短 報

水銀暴露者の呼気中水銀量

Mercury Concentrations in Breath Samples from Workers Exposed to Mercury Vapor

呼気は肺泡と肺毛細血管との間でガス交換を行う物質の検査に対し、臨床分野では使用されている。今日では、呼気分析は体内に吸収された有機溶剤、たとえばアセトン、エタノール、二硫化炭素などの有害物の血中レベルの推定にも利用されるようになった¹⁾。

金属水銀蒸気 (Hg^0) は吸入後、約 80% が肺泡より血液中に取り込まれる²⁾。動物実験では Hg^0 は無機水銀 (In-Hg) に比べ、脳組織沈着性も高く、また呼気からの水銀排泄も多いことが証明されている³⁾。その後、Dunn ら⁴⁾ は呼気より排泄された水銀を一連の吸収剤 (ミリポア→銀→金→ホブカライト) を通すことによって、その化学形態が Hg^0 であることを確認した。しかも、この呼気中水銀は血液中に存在する Hg^0 の動態を反映すると言われている³⁻⁵⁾。本研究は水銀作業者の気中、血液中そして呼気中水銀量を測定し、呼気中水銀分析の生物学的モニタリングとしての実用的意義について考える。

調査対象および測定方法

被検者は水銀温度計および水銀体温計製造工場の男子作業員 12 名で、年齢 23~61 歳、暴露期間 2~42 年である。対照群は本学の学生および教職員で年齢 18~55 歳である。

作業環境気中水銀濃度は作業環境測定ガイドブック⁶⁾に準拠して測定した。作業者の個人別水銀暴露量は個人サンプラー法で求めた。個人サンプラー装置にはマーキュリーパッジ (SIPIN 社、アメリカ) を用いた。この装置を作業者の左胸のうゑに作業時間中装着し、8 時間時間荷重平均値を求めた。血液中無機水銀量 (In-Hg) は Magos の無機水銀、メチル水銀分別定量法⁷⁾を用いた。血液は作業前と作業後にベノジェクト真空採血管で採血した。呼気中水銀の測定には Fig. 1 のサンプリング装置を用いて呼気の採取を行った。この装置は外気からの水銀蒸気の吸入を防ぐための特殊な呼気採取マスク (重松製作所製) を使用し、排気口には内容積 10~15 l のテフロン製のダグラスバッグを採取容器として取り付けた。作業現場で作業者の呼気を採取するときは、なるべく空気の清浄な場所を選び、作業者に胸いっぱい空気を取り入れさせ、ゆっくり呼出させる。この動作を 2~3 回繰り返す。

Fig. 1. Apparatus for collection of breath samples. A : inspiratory valve, B : packing, C : cap, D : expiratory valve, E : holder, F : mercury absorber, G : valve cover, H : "Douglas" bag.

Table 1. Mercury concentrations in expired air, blood and urine in control populations (mean $\pm$ SD).

Exhalation Hg ng/l	Blood In-Hg* ng/ml	Urine In-Hg* $\mu\text{g/l}^{**}$
0.056 ± 0.020 (n=14)	5.1 ± 2.2 (n=64)	2.8 ± 1.7 (n=87)

* In-Hg: Inorganic mercury

** values corrected to specific gravity of 1.024.

かえし呼気を採取する。採取した呼気は直ちに、毎分 0.5 l の流速で金線に吸着させ、実験室に持ち帰り分析した。

結 果

Table 1 に健常者の呼気中水銀と血液中無機水銀量を示した。呼気中水銀量の平均値は 0.056 (範囲 0.030~0.088) ng/l、血液中無機水銀量の平均値は 5.1 (範囲 1.5~14.8) ng/ml で、95% 上限値は 9.5 ng/ml であった。Fig. 2 には作業環境気中水銀濃度が平均 73 (48~97) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の場所に従事する高濃度暴露者 3 名 (A~C) と気中水銀濃度が平均 33 (21~49) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である低濃度暴露者 7 名 (D~J) の個人別水銀暴露量と作業前後の呼気中そして血液中無機水銀量を示した。個人別水銀暴露量が 118~141 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった高濃度暴露者群の血液中無機水銀量について、作業前と作業後で比べてみると、両者の間に差は見られない ($p > 0.1$, t -test)。しかし呼気中水銀量は作業前の値に比べ作業後の値は 2~3 倍高値であり、水銀呼出量の増加が見られた。低濃度暴露者群では個人別水銀暴露量も 20~55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低く、作業前後で血液中無機水銀量を比較しても高濃度暴露者群と同様、暴露後には血液中無機水銀量の上昇は認められなかった。これに対して、呼気中水銀量は作業前に比べ作業後のほうが明らかに高値を示した ($p < 0.01$)。とくに

Fig. 2. Relationship of personal exposure levels to mercury levels in blood and expired air before and after work. In-Hg: inorganic mercury.

水銀暴露量が高値な作業者は作業後の水銀呼出量も増加する傾向にあった。Fig. 3 には作業者 12 名の個人別水銀暴露量と呼気中水銀増加量（作業後の値－作業前の値）との関係を示した。両者の間には相関係数 $r=0.932$ ($p<0.01$) と有意な相関関係が認められた。

考察

血流中に金属水銀 (Hg^0) が存在することは、呼気分析による間接的な測定^{3,5,8)} そして最近では、直接 Hg^0 の測定⁹⁾ によって明らかとなった。水銀作業者の呼気中水銀量は作業前に比べて作業後には増加しており、しかも水銀暴露量が高い作業者は増加する傾向があった。この結果は水銀暴露量に応じて、血流中の Hg^0 が増加することを示唆していると思われる。Hursh ら⁸⁾ はヒトでの放射性水銀を使用した暴露実験で、保持された水銀の 7% が呼気より呼出され、その半減期は 18 時間であると報告した。しかもいずれの被検者も同様な値を示し、結果に一貫性が見られたことから呼気中水銀量は最近の暴露指標として有効であろうと述べた。水銀作業者のその日の個人別水銀暴露量と呼気中水銀増加量（作業後の値－作業前の値）との関係を見ると、両者の間に有意な相関関係 ($r=0.932$, $p<0.01$) が認められ、呼気中水銀量は最近の暴露量を反映する良き生物学的指標であると思われる。

一方、血液中無機水銀量は暴露前後で比較した場合、明らかな上昇は認められない。したがって長期水銀蒸気暴露者では、偶発的な大量暴露がない限り、その日の水銀暴露が血中無機水銀レベルに急激な変動を与えるものではないと考える。

Fig. 3. Relationship between personal exposure levels and increase in mercury levels in expired air (Δ Exhalation Hg).

文献

- 1) Dubowski, K.M.: Breath analysis as a technique in clinical chemistry, *Clin. Chem.*, 20: 966-972, 1974.
- 2) Teisinger, J. and Fiserova-Bergerova, V.: Pulmonary retention and excretion of mercury vapors in man, *Ind. Med. Surg.*, 34: 580-584, 1965.
- 3) Magos, L.: Uptake of mercury by the brain, *Br. J. Ind. Med.*, 25: 315-318, 1968.
- 4) Dunn, J.D., Clarkson, T.W. and Magos, L.: Interaction of ethanol and inorganic mercury: Generation mercury vapor *in vivo*, *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 216: 19-23, 1980.
- 5) Magos, L., Clarkson, T.W. and Greenwood, R.M.: The depression of pulmonary retention of mercury vapor by ethanol—Identification of the site of action, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 26: 1-4, 1973.
- 6) 労働省安全衛生部労働衛生課: 作業環境測定ガイドブック(2)—特定化学物質・金属類—, 344-353, 中央労働災害防止協会, 東京, 1978.
- 7) Magos, L.: Selective atomic-absorption determination of inorganic mercury and methyl mercury in undigested biological samples, *Analyst*, 96: 847-857, 1971.
- 8) Hursh, J.B., Clarkson, T.W., Cherian, M.G., Vostal, J.J. and Mallei, R.V.: Clearance of mercury ($Hg-197$, $Hg-203$) vapor inhaled by human subjects, *Arch. Environ. Health*, 31: 302-309, 1976.
- 9) 佐藤 洋: 犬における水銀蒸気の代謝におよぼすエタノール投与の影響, 第 55 回日本産業衛生学会講演集, 620-621, 1982.

吉田 稔, 山村行夫, 高田英臣

聖マリアンナ医科大学公衆衛生学教室

Minoru YOSHIDA, Yukio YAMAMURA and

Hideomi TAKADA

Department of Public Health, St. Marianna University School of Medicine, 2095, Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki, 213 Japan

昭和 60 年 1 月 16 日受付

通信先: 吉田あて, Reprint requests to M. Yoshida