

【総説】

低温環境と睡眠

水野一枝¹⁾、水野康²⁾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

1. はじめに

睡眠不足と不眠は、生活習慣病やうつ病等のリスクを高め、様々な健康被害と関連することが報告されている(筒井, 2008; 内村他, 2006)。厚生労働省は、健康日本 21 で睡眠による休養が十分にとれていない人の割合を、現状の 23.1%から 21%以下にする目標を掲げている。この目標を進める手だてとして、健康のための睡眠指針を 2014 年に改定した(厚生労働省, 2014)。近年、睡眠の重要性に対する関心は高まっていると考えられる。

睡眠に影響を及ぼす様々な要因の中で、温熱環境が及ぼす影響は大きい。季節による環境温湿度の変化が明確な日本では、寝衣、寝具、寝室環境を含めた温熱環境をいかに調整するかが重要になってくる。前報では、睡眠時の体温調節や心臓自律神経活動、高温環境が睡眠や体温調節に及ぼす影響について報告した(水野, 2012)。

そこで、本稿では低温環境が睡眠に及ぼす影響に着目し、体温調節、心臓自律神経活動、高齢者や幼児に及ぼす影響について紹介する。

2. 低温環境の及ぼす影響

1) 睡眠

低温環境が睡眠に及ぼす影響は、裸体か寝具や寝衣を用いるかで結果が異なる。裸体で寝具を用いない場合、中性温域である 29°Cよりも室温が低下するにつれて覚醒が増加し、レム睡眠と徐波睡眠が減少する(Haskell et al., 1981)。興味深いのは、同じ温度幅で変化させた場合、21°Cの低温では、37°Cの高温よりも覚醒が 2 倍以上増加することである。また、レム睡眠と徐波睡眠時に皮膚を加温または冷却すると、睡眠段階に及ぼす影響は加温よりも冷却で大きく、特にレム睡眠で大きかった(Candas et al., 1982)。これらの報告から、睡眠段階に及ぼす影響は高温環境よりも低温環境で大きいと考えられている。裸体での多くの報告は男性の被験者を対象としているが、女性を対象とした報告もある。女性では、裸体の場合

28°C以下になると覚醒と睡眠段階 4 が増加し、睡眠段階 3 が減少し、睡眠維持が低下する(Sewitch et al., 1986)。徐波睡眠の増加は、男性の被験者でも 20°Cの環境で就寝した翌日から、-30°Cの環境温度で寝袋を用いて連日就寝した場合の 1 夜目にのみ見られる(Buguet et al., 1976)。寒冷に対するストレス反応として増加した可能性が指摘されている。

しかし、低温環境で寝具を用いずに裸体で就寝することは、日常生活ではあまりない。Muzetら(Muzet et al., 1984)は、より日常生活に近い 13°C、16°C、19°C、21°C、23°Cの 5 条件で睡眠段階を比較した。寝具はベッドを用いて、被験者はショーツ1枚のみで、毛布1枚を使用した。睡眠段階に差はなかったが、被験者の睡眠感が最も良好なのは 16°Cと 19°Cであった。睡眠段階に差がない要因として、室温に 10°Cの幅があるのに対し、寝床内温度の差が僅かであることが挙げられている。この結果から、室温よりも寝床内温度を快適に保つ重要性を指摘している。著者らは、17°C、10°C、3°Cの 3 条件で睡眠を比較している。ベッドを用いて、長袖・長ズボンのパジャマと、毛布と羽毛布団を用いて就寝したが、睡眠段階に差は見られず、睡眠効率も 95%を越えていた(Okamoto-Mizuno et al., 2005a)。少なくとも睡眠段階に関しては、寝具を適切に使用すれば若年者では 3°Cまでは影響が見られない(図 1)。睡眠段階に差はないが、ノンレム睡眠とレム睡眠の周期は低温環境になるほど長くなることも報告されている(Muzet et al., 1983; Sewitch et al., 1986)。ノンレム睡眠の時間を長くし、皮膚血管や発汗による体温調節機能が低下するレム睡眠の出現を遅らせていると考えられている。また、低温環境での覚醒は睡眠後半で増加する(Okamoto-Mizuno et al., 2005a)。睡眠後半にレム睡眠が増加するため、体温調節機能の高い覚醒が増えると考えられている。寝具を用いた条件で、睡眠への影響が確認されているのは、北極での-10~-30°C(平均-25°C)で寝袋に就寝した報告である(Buguet et al., 1998; Buguet et al., 1979b)。この報告では、徐波睡眠に影響は見られ

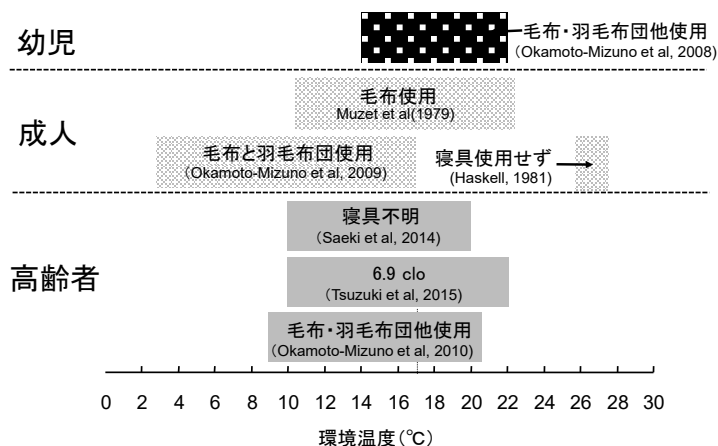


図1 睡眠に影響を及ぼさない環境温度

ず、覚醒の増加とレム睡眠の減少が確認されている。徐波睡眠は、深部体温の低下が最低値に達していない睡眠前半に出現するため、影響が見られないとしている。例数は少ないが、北極での睡眠では入眠潜時も延長している(Buguet et al., 1976)。低温環境では、寒冷ストレスが増大するとレム睡眠の出現を遅らせ、減少させると考えられる。レム睡眠の減少と覚醒の増加が、睡眠時の寒冷ストレスを表す指標になる可能性がある。

高齢者の日常生活下では、季節別にアクチグラフを用いて睡眠を比較すると、冬の寝室内温度は約9.5°C～10°Cであっても、秋や春と差がない(Okamoto-Mizuno and Tsuzuki, 2010; Saeki et al., 2014a; Tsuzuki et al., 2015)。幼児でも同様に、アクチグラフで秋と冬に睡眠を測定すると、冬の寝室内温度は約14°Cで秋と差が見られない(Okamoto Mizuno et al., 2008)。アクチグラフで測定した限りでは、高齢者は約9°C、幼児は14°Cまでは睡眠には影響が見られない可能性が考えられる。若年者のみならず、高齢者や幼児でも低温環境が睡眠に及ぼす影響は高温環境よりも小さい可能性を示唆している。アクチグラフによる睡眠/覚醒の測定は、脳波との一致率が90%以上と言われる(Jean-Louis et al., 2001)。一方、アクチグラフでは覚醒を睡眠と判定しやすく、特に活動量の多い幼児での判定には注意が必要であることも指摘されている(Meltzer et al., 2015; Meltzer et al., 2012)。従って、高齢者と幼児の結果については慎重に検討する必要がある。

2) 体温調節と寝床内気候

睡眠時には、皮膚温が上昇し深部体温が低下することが知られている。低温環境での睡眠時の深部

体温は、様々な温度条件での報告がある。29°Cと21°Cの2条件(裸体)(Palca et al., 1986)、-25°Cと20°Cの2条件(寝袋使用)(Buguet et al., 1976; Buguet et al., 1979a)、17°C、10°C、3°Cの3条件(毛布と羽毛布団)(Okamoto-Mizuno et al., 2005a)、25.5°C、15°C、-32°Cの3条件(-32°Cのみ寝袋、その他は寝具)(Kreider and Iampietro, 1959)、13°C、16°C、19°C、21°C、23°Cの5条件(毛布1枚)(Muzet et al., 1984)での報告があるが、いずれも結果は一致しており、温度が低下するにつれて睡眠時の深部体温の低下が増大する。また、就寝してから低下した深部体温が最低値を示す時間は、室温約25.5°Cでは就寝してから5.3時間、15°Cで4.4時間、-32°Cで3.5時間と、低温になるほど短い(Kreider and Iampietro, 1959)。裸体で29°Cと21°Cを比較した報告では、直腸温は21°Cで低下が増大するが、鼓膜温には差は見られない(Palca et al., 1986)。脳温は睡眠中も維持されている可能性が指摘されている。

皮膚温への影響は、実験条件や皮膚の部位により異なる。寝具や寝衣を用いた場合、17°C、10°C、3°Cの3条件では差はないが(Tsuzuki et al., 2002)、より厳しい-25～-32°Cになると他条件との間に差が見られる。-32°Cでは、平均皮膚温が15°C、25°Cよりも低下する(Kreider and Iampietro, 1959)。例数は少ないが、-25°Cでも同様に、20°Cよりも平均皮膚温が低下し、32.5°Cまで低下した(Buguet et al., 1976)。裸体では、21°Cで末梢皮膚温の低下と、レム睡眠時に前額の皮膚温が上昇する(Palca et al., 1986)。

一方、睡眠脳波の測定は行っていないが、0～5°Cの屋外で寝袋を用いて就寝した際、寒さによる不眠と足の皮膚温、深部体温の低下が報告されている(Scholander et al., 1958)。11.2°C、3.8°C、2.1°C、

-9.0°Cの4条件で保温性の異なる寝袋の比較をした研究でも、寝袋の保温性が十分でない場合、足の皮膚温の低下が確認されている(Lin et al., 2013)。足の皮膚温への影響は、Livingstoneら(Livingstone et al., 1988)も指摘しており、寝具や寝袋の保温性の評価に有効な指標となる可能性がある。

高齢者の就寝時の皮膚温を自宅で測定した報告では、夏よりも冬に胸(Tsuzuki et al., 2015)、または胸と大腿(Okamoto-Mizuno and Tsuzuki, 2010)の皮膚温が高かった。興味深いのは、冬の胸の皮膚温が5分以上の長い覚醒の回数と有意な負の相関が見られたことである(Okamoto-Mizuno and Tsuzuki, 2010)。幼児については、自宅での就寝時の胸の皮膚温は冬に夏よりも低い(Okamoto-Mizuno et al., 2009a)。成人では、高温環境や睡眠時に末梢皮膚温を上昇させ放熱することが知られている。しかし、子供は覚醒時に高温環境で末梢よりも躯幹部と頭部の皮膚温を上昇させて放熱する(Inoue et al., 2004)。幼児の睡眠時の体温調節が成人とは異なることが影響している可能性がある。高齢者と幼児の報告では、冬と秋、春との間に皮膚温には差は見られていない。

寝床内気候は、季節別では寝床内温度には差がなく、寝床内湿度のみ夏に高くなる(梁瀬, 1999)。冬でも就寝時の寝床内温度は他の季節と差はない。13~23°Cの範囲でも、室温が低下するほど低下する傾向は見られるが、有意差はない(Muzet et al., 1984)。しかし、3°Cでは17°C、10°Cよりも有意に足部の寝床内温度が低下していた(Tsuzuki et al., 2002)。寝具や寝袋の保温性が不十分な場合、足の皮膚温が低下するが、足部の寝床内温度の低下が皮膚温に先行している可能性もある。足部の寝床内温度は、皮膚温と同様に低温環境での寝具の保温性を評価する指標になることが考えられる。高齢者の自宅での寝床内気候では、胸の寝床内温度には季節差は見られない。しかし、足部の寝床内温度は冬、秋、春に差はなく、夏よりも高かった(Okamoto-Mizuno and Tsuzuki, 2010; Tsuzuki et al., 2015)。幼児では足部のみの測定ではあるが、寝床内温度に季節による差は見られていない(Okamoto-Mizuno et al., 2009a)。

比較する条件にもよるが、寝具の保温性が十分であれば、成人の睡眠時の皮膚温および寝床内気候に差が見られない寝室内温度の範囲は、夫々3°C~25°C、10°C~25°Cと考えられる。同様に、高齢者と幼児では、寝室内温度が高齢者で10°C~22.5°C、幼児

で14.8°C~21.4°Cの範囲で寝具の保温性が十分であれば、皮膚温や寝床内温度への影響は少ない可能性が考えられる。

3) 心臓自律神経活動

低温環境が睡眠に及ぼす影響で最も重要なのは、睡眠段階に差はないにも関わらず、心臓自律神経活動に影響が見られることである。心臓自律神経活動は、睡眠段階により変化し、徐波睡眠で副交感神経活動が最も優位になり、睡眠段階2が続き、レム睡眠と覚醒では交感神経活動が優位になる(Okamoto-Mizuno et al., 2008)。また、睡眠段階の移行に先行して変動する(Brandenberger et al., 2001; Okamoto-Mizuno et al., 2008)。著者らは3°C、10°C、17°Cの3条件で、心臓自律神経活動を徐波睡眠、睡眠段階2、レム睡眠と覚醒にわけて解析した。自律神経活動は心拍変動係数から副交感神経の指標である高周波成分(HF)、交感神経と副交感神経のバランスと考えられているHFと低周波成分(LF)から算出したLF/HF、LF(LF+HF) (Task Force, 1996)を比較した。3°Cでは10°C、17°Cよりも睡眠段階2と徐波睡眠でLF/HFと%LFが有意に低下し、副交感神経活動が優位になるが、覚醒やレム睡眠で有意差はない(Okamoto-Mizuno et al., 2009b)(図2)。睡眠段階2と徐波睡眠で副交感神経活動が優位になる要因には、少なくとも顔面のみを冷却と低温の空気を吸気することの二つが考えられる。就寝時、身体は寝具に覆われているため、頭部と顔面のみが低温に暴露される。顔面のみが冷却されると、心臓自律神経活動は副交感神経が優位になるが、末梢神経活動は交感神経活動が優位になり、心臓と末梢で自律神経活動が一致しない特殊な反射(Cold face test)が起こる。この反射は、HFの増加や心拍数の低下が覚醒時に確認されており(Friedman et al., 1996; Hilz et al., 1999)、血圧上昇を伴うことが多い(Khurana et al., 1980; LeBlanc and Mercier, 1992)。

冷気を吸気する際にも、筋交感神経活動が優位になり、血圧の上昇が見られる(Heindl et al., 2004)。一般に、睡眠段階2と徐波睡眠は夜間睡眠の約70%を占めることから、血圧が低下していない可能性もある。夜間睡眠中に血圧が低下しないことをnon-dipperとよび、心臓疾患の増加が指摘されている(Ohkubo et al., 2002; Verdecchia et al., 1994)。また、起床時や夜間覚醒時、睡眠段階2からレム睡眠へ移行する際に

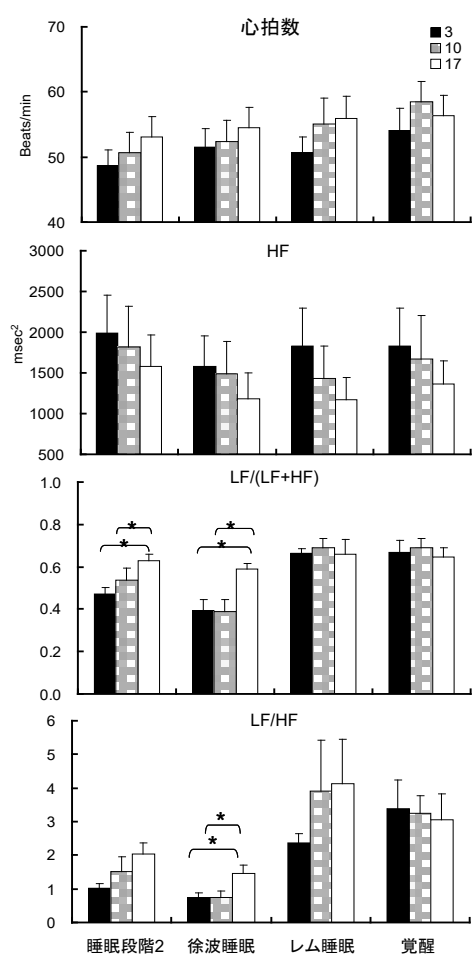


図2 低温環境下での心臓自律神経活動

With kind permission from Springer Science+Business Media: Eur J Appl Physiol, Effects of low ambient temperature on heart rate variability during sleep in humans, 105, 2009, 191-197, Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K, Mizuno K, Ohshiro Y, Figure 1.

心臓自律神経活動が急激に変化することが考えられる。覚醒時やレム睡眠への移行による心臓自律神経の急激な変化は、心臓疾患と関連していることが報告されている(Viola et al., 2002)。Kuo(Kuo et al., 2014)らは、23°Cと16°Cでノンレム睡眠から覚醒、レム睡眠への移行が心臓自律神経活動や血圧に及ぼす影響を報告している。16°Cではノンレム睡眠からレム睡眠への移行で LF/HF の変化量と収縮期血圧、覚醒への移行でも LF/HF、収縮期・拡張期血圧の変化量が 23°Cよりも有意に高かった。高齢者でも、室温 10°Cの冬期では、20°Cの春や秋よりも起床時の収縮期血圧が有意に高く、このため就寝時から朝の覚醒時の平均血圧の変化量も高い(Saeki et al., 2014a)。

冬や低温環境では、心筋梗塞による死亡率が年間で最も高いことが多数報告されている(Marchant et

al., 1993)。死亡する時刻は、起床してから数時間後の午前 7~10 時に集中する(Boulay et al., 1999)これらの心臓疾患や心筋梗塞と死亡率の関係は、外気温と関連しているという報告も多数あるが(例えば、(Sharovsky and Cesar, 2002)、一致しない報告(Rich et al., 2007)もある。これには、外気温よりも寝室や室内温度との関連が強いことが要因として指摘されている。ヨーロッパで行われた調査では、外気温の明らかに低い北欧よりも、寝室や室内温度が低く、衣服での防寒が不十分な英国やギリシャでの心臓疾患による死亡率が高かった(Euro Winter Group, 1997)。日本国内でも、外気温が終日氷点下の札幌では、寝室内温度は 15°C以上であるのに対し、秋田、仙台、富山では 10°C未満、福岡、大阪でも 10~15°Cである(大中他, 2007)。近年、日本の高齢者の起床時の収縮期血圧の変化量が、外気温ではなく室内温度と関連していることが指摘されている(Saeki et al., 2014a; Saeki et al., 2014b)。低温環境の影響を外気温で判断する危険性ととも、室内環境や衣服等の身近な環境を調節する重要性を示唆している。

3. 低温環境への対処法

1) 室温の調節

低温環境が心臓自律神経活動や血圧に及ぼす影響が大きいため、室内温度の上昇が就寝時や起床時の血圧に及ぼす効果について検討がされている。若年女性で、夏と冬に 24 時間の収縮期血圧や皮膚温を測定すると、夜間の末梢皮膚温は冬の方が夏よりも高いが、収縮期血圧には差は見られていない(Martinez-Nicolas et al., 2015)。血圧に季節差が見られない要因の一つとして、冬期の褐色細胞の影響を挙げている。一方、この研究では冬の寝室内温度が 20~21°C、最低でも 19°Cであった。少なくとも若年女性では、室温が 20°C以上であれば血圧には影響がない可能性を示唆している。若年男性で、冬期の室温を 14°Cと 24°Cで比較すると、夜間睡眠時の血圧に差は見られないが、起床時の収縮期血圧、収縮期血圧の変化量は有意に 24°Cで低かった(Saeki et al., 2013)。室温を上げることで、起床時の収縮期血圧の過剰な上昇を抑制できる可能性が考えられる。

高齢者についても、暖房を使用し室温を高くする介入研究が行われている。しかし、暖房を使用しても室温の上昇は 16°Cまでであり、起床時の血圧上昇も抑制されていなかった(Saeki et al., 2015)。高齢者の住

宅で、介入のみで室温を上げる困難さを示している。高齢者では若年者よりも寝室内温度が低く、就寝時に着用する下着や掛け布団の枚数が多い(岡本他, 1993b)。寝室内温度を上げて、枚数を減らすことが望まれるが、高齢者では長期間続けてきた生活習慣を変えることが困難なことも指摘されている(深堀他, 2009)。中高年世代から寝室内温度に配慮し、就寝時の下着や掛け布団の枚数を過剰に増やさないようにすることも必要と考える。また、夜間のトイレによる覚醒は、若年者では平均 0.06 回であるのに対し、高齢者では 1.22 回 と大幅に増加し、冬期は夏期より回数が増加する(榎本他, 1995)。起床時だけでなく、夜間覚醒時の寝室からトイレまでの室温も問題となる。寝室からトイレまで、高齢者の住宅全体の断熱性や暖房設備を変えることは困難である。寝室の暖房設置は、建築年数が高い住宅ほど設置率が低いと報告されている(榎本他, 1995)。住宅を購入、新築する段階での事前の対応も必要と考えられる。

2)寝床内加温器具

低温環境への対処方法として、電気毛布等の寝床内加温器具も使用されている。榎本らの調査では、電気毛布やあんかの使用率は60歳以上で約70%であった(榎本他, 1995)。

電気敷毛布を室温 20°C、38°Cの全面加温で終夜使用した場合、徐波睡眠とレム睡眠の減少と覚醒の増加が確認されている(Karacan et al, 1978)。この影響は、暑熱暴露が睡眠に及ぼす影響と一致しており、室温だけでなく寝床内温度にも配慮する重要性を示唆している。日本の冬期の室温を想定し、電気敷毛布を室温 13°C、34°Cの全面加温で終夜使用した場合、使用しない場合よりも直腸温の低下が抑制され、皮膚温と寝床内温度が高かった。睡眠潜時は短縮したが、徐波睡眠の潜時は延長している。また、入床時の温冷感はやや暖かいが、起床時には暑く感じていた(岡本他, 1993)。睡眠脳波の測定は行っていないが、電気敷毛布を室温 9°C、全面加温で終夜使用した場合も直腸温の低下の抑制や、皮膚温と寝床内温度の上昇が確認されている(Tokura and Imamura, 1987)。電気毛布を使用すると、使用しない場合よりも寝床内温度の上昇、睡眠中期で発汗による一時的な寝床内湿度の上昇が見られ(梁瀬, 1984)、起床時の喉や口の渇きも報告されている(今井, 1980)。また、睡眠の後半に電気敷毛布で加温し

た研究でも、睡眠後半に覚醒の増加が見られる(Fletcher et al., 1999)。

これらの結果から、電気敷毛布の加温が過剰であれば、睡眠を妨げ、体温調節に影響を及ぼす半面、睡眠潜時の短縮や、就寝時の温冷感や快適感が向上高する利点もある(岡本他, 1993a; 今井, 1980)。室温 13°Cで就寝前に電気敷毛布で寝床内の足部を1時間加温し、就寝前に切った場合と使用しない場合を比較した研究もある。睡眠脳波の測定は行っていないが、高齢者と若年女性の寝床内温度は高く、寝床内湿度の一過性の上昇も見られず、睡眠感は良好であった(岡本他, 1999)。室温 13°Cで、無人で寝床内の足部を37°Cまで加温し、就寝前に切ると、3時間後でも足部 25°Cと低下は緩やかであった。また、腰部も足部と同時に 22°Cまで加温され、3時間後でも 17°Cであった(岡本他, 1999)。室温 3°Cで、足部のみを電気敷毛布で一晩加温すると、使用しない場合よりも睡眠段階1が減少して睡眠が安定し、深部体温の低下は抑制され、足の皮膚温や寝床内温度は高く保たれていた(Okamoto-Mizuno et al., 2005a)。電気敷毛布が睡眠や体温調節に及ぼす影響は、電気毛布の温度、加温部位、使用時間、使用する室温を考慮する必要がある。13°C前後の室温であれば、就寝前に寝床内を加温し、就寝前には電源を切る方法も有効であると考えられる。3°C前後の低温では、足部のみであれば終夜使用することで体温調節を補助し、睡眠を安定させる可能性がある。

3)寝具と寝衣

掛布団については、16°Cの環境で、掛布団の下半分を厚くした場合、上半分を厚くした場合よりも深部体温の低下が大きく、睡眠後半は有意に低かった(Okada et al., 1994)。掛布団の特性により、睡眠時の体温調節が異なる可能性を示唆しているが、睡眠への影響は明らかではない。

環境温度が低下すると、敷き寝具よりも掛け寝具の枚数を増やす方が多い(岡本他, 1991)。しかし、就寝時の放熱は、掛布団よりも敷寝具の方が大きい。これまでに敷布団を対象とした研究は、19~20°Cの中性温域で行われているものが殆どである。いずれも敷布団の保温性の低い場合に深部体温の低下が増大し、寝床内温度に影響は見られるが、睡眠に影響は見られていない(Okamoto et al., 1997a; Okamoto et al., 1997c; Okamoto et al., 1998)。5°Cの低温環境

で、寝袋の重量は同じでも、下半身を厚くした寝袋で、上半身を厚くした寝袋や上半身と下半身の厚さを均一にした寝袋よりも、深部体温の低下が大きかった(川端他, 1995)。低温環境で、寝具の特性が体温調節に影響を及ぼす可能性を示唆している。一方、低温環境では、入床時の冷湿感が入眠を妨げることも指摘されており(梁瀬, 1998)、肌触りも含めた検討も必要である。中性温域で、肌触りの柔らかい特殊シーツを綿のシーツと比較すると、睡眠に差はないが主観的な睡眠感は特殊シーツで良好であった(Okamoto et al., 1997b)。

寝衣についても、中性温域で保温性の低い半袖・半ズボンのパジャマで長袖・長ズボンよりも深部体温の低下が大きいたことが報告されている(Park and Tokura, 1998)。低温環境での掛寝具、敷寝具、寝衣に関する研究は少なく、睡眠脳波を測定した報告は著者が知る限り見当たらない。

近年、震災をはじめ、火山活動や暴風雨による災害が増加しており、避難所の設置や準備は今後も国内すべての地域に必要である。避難所では、低温であっても空調を調節することが困難であり、防寒には寝具や衣服が重要な役割を持つ。東日本大震災では、避難所で就寝した高齢者の睡眠効率が普段の90%から、実に40%まで低下し、主な不眠の要因は寒さだった(Mizuno and Okamoto-Mizuno, 2014)。著者らは、避難所での防寒を目的とし、多数の人に手に入りやすい段ボールを寝袋の下に敷くと、敷かない場合よりも平均皮膚温と腰部の寝床内温度が高く、覚醒回数も減少することを報告した(Okamoto Mizuno et al., 2016)。しかし、両条件ともに床の固さからくる腰痛、寝返りのしにくさ、顔の寒さ等の不快感は14名中11名に見られた。

低温環境で肌触りや固さも含めた寝具や寝衣の特性が、睡眠と体温調節、心臓自律神経活動や血圧に及ぼす影響を検討することが今後の課題である。

4. おわりに

低温環境では、寝具の保温性が十分であれば、睡眠段階に影響を及ぼさない。しかし、自覚のない間に心臓自律神経活動や血圧に影響が及んでいる可能性がある。この点について、低温環境の影響は高温環境よりも大きいと考えられる。寝室内温度を少なくとも10°C以上に保ち、高齢者ではトイレによる夜間の覚醒を考慮し、寝室からトイレまでの温度差をなくすこと

も重要になってくる。一方、人間には適応という能力がある。低温環境で眠る習慣のあるオーストラリア原住民は、低温環境に慣れていない白人では足の皮膚温が低下して眠れない環境でも、快適に眠り、足の皮膚温も高いと言われる(Scholander et al, 1958)。低温環境で睡眠や体温調節が適応した場合、心臓自律神経活動や血圧も適応するのは興味深い。小川(小川, 1992)は温熱快適に浸ることは、必ずしも健康に直結しないと指摘している。早朝や起床後数時間を避け、日中だけでも無理のない範囲で、衣類による防寒対策を十分に行い低温環境で過ごすことも必要な可能性が考えられる。

Review: Low ambient temperature and sleep, Kazue OKAMOTO-MIZUNO, Tohoku Fukushi University Kansei Research Center, Thermal environment is one of the most important factors that can affect human sleep. Low ambient temperature decreases slow-wave sleep and rapid eye movement sleep and increases wakefulness in subjects sleeping without bedding. Interestingly, sleep is not affected even at temperatures below 3°C when bedding and clothing are used. However, cardiac autonomic response is affected at temperatures below 3°C. Recent studies indicate that these effects on cardiac parasympathetic activity are related to increased blood pressure. This review discusses the effects of low ambient temperature on sleep, thermoregulation, and cardiac autonomic response in young and aged subjects. Further, various manipulations have been detailed to cope with low ambient temperature during sleep.

引用文献

- Boulay, F., Berthier, F., Sisteron, O., Gendreike, Y., and Gibelin, P. (1999) Seasonal variation in chronic heart failure hospitalizations and mortality in France. *Circulation*, 100(3), 280-6.
- Brandenberger, G., Ehrhart, J., Piquard, F., and Simon, C. (2001) Inverse coupling between ultradian oscillations in delta wave activity and heart rate variability during sleep. *Clin Neurophysiol*, 112(6), 992-6.
- Buguet, A., Cespuglio, R., and Radomski, M.W. (1998) Sleep and stress in man: an approach through exercise

- and exposure to extreme environments. *Can J Physiol Pharmacol*, 76(5), 553-61.
- Buguet, A.C., Livingstone, S.D., Reed, L.D., and Limmer, R.E. (1976) EEG patterns and body temperatures in man during sleep in arctic winter nights. *Int J Biometeorol*, 20(1), 61-9.
- Buguet, A.G., Livingstone, S.D., and Reed, L.D. (1979a) Skin temperature changes in paradoxical sleep in man in the cold. *Aviat Space Environ Med*, 50(6), 567-70.
- Buguet, A.G., Roussel, B.H., Watson, W.J., and Radomski, M.W. (1979b) Cold-induced diminution of paradoxical sleep in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 46(1), 29-32.
- Candas, V., Libert, J.P., and Muzet, A. (1982) Heating and cooling stimulations during SWS and REM sleep in man. *Journal of Thermal Biology*, 7(3), 155-158.
- Euro Winter Group. (1997) Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. The Eurowinter Group. *Lancet*, 349(9062), 1341-6.
- Fletcher, A., C.Van den, H., and Drew, D. (1999) Sleeping with an electric blanket: effects on core temperature, sleep, and melatonin in young adults. *Sleep*, 22, 313-319.
- Friedman, B.H., Thayer, J.F., and Tyrrell, R.A. (1996) Spectral characteristics of heart period variability during cold face stress and shock avoidance in normal subjects. *Clin Auton Res*, 6(3), 147-52.
- Haskell, E.H., Palca, J.W., Walker, J.M., Berger, R.J., and Heller, H.C. (1981) The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 51(5), 494-501.
- Heindl, S., Struck, J., Wellhoner, P., Sayk, F., and Dodt, C. (2004) Effect of facial cooling and cold air inhalation on sympathetic nerve activity in men. *Respir Physiol Neurobiol*, 142(1), 69-80.
- Hilz, M.J., Stemper, B., Sauer, P., Haertl, U., Singer, W., and Axelrod, F.B. (1999) Cold face test demonstrates parasympathetic cardiac dysfunction in familial dysautonomia. *Am J Physiol*, 276(6 Pt 2), R1833-9.
- Inoue, Y., Kuwahara, T., and Araki, T. (2004) Maturation- and aging-related changes in heat loss effector function. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 23(6), 289-94.
- Jean-Louis, G., Kripke, D.F., Cole, R.J., Assmus, J.D., and Langer, R.D. (2001) Sleep detection with an accelerometer actigraph: comparisons with polysomnography. *Physiol Behav*, 72(1-2), 21-8.
- Khurana, R.K., Watabiki, S., Hebel, J.R., Toro, R., and Nelson, E. (1980) Cold face test in the assessment of trigeminal-brainstem-vagal function in humans. *Ann Neurol*, 7(2), 144-9.
- Kreider, M.B., and Iampietro, P.F. (1959) Oxygen consumption and body temperature during sleep in cold environments. *J Appl Physiol*, 14, 765-7.
- Kuo, T.B., Hong, C.H., Hsieh, I.T., Lee, G.S., and Yang, C.C. (2014) Effects of cold exposure on autonomic changes during the last rapid eye movement sleep transition and morning blood pressure surge in humans. *Sleep Med*, 15(8), 986-97.
- LeBlanc, J., and Mercier, I. (1992) Cold wind stimulation reflex. *J Appl Physiol*, 73(5), 1704-7.
- Lin, L.Y., Wang, F., Kuklane, K., Gao, C., Holmer, I., and Zhao, M. (2013) A laboratory validation study of comfort and limit temperatures of four sleeping bags defined according to EN 13537 (2002). *Appl Ergon*, 44(2), 321-6.
- Livingstone, S.D., Nolan, R.W., Cottle, W.H., and Cattroll, S.W. (1988) The composition of air in sleeping bags. *Int J Biometeorol*, 32(1), 29-32.
- Marchant, B., Ranjadayalan, K., Stevenson, R., Wilkinson, P., and Timmis, A.D. (1993) Circadian and seasonal factors in the pathogenesis of acute myocardial infarction: the influence of environmental temperature. *Br Heart J*, 69(5), 385-7.
- Martinez-Nicolas, A., Meyer, M., Hunkler, S., Madrid, J.A., Rol, M.A., Meyer, A.H., Schotzau, A., Orgul, S., and Krauchi, K. (2015) Daytime variation in ambient temperature affects skin temperatures and blood pressure: Ambulatory winter/summer comparison in healthy young women. *Physiol Behav*, 149, 203-11.
- Meltzer, L.J., Hiruma, L.S., Avis, K., Montgomery-Downs, H., and Valentin, J. (2015) Comparison of a Commercial Accelerometer with Polysomnography and Actigraphy in Children and Adolescents. *Sleep*, 38(8), 1323-30.
- Meltzer, L.J., Montgomery-Downs, H.E., Insana, S.P.,

- and Walsh, C.M. (2012) Use of actigraphy for assessment in pediatric sleep research. *Sleep Med Rev*, 16(5), 463-75.
- Mizuno, K., and Okamoto-Mizuno, K. (2014) Actigraphically evaluated sleep on the days surrounding the Great East Japan Earthquake. *Natural hazards*, 72(2), 969-981.
- Muzet, A., Ehrhart, J., Candas, V., Libert, J., and Vogt, J. (1983) Rem Sleep and Ambient Temperature in Man. *Int J Neuroscience*, 18(1-2), 117-125.
- Muzet, A., Libert, J.P., and Candas, V. (1984) Ambient temperature and human sleep. *Experientia*, 40(5), 425-9.
- Ohkubo, T., Hozawa, A., Yamaguchi, J., Kikuya, M., Ohmori, K., Michimata, M., Matsubara, M., Hashimoto, J., Hoshi, H., Araki, T., Tsuji, I., Satoh, H., Hisamichi, S., and Imai, Y. (2002) Prognostic significance of the nocturnal decline in blood pressure in individuals with and without high 24-h blood pressure: the Ohasama study. *J Hypertens*, 20(11), 2183-9.
- Okada, M., Midorikawa-Tsurutani, T., and Tokura, H. (1994) The effects of two different kinds of quilt on human core temperature during night sleep. *Ergonomics*, 37(5), 851-857.
- Okamoto-Mizuno, K., Mizuno, K., Yamamoto, M., and Shirakawa, S. (2009a) Effects of season on sleep and skin temperature in preschool-children. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Physiology and Pharmacology of Temperature Regulation*.
- Okamoto-Mizuno, K., and Tsuzuki, K. (2010) Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly. *Int J Biometeorol*, 54(4), 401-9.
- Okamoto-Mizuno, K., Tsuzuki, K., Mizuno, K., and Ohshiro, Y. (2009b) Effects of low ambient temperature on heart rate variability during sleep in humans. *Eur J Appl Physiol*, 105(2), 191-7.
- Okamoto-Mizuno, K., Tsuzuki, K., Ohshiro, Y., and Mizuno, K. (2005a) Effects of an electric blanket on sleep stages and body temperature in young men. *Ergonomics*, 48(7), 749-57.
- Okamoto-Mizuno, K., Yamashiro, Y., Tanaka, H., Komada, Y., Mizuno, K., Tamaki, M., Kitado, M., Inoue, Y., and Shirakawa, S. (2008) Heart rate variability and body temperature during the sleep onset period. *Sleep and Biological Rhythms*, 6(1), 42-49.
- Okamoto, K., Iizuka, S., and Okudaira, N. (1997a) The effects of air mattress upon sleep and bed climate. *Appl Human Sci*, 16(3), 97-102.
- Okamoto, K., Matsuo, K., Nakabayashi, K., and Okudaira, N. (1997b) Effects of a specially designed bed sheet on sleep and bed climate. *日本家政学雑誌*, 48(12), 1077-1082.
- Okamoto, K., Mizuno, K., and Okudaira, N. (1997c) The effects of a newly designed air mattress upon sleep and bed climate. *Appl Human Sci*, 16(4), 161-6.
- Okamoto, K., Nakabayashi, K., Mizuno, K., and Okudaira, N. (1998) Effects of truss mattress upon sleep and bed climate. *Appl Human Sci*, 17(6), 233-7.
- Okamoto Mizuno, K., Mizuno, K., Tanabe, M., and Niwano, K. (in press) Effect of cardboard under a sleeping bag on sleep stages during daytime nap. *Applied Ergonomics*.
- Okamoto Mizuno, K., Mizuno, K., Yamamoto, M., and Shirakawa, S. (2008) Effects of low ambient temperature on sleep and bed climate in mothers and infants. *Proceedings of the 18th International congress of Biometeorology*.
- Palca, J.W., Walker, J.M., and Berger, R.J. (1986) Thermoregulation, metabolism, and stages of sleep in cold-exposed men. *J Appl Physiol* (1985), 61(3), 940-7.
- Park, S.J., and Tokura, H. (1998) Effects of different types of clothing on circadian rhythms of core temperature and urinary catecholamines. *Jpn J Physiol*, 48(2), 149-56.
- Rich, D.Q., Gaziano, J.M., and Kurth, T. (2007) Geographic patterns in overall and specific cardiovascular disease incidence in apparently healthy men in the United States. *Stroke*, 38(8), 2221-7.
- Saeki, K., Obayashi, K., Iwamoto, J., Tanaka, Y., Tanaka, N., Takata, S., Kubo, H., Okamoto, N., Tomioka, K., Nezu, S., and Kurumatani, N. (2013) Influence of room heating on ambulatory blood pressure in winter: a randomised controlled study. *J Epidemiol Community Health*, 67(6), 484-90.
- Saeki, K., Obayashi, K., Iwamoto, J., Tone, N., Okamoto, N., Tomioka, K., and Kurumatani, N. (2014a) The relationship between indoor, outdoor and ambient

- temperatures and morning BP surges from inter-seasonally repeated measurements. *J Hum Hypertens*, 28(8), 482-8.
- Saeki, K., Obayashi, K., Iwamoto, J., Tone, N., Okamoto, N., Tomioka, K., Kurumatani, N. (2014b) Stronger association of indoor temperature than outdoor temperature with blood pressure in colder months. *J Hypertens*, 32(8), 1582-9.
- Saeki, K., Obayashi, K., and Kurumatani, N. (2015) Short-term effects of instruction in home heating on indoor temperature and blood pressure in elderly people: a randomized controlled trial. *J Hypertens*, 33(11), 2338-43.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Hart, J.S., Lemessurier, D.H., and Steen, J. (1958) Cold adaptation in Australian aborigines. *J Appl Physiol*, 13(2), 211-8.
- Sewitch, D.E., Kittrell, E.M., Kupfer, D.J., and Reynolds, C.F., 3rd. (1986) Body temperature and sleep architecture in response to a mild cold stress in women. *Physiol Behav*, 36(5), 951-7.
- Sharovsky, R., and Cesar, L.A. (2002) Increase in mortality due to myocardial infarction in the Brazilian city of Sao Paulo during winter. *Arq Bras Cardiol*, 78(1), 106-9.
- Task Force. (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 93(5), 1043-65.
- Tokura, H., and Imamura, R. (1987) Effects of electrically heated blanket placed on sleeping mat upon thermoregulatory responses of women during night sleep at an ambient temperature of 9°C. *International journal of biometeorology*, 31(1), 1-7.
- Tsuzuki, K., Mori, I., Sakoi, T., and Kurokawa, Y. (2015) Effects of seasonal illumination and thermal environments on sleep in elderly men. *Building and Environment*, 88, 82-88.
- Tsuzuki, K., Okamoto Mizuno, K., Mizuno, K., and Ohshiro, Y. (2002) Effects of low temperatures on human sleep and thermoregulation using bedding in winter. *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Ergonomics*, 361-364.
- Verdecchia, P., Porcellati, C., Schillaci, G., Borgioni, C., Ciucci, A., Battistelli, M., Guerrieri, M., Gatteschi, C., Zampi, I., Santucci, A., and et al. (1994) Ambulatory blood pressure. An independent predictor of prognosis in essential hypertension. *Hypertension*, 24(6), 793-801.
- Viola, A.U., Simon, C., Ehrhart, J., Geny, B., Piquard, F., Muzet, A., and Brandenberger, G. (2002) Sleep processes exert a predominant influence on the 24-h profile of heart rate variability. *J Biol Rhythms*, 17(6), 539-47.
- 榎本ヒカル, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子 (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. *日本家政学会誌*, 46(11), 1091-1100.
- 岡本一枝, 永井由美子, 飯塚幸子 (1999) 年齢差が寝床内加温後の睡眠中の生理反応および寝床内気候に及ぼす影響. *日本家政学会誌*, 50(3), 259-265.
- 岡本一枝, 深海康子, 飯塚幸子, 奥平進之 (1993a) 電気敷毛布の生理反応と寝床内気候に及ぼす影響. *睡眠と環境*, 1(1), 55-62.
- 岡本一枝, 木村文香, 鶴橋瑠理子, 飯塚幸子 (1993b) 高齢者の睡眠環境に関する実態調査. *実践女子大学家政学部紀要*, 30, 63-69.
- 今井京子 (1980) 寝床内暖房時の睡眠経過と寝床気候について: 寝床内暖房と睡眠に関する研究 (1). *家政学研究*, 26(2), 141-147.
- 小川徳雄 (1992) 快適環境と至適環境. *日本生気象学会誌*, 29(2), 97-100.
- 深堀敦子, 鈴木みずえ, グライナー智子, 磯和勅子 (2009) 地域で生活する健常高齢者の介護予防行動に影響を及ぼす要因の検討. *日本看護科学会誌*, 29(1), 15-24.
- 水野一枝 (2012) 高温環境と睡眠. *被服衛生学*, 31, 2-9.
- 川端厚子, 登倉尋實, 清川寛, 二宮徳数 (1995) 5°Cの環境下における3タイプの寝袋の温熱生理学的意義. *繊維製品消費科学*, 36(1), 132-137.
- 大中忠勝, 高崎裕治, 栃原裕, 永井由美子, 伊藤宏充, 吉竹史郎 (2007) 冬期における浴室温熱環境の全国調査. *人間と生活環境*, 14(1), 111-16.
- 筒井末春 (2008) 生活習慣病と睡眠障害. *心身健康科学*, 4(2), 69-76.
- 内村直尚, 橋爪祐二, 土生川光成, 小鳥居望, 山本克康, 前田久雄 (2006) 臨床研究 生活習慣病と睡

眠の深い関係を考える--働く世代の調査から. 診断と治療, 94(3), 501-511.

梁瀬度子(1984). In 鳥居鎮夫, Ed. 睡眠の科学. 朝倉書店, 東京.

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.

梁瀬度子(1999) 温熱環境. In 鳥居鎮夫, Ed. 睡眠環境学, p. 152-157. 朝倉書店, 東京.

【短報】

A pilot study of the effect of pressure applied underneath on perspiration rate under conditions of perspiration acceleration by a footbathTamaki MITSUNO¹⁾, Erika TATSUNO¹⁾, Takako FUKAZAWA²⁾, Harumi MOROOKA³⁾

1) Faculty of Education, Shinshu University 2) Faculty of Education, Kyoto University of Education 3) Faculty of Home Economics, Kyoto Women's University

Abstract

Compression wear has recently exhibited some beneficial effects on swelling and leg shape, but its effects on human health and stress remain controversial. In this study, we examined how the perspiration rate is influenced by pressure applied underneath the bust. Two women aged 21 and 56 years who placed their feet in a 42°C footbath for 30 min for perspiration acceleration with an artificial climate room (room temperature, 28.0 ± 0.3 °C; relative humidity, 50% ± 0.5%; air current, 0.08 ± 0.01 m/s). They underwent application of pressure under the bust using an experimental band (inside-belt; comprising a band with a core material) that was shortened from 1% to 5%. Their rectal temperature (Tre), skin temperature (Tsk), and warm-cool sensation increased with the pressure stimulation. The younger subject perspired when she began to take a footbath, and her Tsk/Tre/warm-cool sensation significantly decreased. She reported that the 1% to 5% pressure stimulus was not tight, and her physiological response was normal; thus, the tightening rate was tolerable. However, the older subject had lower sweat gland activity than the younger subject, and perspiration was not promoted. Therefore, she felt hot, and her Tre increased at 1% constriction but decreased at 2% to 5% constriction. This decline was thought to be caused by continuation of the skin baroreflex at the 2% to 5% tightening rate, which was a physiological burden for the older woman. It is thus necessary to determine the clothing pressure tolerance level depending on age.

Introduction

Benefits of compression wear on the lower half of the body have recently been demonstrated in terms of

decreased swelling and improved leg shape (Morooka et al. 1995, Nakahashi et al. 1999). However, the effects of compression wear on human health and stress remain controversial. According to Kikufuji et al. (2002), the menstrual cycle should significantly lengthen by wearing underwear for tight manipulation for a long time. The prevalence of diabetes is reportedly 30% higher among women with long menstrual cycles than those with short cycles (Solomon et al. 2001). We previously examined how autonomic nervous system functions, such as skin temperature and salivary secretion, change when pressure is applied to the body. Even with only 2 min of slight pressure stimulation that the subject did not consider to be tight, both skin temperature (Mitsuno et al. 1998a) and salivary secretion (Mitsuno et al. 1998b) significantly decreased. These findings indicate that accurate determination of the effects of pressure should involve consideration of not only the subject's subjective feelings, but also various objective indices. In this study, we focused on perspiration for temperature control to determine how application of pressure under the bust affects perspiration. We aimed to identify the optimal clothing pressure load tolerated by the human body.

Table 1 Physical characteristics of subjects

Subject	Age (year)	Height (m)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	Basal body temperature(°C)
A	21	1.62	50.37 ± 0.05	19.19 ± 0.02	36.08 ± 0.19
B	56	1.59	57.99 ± 0.23	22.94 ± 0.09	36.21 ± 0.10

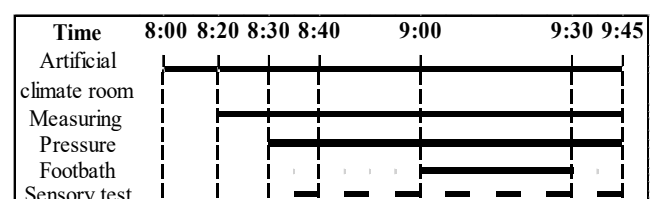


Fig. 1 Experimental schedule

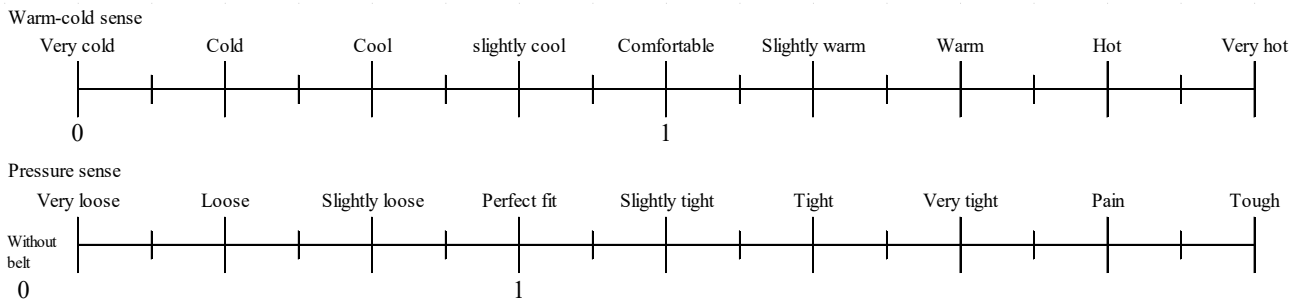


Fig. 2 Scale of warm-cold sensation (upper scale) and pressure sensation (lower scale)

Table 2 Items, methods, and regions of measurement

Measuring item	Measuring method (Type)	Measuring region								
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Skin temperature	Thermocouple (T type)	○	○	○	○	○	○	○	○	-
Skin humidity	Hygrometer (TDK)	○	○	○	○	○	○	○	○	-
Perspiration	Perspiration meter	○	○	○	○	○	-	○	-	-
Pressure sensation	Ratio scale	-	○	○	○	-	-	○	-	○
Warm-cold sensation	Ratio scale	-	○	○	○	-	-	○	-	○
Core temperature	Thermocouple (T type)	M10								
Clothing pressure	Hydrostatic pressure-balanced method	Cross points between anterior/posterior median lines and 3cm outside lines, left and right side/mammillary/scapula lines and under bust girth								
Weight	Balancer (sartorius)	M9								

Measured regions: M1: head, M2: bust, M3: back, M4: upper arm, M5: forearm, M6: hand, M7: thigh, M8: lower leg, M9: whole body, M10: rectum

Experimental method

The subjects were two women aged 21 and 56 years (Subjects A and B, respectively). Their physical characteristics are given in Table 1. In an artificial climate room (Artificial Climate Experimental System of Shinshu University; room temperature, 28.0°C ± 0.3°C; relative humidity, 50.0% ± 0.5%; air current, 8.0 ± 0.1 cm/s; illumination, 827 ± 27 lx), the subjects soaked both lower legs and feet up to the knees in a 42°C footbath for 30 min to cause perspiration.

The experimental schedule is shown in Fig. 1, and the items, methods, and regions of measurement are shown in Table 2. The subjects slept for 7 h the night prior to the experiment, ate 2 h before the measurements, and entered the artificial climate room at 8:00. Before and after the experiment, the subjects' body weight and clothing weight were measured using a balance. From 8:20, the rectal temperature, skin

temperature of eight body regions, and quantity of perspiration with perspiration meters (SKINOS, SKN-2000, KANDS, SS-100 II) of six body regions were measured every 10 s. Additionally, on a day to carry out pressure stimulation for 5 days when varied in the low body temperature phase of the subjects, we applied pressure under the subjects' bust using a 2.5-cm-wide experimental band at 8:30; the pressure was measured by a hydrostatic pressure balanced method (Mitsuno et al. 2010). The pressure measurement was finished at 8:40.

The rates of band tightening were 1%, 2%, 3%, 4%, and 5%; that is, we tightened their underneath bust by winding the experimental band shortened 1% to 5%. The subjects placed their feet into a 42°C footbath (BT-5N; Minato, Bithatizer) for 30 min from 9:00, removed their feet from the bath at 9:30, and rested in a sitting position for 15 min. A paired t-test was used to examine significant differences in the sweating rate and body temperature between the subjects and control; not tightened by band with only use of the footbath, when pressure was placed under the bust.

The scales used to examine pressure sensation and warm-cold sensation during the experiment are shown in Fig. 2. The subjects described their subjective sensations a total of seven times (every 10 to 15 min). Numerical values for the pressure feeling was obtained by supposing that the feeling without tightening had a score of zero and a perfect fit feeling had a score of 1 (Mitsuno et al. 1997). In other words, the numerical value exceeded 1 if the subjects felt that the experimental band was tight and less than 1 if they felt that the band was loose. Numerical values for the warm-cold sensation were obtained by supposing that very cold feeling had a score of zero and comfortable

feeling had a score of 1. In other words, the numerical value exceeded 1 if the subjects felt hot, and less than 1 if they felt cold. The correlation coefficients among the perspiration rate, clothing pressure, and subjectivity evaluation were also calculated.

Results

1) Perspiration rate

The perspiration rates starting at 10 s in each measurement region are shown in Figure 3. In Subject A, the upper arm (M4) perspired first, followed by the back/thigh (M3/M7). The perspiration response was faster in Subject A than B, and the relative perspiration rate was higher in Subject A than B. The conditions of perspiration were compared every 5 min as shown in Fig. 4. The relative perspiration rates at a band constriction rate of 1% increased in the head/bust regions (M1/M2), but the rate at the thigh decreased.

The significant differences in the regional perspiration rates between the control and pressure conditions in Subject A are summarized in Table 3. The pressure stimulus was started at 15 min (shaded columns), and the footbath was used from 40 to 70 min (dark shaded columns). The increases and decreases in the perspiration rates are shown as “+” and “-” symbols, respectively. Greater numbers of symbols indicate greater statistical significance. The 1% constriction rate at M1/M2 was associated with a decrease in the perspiration rate (-), and use of the footbath was associated with an increase in the perspiration rate (+). Thus, body regions with increased and decreased perspiration rates coexisted during application of the pressure stimulus and simultaneous use of the footbath. The significant differences in the relative regional perspiration rate between the control and 1% to 5% pressure conditions are shown in Table 4. The regional perspiration rates were significantly higher in Subject A than B.

When Subject A underwent a 1% to 5% increase in the pressure stimulus, her perspiration rate increased in most measured regions. In Subject B, the perspiration rate under the 1% pressure condition increased in all regions except M7; at 2% to 5%, however, perspiration at M1 and M7 decreased while that at M4 and M5 increased.

The total and relative perspiration rates of the whole body are shown in Figure 5. The total perspiration rate of Subject A (upper figure) was significantly higher than that of Subject B. The relative perspiration rates of both subjects (lower figure) were higher than those of the control condition when the constriction was applied under the bust.

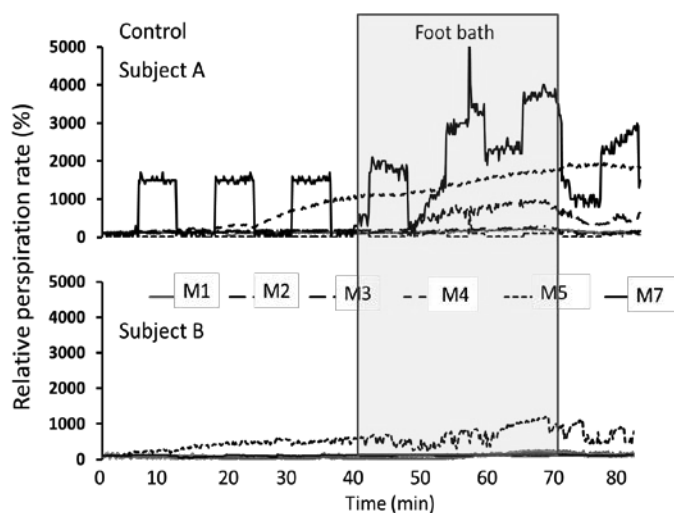


Fig. 3 Perspiration rates starting at 10 s in each measurement region

M1–M7: measurement regions described in Table 2.

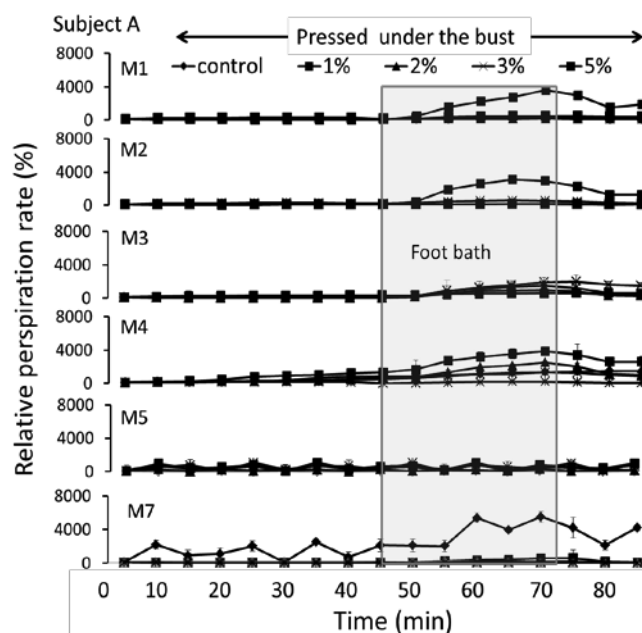


Fig. 4 Relative perspiration rates starting at 5 min.

M1–M7: measurement regions described in Table 2.

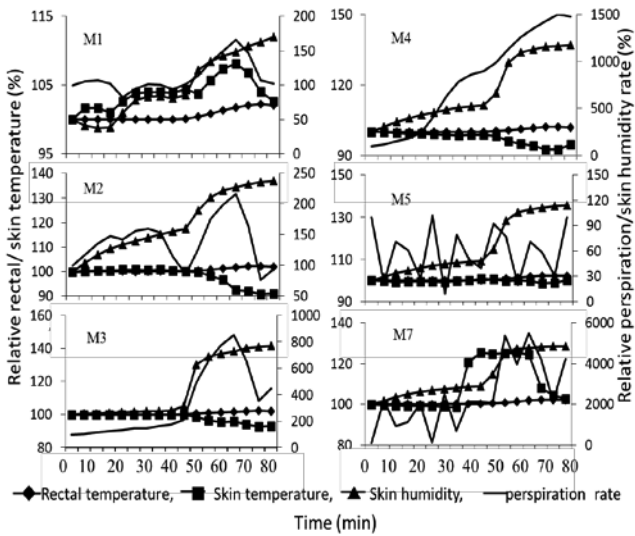


Fig. 7 Relative skin temperature/rectal temperature, relative skin humidity/perspiration rates (Subject A)

Table 5 Correlation coefficients between rectal temperature and skin temperature

Items	Subject	Skin temperature						
		M1	M2	M3	M4	M5	M7	
M10	A	-0.040	-0.990 ***	-0.464 ***	-0.452 ***	-0.441 **	0.209	
	B	0.760 ***	-0.243 *	0.319 **	-0.455 ***	-0.257 *	0.303 **	

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

4) Sensory test

The warm-cold sensation of both subjects is shown in Fig. 8, and their pressure sensation is shown in Fig. 9. The warm-cold sensation of Subject A increased when she used the footbath and decreased when she got out of the footbath; however, the sensation of Subject B did not change substantially even when using the footbath. Conversely, the pressure sensation of Subject B increased when the band was tightened under her bust and decreased until the end of the experiment. This indicates that she became accustomed to the tightening of the band. The sensation of Subject A did not substantially change.

5) Clothing pressure of experimental band

The clothing pressures where the experimental band (CP) was constricted under the bust are shown in Figure 10. The CP increased as the rate of band tightening increased. Ordinarily, if a rigid body and the same materials are used, CPs increased along with the increase in the band ratio (Mitsuno et. al 1991a).

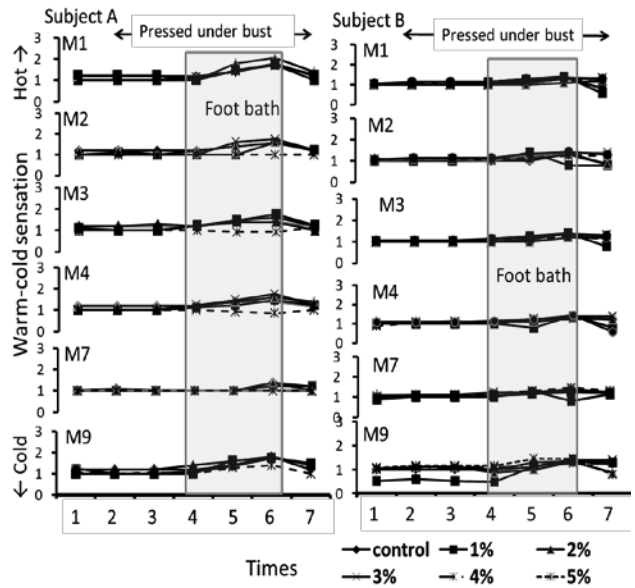


Fig. 8 Warm-cool sensation

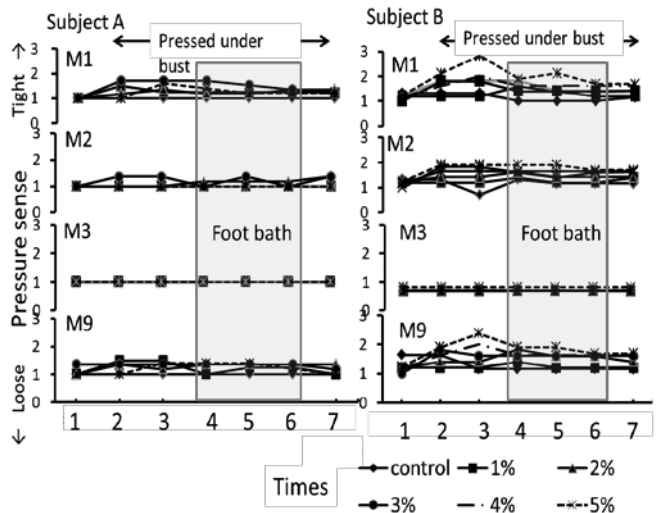


Fig. 9 Pressure sensation

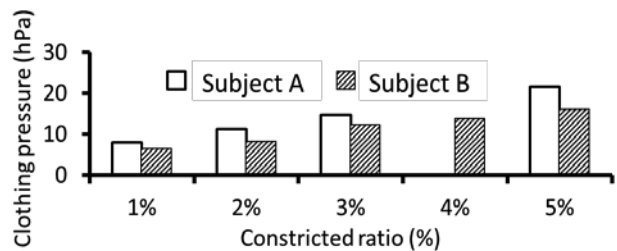


Fig. 10 Clothing pressure of band constricted under bust

The CP differed although the band constriction was the same ratio. Nevertheless, Subject B showed rather higher pressures than Subject A (see Figure 7). The difference in the CP resulted from the hardness of the body; lower pressures occurred in softer regions, but higher pressures were obtained in harder regions (Mitsuno et. al 1991b). The CP was thought to be lower in Subject B because she was an older woman with more subcutaneous fat and greater radial curvature; thus, her body was softer than that of the younger woman.

Discussion

The CP changes with respiratory movements; higher and lower values occur in association with inhalation and exhalation (Mitsuno 1991). Thus, the correlation coefficients between the CP and perspiration rate, core temperature, pressure sensation, and warm-cold sensation were calculated from the CP on inhalation (maximum value) and on exhalation (minimum value) and are shown in Table 6.

A positive correlation was shown between pressure sensation and the CP in both subjects; they reported a tight sensation when the pressure was high. Additionally, although pressure was only applied under the bust, Subject B reported tightness in her whole body and thigh. The core temperature and CP were negatively correlated in both subjects, so their Tre decreased along with the increased in the band ratio. Even Subject A and B, is the cause that core temperature falls to the same reason as expected?

The correlations of the perspiration rate and warm-cold sensation with the constriction condition were reversed between the older and younger subjects (see Fig. 5). In the younger woman, the correlation between the perspiration rate and CP was positive, while that between the warm-cold sensation and CP was negative; thus, the perspiration rate increased and warm-cold sensation decreased during tightening of the constriction under the bust. That is, with constriction under the bust, the younger woman's warm-cold sensation rose once (see Fig. 6); however, finally cooled by perspiration, and she reported feeling cold. Conversely, these correlations were reversed in

Table 6 Correlation coefficients between clothing pressure and perspiration rate, core temperature, pressure sensation, and warm-cold sensation

Items	Clothing pressure (hPa)					
	Subject A (21 years)			Subject B(56 years)		
	Max	Min		Max	Min	
Perspiration rate	0.260 *	0.216 *		-0.190		-0.300 **
Core temperature	-0.250 *	-0.250 **		-0.150		-0.240 *
Pressure sensation	Bust	0.440 ***	0.390 ***	0.610 ***		0.600 ***
	Back	0.180	0.130	0.730 ***		0.740 ***
	Thigh			0.570 ***		0.460 ***
	Whole body	0.450 ***	0.375 ***	0.689 ***		0.716 ***
Warm-cold sensation	Head	-0.032	-0.047	0.215 *		0.207 *
	Bust	-0.335 **	-0.354 **	0.168		0.217 *
	Back	-0.350 **	-0.386 ***	0.026		0.099
	Arm	-0.360 ***	-0.411 ***	0.220 *		0.201 *
	Thigh	-0.363 ***	-0.372 ***	0.222 *		0.257 **
	Whole body	-0.212 *	-0.254 *	0.244 *		0.293 **

*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001

the older woman; during the constriction under her bust, she did not perspire, so she reported feeling hot. This may have occurred because the sweat gland activity reportedly decreases with age (Inoue et. al 1998).

In this way, both the Tre and Tsk rose with pressure stimulation, the warm-cool sensation rose together. However, because Subject A perspired after the constriction under the bust, she showed a significantly decreased Tsk and Tre, and her warm-cool sensation significantly decreased. This young woman estimated that a 1% to 5% pressure stimulus under the bust was not tight, and the responding physiological phenomenon was normal. This was therefore a tolerable tightening rate.

Conversely, in the older woman, perspiration was not promoted by pressure stimulation, although she felt hot. As mentioned above, older persons are thought to have lower sweat gland activity than younger persons. The older subject's Tre rose with 1% constriction because perspiration was not promoted. If perspiration is not promoted, the Tsk and Tre should rise together; however, the Tre significantly decreased (see Fig. 6). This decline was thought to be caused by continuation of the skin baroreflex at the 2% to 5% tightening rate.

Therefore, the 2% to 5% tightening rates appeared to be physiological burdens for the older woman in this study. The present results suggest that under conditions of accelerated perspiration, it is necessary

to determine the CP tolerance level based on age because perspiration rates differ with age. Future studies with greater numbers of subjects of different ages are necessary to clarify this issue.

Acknowledgments

This study was partially supported by a Japan Society for the Promotion of Science Grant-in-Aid (A), 25242011, 2013.

References

- Inoue Y, Shibasaki M, Hirata K, Araki T (1998) Relationship between skin blood flow and sweating rate, and age related regional differences. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, **79**: 17-23.
- Kikufuji, N, Tokura, H (2002) Disturbance of the duration in the menstrual cycle under the influence of tight clothing. *Biological Rhythm Research*, **33**: 29-285.
- Mitsuno T, Makabe H, Momota Y, Ueda K (1991a) Studies on the clothing pressure. *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, **32**: 362-367.
- Mitsuno T, Makabe H, Momota Y, Ueda K (1991b) Waistband pressure and its sensory evaluation, *SEN'I GAKKAISHI*, **47**: 282-290.
- Mitsuno T, Ueda K (1997) The clothing pressure developed at waistband and the pressure sense estimated in a ratio scale. *J Home Econ Jpn*, **48**: 989-998.
- Mitsuno T, Goto R, Ueda K (1998a) Effect of pressure stimulation to the waist on the skin temperature of the hand, *SEN'I GAKKAISHI*, **54**: 555-561.
- Mitsuno T, Ueda K (1998b) Effects of pressure stimulus to the waist on salivary secretion response, *J Home Econ Jpn*, **49**: 1131-1138.
- Mitsuno T, Ueda K (2010) Time relation among clothing pressure developed at waistband, respiratory movement, girth of abdomen, *SEN'I GAKKAISHI*, **66**: 26-33.
- Morooka, H, Kawa, H, Morooka, H (1995) Effects of support pantyhose on silhouette and swelling of lower limbs. *Jpn Res Assn Text End-Uses*, **36**: 389-395.
- Nakahashi, M, Morooka, H, Morooka H, Hiraga S,

Deguchi J (1999) Effect of clothing pressure on front and back of lower leg on compressive feeling. *Jpn Res Assn Text End-Uses*, **40**: 661-668.

Solomon C, Dunaif A, Rich-Edwards J, Willett W, Hunter D, Colditz G, Speizer F, Manson J (2001) Long or highly irregular menstrual cycles as a marker for risk of type 2 diabetes mellitus. *JAMA*, **286**: 2424-2426.

近年、整容効果や足のムクミの解消を目的とした着圧衣料が出回っているが、ヒトの健康やストレスへの影響は未だ明らかにされていない。本研究では、21歳（被験者A）と56歳（被験者B）の2名の女性を被験者とし、アンダーバストに圧力を加えた時の発汗現象がどのように変化するかを調べることを目的とした。人工気象室内（室温：28.0±0.3℃、相対湿度：50.0±0.5%、気流：0.08±0.01m/s）で、被験者AとBはそれぞれ42℃のフットバスの中に30分間両足を浸した。インサイドベルトを用いて、両者のアンダーバストを周径の1～5%短く締めて圧迫したところ、両者ともに直腸温、皮膚温、温冷感覚は上昇した。足湯を開始すると、被験者Aは発汗し始め、直腸温・皮膚温・温冷感覚は有意に減少した。また、1～5%の圧迫刺激は“きつい”と評価せず、生理的応答も正常であった。しかしながら、被験者Aよりも汗腺の活性化率が低いと考えられる被験者Bでは発汗しなかった。そのため、被験者Bは“暑い”と申告し、直腸温は1%の締め率では上昇するものの、2～5%の締め率では逆に減少した。つまり、50歳代の女性にとっては2～5%の締め率で胸部を圧迫すると、皮膚圧反射が継続し、直腸温を低下させたと考えられ、この程度の圧迫であっても高齢の女性にとって生理的な負荷になると考えられた。このことから、被服圧の許容範囲は年齢も考慮すべきことが分かった。（キーワード：発汗量、体温、被服圧、圧感覚、足湯）。

<連絡先>

〒150-8938 長野県長野市西長野6-□
 信州大学学術研究院教育学系 三野 たまき
 電話：026-238-4182 FAX：026-238-4182
 eメール：mitusno@shinshu-u.ac.jp

【講評】

総説

低温環境と睡眠

聖心女子大学 西原直枝

本総説では、温熱環境が睡眠に及ぼす影響のうち、低温環境に着目して、体温調節、心臓自律神経活動、高齢者や幼児に及ぼす影響についてまとめられています。

衣服や寝具を適切に用いることで、睡眠に影響をおよぼさないとされる寝室内温度の範囲は、ある程度まで広がります。ただし、心臓自律神経活動や血圧等においては、室温が低い場合、衣服や寝具の調節では改善が困難なケースもあり注意が必要です。また、若年者だけではなく、幼児や高齢者の特徴についても言及され、興味深い論文となっています。

筆者らの研究によると、東日本大震災の避難所で就寝した高齢者の睡眠効率が大きく低下し、不眠の主な要因は、「寒さ」だったとのこと。避難所では、空調の調節がしにくいいため、寝具や寝衣の役割がより大きくなりますが、低温環境における寝具や寝衣に着目した研究はまだ多いとはいえないため、今後も研究が期待されます。

本総説は、低温環境に関する内容でしたが、高温環境が睡眠に及ぼす影響について興味のある読者も多いかもしれません。高温環境と睡眠については、既報（水野, 被服衛生学, 31, 2-9, 2012）にて報告されていますので、あわせてお読みになることをお奨めいたします。

<連絡先>

〒150-8938

東京都渋谷区広尾 4-3-1

聖心女子大学 西原 直枝

tel & fax : 03-3407-5976

eメール: nishihara@u-sacred-heart.ac.jp

【講評】

短報

A pilot study of the effect of pressure applied underneath on perspiration rate under conditions of perspiration acceleration by a footbath

山梨県立大学 斉藤秀子

本研究は、整容効果や足のムクミの解消を目的とした着圧衣料に着目し、21歳と56歳の2名の女性を被験者として、アンダーバストに圧力を加えた時の発汗現象がどのように変化するかを調べることを目的としています。

衣服圧の人体への影響については、歴史的にさまざまな研究がすすめられ、近年では、本研究の著者をはじめ、ウエストバンドによる衣服圧と圧感覚、衣服圧の皮膚温への影響等の研究が行われています。しかし、衣服圧と年齢との関わりで研究した事例は極めて少なく、また、衣服圧と年齢、発汗現象との関わりで研究した研究例はこれまでに公表されてない現状にあります。本研究において、特に年齢を取り上げ、また年齢により変化する発汗現象に着目して実験計画を組まれたことは、高齢化社会が進む現代において、ブラジャーを含めて、圧迫する衣服の設計の基礎的研究として、有意義であると考えられます。

本研究は事例研究ではありますが、著者は、実験結果を基に、軽度の圧迫であっても高齢の女性にとって生理的な負荷となると考えられ、被服圧の許容範囲は年齢にも配慮すべきと述べており、示唆に富む結果となっています。年齢による衣服圧の生理的影響について、さらに研究が進展することは、その成果を基にした被服設計が行われ、快適な衣生活につながると考えられます。今後の研究の発展を期待しております。

<連絡先>

〒400-0035 甲府市飯田 5-11-1

山梨県立大学 斉藤 秀子

電話 : 055-224-5261 FAX:055-228-6819

eメール: saito@yamanashi-ken.ac.jp