

溶接作業者の溶接ヒュームばく露（個人ばく露と生体内ばく露）と健康影響の関する疫学的研究

研究代表者 辻 真弓 産業医科大学 医学部 衛生学 教授

研究年度 R4 (2022) 年

研究目的

一般的に溶接ヒュームに多く含有される化学組成は鉄、ケイ素、マンガンの酸化物であり、その他、アルミニウム、カドミウム、クロム、チタン、鉛、ニッケル等、様々な物質が含まれている。溶接ヒュームは、発がん性 (IARC グループ1)、神経機能障害、呼吸器系障害などの有害性が知られている。しかしながら日本において溶接ヒューム作業に従事する労働者の生体試料を用いた疫学研究は行われていない。したがって本研究の目的は、溶接ヒュームばく露の健康影響と環境中溶接ヒューム濃度並びに生体試料中の溶接ヒューム関連化学物質濃度の関係を明らかにすることである。

研究方法

令和2年度のパイロット調査および令和3年度の本調査から得られた知見を基に、全国3か所 (H, I, J) の事業所にて本調査を行った。前年度未報告分の事業所Gを含めた4事業所の対象者は、溶接作業従事者44名、溶接作業非従事者 (コントロール群) 62名であった。各事業所で下記の項目を調査した。

調査項目：質問票調査、呼吸機能検査、神経学的検査、生体試料 (血液・尿) の採取、個人サンプラーを用いた粉じん、マンガン濃度の測定およびマスクフィットテスト (溶接作業従事者を対象)、ヒト肌測定試験 (事業所H, I)、粉じんの作業環境測定 (H, Iは未測定)

採取した生体試料を用いて、血中・尿中の5種の金属濃度 (カドミウム、ニッケル、マンガン、クロム、および鉛)、11種の血清サイトカイン (IL-1 β 、IFN- α 2、IFN- γ 、TNF- α 、IL-6、IL-10、IL-12p70、IL-17A、IL-18、IL-23、IL-3) と、12種の血清ケモカイン (IL-8、CCL2、CCL3、CCL4、CCL11、CCL17、CCL20、CXCL1、CXCL5、CXCL9、CXCL10、CXCL11) を測定した。測定結果を用いて、溶接作業従事者と溶接作業非従事者、マスクフィットテスト合格者と不合格者の比較を行った。

肌測定結果については、工場非関連者と対象者のデータを比較した。また、バリア機能を評価できるケラチノサイト細胞を多層化させた再構築三次元表皮モデルに工場内と同様のPM2.5をばく露し、溶接作業従事者の肌状態を再現して肌影響の検討を行った。

研究成果

事業所ごとに作業・作業環境 (作業環境測定・個人ばく露濃度測定結果) が異なっていた (H, Iは未測定)。吸入性マンガン (時間加重平均濃度) 0.05 mg/m³以上の割合は、事業所Gは81.3% (16名中13名)、事業所Hは100% (10名全員)、事業所Iは87.5% (16名中14名)、事業所Jは0% (2

名中 0 名)であった。マスクフィットテスト 1 回目 PASS 割合は、事業所 G は 62.5% (16 名中 10 名)、事業所 H は 60.0% (10 名中 6 名)、事業所 I は 75.0% (16 名中 12 名)、事業所 J は 50% (2 名中 1 名)であった。質問票、呼吸機能検査、神経学的検査の溶接作業従事者と溶接非作業従事者の比較を行ったところ、事業所 H で溶接作業従事者の WAIS-IV のワーキングメモリー値が有意に低く ($p < 0.005$)、事業所 I で、溶接作業従事者のタッピング回数が有意に少なかった ($p < 0.005$)。事業所によって異なるものの、溶接作業従事者の神経学的機能が低下している可能性が示唆された。

溶接作業非従事者と比べて、溶接作業従事者では血中の Mn と Pb 濃度、尿中の Cd と Cr 濃度が高い値を示し、事業所と喫煙習慣を考慮した上でも、溶接作業従事者では高いことが示された。また、溶接作業従事者において、マスクフィットテスト不合格者と合格者の金属濃度の比較を行った結果、不合格者は血中 Mn 濃度が有意に高い結果を示しており、保護具を正しく装着することによるヒュームばく露の予防効果が確認された。

溶接作業非従事者の IL-1 β 、TNF α 、IL-10、IL-12p70、IL-17A および IL-33 の血清中濃度は、すべて溶接作業従事者のそれと比較して高いという結果が得られた。

工場非関連者と比較して工場関連者の頸部の明るさが低く赤みが強かった。これは、工場内および付近で大気中に滞留している溶接ヒュームおよび PM2.5 がメラニンを経した肌の色へ影響を与えている可能性が考えられた。弾力性については、表皮層では、工場非関連者と比較して硬いゴムのような肌状態であり、真皮層では弾力が無く伸びきった風船のような状態であることがわかった。また、表皮モデルを用いた DNA アレイ解析で遺伝子変動を認めた MMP-ファミリーは、コラーゲン分解酵素である。このことから、ヒュームばく露により、MMP 発現量の誘導を経した真皮コラーゲンの量の減少やハリ・弾力が低下することが示唆された。

結論

溶接作業非従事者と比較して、溶接作業従事者において、血中 Mn と Pb、尿中 Mn と Cr 濃度が高かった。さらに、溶接作業従事者のうち、マスクフィットテスト不合格者の血中 Mn 濃度は合格者に比べて有意に高かった。また、溶接作業非従事者の血清サイトカイン値は、溶接作業従事者と比較して有意に高値であった。以上より、溶接作業従事者が正しく保護具を着用することの重要性および、溶接作業非従事者の二次ばく露の影響についても今後詳細に調べる必要があることが示唆された。

いくつかの事業所では溶接作業従事者において、WAIS-IV のワーキングメモリー低値、タッピング回数低値を認めた。事業所ごとの作業・作業環境（作業環境測定・個人ばく露濃度測定結果・マスクの着用状況（フィットテスト結果を含む））の違い、個人の背景因子の違いを十分に考慮した上で更なる溶接ヒュームばく露と健康影響の関係を検討する必要があると考えられた。

今後の展望

令和 3 年 4 月 1 日より「溶接ヒューム」が特定化学物質（第 2 類物質）に加えられ、令和 5 年 4 月 1 日から、金属アーク溶接等作業を継続して行う屋内作業場で面体を有する呼吸用保護具を使用させる場合、溶接作業従事者に、1 年以内に 1 回、マスクフィットテストを行い、呼吸用保護具を適切に装着できていることを確認することが義務付けられた。

本研究により、溶接作業従事者の健康影響の可能性および、適切に保護具を着用する事の重要性が示唆された。今回得られた知見が、溶接現場における作業環境管理、作業管理、健康管理の推進の一助として活用されることを期待する。