

冷え抑制・自律神経機能調整・抗疲労の効果を有するエアコン気流制御技術

白市 幸茂 大塚 雅生

健康・環境システム事業本部 要素技術開発センター

従来までの気流制御に比べ快適性が高く疲労が少ない、健康維持に有用なエアコン新概念気流制御「つつみ込む気流」を開発・実用化しました。第三者試験医療機関にて臨床試験を実施し、冷房時には末梢の冷えを抑制することで疲労感の軽減および快適感の上昇を促進し、暖房時には自律神経系の活動を調整し末梢の冷え感・のぼせ感を軽減することで快適感を維持し作業時の疲労感の上昇が軽減されることが確認できました。本稿では、このつつみ込む気流の冷え抑制・自律神経機能調整・抗疲労の効果の検証内容について解説します。

1 はじめに

近年、地球環境の保全に対する関心が高まる中、特に家庭で用いられる電力全体の約25%を占めるエアコンの省エネ化は重要な課題です。そのため熱交換器やコンプレッサー、送風ファンなどエアコンの基幹部品についての省エネ技術開発が現在盛んに行われています。

一方でエアコンによる部屋の空調の仕方、すなわち気流制御については必ずしも省エネ性に特化すれば良いわけでは無く、快適性や健康への影響を考える必要があります。例えば人に対して積極的に冷気や暖気を当てる

ような気流制御は、エアコンによる冷温熱のエネルギーをダイレクトに人に伝えられることから省エネ的と言えます。しかし、冷気・暖気を積極的に得られることで一見すると快適性も高いように思われがちですが、実際には冷えすぎるなどの健康負荷が大きくなり、それにより快適性も損われるといったデメリットが生じます。

本稿では、健康と環境の両立を実現した当社の独自技術である新概念気流制御技術「つつみ込む気流」に対して実施した冷え抑制・自律神経機能調整・抗疲労の効果の実証試験について、その方法および結果の解説を行います。

2 つつみ込む気流の概略

従来までの気流制御に比べ快適性が高く疲労が少ない、健康維持に有用な新概念気流制御「つつみ込む気流」を開発・実用化し、世界で初めてエアコンに搭載しました。また第三者試験医療機関にて臨床試験を実施し、効果を科学的に実証しました。

上記効果を有する気流の実現のため、従来までの風向調整装置（縦・横ルーバ）を廃止し、室内機前面を覆う長さ20cmにも及ぶ上下両開きロングパネルと、柔軟素材にて形成した左右なめらかガイドを搭載することによって、気流を天井・側壁・床面に沿わせて部屋全体を優しく包む「つつみ込む気流」(図1)を実現しています。部屋の各壁面を積極的に冷却/加熱して放射冷暖房効果を引き出し、身体に直接風を当てずに快適感を提供することができます。

また、ロングパネルにて吹出口にノズル形状を形成し、吹出口から吹出される気流の運動エネルギーを静圧に変換してファンの働きを助けることで、送風に必要な消費電力を低減することができます。これにより省エネ化にも大きく寄与しています。

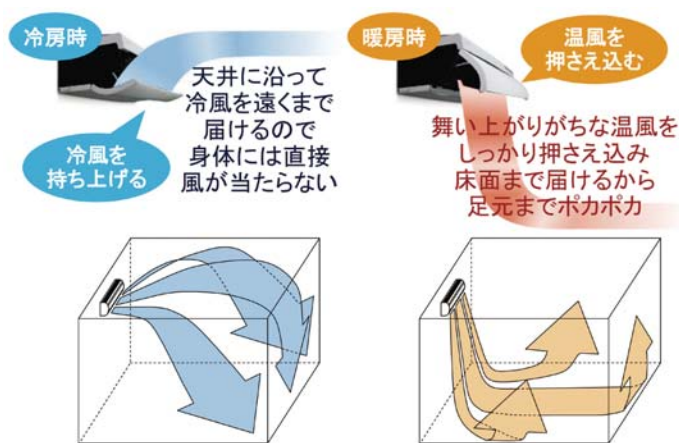


図1 つつみ込む気流

3 つつみ込む気流（冷房）の癒し・快適の検証

つつみ込む気流（冷房時）の人への影響について検証すべく、第三者試験医療機関である、株式会社総合医科学研究所に臨床試験を依頼し実施しました。

(1) 被験者

被験者として、本試験の被験者となることを自発的に志願した有償ボランティアである20歳以上65歳未満の健常成人女性9人（エアコン使用時に冷えを感じやすい女性）を公募により選出しました。選出の際、予備検査結果にて異常を認めたなどの理由から参加が不相当と判断された人については除外しています。

この9人を、試験データの解析に参加しない割付担当者がランダムに2群に割付けました。このとき、年齢、Body Mass Index (BMI) において2群間に有意な差がないことを確認したうえで割付けを行っています。

なお、ヘルシンキ宣言の主旨に従い、被験者に対しては、内容・方法などについて医師より十分な説明を行い、試験を実施しています。

(2) 試験方法

試験はランダム化2試験区クロスオーバー試験とし、「つつみ込む気流」と従来のエアコン気流制御で一般的にみられる「風が当たる気流(対照)」の2種類の気流制御で2試験区を設定しました。

試験期間は、3日間の前観察期間と検査日1日を1試験区として設定し、これを4週間隔で2試験区（つつみ込む気流および対照気流）繰り返しました。2回の検査日において、2時間のデスクワークによる疲労負荷後、気流制御されたエアコンルームで30分間、椅子に座って休息して頂きました（図2）。エアコンルームにおける試験機器の設定は、温度を24℃、風量を強風とし、リモコンの上下風向設定にてつつみ込む気流と対照気流の制御を行いました。エアコンルーム外の目標設定室温は26.0～27.0℃としました。

疲労負荷の方法として、紙面上での単純な足し算作業である内田クレペリン検査、およびパソコンでの探索作業であるAdvanced Trail Making Test (ATMT) を交互に30分間ずつ、合計2時間実施しました。

ATMTは、A～Zまでのアルファベットのうち25文字をパソコン画面上にランダムに表示させ、「R」をクリックするたびに配置が変わる設定とし、「R」を素早くクリックする視覚探索反応課題としました。

(3) 検査項目

以下に示す検査を実施しました。生活状況調査を除くすべての検査は、医師の管理のもとに実施しました。

i. VAS検査

主観的評価であるVAS (Visual Analogue Scale) 検査を実施しました。評価項目は疲労感、冷え、快適感、膝の痛み、肩こりとしました。

ii. 血流測定

レーザ・ドップラ式血流計により、座位での両足の甲からつま先までの血流量を測定しました。

iii. 歩行速度測定

10mの距離をできる限り速く歩いてもらい、その際の歩行速度を測定しました。

iv. 生化学的検査

唾液を採取し、アミラーゼ量を測定しました。

尿を全量採取し、ホモバニリン酸、8-イソプラスタン量を測定しました。

v. 理学的検査

体温の測定を実施しました。

vi. 生活状況調査

前観察期間中毎日、睡眠時間、就業時間、運動量（万歩計による歩数計測）、食事内容、体調等を被験者各自にて日誌形式で記録頂きました。アルコール摂取量および医薬品の使用状況については、試験期間中毎日記録して頂きました。被験者にはそれまでの食生活および運動などの日常生活を大きく変えないようにして頂きました。なお、食事をコントロールするため、検査前日の夕食は全員同じ弁当（約900 kcal）としてその後は絶食とし、疲労負荷前の各検査後に全員同じおにぎり（約

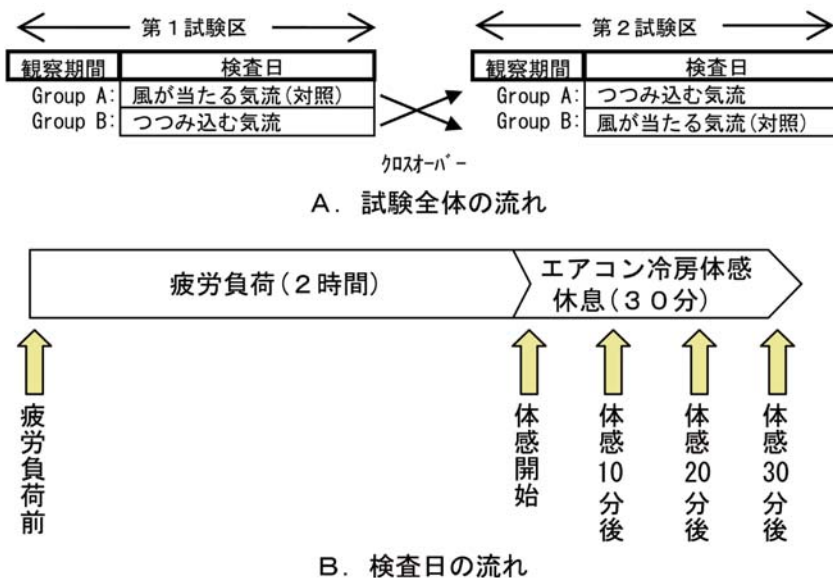


図2 気流制御（冷房時）の臨床試験の流れ

360 kcal) を食べて頂きました。

vii. 温湿度の記録

エアコンルーム内外の温湿度を30分間隔で記録しました。

viii. 診察・問診

疲労負荷前に診察・問診を行い、自覚症状および他覚所見の発現状況を把握しました。その際の問診の仕方には十分注意し、客観的な評価を行いました。

なお、すべての計量値データにつ

いて、対応のあるt検定により群間比較を行いました。さらにVAS検査および血流については、多重比較検定を実施し経時的变化について解析しました。両側検定で $p < 0.05$ を統計学的に有意としました。

(4) 結果

1. VAS検査

結果を図3に示します。つつみ込む気流群は対照気流群と比較して、

エアコン休息10分、20分、30分後に疲労感の有意な軽減、冷えの有意な抑制、快適感の有意な上昇が認められ、エアコン休息30分後に膝の痛みの有意な抑制が認められました。疲労負荷前値と比較した経時的变化については、対照気流群ではエアコン休息10分、20分、30分後に冷えおよび肩こりの有意な上昇、快適感の有意な低下、エアコン休息20分、30分後に膝の痛みの有意な上昇、エアコン休息10分後に疲労感の有意な上昇が認められた一方で、つつみ込む気流群ではそれらの変化は認められませんでした。

2. 血流測定

結果を図4、5に示します。つつみ込む気流群は対照気流群と比較して、エアコン休息10分、20分、30分後に血流の有意な低下抑制が認められました。疲労負荷後（エアコン体感開始時）と比較した経時的变化については、対照気流群ではエアコン休息10分、20分後に血流の有意な低下が認められた一方で、つつみ込む気流群では変化が認められませんでした。

3. 歩行速度測定

つつみ込む気流群は対照気流群と比較して、エアコン休息30分後の疲労負荷後（エアコン体感開始時）からの変化量について、歩行速度の低下抑制傾向が認められました。

4. 生化学的検査

結果を図6に示します。つつみ込む気流群は対照気流群と比較して、エアコン休息30分後に尿中8-イソプラスタンの有意な低下、尿中ホモバニリン酸の低下傾向が認められました。また、エアコン休息30分後の疲労負荷前からの変化量について、唾液アミラーゼの上昇抑制傾向が認められました。

5. 理学的検査

結果を図7に示します。つつみ込

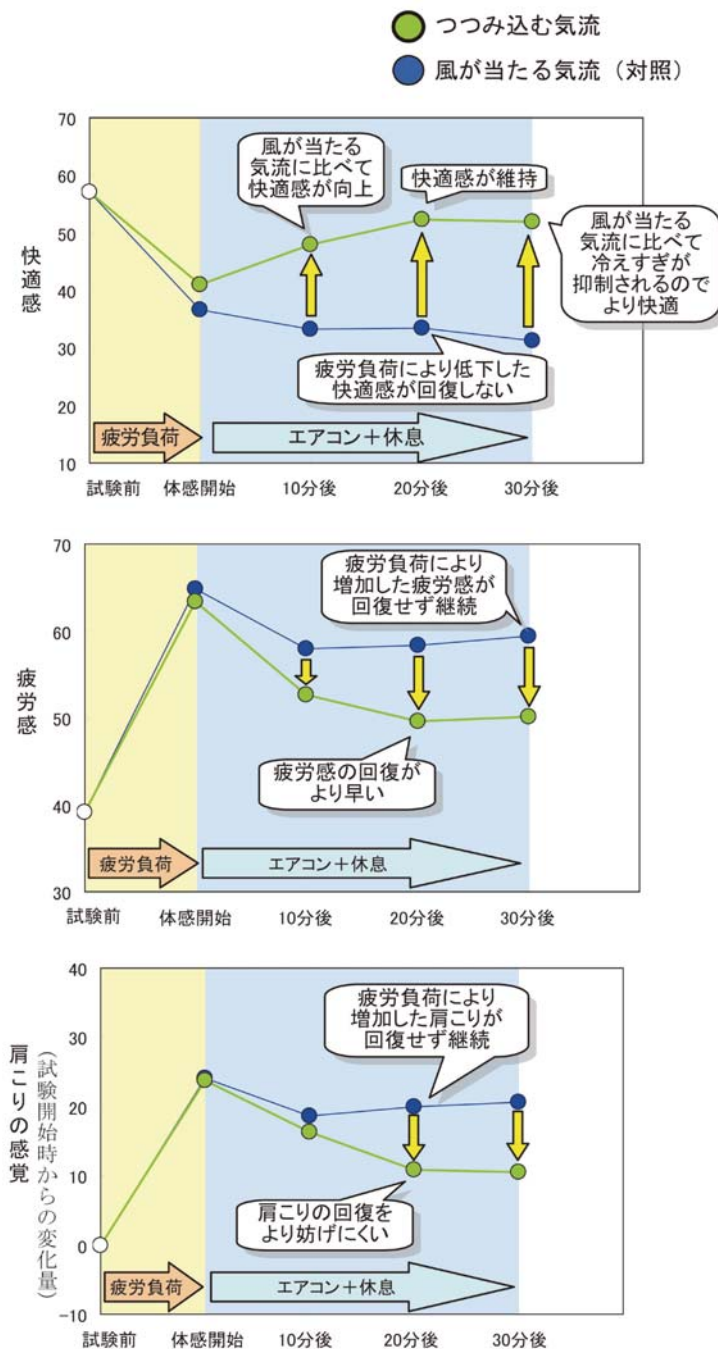


図3 VASによる主観評価 (冷房時)

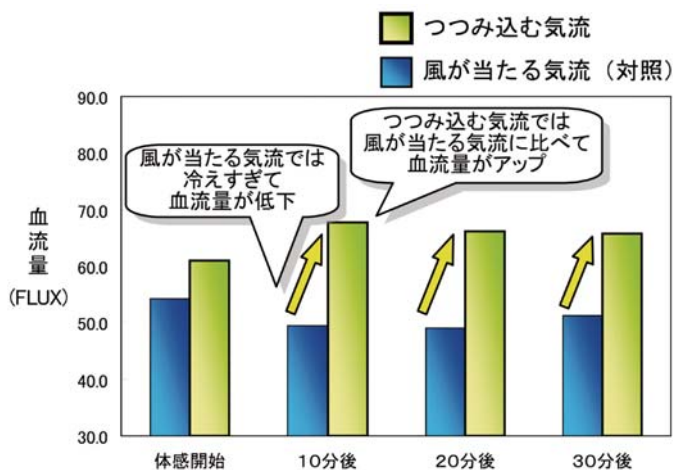


図4 足先血流量の時間変化 (冷房時)

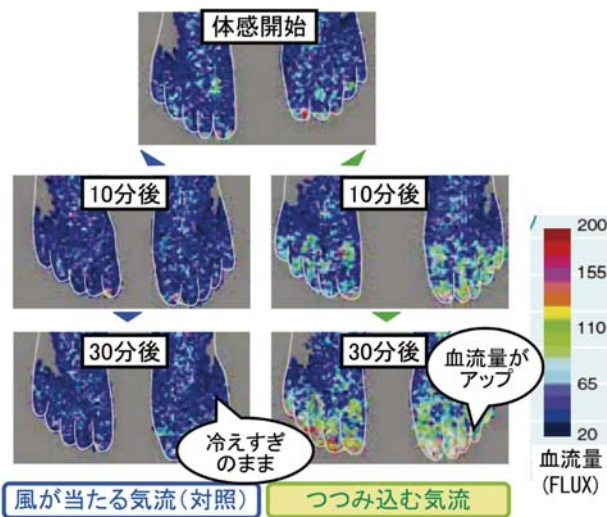


図5 レーザ・ドップラ式血流量計による足先血流画像 (冷房時)

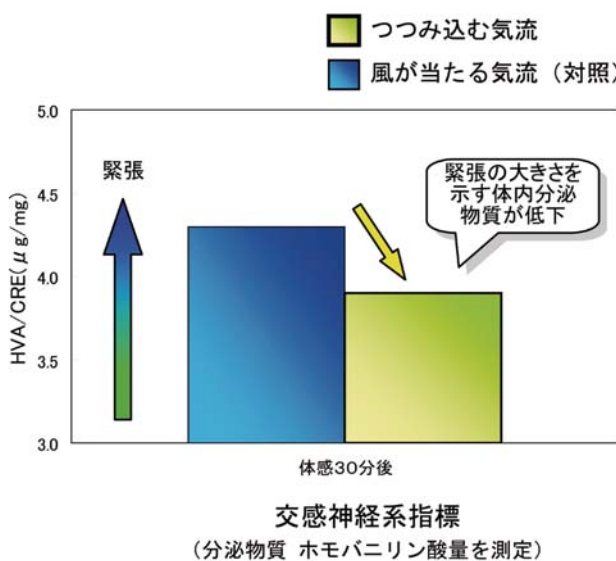
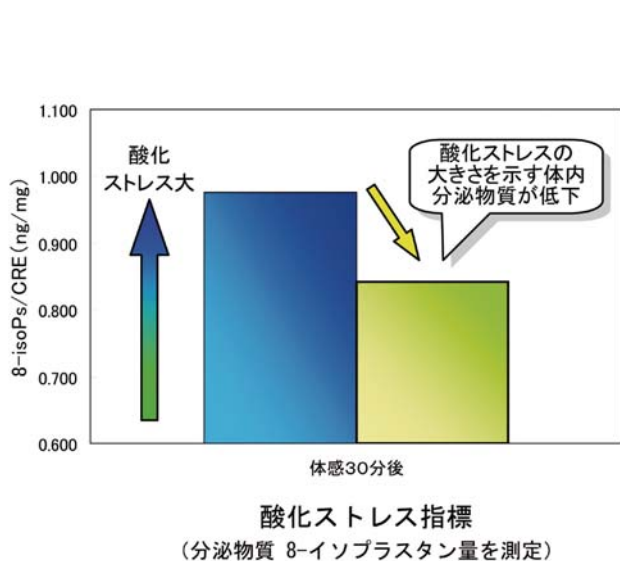


図6 生化学的検査 (冷房時)

む気流群は対照気流群と比較して、エアコン休息30分後において体温の有意な低下抑制が認められました。

7. 生活状況調査

生活記録日誌に基づいて解析した睡眠時間、就業時間、運動量において2群間で有意な差は認められませんでした。また、試験期間において特記すべき生活環境の変化等はみられませんでした。

8. 温湿度の記録

エアコンルーム内外の温湿度について、2回の検査日間で試験結果に影響を及ぼすと考えられる差は認められませんでした。

(5) 考察

これらのことから、つつみ込む気流は体温低下を抑制し、それに伴い末梢毛細血管の収縮が抑制されて末梢血流が維持されることにより、抹消の冷えを抑制したと考えられます。

膝関節の痛みを訴える人では末梢血流が低下しており、これを回復させることで関節痛が緩和することが報告されています。つつみ込む気流の末梢血流維持効果により膝関節の血流も維持され、膝関節の痛みが抑制されたと考えられます。末梢の冷えおよび膝関節の痛みが抑制された

結果、全体的な感覚として疲労感の軽減、快適感の上昇が得られたと考えられます。

生化学的な指標としては、つつみ込む気流群で尿中ホモバニリン酸の低下傾向がみられました。ホモバニリン酸はドーパミンの最終代謝物であり交感神経活動を反映します。唾液検査においても交感神経活動を反映するアマラーゼ活性の上昇抑制傾向がみられており、つつみ込む気流が疲労荷重によって優位となった交感神経活動を抑制(自律神経機能の乱れを調節)したものと考えられます。交感神経活動は、冷刺激により刺激されることで血管収縮を引き起

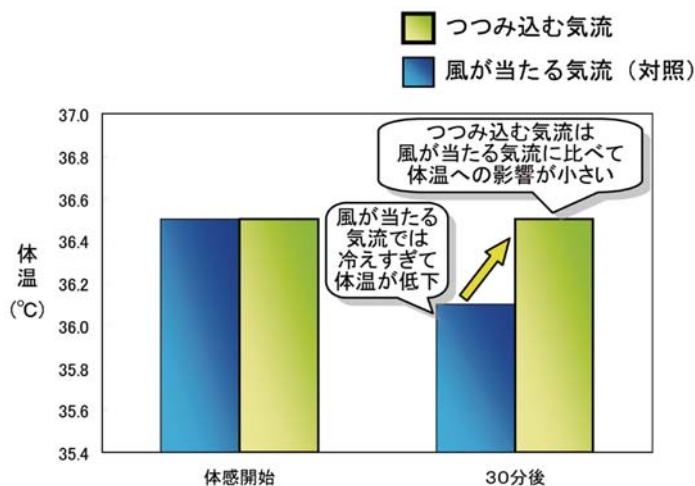


図7 体温の時間変化 (冷房時)

オーバー試験とし、「つつみ込む気流」と「風が当たる気流 (対照)」の2種類の気流制御で2試験区を設定しました。

試験期間は、7日間の前観察期間と検査日1日を1試験区として設定し、20日間をはさんでつつみ込む気流および対照気流の2つの試験区を繰り返しました。2回の検査日において、つつみ込む気流または対照気流で制御されたエアコンルーム内で、30分間の休息後に疲労負荷として120分間のパソコン作業を実施しました (図8)。エアコンルームにおける試験機器の設定は、風量を強風、室温の目安を22.0~24.0°Cとし、リモコンの上下風向設定にてつつみ込む気流と対照気流の制御を行いました。また、加湿器を設置し、湿度が40%前後となるように調節しました。

被験者にはそれまでの食事、睡眠、運動などの日常生活を変えないようにして頂きました。

疲労負荷の方法として、内田クレペリン検査およびATMTをパソコン上で交互に15分間ずつ、合計120分間実施しました。

観察期間は、7日間の前観察期間と検査日1日を1試験区として設定し、20日間をはさんでつつみ込む気流および対照気流の2つの試験区を繰り返しました。

こし、末梢血流の低下を誘発することが知られています。つつみ込む気流の末梢血流維持効果が、冷刺激軽減による自律神経機能の調節作用に関与した変化でもあったと考えられます。また、8-イソプラスタンは活性酸素がリン脂質を過酸化することで生成し細胞の機能障害などをもたらしますが、疲労との関連も報告されています。つつみ込む気流が疲労負荷による酸化ストレスの上昇を抑制したものと考えられ、これは末梢血流維持に起因した作用である可能性が考えられます。

主観的評価は日常生活により影響を受ける可能性も考えられますが、つつみ込む気流群と対照気流群の間に生活状況に差はみられず、本試験においては試験機器による効果の評価検討に影響を及ぼす外的要因は特に認められませんでした。

以上のことから、疲労負荷後のつつみ込む気流制御下での休息は、体温低下を抑制し、末梢血流を維持することにより、末梢の冷えおよび膝関節の痛みを抑制し、疲労感の軽減および快適感の上昇を促進することが明らかとなりました。対照気流 (風が当たる気流) では、健康に悪影響を及ぼす面もみられましたが、本試験におけるつつみ込む気流制御では健康への悪影響はみられませんでした。

4 つつみ込む気流 (暖房) の癒し・快適の検証

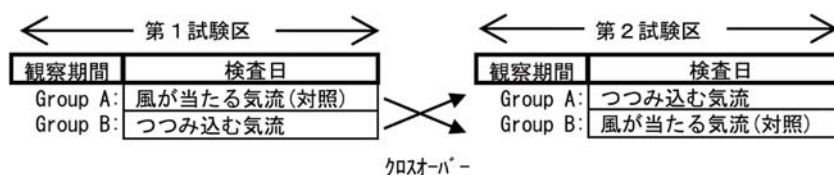
つつみ込む気流 (暖房時) についてもつつみ込む気流 (冷房時) と同様の臨床試験を実施しました。

(1) 被験者

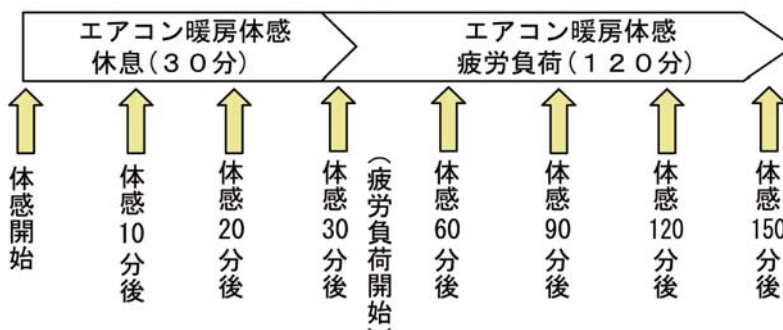
被験者として、40歳以上60歳以下の健常成人女性8人 (エアコン使用時に足先の冷えやのぼせなどを感じやすい女性) を選出しました。

(2) 試験方法

試験はランダム化2試験区クロス



A. 試験全体の流れ



B. 検査日の流れ

図8 気流制御 (暖房時) の臨床試験の流れ

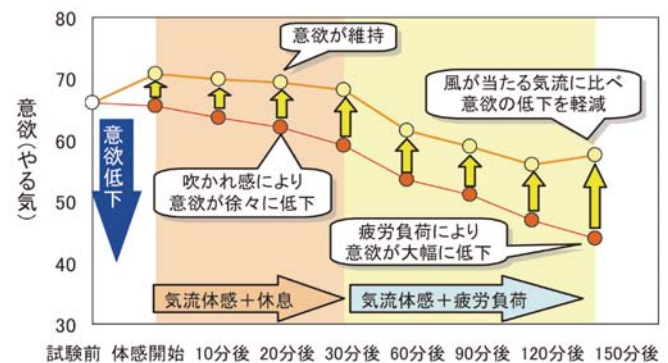
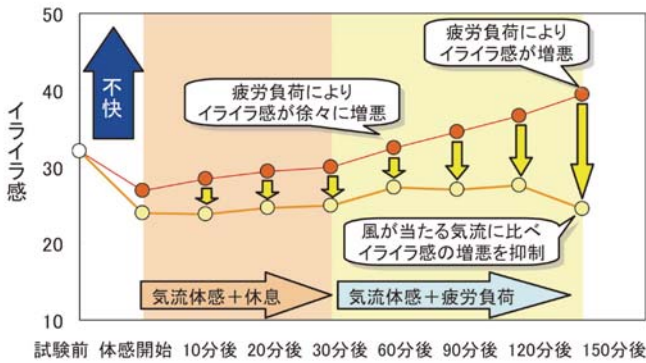
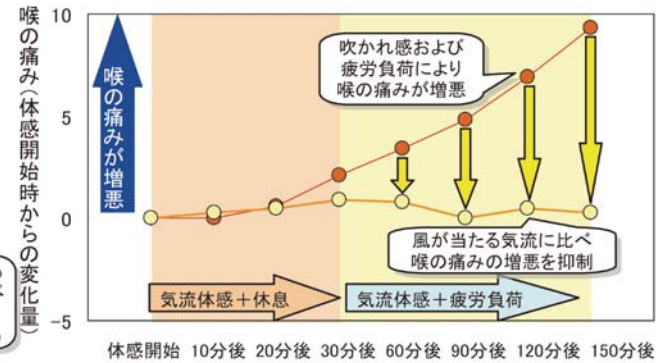
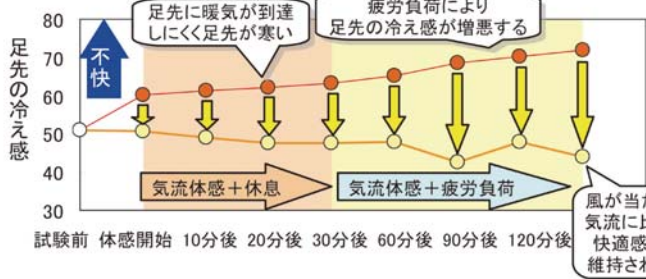
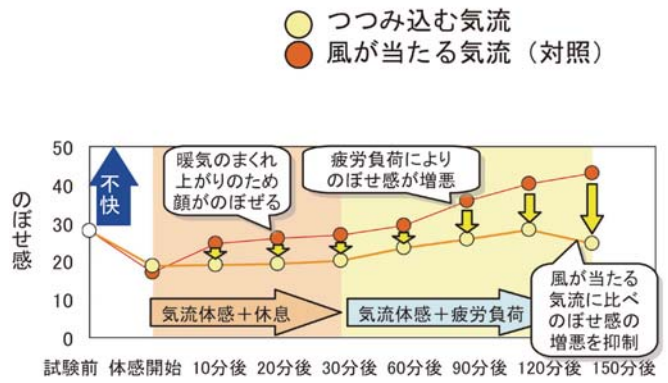
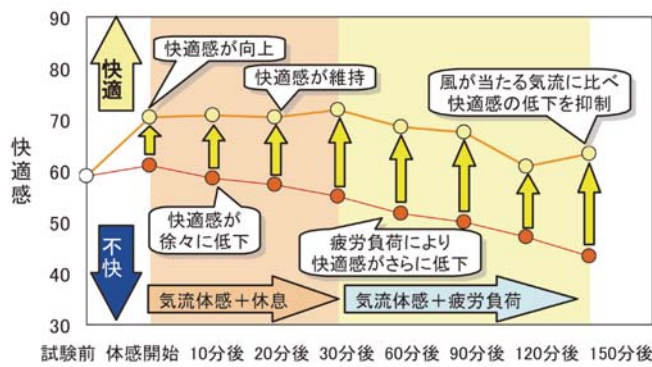


図9 VASによる主観評価 (暖房時)

(3) 検査項目

以下に示す検査を実施しました。

i. VAS検査

主観的評価であるVASを実施しました。評価項目は疲労感、快適感、意欲(やる気)、イライラ感、のぼせ感、足先の冷え感、のどの痛みとしました。

ii. 血流測定

レーザ・ドップラ式血流計を用いて両足の甲からつま先までの血流量を座位で測定しました。

iii. 生化学的検査

尿を全量採取し、バニルマンデル

酸量を測定しました。

iv. 肌水分測定

コルネオメータを用いて左眼の下1cmの同一箇所での肌水分量を測定しました。

v. 疲労負荷時の作業能率

パソコン作業120分間を、内田クレペリン検査15分間およびATMT15分間の計30分間を1Termとした4Termに分け、各Termにおける内田クレペリン検査、ATMTの試行数を評価しました。

vii. 温湿度の記録

体感開始時、30分、60分、90分、120分および150分後にエアコンルー

ム内外の温湿度を記録しました。

なお、すべての計量値データについて、対応のあるt検定により群間比較を行いました。さらにVASに関する計量値については、多重比較検定を実施し経時変化について解析しました。いずれの解析も両側検定で $p < 0.05$ を統計学的に有意としました。

(4) 結果

1. VAS

結果を図9に示します。つつみ込む気流群は対照気流群と比較して、体感10分、30分、60分、90分、150分

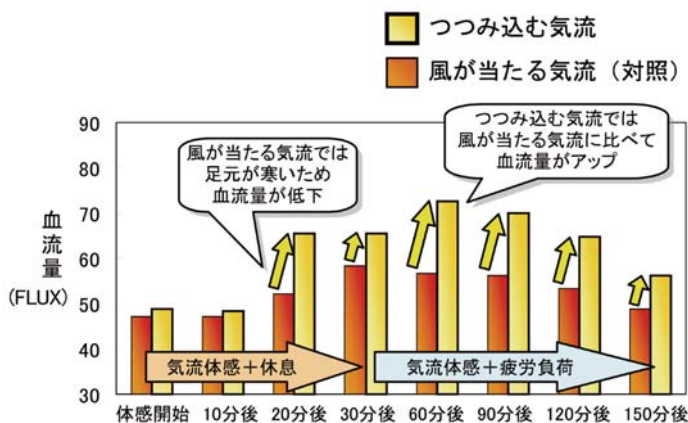


図10 足先血流量の時間変化 (暖房時)

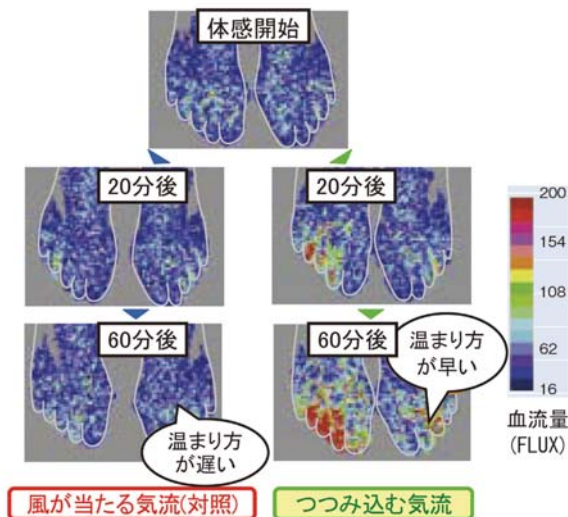


図11 レーザ・ドップラ式血流計による足先血流画像 (暖房時)

後において快適感の有意な低下抑制, 体感10分, 20分, 30分, 60分, 90分, 120分, 150分後において足先の冷え感の有意な低下がみられました。

体感開始時からの変化量については, 体感150分後において快適感の有意な低下抑制, イライラ感およびのぼせ感の有意な上昇抑制, 体感90分, 120分, 150分後において足先の冷え感の有意な低下, のどの痛みの有意な上昇抑制がみられました。

体感開始時と比較した経時的変化については, 対照気流群で体感150分後において疲労感の有意な上昇, 意欲 (やる気) の有意な低下がみられた一方で, つつみ込む気流群ではそれらの変化はみられませんでした。

2. 血流測定

つつみ込む気流群は対照気流群と比較して, 体感20分後において血流量の有意な増加がみられました (図10, 11)。

3. 生化学的検査

つつみ込む気流群は対照気流群と比較して, 体感150分後において尿バニルマンデル酸の有意な低下がみられました (図12)。

4. 肌水分測定

つつみ込む気流群は対照気流群と比較して, 体感開始時からの変化量

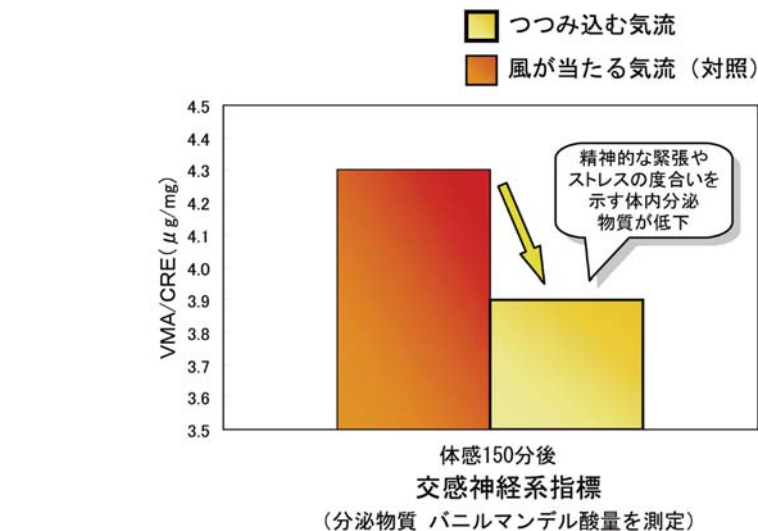


図12 生化学的検査 (暖房時)

について, 体感30分, 60分, 90分, 120分, 150分後において肌水分量の有意な上昇がみられました (図13)。

5. 疲労負荷時の作業能率

つつみ込む気流群と対照気流群との間で, 内田クレベリン検査およびATMTの試行数について有意差はみられませんでした。

8. 温湿度の記録

エアコンルーム内外の温湿度については, 2回の検査日間で試験結果に影響を及ぼすと考えられる差は認められませんでした。

(5) 考察

足の表面温度と温度快適感が相関

するとの報告があり, 一方では四肢における皮膚の表面温度は血流状態を反映することから, つつみ込む気流によるエアコン制御下では, 血流が改善されることにより足先の冷え感が軽減し, 快適感が維持されたと考えられます。

バニルマンデル酸はカテコールアミンの最終代謝産物であり, ストレス負荷による交感神経の活性化に伴い上昇します。精神作業負荷による疲労時に, 尿バニルマンデル酸が上昇することも知られており, つつみ込む気流制御が, パソコン作業によって活発になった交感神経活動を抑制し, 疲労感, イライラ感, のぼ

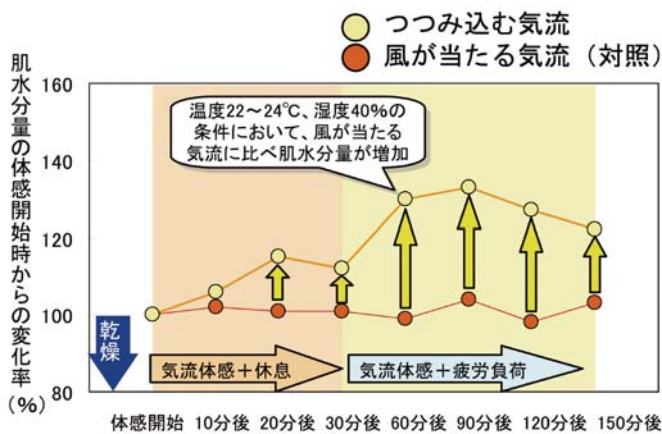


図13 肌水分量の時間変化 (暖房時)

せ感の上昇および意欲 (やる気) の低下が抑制され、快適感が維持されたものと考えられます。また、皮膚表面を直接温めると交感神経が刺激されることも報告されており、今回の結果は体に直接温風を当てないつつみ込む気流制御の自律神経機能への影響が示された結果と考えられます。

つつみ込む気流制御では、のどの痛みの上昇が抑制されることも明らかとなりました。

冬期の肌の乾燥はかゆみ感を誘発しやすいなど、快適性を低下させることが知られています。つつみ込む気流が肌の乾燥の面からも、快適性を維持することが示唆されます。

「頭寒足熱」環境は快適性を向上させる一方で、眠気を誘発し、作業パフォーマンスを低下させるという

報告もあります。つつみ込む気流によるエアコン気流制御は、作業パフォーマンスの低下を誘発せずに快適性を向上させる環境を生み出したと考えられます。

5 まとめ

冷房時および暖房時におけるつつみ込む気流の人への影響についての検証を臨床試験により実施した結果、つつみ込む気流は主観的な快適感が高く、身体の冷えや冷え感が軽減されていました。また、自律神経機能への影響の軽減や酸化ストレスの上昇を抑えるなど疲労の指標となる検査項目においても良好な結果が得られ、疲労の観点からみても、人の身体への負荷がより軽減されていることが明らかとなりました。

この結果から、つつみ込む気流は

従来よりも主観的な快適感があるだけでなく、冷え抑制・自律神経機能調整・抗疲労など、身体への負担も少ない健康維持に有用な気流制御技術であることが実証できました。

なお、本気流制御技術の省エネ性につきましては、(社)日本流体力学会および(社)日本冷凍空調学会より技術賞を、また文部科学省から平成21年度文部科学大臣表彰科学技術賞を頂戴しました。

また、本気流制御技術の快適性につきましては、(財)新技術開発財団より市村産業賞貢献賞を、また、文部科学省から平成22年度文部科学大臣表彰科学技術賞を2年連続で頂戴するとともに、大阪健康サービス産業創造協議会 (OHS協議会) より「癒し快適エビデンス推奨マーク」第1号・第2号の認定を頂戴しました。

今後も健康・環境に寄与する要素技術開発に邁進する所存です。

参考文献

- 1) 西谷真人, 白市幸茂, 大塚雅生, 青柳さやか, 杉野友啓, 梶本佳孝, 梶本修身, 日本補完代替医療学会誌 6-1, pp27-34 (2009)
- 2) 西谷真人, 白市幸茂, 大塚雅生, 青柳さやか, 杉野友啓, 梶本佳孝, 梶本修身, 日本補完代替医療学会誌 7-1, pp1-9 (2010)