

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04381

研究課題名（和文）姿勢の違いによる血流変化を考慮した温熱快適性評価モデルの開発

研究課題名（英文）Development of thermal-physiological model for blood flow by posture change

研究代表者

永野 秀明（Nagano, Hideaki）

東京都市大学・理工学部・准教授

研究者番号：50610044

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：「暑い」「寒い」などの快適性である人体温熱快適性の評価において、姿勢が異なることによる影響を考慮するための実験参加者実験を行った結果、姿勢の変化により血流が変化し、ひいては皮膚温が変化するという仮説を裏付けるデータを得た。この影響を数値モデルにより予測可能とするため、深部-皮膚を1次元の血管とみなし、血液に作用する全駆動力を考慮することで、従来モデルである2ノードモデルを部位分割したモデルにおいて、温熱信号によって定まる血流量が重力の影響を受けるよう定式化した。これにより、人体の姿勢変化に伴う重力影響を皮膚温に反映することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人体の温熱快適性の評価および予測は、建築内外空間において人が快適かつ健康に過ごすために重要であり、建物や空調システムの設計に際しては重要な項目である。本研究では、対象とする空間において人が過ごす典型的な姿勢によって快適性が異なることを裏付けるものである。たとえば病院の病室であれば仰臥位で過ごす時間が多く、また工場においては立位で過ごす時間が多いと考えられるとき、人体の作業量（代謝量）のみならず姿勢による影響が無視できないのであれば、そのことを考慮することで、空間ごとに適切な快適性評価に基づく空調設計が可能になり、ひいては人々の健康増進に寄与するといえる。

研究成果の概要（英文）：As a result of participant experiments to consider the effects of different postures in the evaluation of human thermal comfort, which is comfort such as “hot” or “cold,” data were obtained to support the hypothesis that changes in posture can alter blood flow and, in turn, skin temperature. In order to predict this effect with a numerical model, the blood flow determined by the thermal signal was formulated to be affected by gravity in a conventional two-node model divided into body parts by considering the depth-skin as a one-dimensional blood vessel and taking into account all driving forces acting on the blood. The model was formulated so that the blood flow determined by the thermal signal is affected by gravity in the conventional two-node model. This enables the skin temperature to reflect the effect of gravity on the skin temperature due to changes in the posture of the human body.

研究分野：建築環境工学

キーワード：温熱快適性 血流 血圧 姿勢 重力 人体熱もでる 実験参加者実験

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の宇宙開発の発展により、月面探査や火星探査計画が進んでいる。宇宙飛行士が宇宙空間に滞在する間は微小重力環境に曝されるため、重力の作用によって血流が変化し、温熱快適性もまた変化すると考えられる。また通常重力下であっても、人が姿勢を変更することによって重力が作用する方向は変化することから、重力による血流および温熱快適性への影響を解明する必要がある。人が微小重力環境に曝露されると、人体には様々な影響が生じることが指摘されている。

2. 研究の目的

本研究では、重力による血流変化を定式化することで、重力影響を考慮できる人体熱生理モデルを開発し、皮膚温、血流量および温熱指標 SET* への影響を検証した。

3. 研究の方法

(1) 2 ノード血压モデル (2NBPM) の開発

従来、温熱快適性評価手法として Gagge らによって開発された 2 ノードモデル (2NM) には重力による影響は考慮されていない。そこで、2NM をもとに新たに重力と血压の影響を考慮可能な 2NBPM を開発する。このモデルは深部層と皮膚層の両者の位置関係が姿勢によって変わるものと考え、それを「姿勢角度」と定義する。姿勢角度は、深部層から見たときの皮膚層の位置とし、反時計回りを正とする ($0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$)。深部層と皮膚層は 2NM 同様、血管でつながっていると見なす。この血管を「仮想血管」とし、仮想血管は実人体における動静脈や毛細血管などすべてを含めた一つの管路と定義する。Fig.1 に開発した 2NBPM と姿勢角度 の定義を示す。

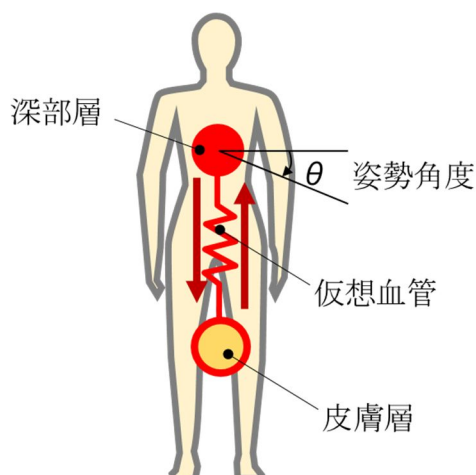


Fig. 1 姿勢角度 の定義

(2) 分散二層血压モデルの開発

郡らによって開発された分散二層モデルは人体を 22 部位に分割しており、共通深部層と各部位の皮膚層との熱収支を解くことで、皮膚温を算出するモデルとなっている。本研究では、前節で述べた重力影響を分散二層モデルに導入したうえで、さらに「標準姿勢」という概念を導入す

る。多くの既存の熱生理モデルや温熱環境指標は、実環境と等価な均一な環境（標準環境）を想定している。本研究においては、これら既存のモデルはすべて標準姿勢を取っているものと見なす。したがって、標準姿勢時の深部層と皮膚層間の血流量は従来の 2NM および分散二層モデルと一致する。Fig. 2 に標準姿勢角度と部位高さの定義を示す。

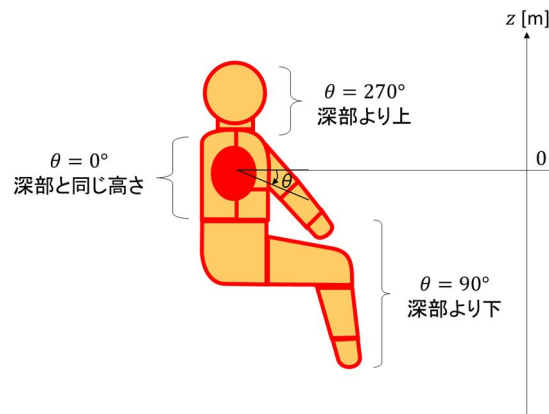


Fig. 2 標準姿勢における姿勢角度と部位高さ z

仮想血管内を流れる血液にかかる力を全駆動力と呼ぶこととし、標準姿勢時の全駆動力 F_i に対する姿勢変化時の全駆動力 $F_{g,i}$ との比を血流変化率 $r_{bl,i}$ と定義する。 i は各部位の番号を示す。

従来の分散二層モデルは各人体部位が直接深部と接続されていたが、本モデルでは部位によって深部から直列に接続される。例えば手を上げた時、上腕 前腕 手の順に血流が流れるものとする。そこで上流部位の血流変化率を下流部位の血流変化率に乗じていくことで、下流部位ほど血流量が大きく変化する。また、従来の分散二層モデルでは血流量を各部位に分配する定数 D_{bl} が実験により定義されている。分散二層血圧モデルでは血流変化率をこの分配率に乗じることで、各部位への血流変化を実現することにする。

以上により血流量を計算することで、従来の分散二層モデルに対して姿勢角度および重力による影響を考慮することが可能となった。

4 . 研究成果

開発した分散二層血圧モデルの妥当性検証として、実験参加者 4 名による実験を行った。実験条件を Table 1 に示す。

Environment	Air temperature	24.5 °C
	Radiant temperature	24.5 °C
	Airflow velocity	0.1 m/s
	Relative humidity	50 %
	Metabolic rate	1 met as standing
Human	Amount of clothing	0.7 clo

実験は右手と左手の指先に熱電対をつけ、皮膚温の測定を行った。右手を上にあげ、左手を下げた状態で皮膚温の差異を確認した。Fig. 3 に 4 名の実験参加者の指先の皮膚温差を示す。

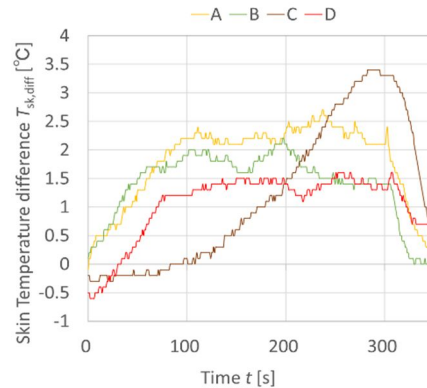


Fig.3 4 名の実験参加者における左右の指先の皮膚

右手を下ろして 300 秒経過時の左右の皮膚温差に着目する。最も左右の皮膚温差が大きいのは実験参加者 C で 3.4 であり、最も皮膚温差が小さいのは実験参加者 D で 1.3 であった。実験参加者によって異なるが、重力の影響によって皮膚温が変化することが確認できた。

次に、開発した分散二層血圧モデルを用いて実験と同じ条件でシミュレーションした結果の比較を Fig. 4 に示す。初期状態では左右で皮膚温差は見られないが、右手を上げた直後から左手の方が温度が高くなり、右手を下ろす直前の 300 秒経過時点を見ても、左右で 2.1 の温度差に達した。これは実験参加者 4 名の平均値である 2.0 とよく合致している。

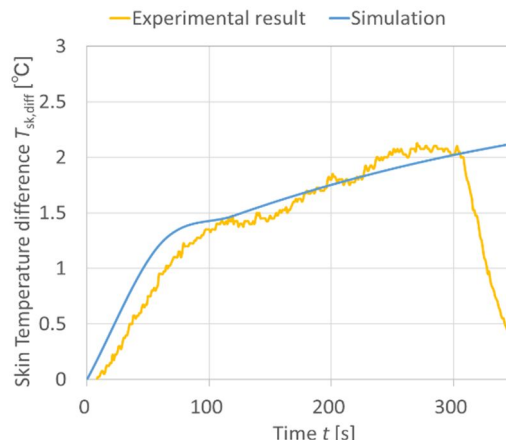


Fig.4 実験結果の平均とシミュレーション結果の比

Fig.5 に標準姿勢時からの SET* の変化量を示す。前述の皮膚温の違いに伴って、姿勢の影響によって SET* にもわずかに差異が生じていることが確認された。上腕部では 0.25°C の差が生じた。この差異は人体が知覚可能な差異であると考えられるため、姿勢の違いによる重力影響は人体の温冷感を左右すると考えられる。

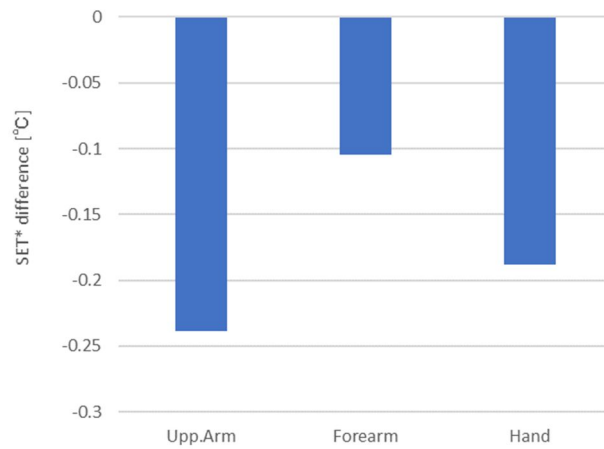


Fig. 5 SET*の変化量

本研究では、人体温熱快適性に対する重力による血流への影響を考慮するための人体熱生理モデルを開発した。そのうえで姿勢を変化させた実験参加者実験および数値シミュレーションを行い、姿勢が血流量・皮膚温・SET*に及ぼす影響を明らかにした。

- (1) 深部 - 皮膚を1次元の血管とみなし、血液に作用する全駆動力を考慮することで、従来の温熱信号によって定まる血流量が重力の影響を受けるよう定式化した。
- (2) 部位分割した分散二層モデルに血圧モデルを組み込み、重力が作用する方向を変化させるモデルを開発した。
- (3) 実験参加者実験では上げた右手の指先の皮膚温と、下げた左手の指先の皮膚温の差は実験参加者により 1.3 ~ 3.4 であり、重力の影響により皮膚温が変化しうることが確認された。またこの結果は提案モデルによるシミュレーション結果とよく一致した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 畦町大哉、永野秀明、大井敦士、江本陸
2. 発表標題 重力による血液への影響を考慮した人体熱生理モデルの開発
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroya Azemachi, Hideaki Nagano, Atsushi Ooi, Riku Emoto, Suguru Shiratori, Kenjiro Shimano
2. 発表標題 Development of a human body thermo-physiological model considering the effect of gravity on blood
3. 学会等名 CLIMA 2022 the 14th HVAC World Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------