

## 臨床および実験報告

## 家庭内での金属水銀汚染についての検討

叶 恵娟 勝又 聖夫 南 正康

日本医科大学衛生学公衆衛生学教室

A Study of Metallic Mercury Polluting a Room After Being Spilled  
from a Sphygmomanometer

Huijuan Ye, Masao Katsumata and Masayasu Minami

Department of Hygiene and Public Health, Nippon Medical School

## Abstract

Mercury spilled from a mercurial sphygmomanometer on a hot carpet can vaporize and pollute the environment. We observed the vaporization of mercury in model experiments. Mercury (0.15 g) was heated on a hot carpet and the near-by air was sampled with a midjet impinger. The evaporated mercury levels were 5.0, 6.3, 8.1 and 10.0 mg/m<sup>3</sup> at 20, 40, 60 and 80 minutes, respectively at a height of 30cm from carpet. The result indicated that even if a small quantity of mercury remained on the hot carpet, it could evaporate and pollute the indoor air. Little is known about the influence on human health of low mercury exposure, especially on children. In order not to pollute the air, we need to pay attention to mercury (J Nippon Med Sch 2000; 67: 375-379)

Key words: metallic mercury, sphygmomanometer, hot carpet

## 緒言

水銀化合物には有機水銀化合物, 無機水銀化合物および普通の金属水銀(Hg<sup>0</sup>)がある。いずれも人体に有害作用をもっている。職業性水銀中毒例は多く報告されているが<sup>1-5</sup>, 家庭内での水銀中毒例も少なくない(Table 1)<sup>6-11</sup>。その起因を追求すると, 水銀取り扱い場所がヒトの住居に変わったため, そこに残した水銀が中毒を起こした例, あるいは水銀取扱いの間違いで, 気化した水銀蒸気が室内空気を汚染し, ヒトの肺胞に吸収され障害をもたらした例であった。現代の日常生活の中に, 水銀と関連のある製品は, 蛍光灯, 乾電池, 温度計および血圧計など多くある。中でも水銀血圧計は指示部の内径3mmのもので, 水銀約50gが含まれ, 内径5mmのものが, 水銀約120gを含有している。これらの用品を誤って取り扱おうと, 家庭内での空気が水銀に汚染される。今回, 我々が経験した例は家

庭室内で水銀血圧計を過って操作し, 水銀を加温中のホットカーペットにこぼした事例である。ただ, この例では実際の水銀汚染状況が不明なので, 我々はこの家庭での汚染状況を再現するために, 金属水銀が加温中のホットカーペットの影響で, 水銀蒸気を気中にどのくらい発散するかを実験し, 水銀の室内空気汚染状況と生体への影響を観察した。

## 研究対象と方法

ある主婦, 夕方居間で血圧測定中, 金属水銀を加温中のホットカーペットにこぼした。すぐに水銀を血圧計に戻したが, 2時間後, ホットカーペットに水銀を残っていたことに気づき, 電気掃除機で掃除をした(その時部屋の換気状況は不明)。その後, その部屋でテレビを見て, 就寝した。水銀をこぼした約6時間後, 頭痛, めまいが出現した。特に頭の位置を動かすとめまいが増強した。翌日(水銀をこぼした後約12時間), 原因精査するため入院した。心肺, 神経系などの検査および臨床検査に異常は認められなかった。症状が改

Table 1 Domestic metallic mercury poisoning cited the reports

No.	Age	Exposed term	Hg conc. in air( mg/m <sup>3</sup> )	Clinical findings	Others	The data from citing paper
1	teenage	1 week	0.15 ~ 1.0	intermittent abdominal	mercury were spilled	Sexton DJ et al. Arch
2	teenage			cramps, vague sense	on the carpet ( bedroom-	Environ Health 1978 ;
3	teenage		0.02	of restlessness	ms )	33 ( 4 ) : 186 91
4	18month-old	1 month	0.010 ~ 0.012 0.3( near floor )	pink disease	the house had used for Hg relative plant	Curtis HA et al. Arch Dis Child 1987 ; 62( 3 ) : 293 5
5	8month-old	hours	?	respiratory, renal and hepatic dysfunction	mercury were heated on the kitchen stove.	Jeffe KM et al. Am J Dis Child 1983;137( 8 ) : 749 51
6	3year-old			dyspnea ( within hours	No.5 spent considerable	
7	28year-old			No. 6, 7 and 8 improved	time crawling on the	
8	24year-old			spontaneously )	kitchen floor.	
9	14year-old	days	0.02 ~ 0.15	rash, hands, feet pain	mercury spilt onto the	McNeil NI et al. Lancet
10	38year-old	hours		rash, swelling of legs	furnitures and carpets	1984;1 ( 8371 ) :269 71
11	7month-old	hours	?	died ( 7th )	a metal presumed	Moutinho ME et al. Am
12	3.5year-old			fever, vomiting,	were on the stove.	J Dis Child 1981;135
13	No. 11 's father			dyspnea	No.11 were played in the kitchen.	( 1 ) ;42 4
14	67year-old	3 hours	?	died ( 7th )	Hg picked up from brea	Jaeger A et al. Vet Hum
15	77year-old			died ( 7th )	king thermometer wer	Toxicol 1979;21supple ;
16	38year-old			fever, chest pain, rash	e put on stove.	62 3

善されたため4日目に退院した。水銀被曝が疑われたので、この家族の血液、尿および毛髪に水銀の測定を行った。水銀に汚染されたホットカーペットは事件の次の日に廃棄した。

#### (1) 生体試料の水銀測定

生体試料は患者およびこの家族の血液、尿、毛髪である。毛髪は先端と根元を分けて水銀を測定した。

毛髪の洗浄および前処理：毛髪を洗浄剤(0.5% ポリオキシエチレンモノラウリルエーテル)に入れ、超音波と、精製水で洗った後、乾燥させ、毛髪を1~2mmの長さに切った。洗浄済毛髪の一定量に45% NaOH+1% 塩酸システイン溶液を2ml加え、50~90min間incubationした。これにn オクチルアルコールを2~3滴加え、ホモジナイズし、最終量5mlに調整した。水銀の測定は、Magos'法の改良法<sup>12</sup>を行った。その手順はサンプルに1% 塩酸システイン1ml, 16NのH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>3mlを加え、還元剤1ml, 45% NaOH6mlを注入した後、1min反応させ、平沼水銀濃度計(Model HG-1)で水銀を測定した。

我々が用いた生体試料は被曝直後のものでなく、全て被曝から1カ月のものである。被曝から1カ月以内の生体試料はエスアルエルで測定された。測定方法は加熱気化-金アマルガム法であった。

#### (2) ホットカーペット上の水銀気化実験

今回のケースは、水銀を加温中のホットカーペット

に落とし、水銀を掃除した後、そのままホットカーペットの横に布団をしき就寝したことで、水銀の特徴および枕から水銀までの距離のみを考慮して、体積71.5×56×37cmの空室内で水銀蒸気を発生させた。金属水銀約0.15gを加温中のホットカーペット(30 )に放置し、5, 10, 15, 20, 40, 60 および80minのそれぞれの時間に空気サンプルを採って水銀を測定した。採取方法は、ミニポンプを用いて、流量0.4~0.5L/minで、曝露室から空気サンプルを吸引し、インピンジャー中の吸収液(以下に詳述)に吸着させた。試料採取場所はカーペットから30cmの高さであった。また、内壁に貼ったビニールへの気化した水銀の付着を見るため、曝露用空室内壁にビニールを貼った時と貼っていない時と両方の実験を行った。ビニールへの付着は、サンプリング後、ビニールの多くの部位を切断して、吸収液で洗い、付着した水銀を測定した。

#### (3) 試薬および機具の処理

水銀吸収液はKMnO<sub>4</sub>0.1gを精製水約50mlに溶かした後、硫酸(95%)5mlを徐々に加えて混合し、溶液を室温に戻した後に精製水を加えて100mlとした。還元剤は塩化第一錫25g+塩化カドミウム5g(和光純薬・有害金属測定用)を0.5NのH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液50mlに溶解した。また、塩酸システイン(関東化学)、nオクチルアルコール(関東化学)、水銀標準液(和光純薬)およびメチル水銀(メルク・ジャパン)はすべて

Table 2 Mercury content in the sample for the patient's family members (SRL)

Family member	Age	Urine (µg/l)		Blood (µg/dl)	
		after 3 wks.	after 4 days.	after 3 wks.	after 26 days.
Patient	42	5.5	2.6	2.5	2.1
Husband	48	4.9	4.2	4.8	5
Daughter	20			2.8	
Son	14	3.6		2.6	

「 - 」 means don't determine.

Table 3 Mercury content in the sample for the patient's family members

Family member	Urine (ug/l)	Blood (ug/dl)	Hair-root (ug/g)	Hair-end (ug/g)
Patient	3.2	0.7	4.2	3.0
Husband	8.8	0.9	5.9	5.0
Daughter	3.5	-	-	-
Son	1.8	-	-	-

These samples were obtained after above 1 month of the incident. 「 - 」 means don't determine.

特級あるいは原子吸光分析用試薬を用いた。すべての器具は5%硝酸で前処理した。

結果および考察

1 生体試料について

エスアールエルが測定した結果を Table 2 に示す。事件から1カ月後の生体試料の測定は Table 3 に示す。被曝者およびその家族の生体試料中の水銀値はすべて正常範囲内であった。Hurshらの研究では、短期水銀被曝の場合、血中水銀の半減期はわずか3~4日

で<sup>13</sup>、また尿中への水銀排泄は、ある程度平衡状態まで蓄積されて生ずることから<sup>14</sup>、今回の事例で血中、尿中水銀が反映されていない理由は水銀の被曝量が少ないと考えられる。

被曝者の被曝当時の症状は何もなかったが、6時間後気分が悪いという自覚症状を呈した。しかし、血中、尿中水銀濃度に異常が見られなかったことから、水銀による自覚症状とは考えにくい。気中水銀濃度 0.005~0.044 mg/m<sup>3</sup>、0.001~0.006 mg/m<sup>3</sup> および暴露なしの3群の自律神経症状調査では有訴率に差のある項目があるという報告<sup>15</sup>があるので、低濃度の被曝による影響があるのではないかと推定した。

2 水銀気化実験

加温中のホットカーペットに、水銀を落とした状態を模擬し行った実験では、水銀の気化量は最初の20分間は時間とともに濃度は直線的に上昇したが (Fig. 1)、一定時間を過ぎると、時間当たりの水銀気化量は減少した。これは気化した水銀が室内の壁に付着したのではないかと考えて、室内の内側に貼ったビニールを採って付着した水銀を測定した。それは 0.016 µg/m<sup>2</sup>

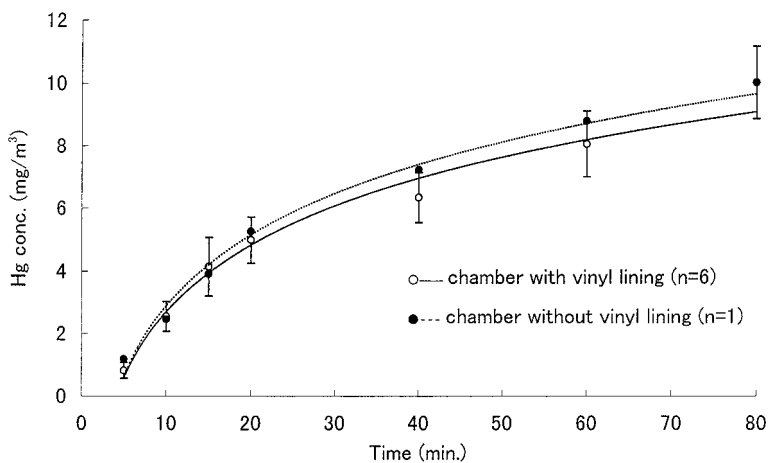


Fig. 1 The concentration of evaporated mercury in a small chamber (71.5 x 56 x 37 cm) lined with (mean ± SD) or without vinyl chloride sheet. Mercury of 0.15 g was put on a hot carpet (30 °C) and the air in the chamber sampled at 5, 10, 15, 20, 40, 60 and 80 min. and assayed the evaporated mercury in the air.

であった。また、曝露室内にビニールを貼っていない状況下でも実験を試みたが (Fig. 1), 時間濃度曲線はビニールを貼っていた実験と同様に20分を過ぎると直線的に上昇せずプラトーになった。それは水銀がビニールかあるいはカーペットに付着したと考えられる。また、ホットカーペットから5 cmの高さで各時間帯にとった試料を測定したが、20 min (サンプリング5 min) 時, 40 min (サンプリング20 min) 時, 60 min (サンプリング20 min) 時および80 min (サンプリング20 min) 時の水銀値はそれぞれ9.30, 12.48, 16.28 および17.00 mg/m<sup>3</sup> と高かった。

今回の実験結果を参考にして、仮に13 m<sup>2</sup>の広さ、天井まで2.5 mの高さとする部屋でこのような出来事が生じた場合、微量水銀がホットカーペットに加熱され、どのぐらいの水銀がヒトに吸い込まれるかを推測した。時間を5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 40 min および60 min 分けて、汚染されたカーペットから蒸気水銀を部屋に拡散し、ヒトの安静状態での呼吸数を15回/min, 分時肺胞換気量は5.25 L/min にし、経気道吸入した水銀総量の70%は肺に残存する<sup>16</sup>と計算した場合、最初1時間で約5.30 μgの水銀がヒトの肺に吸い込まれる。水銀の比重は重く、広汎には拡散しないため、もし、気づかずカーペット上に水銀汚染源の近いところに寝たり、子供が遊んだりするならば、吸い込んだ水銀はより多いと考えられる。

実際、Table 1 に示した家庭内での水銀中毒ケースでは、子供への被害は最も深刻である。水銀を床に、特にカーペットにこぼした場合、掃除しきれず、残された微量の水銀がホットカーペットの加温でかなりの水銀蒸気を発生し、カーペット上の低い位置での遊びがちな子供達にとって水銀被曝の危険性を一層増強させる。Curtisら<sup>7</sup>のケースでは、室内気中水銀濃度は0.010~0.012 mg/m<sup>3</sup>であったが、子供がよくはう床からの1.5 mの気中水銀濃度は0.30 mg/m<sup>3</sup>であった。両親は自覚症状がなく、尿中水銀値は、それぞれ26, 72 nmol/lであったが、18カ月の子供はピンク病を発生し、尿中水銀は350 nmol/lであったと報告している。今回の我々の事例において、もし、ホットカーペットが何回も使用すると、水銀による室内空気の汚染は避けられない、特に子供への影響はより大きいと思われる。

低濃度水銀蒸気に曝露された場合、ある時間が経つと、行動異常や<sup>17</sup>染色体の異常性の増加などの報告があり<sup>18</sup>、また妊娠後期のモルモットに水銀蒸気を吸わせると、胎児に水銀の蓄積が見られた<sup>19</sup>。日常生活の中で何かの事故で水銀蒸気に被曝された場合、それはす

べて何らかの影響を人に与えるとはいえない、また、低濃度の場合、体内に取り込まれた水銀は次第に排出されていく。しかし、極微量の水銀の被曝により、非特異的な全身影響を及ぼすこと、あるいはある限度以上に蓄積すると、それが何らかの健康影響があると思うが、これをはっきりと把握することは現在の段階で難しいと言ってよい。今回のホットカーペットを用いた加温実験より、微量の水銀でも十分に室内の汚染源になりうるということが証明されたので、健康の影響を与える限度以下に、生活環境内の水銀レベルを低く保つため、より注意が必要、万が一金属水銀をホットカーペットに落とした場合、そのカーペットの廃棄が一番良い対策である。

## 文 献

1. 佐藤 洋: Toxicology today: 中毒から生体防御の科学. 1994; pp 71-108 金芳堂, 京都.
2. 浅野重之, 望月 衛, 蓮池美樹, 栗崎恵美子, 郡司啓文, 佐藤 洋, 衛藤光明: 急性水銀蒸気中毒症の3例検討: 臨床的・病理学的検討. 中毒研究 1996; 9: 423-426.
3. Pan SK, Imura N, Yamamura Y, Yoshida M, Suzuki T: Urinary methylmercury excretion in persons exposed to elemental mercury vapor. Tohoku J exp Med 1980; 130: 91-95.
4. Netterstrom BO, Guldager B, Heeboll J: Acute mercury intoxication examined with coordination ability and tremor. Neurotoxicology and Teratology 1996; 18(4): 505-509.
5. Koizumi A, Aoki T, Tsukada M, Naruse M, Saitoh N: Mercury, not sulphur dioxide, poisoning as cause of smelter disease in industrial plants producing sulphuric acid. Lancet 1994; 343: 1411-1412.
6. Sexton DJ, Powell KE, Liddle J, Smrek A, Smith JC, Clarkson TW: A nonoccupational outbreak of inorganic mercury vapor poisoning. Arch Environ Health 1978; 33(4): 186-191.
7. Curtis HA, Ferguson SD, Kell RL, Samuel AH: Mercury as a health hazard. Arch Dis Child 1987; 62(3): 293-295.
8. Jaffe KM, Shurtleff DB, Robertson WO: Survival after acute mercury vapor poisoning. Am J Dis Child 137(8): 749-751.
9. McNeil NI, Issler HC, Olver RE, Wrong OM: Domestic metallic mercury poisoning. Lancet 1984; 1(8371): 269-271.
10. Moutinho ME, Tompkins AL, Rowland TW, Banson BB, Jackson AH: Acute mercury vapor poisoning. Am J Dis Child 1981; 135(1): 42-44.
11. Jaeger A, Tempe JD, Haegy JM, Leroy M, Porte A, Mantz JM: Accidental acute mercury vapor poisoning. Hum Toxicol 1979; 21(Suppl): 62-63.
12. Magos L: Selective atomic-absorption determination of inorganic mercury and methylmercury in undigested biological samples. Analyst 1971; 96(149): 847-853.

- 13 . Cherian MG, Hursh JB, Clarkson TW, Allen J: Radioactive mercury distribution biological fluids and excretion in human subjects after inhalation of mercury vapor. *Arch Environ Health* 1978; 33( 3 ) 109-114.
- 14 . 中明賢二, 深堀すみ江, 多田 治: 水銀蒸気曝露に関する実験的研究. *労働科学* 1975; 51( 12 ) 705-716.
- 15 . Franco G, Malamani T, Suraci A, Tempini G, Pozzoli L, Candura F: Occupational exposure to mercury vapors below 0.05 milligrams per cubic meter in a discharge lamps plant. *G Ital Med Lav* 1981; 3( 6 ) 239-244.
- 16 . Hursh JB, Cherian MG, Clarkson TW, Vostal JJ, Mallie RV: Clearance of mercury ( Hg-197, Hg-203 ) vapor inhaled by human subjects. *Arch Environ Health* 1976; 31( 6 ) 302-309.
- 17 . Soleo L, Urbano ML, Petrera V, Ambrosi L: Effects of low exposure to inorganic mercury on psychological performance. *Br J Ind Med* 1990; 47: 105-109.
- 18 . Verschaeve L, Kirsch-Volders M, Susanne C, Groetenbriel C, Haustermans R, Lacomte A, Roossels D: Genetic damage induced by occupationally low mercury exposure. *Environ Res* 1976; 12( 3 ) 306-316.
- 19 . Yoshida M, Yamamura Y, Satoh H: Distribution of mercury in guinea pig offspring after in utero exposure to mercury vapor during late gestation. *Arch Toxicol* 1986; 58: 225-228.

( 受付 : 2000 年 4 月 26 日 )  
( 受理 : 2000 年 6 月 1 日 )