

令和4年度厚生労働行政推進調査事業費補助金
(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)
分担研究報告書

紙巻たばこの加熱式喫煙における主流煙中の水銀に関する研究

分担研究者 杉田 和俊 麻布大学獣医学部

分担研究者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院

研究要旨

近年、加熱式たばこは若い世代を中心に使用され、20～30代の男性で40%、女性で50%に達している。しかし、2013年に販売されてからまだ10年足らずのため、加熱式たばこによる健康影響は不明な点が多く、更なる科学的根拠の蓄積が必要である。さらに、最近では紙巻たばこを加熱して喫煙ができるデバイスも販売され、今までとは異なる紙巻たばこの喫煙形態が追加された。そこで、本年度は、この紙巻たばこを加熱式として喫煙できる喫煙デバイスを用いて、標準タバコ(3R4F)から発生する水銀について測定した。

本研究では加熱式デバイス7種類、そのうち6種類については加熱温度の調整が可能であったことから、最高温度(H)及び最低温度(L)の設定条件で、HCI (Health Canada Intense)に準じた機械式喫煙法で発生した水銀を測定した。その結果、発生した水銀量は1回あたり平均2.6ng (0.7～5.3ng/cig)であり、加熱式たばこ同等のレベルであった。また、主流煙中の水銀量と加熱温度関係については、明確な関係は認められず、温度条件やデバイスの構造など詳細な検討が望まれた。主流煙中の水銀量から、紙巻たばこの加熱式喫煙で1日でおおよそ50ngの水銀を曝露することが推定された。

A. 研究目的

健康増進法が2020年4月に改定され、受動喫煙対策が強化された結果として、加熱式たばこが20～30歳代の若年層を中心に広がっている。加熱式たばこは、たばこ葉を燃焼させないことから、有害成分の発生量が少ないと言われる一方で、発生する有害成分の種類は差がないとも言われている。このように、加熱式たばこは紙巻たばこに比べ販売等の歴史が浅いことから、加熱式たばこの受動喫煙による将来的な健康影響は不明な点も多く、更なる科学的根拠の蓄積が必要とされている。加熱式たばこは、2013年以降に日本国内での販売が開始され、約10年が経過したが、すでに喫煙者において20%を超えるシェアを占めるようになり、様々なフレーバーが揃えられ、たばこの新製品も続々と

発表されている。加えて、最近では従来の紙巻たばこで加熱式喫煙を可能にするデバイスも発売され、喫煙方法の多様化が加速している。他方、水銀は、日本では水俣病に代表される有機水銀汚染、世界では金鉱山や金属製錬などに伴う無機水銀汚染などが報告されており、未だに世界では代表的な環境汚染物質である。水銀の発がん性は報告されていないものの、メチル水銀では神経毒性による健康影響が、水銀蒸気の場合では、主に腎臓に蓄積するとともに血液-脳関門を通過し脳内に運ばれ、その結果として胸の痛み、呼吸困難、咳、咯血を続発し、間質系肺炎の引き起こすことが報告されている。たばこ主流煙中の水銀は蒸気として吸引されるため、上記の影響が考えられる。そこで、喫煙による有害影響の研究の一環として、加熱式た

ばこの喫煙による水銀曝露量を推定することを目的として、紙巻たばこを用いた加熱式喫煙による主流煙中に含有される水銀を測定した。

B. 研究方法

1. 使用した紙巻たばこ及び加熱デバイス

分析に供したたばこは国際的に用いられている標準タバコ 3R4F (Research cigarettes, University of Kentucky)として、加熱デバイスは7種類とした。7種類のうち6種類で温度調節が可能であり、4種類がたばこを挿入する挿入方式、3種類がたばこ葉を充填する充填方式であった。

2. 主流煙中水銀の捕集及び前処理

たばこ主流煙中の水銀は、水銀マニュアル（環境省）を若干変更し、0.6%過マンガン酸カリウム（試薬特級 富士フィルム 和光純薬株式会社）水溶液と硫酸水溶液（有害金属測定用 富士フィルム和光純薬工業株式会社）(1+15)を等量今後したものを吸収液とし、その15mlをインピンジャー2本に入れ直列に連結し、HClモードで機械喫煙により発生したタバコ3本分の主流煙を捕集した。捕集後、過マンガン酸カリウム溶液を加えながら、ホットプレート上で過マンガンカリウムの紫色が消えなくなるまで加熱処理を行なった。水銀を測定する直前に10%ヒドロキシルアミン塩酸塩（試薬特級 和光純薬工業）溶液を添加し、過マンガン酸カリウム溶液の紫色を脱色し、水銀測定試料とした。

標準たばこ(3R4F)の葉に含有される水銀は水銀マニュアル（環境省）に若干の変更を加えた。すなわち、肉厚のメスフラスコ(50mL)に試料約0.5gを計り取り、水、硝酸（電子工業用 含有率61% 関東化学株式会社製）-過塩素酸（有害金属測定用特級試薬 60% ナカライテスク株式会社製）を等量混合したものと硫酸

（有害金属測定用 富士フィルム和光純薬工業株式会社）を加え、ホットプレート上で1時間の加熱分解を行った。冷却後、水を加え50mLに定容し、水銀測定用試料とした。

水銀の測定は、水銀測定用試料20mLをガラス製測定容器に入れ、硫酸（富士フィルム和光純薬株式会社、有害金属測定用）(1+1)1mL及び10%塩化すず（塩化すず(II)二水和物、富士フィルム和光純薬株式会社、有害金属測定用）水溶液1mLを添加し、発生したHg蒸気を空气中セルに導き吸光度を測定した。水銀の吸光度測定はMercury Analyzer HG400（平沼産業株式会社）を用いた。水銀の定量には水銀標準試薬（Hg 100, 富士フィルム和光純薬株式会社）を適宜希釈して用いた。

C. 研究成果

1. 紙巻たばこの加熱式喫煙における主流煙中水銀含有量

標準たばこの水銀含有量は平均で 15.4 ± 0.84 ng/g、1本あたりの水銀含有量は 11.4 ± 0.62 ngとなった。この含有量は昨年度の報告にある外国産タバコでは1本あたり10ng程度の含有量とほぼ一致していた。

この標準たばこを各喫煙デバイスで加熱し、HClによる喫煙方法で得られた主流煙中の水銀含有量を測定した。その結果をFigure 1に示す。喫煙デバイスのうち温度調節ができるもの6種類については、加熱温度の設定は最低温度と最高温度に設定し、試料採取時に加熱部の温度を測定した。加熱デバイスによっては温度計が挿入できないものもあり、その場合は試料採取とは別に加熱温度を測定した。Table 1に温度設定と実測温度を記載した。また、試料A, B, C, Dは紙巻たばこを加熱デバイスにそのまま挿入する方式（挿入方式）であり、試料E, F, Gはたばこ葉0.2gを加熱デバイス内に充填する方式（充填方式）であった。

まず、1回(1本)当たりの主流煙中水銀量の全平均は 2.6 ± 1.4 ng/cig、最高 5.3 ng/cig、最低が 0.7 ng/cigであり、加熱デバイスおよび加熱温度条件で異なることが認められた。今回試験に用いた加熱デバイスは、挿入方式と充填方式があり、充填方式ではたばこ葉 0.2 gを充填した。主流煙中の水銀含有量はそれぞれ 3.1 ± 1.5 ng/cig及び 1.9 ± 1.0 ng/cigと、挿入方式で水銀含有量が高いものの有意な差は認められなかった。次に設定温度による水銀量を比較した(Table 1)。Table 1の設定温度の低温(L)と高温(H)で水銀の含有量比(L/H)を比較したところ、挿入方式では3種類の加熱デバイスで1より大きく、低温設定における水銀が高い含有量であった。一方、計取方式ではE及びFの加熱デバイスで含有量比が 0.34 と 0.22 と1より小さく、高温設定における水銀含有量が高い結果となった。この2種類の測取方式での加熱温度はEでは 169°C (低温)と 218°C (高温)、Fでは 146°C (低温)と 224°C (高温)であり、低温設定では 170°C 以下、高温設定では 200°C 以上であった。もう1つの測取式のGでは低温が 190°C 、高温で 203°C と他の2つに比べると温度差が小さく低温設定時の温度も高かった。

D. 考察

本研究結果から紙巻たばこの加熱式喫煙による主流煙中の水銀は1回の喫煙(1本分)で約 2.6 ngであった。挿入方式と充填方式ではたばこ葉量は異なるものの、主流煙中の水銀量には有意な差は認められなかったことは、加熱デバイスの加熱部付近に当たるたばこ葉から水銀が気化したことが示唆された。また、本件等で用いた加熱デバイスの温度調整範囲では加熱温度による主流煙中の水銀量に大きな差が認められなかったが、 180°C より低い温度では主流煙中の水銀量は少ない傾向も認められ、加熱温度により主流煙中の水銀量が大きく変化

することが考えられる。一方、加熱デバイスAでは加熱温度が 142°C であったにもかかわらず、本検討では最も高い 5.3 ng/cigであった。Aは挿入方式であり、他の加熱温度が低かった加熱デバイスと加熱方式や加熱範囲など構造などの詳細な比較が必要であると考えられる。水銀の蒸気圧は 0.16 Pa(20°C)、大気中の飽和濃度はおよそ 15 mg/m³(20°C)と非常に気化しやすい性質である(WHO 環境保健クライテリア 118 1991)。大気中の水銀はほとんどが経気道曝露と考えられており、一般環境では大気経由の水銀曝露量は大人で平均 0.66 ng/kg-BW/dayと報告されている。体重 60 kgの人では、約 40 ng/dayの水銀を経気道曝露していると推定される。通常の紙巻たばこの喫煙方法よりも少ないとはいえ加熱式喫煙で一箱分、20本の喫煙を行うと 50 ng/dayを超えており、喫煙により1日の経気道曝露量を超過することが推定された。

E. 結論

本研究では紙巻たばこを用いた加熱式喫煙による主流煙中の水銀含有量を7種類の加熱デバイスで2種類(低温、高温)の条件で測定した。その結果、主流煙中の水銀は1回(1本)の喫煙で 2.6 ± 1.4 ngであり、加熱温度による発生量の有意な差は認められなかった。また、挿入方式と充填方式においても有意な差は認められなかった。この喫煙により1日約 50 ng(20本相当の喫煙本数)の水銀が暴露されることが推定された。

F. 健康危険情報

G. 研究発表

1. 論文発表

Keisuke Sugimoto, Kazutoshi Sugita, Kensuke Orito and Yoko Fujii, Repeated-Dose Pharmacodynamics of Pimobendan in Healthy Cats. *Animals*, 12, 981, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12080981>.

特になし

Kyoko Noda, Yuki Hirakawa, Tomomi Nishino, Ritsuto Sekizuka, Marin Kishimoto, Tomohiro Furukawa, Sakiko Sawane, Ayu Matsunaga, Naoki Kobayashi, Kazutoshi Sugita, Kenji Oonaka, Hiroko Kawakami, Yuji Otsuka, Tetsuya Yamamoto, Toshihiro Yamamoto, Taku Yoshiya, Maiko Watanabe, Machiko Saka, Keiko Momma, Masayo Kushiro and Shiro Miyake, Preparation of Monoclonal Antibodies Specifically Reacting with the Trichothecene Mycotoxins Nivalenol and 15-Acetylnivalenol via the Introduction of a Linker Molecule into Its C-15 Position. *Toxins*, 14, 747, 2022. <https://doi.org/10.3390/toxins14110747>.

2. 学会発表

杉田和俊, 小林 寛, 稲葉洋平, P-82 加熱式タバコの水銀含有量. 一般社団法人日本環境化学会 第30回環境化学討論会 (2022).

杉田和俊, 丸山美優, 小野史礼, 高木敬彦, P-83 塩素処理土壌中の変異原性物質の検索. 一般社団法人日本環境化学会 第30回環境化学討論会 (2022)

山田茉莉子, 杉田和俊, F2P-15 肝疾患犬および健康犬の血漿中アミノ酸濃度測定. 土壌の塩素処理に伴う変異原性挙動の変化. 公益財団法人日本獣医学会 第165回日本獣医学会学術集会 (2022).

吉田重裕, 杉田和俊, F2P-19 犬の口臭測定. 公益財団法人日本獣医学会 第165回日本獣医学会学術集会 (2022).

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他

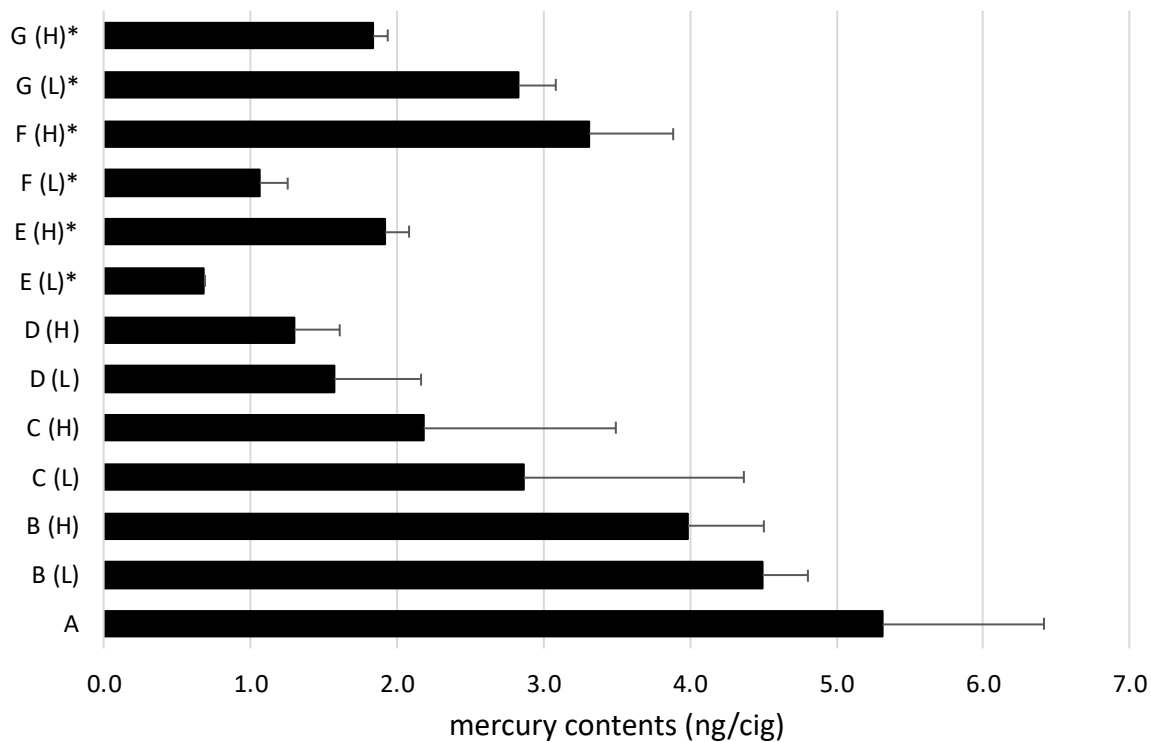


Figure 1 mercury contents in mainstream smoke

Table 1 Mercury concentration in cigarette mainstream smoke

specimen	Filling type	Temp. setting	Measured temp.(°C)	Hg concentration (ng/cig)	SD (ng/cig)	RSD (%)	transfer rate (%)	Conc. Ratio L/H
A	1 peace	–	142	5.3	1.1	20.6	46.5	–
B	1 peace	L	233	4.5	0.3	6.8	39.4	1.13
		H	264	4.0	0.5	13.1	34.9	
C	1 peace	L	310	2.9	1.5	52.7	25.0	1.31
		H	317	2.2	1.3	59.9	19.1	
D	1 peace	L	199	1.6	0.6	38.2	13.7	1.21
		H	220	1.3	0.3	23.9	11.4	
E	0.2g	L	169	0.7	0.0	0.9	21.9	0.34
		H	218	1.9	0.2	8.7	62.0	
F	0.2g	L (160°C)	146	1.1	0.2	17.9	34.3	0.22
		H (240°C)	223	3.3	0.6	17.1	107.3	
G	0.2g	L (199°C)	190	2.8	0.3	9.0	91.6	1.47
		H (216°C)	203	1.8	0.1	5.5	59.4	