

## 電動ファン付き保護具の実用性並びに普及に関する研究 (180302-01)

令和元年度 研究結果概要

研究代表者 大神 明

産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 教授

### A 研究の目的

粉じんによる健康障害防止のためには、作業環境の改善と呼吸用保護具の装着が重要である。近年、電動ファン付き呼吸用保護具 (Powered Air Purifying Respirators, 以下 PAPR と略) が開発され、粉じんの防護性向上や装着に伴う身体負担の軽減に効果があるとされる。現場作業における呼吸用保護具装着による心身への影響、PAPR 装着の有用性や負担軽減効果、防護性を明らかにし、適切な作業管理、健康管理に役立てること、および実際の現場作業や作業者の特性に適した呼吸用保護具の選定について普及啓発することで、じん肺等の健康障害の予防に繋げることを目的とした。

### B 研究の方法・内容

#### ① 冷風装置付き電動ファン付き呼吸用保護具 (PAPR) による身体負荷軽減効果の検討

暑熱環境下で冷風装置付き PAPR を使用し、核心温、心拍数といった客観的指標を測定することで、暑熱環境における身体負荷軽減効果を評価し、熱中症予防効果を検証した。10 名の被験者に対してクロスオーバー比較試験を実施した。冷風装置はスタッフ自作のものを使用した。同一の被験者に対し、冷風装置付き PAPR を装着した条件、通常 PAPR を装着した条件、通常防じんマスクを装着した条件の計 3 条件で、エルゴメーターによる運動負荷をかけ、実験中 10 秒毎に直腸温、食道温、マスク内の温度 (冷風装置を使用した際は装置内の呼吸用保護具側の温度)、心拍数を測定した。運動終了後、前室にて安静状態で 20 分間同様に前述 4 項目を測定した。その後、再度体重測定を行った。

#### ② 電動ファン付き呼吸用保護具装着による呼吸器負担への影響の検討

PAPR 装着による身体負荷を総合的に評価するため呼気ガス分析を行い、PAPR と通常防じんマスクの消費エネルギーについて検討した。対象者は 10 名でクロスオーバー比較試験を実施した。人工気候室にて気温 20 度、相対湿度 50% の環境下において 10 分間安静ののち 20 分間エルゴメーターにて 70W の運動負荷を行い、呼気ガス分析計にて算出された消費エネルギー量を検討した。

#### ③ ウェアラブル粉じん計を用いた職場環境の評価について

環境中の粉じん濃度を随時測定し可視化するために、スマートフォン接続型の小型のウェアラブルパーティクルモニター (ヤグチ電子工業株式会社) を試作した。ウェア

ラブルパーティクルモニターの信頼性・妥当性検証を行い、その有用性を検討した。また、ウェアラブルパーティクルモニターを、実際の粉じん発生職場環境で用い、取得したデータから職場の粉じん濃度が高い場所の特定が可能かを調査した。前者は、実験室の粉じんばく露チャンバーを用いて実施し、後者は、屋外粉じん発生事業場で実施した。

#### ④ 現場での電動ファン付き呼吸用保護具装着の使用感に関する調査

実現場において継続的に PAPR を使用した場合の使用感の評価を行い、現場における PAPR 装着による効果を明らかにすることを目的として、43 名の被験者に対する介入研究を実施した。まず事前調査として現病歴、既往歴、作業歴、嗜好品等について調査票を用いて調査した。既に呼吸機能検査を実施している被験者は、その呼吸機能検査結果の提出を持って完了とした。次に、1 回目調査として、PAPR を 1 カ月間連続して装着して業務を行ってもらい、1 カ月終了後に被験者に対して呼吸用保護具装着の使用感に関する調査票を実施した。

#### ⑤ 電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の着用直後と 4 週間後の装における相違の検討

通常防じんマスクと PAPR 装着によるマスクのもれ率を測定するとともに、PAPR を初めて着用して 3 時間後と 4 週間継続して着用した後での PAPR の装着に関するアンケート調査を行なった。対象は黒鉛等を製造している作業員 14 名と耐火物粉砕等作業を行っている 14 名でいずれも常時粉じん作業を行っており、防じんマスクを着用している作業員であった。両作業場の各 2 名では個人サンプラーを用いて、個人の吸入粉じん濃度（総・吸入性粉じん濃度）を測定した。個人ばく露濃度とマスクのもれ率から作業員の吸入粉じん濃度（総・吸入性粉じん濃度）を換算した。

### C 研究成果

#### ① 冷風装置付き電動ファン付き呼吸用保護具（PAPR）による身体負荷軽減効果の検討

全被験者のマスク内温度の平均は、冷風 PAPR を使用した条件では、それ以外の条件と比較して、10℃ほど低く保たれた。全被験者の直腸温差分の平均は、冷風 PAPR を使用した条件では、それ以外の条件と比較して、運動開始以降は低く保たれた。全被験者の食道温差分の平均と心拍数の平均は、冷風 PAPR を使用した条件とそれ以外の条件とで、明らかな差はないように見受けられた。各測定条件における体重減少率は、冷風 PAPR を使用した条件では、それ以外の条件と比較して、低かった。

#### ② 電動ファン付き呼吸用保護具装着による呼吸器負担への影響の検討

安静時(0～9分)の平均消費エネルギー量(標準偏差)は DM92.0(26.6)W, PAPR86.5(29.4)W

であった。運動時は運動開始直後のデータを除いた 12 分～30 分のデータにおいて、平均消費エネルギー（標準偏差）は DM441.5(47.3)W, PAPR414.6(50.4)W であった。PAPR は DM と比較して消費エネルギー量が少ない可能性が示唆された。

### ③ ウェアラブル粉じん計を用いた職場環境の評価

第一実験では、ウェアラブルパーティクルモニターの信頼性・妥当性検証を行い、その有用性を検討すること、第二実験では、ウェアラブルパーティクルモニターを、実際の粉じん発生職場環境で使い、取得したデータから職場の粉じん濃度が高い場所の特定が可能かを調査することをを行った。

第一実験では、ウェアラブルパーティクルモニターは物質の種類や粒形にかかわらず、同一の質量濃度係数 K 値を使用しているため、粒子数 (CPM) との整合性は保たれていたが、質量濃度との整合性は良くなかった。各ウェアラブルパーティクルモニターの測定値の挙動は同様の傾向があったが、機器間で測定値の乖離を認めた。

第二実験では、ウェアラブルパーティクルモニターを、実際の粉じん発生職場環境で使い、取得したデータから職場の粉じん濃度が高い場所の特定が可能かを調査した。現地調査の結果から、屋外粉じん発生職場の測定ルートとウェアラブルパーティクルモニターによる粉じん測定値の推移を Microsoft excel を用いてヒートマップ化し、粉じん濃度が高濃度と予想される場所でのモニターによる測定結果との相関性をグラフィカルに確認することができた。

### ④ 現場での電動ファン付き呼吸用保護具装着の使用感に関する調査

2020 年 2 月末日現在、株式会社テツゲン君津支店内における 1 回目調査までが終了した。事前調査と比較して装着後に使用感が上昇していた項目は、吸気時・呼気時の息苦しきであり、逆に減少していた項目は、保護具の重さと装着感であった。また自覚症状について 1 回目調査時に比較的訴えの多い項目は、装着時のイライラ、不安感、落ち着かない感じ、であった。

### ⑤ 電動ファン付き防じんマスク (PAPR) の着用直後と 4 週間後の装着における相違の検討

対象者は男性 27 名で、年齢の中央値は 45.5 歳であった。1 日の作業時間は平均 7 時間で、粉砕、粉詰出等の粉じん量の多い作業で、作業年数は 15 年であった。測定の結果、通常防じんマスクのもれ率は 17.57%, PAPR は 0.36% であった。耐火物粉砕等事業場では正しい装着方法の指導を受けていたこともあり、通常防じんマスクのもれ率が 12.7% であった。しかし、通常防じんマスクのもれ率が 19.32% ある場合、個人ばく露濃度測定結果を基に吸入粉じん量を換算すると 0.25mg/m<sup>3</sup> となり、許容濃度を超えるが、PAPR では 0.00006mg/m<sup>3</sup> であった。

また、PAPR を着用して開始後 3 時間と 4 週間の装着感についてアンケート調査したところ、

大きさや重さなどのデメリットもあったが、呼吸が楽で粉じんを吸入しないなどのメリットにより 80%を超える作業者が、着用直後のみならず 4 週間後であっても着用したいという回答であった。特に通常防じんマスクのもれ率が少なかった作業場でも大多数の作業者が PAPR を着用したいという回答であった。

#### D 結論

- 1) PAPR 装着時に冷却した呼気を導入すると、装着者の直腸温を下げる効果が期待できること、PAPR 装着により従来のマスクに比較して装着者の代謝への影響が少ない可能性があるという結果を得た。このことは、高齢者や呼吸器疾患を背景に持つ作業者に PAPR を装着させた場合のメリットとなり得ると思われた。
- 2) ウェアラブル粉じんモニター装着により、リアルタイムでの粉じん曝露濃度予測や、作業環境濃度推測に有用である可能性があること、
- 3) 現地調査によるマスクの漏れ率については、PAPR 着用により従来のマスク漏れ率が低減されること、装着感に対するアンケート調査では対象者すべてが PAPR 着用により呼吸が楽であると回答しており、PAPR 着用に対して良い感触が得られた、などの結果が明らかになった。

#### E 今後の展望

計画最終年度の 2020 年度は、現地調査としては、PAPR を粉じん作業従事者に比較的長期間貸与し、PAPR の長期着用に関する以下の調査を行う予定である。

- 1) 様々な作業における PAPR の漏れ率調査。(前年度までの調査研究の継続)
- 2) PAPR 長期使用による使用感・使用実態に関する質問票を基本とした調査。
- 3) 本研究班で開発したウェアラブル粉じん計を用いた粉じん作業中曝露実態の調査と粉じん計の精度改良とバージョンアップ。さらに可能であれば健診結果による健康状態との関係解析。
- 4) 教育ツールの作成：粉じん作業場での PAPR を含む呼吸用保護具の装着率および装着性向上のために、教育用ツールを作成する。

さらに、平成 30 年(2018 年)度～令和 2 年(2020 年)度の結果のまとめを行い、将来的かつ持続的に可能なじん肺対策における PAPR を含む呼吸用保護具の活用についての政策提言をまとめる。