節行動に関する意識調査, *日本生気象学会誌*, 46(1), 13-25

7) 気象庁. データベース.
 9) 櫻井のり子(1997):子供の年齢と就寝形態について, 金城学院論集, 37, 27-33.
 10) 片山勢津子(2010):子どもの就寝様式に対する母親の意識について, 日本建築学会計画系論文集, 75 (647), 17-23
 11) Hayes MJ, Parker KG, Sallinen B, Davare AA (2001): Bedsharing, temperament, and sleep disturbance in early childhood, *Sleep*, 24 (6), 657-62
 11) 坊垣和明他(1998):夏期および冬期の居住室温とその地域性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 505, 23-30
 12) 榎本ヒカル他 (1995):高齢者の居住温熱環境の特徴 関西地区における夏期および冬期の住まい方に関する調査研究, 日本家政学雑誌, 46 (11), 1092-1100
 13) 山口温 (2016):子どもをもつ家庭の冷房使用に関する意識調査, 日本家政学会, 67 (3), 176-186
 14) 飛田国人他(2008):京都市の集合住宅居住者の夏期の室内熱環境調節手法における理想と実態の関係, 日本建築学会環境系論文集, 73(625), 358-391
 15) 酒井潔, 三谷一憲(2005):名古屋市内の住宅における寝室の温熱環境. 日本衛生学雑誌, 60, 38-49
 16) 石丸泰, 水野一枝, 城澤道正(2009):夏季の都市部での睡眠温熱環境に関する実態調査, 日本生気象学会雑誌, 46 (3), 41
 17) 内村直尚他(2006):生活習慣病と睡眠の深い関係を考える, 診断と治療, 94 (3), 501-511
 18) Hasler G et al (2004):The association between short sleep duration and obesity in young adults: a 13-year prospective study, *Sleep*, 27 (4), 661-6
 19) 梁瀬度子(1998):住空間の快適性に関わる生理・心理学的研究, 日本家政学会誌, 49 (9), 975-984
 20) 岡野泰久, 井原智彦, 玄地裕(2008):インターネット調査を用いた夜間のヒートアイランド現象による睡眠障害の影響評価, 日本ヒートアイランド学会論文集, 3, 22-32
 21) 平田耕造, 井上芳光, 近藤徳彦 (2002):体温-運動時の体温調節システムとそれを修飾する要因, 有限会社ナップ, 2002, 180-198.
 22) Okamoto-Mizuno K, Nagai Y, Iizuka S (2003):The effects of ambient temperature change on the covered area of the body during sleep, *J Home*

Economics Jap, 54 (12), 1025-1030

23) Okamoto-Mizuno K, Mizuno K, Shirakawa S (2018): Sleep and skin temperature in preschool children and their mothers, *Behav Sleep Med*, 16(1), 64-78

Original: Summer sleep environments of mothers and preschool children, Kazue Okamoto-Mizuno¹⁾, Koh Mizuno²⁾, Shuichiro Shirakawa^{3) 4)}, ¹⁾Tohoku Fukushi University, Kansei Fukushi Research Center, ²⁾Faculty of Education, Tohoku Fukushi University, ³⁾Sleep Assessment and Research Institute, ⁴⁾National Institute of Mental Health, N.C.N.P, Abstract: The sleep environments of preschool children and their mothers in the summer were investigated. The survey was conducted in the summer on 195 pairs of preschool children and their mothers. The mothers were asked to complete a questionnaire and measure the temperature and humidity in their bedroom before and after sleeping once a week for 4 weeks. During the 4 weeks, the highest bedroom temperature, which was over 30 °C in 30% humidity, occurred during the week with the highest outside temperature. Air conditioner usage and percentage of changing the air conditioner manipulation was significantly increased in the week with the highest outside temperature compared to the other weeks. Subjective sweating during sleep was increased in both mothers and preschool children, and sleep estimates were significantly worse in mothers during the week with the highest outside temperature compared to the other weeks. Furthermore, sweating was increased more in the preschool children than in the mothers. These results indicated that humid summer heat may disturb sleep in mothers and increase thermal stress during sleep in preschool children despite the increased use of air conditioners in bedrooms.

Keywords: sleep, preschool children, mothers, summer

<連絡先>

〒989-3201 宮城県仙台市青葉区国見ヶ丘
 6-149-1 東北福祉大学感性福祉研究所

水野一枝

電話 : 022-728-6012 FAX : 022-728-6012

e メール : kazue@tfu-mail.tfu.ac.jp

【講評】

総説

暑熱環境下における脳循環調節

奈良女子大学 鷹股 亮

本総説は、暑熱環境下での循環動態の変化、特に脳循環の変化と熱中症、体温上昇にともなう目眩、立ちくらみ、判断力の低下などとの関連について解説したもので、大変興味深い内容です。

近年、猛暑による熱中症の発症が特に高齢者において問題になっていますが、スポーツ現場においても、高い運動強度でのトレーニングと熱中症予防の両立は重要な課題です。

また、熱中症に至らなくても、体温の上昇により、目眩、ふらつき、立ちくらみ、判断力の低下などが起こりますが、これらは様々な状況においての重大な事故に結びついたり、スポーツのパフォーマンスを低下させる可能性があります。

過度な体温上昇によるこれらの問題の解決法として体温の上昇を防ぐことは勿論ですが、体温上昇時の循環動態の変化を理解することは、何故体温の上昇を防がなければならないのかを理解する上で非常に重要です。別の角度（循環の維持）からのこれら問題の解決法の開発につながる可能性があります。

奈良女子大学 生活環境科学系 鷹股 亮

〒630-8506

奈良市北魚屋西町

【講評】

原著

局所加温型衣服設計のための基礎的研究

—頸背部加温が人体生理反応に及ぼす影響から—

共立女子大学 丸田 直美

本論文は、局所加温型衣服設計のための基礎的研究として、市販の加温ベストを用いて 18℃の低温環境における頸背部加温が人体生理に及ぼす影響を季節別（夏季・冬季）に被験者実験により明らかにすることを目的に行われています。

加温ベストの評価はサーマルマネキンを用いて行われており、被験者実験は口腔温、皮膚温、皮膚血流量の血液循環系と心電図（R-R 間隔）の自律神経系の測定及び主観評価が行われ、それぞれの結果についてきちんと考察がなされています。

本研究の結果より、実験環境や着衣条件が同一の実験であっても夏季と冬季では局所加温が人体生理に及ぼす影響が異なることが明らかとなり、局所加温のあり方や着衣量の検討など、今後の局所加温型衣服設計のための課題が示唆されています。

災害時に衣服が不足するような場合を考えると、軽微な着衣量であっても有効な積極加温が得られる方策を探ることが今後は重要になると予想されることより、さらなる研究のご発展を期待しております。

共立女子大学 家政学群 丸田 直美

〒101-8347

東京都千代田区一ツ橋 2-2-1

tel & fax : 03-3237-2500

e メール : nmaruta@kyoritsu-wu.ac.jp

【講評】

資料

幼児と母親の夏期の睡眠温熱環境に関する実態調査

東京家政大学 潮田ひとみ

本論文は、幼児と母親の夏期の睡眠温熱環境に関する実態を調査し、問題点を明らかにすることを目的とした、生活に即した実態調査を行ったものです。

この調査の結果から、同じ環境温度であっても幼児の発汗は母親自身よりも増加していると申告されること、夏の高温多湿環境では寝室での空調機器の使用率が増加し、母親の中途覚醒回数が多くなること、幼児では睡眠時に床畳で寝る、涼しいところへ移動、親の布団に入る等の行動が見られることを明らかにし、これらのことから、幼児の睡眠時の行動的体温調節が成人よりも重要な役割を持つ可能性を示し、母親の睡眠を改善するためには、冷房設定で使用時間を 3 時間半以上にし、暑さと空調機器の変更による中途覚醒を減らすことが重要であると提案しています。

このようにアンケート調査により問題点を明らかにし、並行して、測定しにくい睡眠中の環境温湿度、体温、睡眠状態を実測し、解決方法を具体的に提案していく方法は、生活の質を高めるという家政学の理念に沿った、意義あるものと考えます。研究のさらなる発展を期待しております。

東京家政大学 潮田ひとみ

〒657-8501

板橋区加賀 1-18-1

tel & fax : 03-3961-8568

e メール: ushioda-h@tokyo-kasei.ac.jp