

膚圧反射と名付けている⁵⁾。

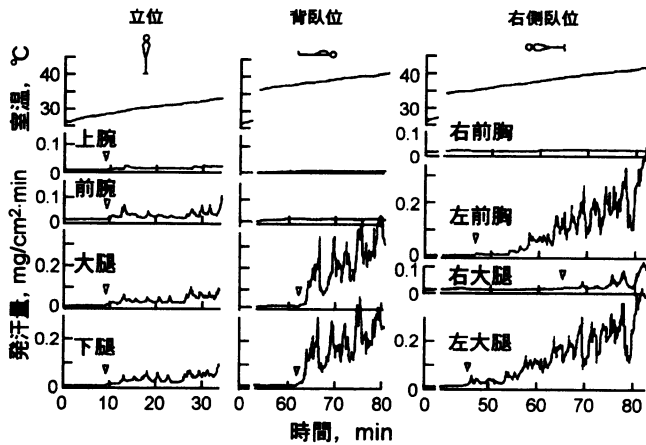


図2 立位・背臥位・側臥位における発汗出現(▽), 発汗量の部位差⁴⁾

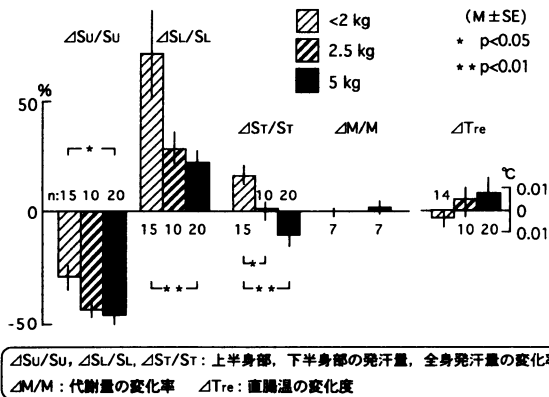


図3 両側腋窩部の圧迫(2 kg未満, 2.5 kg, 5 kg)の発汗量, 代謝量, 直腸に及ぼす効果⁶⁾

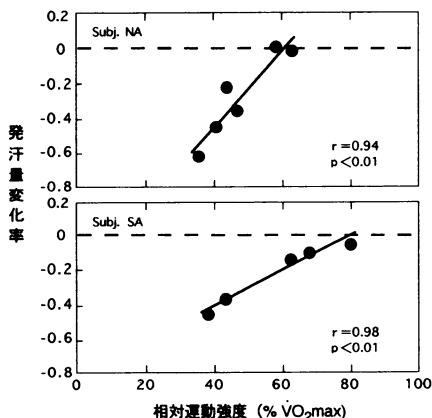
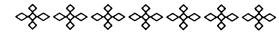


図4 皮膚圧迫時の発汗量の変化度に対する相対運動強度(% $\dot{V}O_2\max$)の影響(2例)⁸⁾



皮膚圧-発汗反射の中樞経路

皮膚圧はまた、動物実験では体温調節機構にも影響するらしく、暑い環境では皮膚圧で体熱放散機構が抑制されて体温が上昇し、低温環境では代謝量が減少して体温が低下することが観察されている³⁾。しかし、ヒトで皮膚圧の体熱収支に対する効果を精査すると、圧が強いほど全身発汗量は抑制される傾向が見られるが、その程度は少なく、代謝量や体温にはほとんど影響しないことがわかった(図3)⁶⁾。さらに、高温や低温の環境できわめて強い圧(5~10 kgf/50cm²)を加えても体温に有意な変動が起こらないことも確認された⁷⁾。これらの観察より、少なくともヒトでは、体温調節の高位中枢が皮膚圧によって直接影響されるとは考えにくい。むしろ、暑さが厳しく体温が上がりつつあるときや運動負荷が大きいときなど、皮膚圧により発汗が抑制されると体温上昇が加速される恐れのあるようなときには皮膚圧-発汗反射は現れにくくなる(図4)⁸⁾。つまり、体温調節中枢機構の統制下にあって調節反応の現れ方がいくらか修飾されるのであろう。

皮膚圧-発汗反射に有効な刺激部位は一般に骨が皮膚表面から浅くにあるところだが、反射は皮膚そのものへの圧刺激によって起こるのであって、骨や骨膜への刺激によるものではない。このことは、皮膚をペーパークリップなどで摘んでも有効だし、皮下に浅く刺入した2本の中国針(5cm長, 5mm間隔)の間に電流を流しても同じ効果がみられることからわかる。その際、電流は50~100Hzの交流で、痛みを生じず圧覚を強く感じる程度の強い電圧を加えるほど効果が大きく、痛みが加わると効果がむしろ弱まることから、この反射が圧覚によって起こるもので、痛覚刺激によるものではないことが分る⁹⁾。

従来、一小部位の圧迫によって上下左右い

れかの4半身の発汗が抑制されるとされ、これを説明するのに高木らは、発汗中枢機構そのものに上下左右の4半身それぞれの発汗を支配する部位があり、平素はそれらが1単位として働くが、皮膚圧迫が加わると、各部位間のバランスが変動すると想定した。ところが、筆者らは上半身の圧迫部位をさまざまな位置に変えて発汗抑制区域を丹念に調べ、圧迫部位が体下方にずれるにつれて、効果が現れる区域も次第に下方へ移動することを認めた(図5)⁹⁾。たとえば、第IV～第XII肋骨上で皮膚圧を加え、それぞれの場合について半側発汗が認められる範囲を調べ

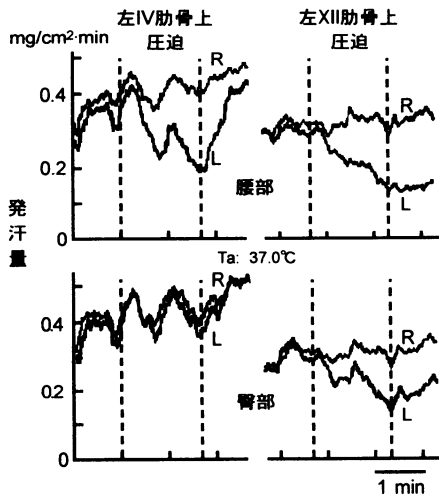


図5 左第IV, XII肋骨上を圧迫したときの左(L)・右(R)の腰部, 臀部の発汗量の変動⁹⁾

表1 側胸部肋骨上圧迫時の半側発汗反応の発現範囲(1例)

		被検者: YW											
圧迫肋骨		測定部位											
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
前	額	++	+	+	+	±	○	○	○	○			
	項	++	+	+	±	±	○	○	○	○			
三角筋部	上腕伸側	++	++	+	+	±	±	○	○	○			
	前腕屈側	++	++	++	++	+	+	+	+	±			
肩甲部	肩甲下部	+	+	+	++	++	++	++	++	++			
	腰部	○	±	±	±	+	+	++	++	++			
殿部	大腿前面	○	○	○	○	○	○	±	+	+			
	下腿外側	○	○	○	○	○	○	○	○	○			

++ : 著明な反応 + : 中等度の反応
± : 軽度ないし不確定な反応 ○ : 無反応

ると、表1に例示するように、下位の肋骨部位を圧迫したときには頭部や頸部には半側発汗は現れず、一方で下方は腰部や臀部・大腿部まで効果が広がった。これらの観察から、この反射が脊髄分節を介して発現することが示唆された。

下半身部位では、腸骨稜・大転子・坐骨結節上や足底などを圧迫した場合に明らかな半側発汗効果がみられるが、圧迫部位によって効果の強さやその広がりにも多少の差があり、個人差は大きい。概して腸骨稜上の圧迫では効果が著

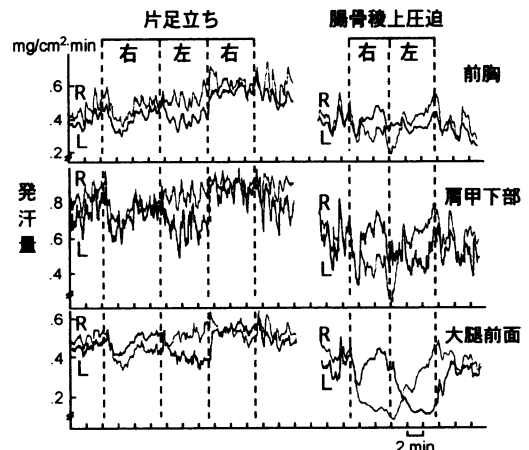


図6 左右足底の圧迫(片足立ち), 及び左右腸骨稜上の圧迫による左(L)・右(R)胸部, 腰部, 大腿部の発汗量の変動¹⁰⁾

表2 側胸部肋骨上及び下半身諸部位圧迫時の半側発汗発現範囲(2例)

		被検者: NO						
圧迫肋骨		V肋骨	X肋骨	XII肋骨	腸骨稜	大転子	坐骨結節	足底
測定部位	頸部	++	++		+	±	±	○
	前腕屈側	++	++		++	+	±	○
	側腰			++	+		+	±
	大腿前面	○	++	++	++	++	++	++

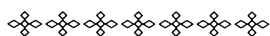
		被検者: KM					
圧迫肋骨		V肋骨	X肋骨	XII肋骨	腸骨稜	大転子	足底
測定部位	頸部	++	±		○		○
	前腕屈側	++	+	++	+		○
	肩甲下部				+	+	±
	側腰				+		±

++ : 著明な反応 + : 中等度の反応
± : 軽度ないし不確定な反応 ○ : 無反応

しく、足底の圧迫では効果が弱い傾向が認められる。その際、半側発汗は下半身に強く現れるが、しばしば上半身にも及ぶことがある(図6, 表2)¹⁰⁾。

これらの観察から、皮膚圧の発汗効果は高位の発汗中枢を介して現れるのではなく、高位中枢からの発汗衝撃が脊髄分節のレベルで修飾を受ける結果であると推定される。皮膚圧-発汗反射は体性-交感神経反射(体性感覚刺激によって引き起こされ、交感神経機能に現れる反射)に属するが、Sato & Schmidt¹¹⁾によれば、体性-交感神経反射のうち、限局した部位に現れる反射効果には脊髄分節が関与すると考えられているので、この反射もその一例とみなしてよかろう。ただ、皮膚圧-発汗反射の場合、その反射弓、とくに遠心路が交感神経幹内で分岐して上下数節に及んで広く分布するため、反射効果が現れる区域がかなり広くなると考えられる。腸骨稜以下の下半身部からの知覚路は腰髄・仙髄のいずれかの分節(L1~S5)へ入り、一方、交感神経遠心路はすべて腰髄(L1, 2, ときにL3も)で中継されるため、圧迫部位によって効果の現れる区域が著しく変わるということはないのである。

なお、頭部・顔面部の圧迫では半側発汗反射はほとんど認められないが、これはこれらの部位からの知覚路が三叉神経知覚枝を経て脳幹部に入るか、脊髄神経を経て頸髄上部(C1~4)に入るのか、胸髄(ときに頸髄最下部C8)以下に発する脊髄交感神経遠心路とはほとんど接続していないことによると推定される。



皮膚圧迫時の皮膚温変化

側胸部皮膚圧迫(または皮下針通電刺激)時の皮膚温の変化をみると、発汗時には刺激側の発汗が抑制され、反対側の発汗が促進されるため、汗の蒸発量に左右差が生じ、蒸発量の多い反対側の皮膚温が刺激側の皮膚温より低くなる。この状況はサーモグラムにより鮮明に認められる

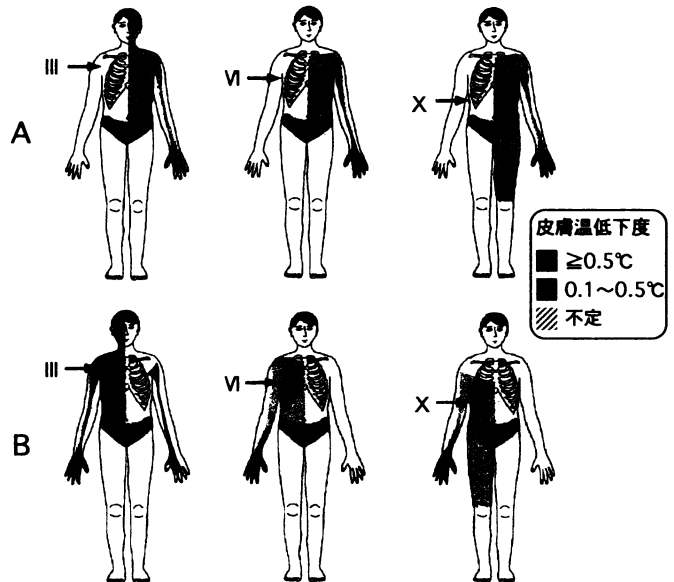


図7 発汗時(A)と無発汗時(B)における側胸部ハリ通電刺激による皮膚温の変化(サーモグラムによる)¹²⁾ 矢印は刺激部位(高さを肋骨番号で示す)

ので、半側発汗が現れた区域がはっきりわかる。皮膚温低下度は刺激部位の高さに相当する脊髄分節に対応した反対側の小部位及びそれよりやや下部の狭い範囲に限って著しい(図7A)¹²⁾。一方、全く発汗のないときに刺激すると、皮膚温の左右差は生じにくい、室温25~28℃辺りで発汗発現に近い状態では、発汗時とは逆に、刺激側の皮膚温が反対側よりやや低下し、刺激部位の高さ及びそれよりやや下部の狭い範囲では低下度が大きいことが観察される(図7B)。これは刺激側の皮膚血流がやや減少したためと考えられる(ただし、レーザー・ドップラー皮膚血流計による観察では必ずしもはっきり認められない)。

片側の皮膚圧により同側の皮膚血流が減少するのは、交感神経性の皮膚血管収縮神経の緊張が増加するためか、皮膚血管拡張神経の緊張が低下するためと考えられるが、後者についてはヒトでは独立の皮膚血管拡張神経の存在は認められていない。しかし、発汗神経終末には伝達物質のアセチルコリンのほか、血管拡張性のポリペプチド(血管作用性腸管ペプチドVIP、カルシトニン遺伝子関連ペプチドCGRP、心房性ナトリウム利尿ペプチドANPなど)が存在し、

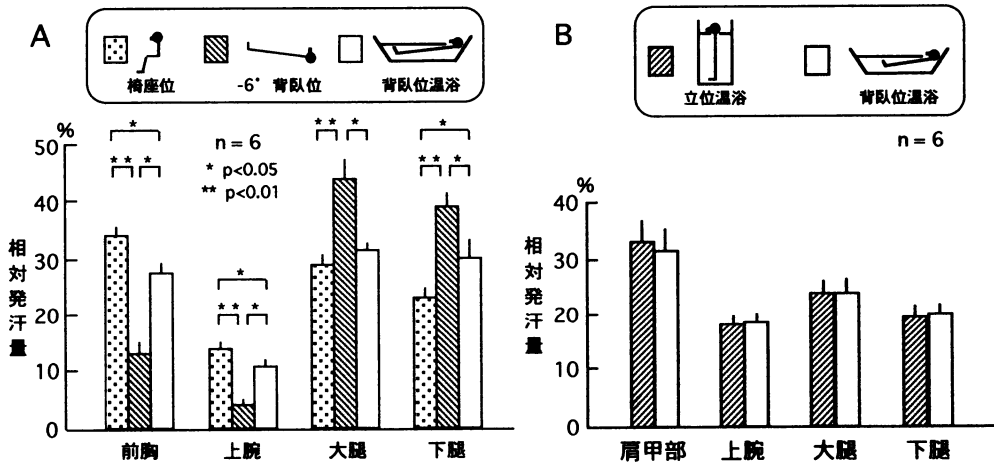
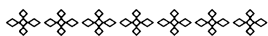


図8 模擬無重力下における局所発汗量の変化：A，椅座位， -6° 背臥位，及び水平背臥位温浴における上・下半身部位の相対発汗量(全測定部位の発汗量の総和に対する%)の比較；B，立位温浴と背臥位温浴における相対発汗量の比較¹⁵⁾

神経衝撃によってこれらがアセチルコリンとともに共同伝達物質として放出されると推定され、発汗時に汗腺周囲の血管が拡張するのはこれら共同伝達物質の作用によるとみられている。

したがって、皮膚圧迫によって、発汗時に発汗活動が抑制されるばかりでなく、無発汗時でも発汗発現に近い状態では、閾値下の発汗神経活動が抑制されることによって、血管拡張性のポリペプチドの放出も抑えられることになって、発汗活動に伴うべき血管拡張が抑制される可能性も考えられる¹³⁾。皮膚圧により皮膚血管収縮神経活動が亢進する可能性も否定できないが、皮膚血管収縮神経の活動は比較的冷涼な環境で起こりやすいことから推して、これが主役を演じているとは考えにくい。



疑似無重力下における発汗の部位差

宇宙空間のように無重力環境では、重力による皮膚圧が加わらないため、発汗量の部位差が生じると予想される。そこで筆者らは、無重力をまねた条件として頻用される -6° 背臥位や、いろいろな体位での全身温水浸漬(温浴)における各部発汗量の変化を調べた^{14, 15)}。

椅座位と比べて -6° 背臥位では上半身の発汗量が減って下半身の発汗量が増えた。これは椅座位では坐骨結節部が強く圧迫され、その効

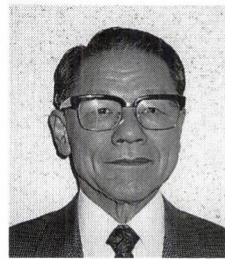
果が目立つが、 -6° 背臥位では肩胛骨部の圧迫による効果が大いいためと考えられる(図8A)。

全身温水浸漬時には、上半身部位の汗は椅座位のときより相対的に少なくなり、 -6° 背臥位のときより増加したが、下半身部位の汗はその逆になった(図8A)。また、水浸時の体位は局所発汗量に変化をもたらさなかった。図8Bは頭部を水面上に出した立位と背臥位における局所発汗量に差がないことを示すが、頭部を浸漬しても、また、背臥位と腹臥位とを比べても、局所発汗量に差異はみられなかった。これらの観察から、無重力下では重力による皮膚圧の加わらない分だけ、発汗量に部位差が生じる可能性が窺われる。なお、立位の全身温水浸漬時には、体下部ほど強い水圧が皮膚にかかるはずであるが、このような漸増的な皮膚圧に対しては有意な圧覚は生じず、皮膚圧-発汗反射も引き起こされないと考えられる。

文 献

- 1) 緒方維弘，市橋貞三；発汗ニ及ボス體位ノ影響，満州醫誌 23：1127(1935) Quoted by Kuno, Y；Human Perspiration. Thomas (1956)
- 2) Takagi, K and Sakurai, T；A sweat reflex due to pressure on the body surface. Jpn J Physiol 1:22-28(1950)

- 3) Takagi, K ; Influence of skin pressure on temperature regulation. In: Essential Problems in Climatic Physiology, ed. by Yoshimura, H, Ogata, K and Itoh, S, Nankodo, pp 212-249(1960)
- 4) 小川徳雄, 伊藤路子, 宮側敏明, 朝山正巳 ; 温熱性発汗発現の部位差について, 日生氣誌16 : 22-29(1979)
- 5) 高木健太郎 ; 皮膚圧反射の神経経路, 最新医学8 : 2018-2024(1954)
- 6) Ogawa, T, Asayama, M, Ito, M and Yoshida, K ; Significance of skin pressure in body heat balance. Jpn J Physiol 29:805-816(1979)
- 7) 小川徳雄皮膚強圧時の体熱出納について(抄) ; 宇宙航空環境医学16 : 54(1979)
- 8) 宮側敏明, 小川徳雄, 朝山正巳 ; 皮膚圧迫による発汗抑制効果に対する高度温熱負荷の影響, 日生氣誌21 : 21-28(1984)
- 9) 小川徳雄, 朝山正巳, 伊藤嘉紀 ; 皮膚圧及びハリによる区域的発汗抑制, 自律神経18 : 246-253(1981)
- 10) 沈再文, 小川徳雄, 大西範和, 山下由果, 菅屋潤壹, 朝山正巳 ; 下半身部位の圧迫による発汗抑制区域について, 宇宙航空環境医学23 : 15-21(1986)
- 11) Sato, A and Schmidt, RF ; Somatosympathetic reflexes: afferent fibers, central pathways, discharge characteristics. Physiol Rev 53:916-947(1973)
- 12) 篠田憲彦 ; ハリ(中国針)及び皮膚圧の皮膚温に対する効果及びその区域のサーモグラフィによる検討, 愛知医大医学会誌24 : 373-381(1996)
- 13) Sugeno, J, Ogawa, T, Imai, K, Ohnishi, N and Natsume, K ; Cutaneous vasodilation responses synchronize with sweat expulsions. Eur J Appl Physiol 71:33-40(1995)
- 14) 小川徳雄, 夏目恵子 ; 体位変換と発汗活動, 第6回宇宙利用シンポジウム・プロシーディングpp 174-179(1989)
- 15) Ogawa, T, Sugeno, J, Ohnishi, N, Natsume, K and Imai, K ; Sweating response to simulated weightlessness, Proc, 3rd Int Symp Space Med in Nagoya, pp 273-281(1992)



おがわ とくお
小川 徳雄

1929年名古屋生まれ。1953年名古屋大学医学部卒, 翌年より6年米国留学後高木健太郎教授に師事し, 体温調節・発汗研究。1973年より愛知医科大学教授, 1995年定年退職後名誉教授, 1999年より東海医療技術専門学校長。著書に「新・汗のはなし」, 「汗の常識・非常識」など。

学校めぐり, 企業めぐり募集のお願い

8月号より学校めぐりをシリーズで掲載することになりました。

学校も官・私立, 大学・専門学校ともに18才人口の減少によって, 厳しい経営状況が続いておりますが, 今こそそれぞれの学校が特色を発揮し, 受験者本人が受験時に, 将来の自己実現のための情報として明確な選択ができる内容が望ましいと思われます。

そこで, それぞれユニークな学科, コース紹介を兼ねて, 各学校の紹介記事をご投稿いただければと願っております。

同様に, 各企業も新戦略・新商品など奮ってご紹介いただければ幸いです。

執筆字数 : 3, 000字程度(写真を含む) 印刷上がり2ページ

原稿と合せてフロッピーディスクもお送りください。その際, ワープロの機種名・ソフト名, バージョンなどをお書き添えください。(写真はモノクロで鮮明なもの)

[申込方法] 学会事務局あてにご一報ください。正式な原稿依頼状をお送りいたします。