

原 著 論 文

吸入により二次被害を起こし得る化学物質を 摂取した傷病者の搬送に関する、ドクターヘリ機内 および救急車内におけるリスクアセスメント

竹川 良介¹⁾, 大西 光雄¹⁾, 廣瀬 智也¹⁾, 波多野弥生²⁾
今田 優子²⁾, 遠藤 容子²⁾, 嶋津 岳士¹⁾

¹⁾大阪大学医学部附属病院高度救命救急センター

²⁾公益財団法人 日本中毒情報センター

原稿受付日 2014年4月2日, 原稿受領日 2015年10月20日

Risk assessment of rescue helicopter or ambulance transport of patients ingesting hazardous volatile materials

Ryosuke Takegawa¹⁾, Mitsuo Ohnishi¹⁾, Tomoya Hirose¹⁾, Yayoi Hatano²⁾,
Yuko Imada²⁾, Yoko Endo²⁾, Takeshi Shimazu²⁾

¹⁾Department of Traumatology and Acute Critical Medicine, Osaka University Graduate School of Medicine

²⁾Public Interest Incorporated Foundation, Japan Poison Information Center

—Summary— (Jpn J Clin Toxicol 2016 ; 29 : 16-20)

Introduction : In cases of transport by rescue helicopter or ambulance of patients having ingested hazardous substances, medical personnel may be at a certain risk of inhaling the substances. However, few reports have addressed such risk of causing secondary casualties.

Purpose : This simulation study aimed to assess the risk of inhalation of hydrogen sulfide and chloropicrin in the cabin of a helicopter or an ambulance transporting a patient who has ingested calcium polysulfide or chloropicrin, which were previously reported to cause secondary casualties.

Method : Concentrations of hydrogen sulfide and chloropicrin were assessed on the following assumptions : The patient ingested 100 mL of the causative or original chemical. All chemical substances reacted with the gastric juice or were thoroughly vomited and evaporated uniformly within the cabin space of the helicopter or ambulance. Environmental conditions were 20 °C at 1 atmosphere of pressure in a 5 m³ cabin volume in the helicopter and a 13.5 m³ cabin volume in the ambulance.

Results : In the case of calcium polysulfide ingestion which produced hydrogen sulfide, its concentration reached 774 ppm in the helicopter and 287 ppm in the ambulance. For chloropicrin ingestion, the concentrations were 4,824 ppm and 1,787 ppm, respectively.

Discussion : The simulated concentration of hydrogen sulfide was more than 500 ppm in the helicopter, which may lead to respiratory paralysis and death. The simulated concentration of chloropicrin was more than 300 ppm, which has a risk of death within 10 minutes. Currently, as far as Japanese laws are concerned, there are no restrictions requiring pretransport assessment or setting criteria for transporting patients who might have ingested hazardous substances that could cause secondary casualties when vomited.

Conclusion : When patients who might have ingested hazardous chemicals are transported, it is important to recognize the risk of causing secondary casualties by vomiting the chemicals.

Key words : risk assessment, rescue helicopter, hazardous substances, hydrogen sulfide, chloropicrin, secondary damage

I 背景

救急搬送を必要とする傷病者のなかには、化学物質に汚染している事例が存在する。とくに、嘔吐時の吐物が揮発性で毒性を有する化学物質や、体内で反応して有毒ガスを発生する化学物質を服用している患者が問題となる。前者としてはクロルピクリンが、後者としては硫化水素があげられる¹⁾。2008年に熊本県の病院で起こった、クロルピクリン服毒患者の事例では、農薬(クロルピクリン)を飲んだとこのことで救急搬送された患者が、病院内で処置中に嘔吐し、揮発したクロルピクリンにより、医療スタッフや周囲の患者に二次被害が生じた²⁾。搬送中に問題を生じた例としては、硫化水素ナトリウムを積載した貨物船の船倉を清掃中に発生した硫化水素ガスを吸入した作業員のヘリ搬送中に、救急隊員が中毒症状に陥ったという学会報告もある³⁾。

これらの事例のように、クロルピクリンや硫化水素を発生する化学物質による汚染傷病者を救急車やヘリコプターで搬送する際には、その室内が比較的狭く十分な換気ができないため、医療従事者もしくはパイロットらに対して二次被害を及ぼす可能性がある。しかし、そのリスクについて評価した報告は、われわれが検索し得た範囲ではみられなかった。

そこで本検討では、化学物質を摂取した傷病者が原因となって二次被害を生じたという報告のある化学物質について、一定の条件下での救急車内あるいはヘリコプター内の最大濃度を推定し、その危険性を評価した。

II 目的

過去に二次被害の事例が報告されている硫化水素、クロルピクリンについて、ヘリコプター内および救急車内で予想される最大濃度を推定し、患者搬送に伴う対応者リスクを評価すること。

III 方法

硫化水素およびクロルピクリンの場合についての検討を行った。有毒化学物質を発生させる元となる化学物質を100 mL服用し、すべての反応が進行、

あるいは全量を嘔吐して、有毒化学物質が機内あるいは車内に均一に充満したと仮定した。ヘリコプターの容量は5 m³(=5,000 L)、救急車内の容量は13.5 m³(=13,500 L)で、1気圧、20℃の条件下にあると仮定した。

気体の状態方程式を用いて、ヘリコプター内および救急車内における化学物質濃度を推定した。

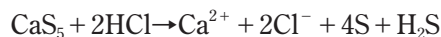
IV 結果

1. 硫化水素(H₂S)の場合

石灰硫黄合剤を100 mL服用したと仮定した。石灰硫黄合剤中の多硫化カルシウム(CaS_x)がすべて五硫化カルシウム(CaS₅)であると仮定し、その含有量を27.5%、CaS₅の分子量を200.4、石灰硫黄合剤の比重を1.28とすると、100 mLの石灰硫黄合剤に含まれるCaS₅は以下のとおりである。

$$100 \text{ mL} \times 1.28 \times (27.5/100) \div 200.4 \\ = 0.176 \text{ mol} \cdots \cdots \textcircled{1}$$

五硫化カルシウム(CaS₅)が胃酸(HCl)と下記のような化学反応を起こし、すべての硫黄(S)が反応したと仮定すると、発生する硫化水素(H₂S)は①と同モルである。



硫化水素(H₂S)の分子量を34.09、水への溶解度(20℃)を0.5g/100 mLとすると、気化する可能性のある硫化水素(H₂S)のモル数は以下のように計算される。

$$\text{H}_2\text{S} \text{ の水への溶解度} \\ = 0.0147 \text{ mol}/100 \text{ mL} \cdots \cdots \textcircled{2} \\ \text{水に溶けずに気化する H}_2\text{S} \\ = \textcircled{1} - \textcircled{2} = 0.161 \text{ mol} \cdots \cdots \textcircled{3}$$

硫化水素(H₂S)の蒸気圧は18.75×10⁵ Pa(20℃)と、大気圧(1 atm=1.01325×10⁵ Pa)よりも高いため、発生した硫化水素はすべて気化する。

以上の結果を気体の状態方程式PV=nRT〔P:圧力(atm), V:体積(L), n:モル数(mol), R:気体定数(0.082 L·atm/K·mol), T:絶対温度(K)]を用いて計算すると、硫化水素(H₂S)の体積は以下のようなになる。

$$V = nRT/P = 0.161 \times 0.082 \times (273 + 20) / 1$$

$$= 3.868 \text{ L} \cdots \cdots \textcircled{4}$$

5 m³ (=5,000 L) のヘリコプターに充満したとすると、体積濃度 = ④/5,000 より以下の結論に至る。

$$\begin{aligned} \text{ヘリ機内の硫化水素濃度} &= 3.868/5,000 \\ &\doteq 774 \times 10^{-6} = 774 \text{ ppm} \cdots \cdots \textcircled{5} \end{aligned}$$

なお、救急車の体積は 13.5 m³ であるため、④を 13.5 m³ (13,500 L) で割った値が、救急車内の濃度になる。

$$\begin{aligned} \text{救急車内の硫化水素濃度} &= 3.868/13,500 \\ &\doteq 287 \text{ ppm} \cdots \cdots \textcircled{6} \end{aligned}$$

2. クロロピクリン (CCl₃NO₂) の場合

クロロピクリン製剤を 100 mL 服用したと仮定した。クロロピクリン製剤中のクロロピクリン (CCl₃NO₂) を 99.5%, CCl₃NO₂ の分子量を 164.4, 比重を 1.66 とすると、100 mL のクロロピクリン製剤に含まれる CCl₃NO₂ は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} 100 \times (99.5/100) \times 1.66 &= 165.17 \text{ (g)} \\ 165.17/164.4 &\doteq 1.005 \text{ mol} \cdots \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

クロロピクリン (CCl₃NO₂) の水への溶解度 (20 °C) は 0.162 g/100 mL であるため、水に溶解するクロロピクリンのモル数は以下のように計算される。

$$\begin{aligned} \text{CCl}_3\text{NO}_2 \text{ の水への溶解度} \\ &= 0.0010 \text{ mol}/100 \text{ ml} \cdots \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

ゆえに、クロロピクリン (CCl₃NO₂) が水に溶解するモル数はほぼ考慮しなくてよいほど小さい。

クロロピクリン (CCl₃NO₂) の蒸気圧は 2,700 Pa (20 °C) と、大気圧 (1 atm = 1.01325 × 10⁵ Pa) より低いため、気化するクロロピクリン (CCl₃NO₂) は蒸気圧分のみであり、残りは液体で残る。ここでクロロピクリンの揮発度 (飽和蒸気圧に達したときの濃度) は 165,000 mg/m³ = 1.004 mol/m³ であるので⁴⁾、①のクロロピクリン (CCl₃NO₂) は 1 m³ (=1,000 L) 中ではすべて気化することになる。以上の結果を考慮した上で、気体の状態方程式 PV = nRT を用い気化したクロロピクリン (CCl₃NO₂) の体積を計算すると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} V &= nRT/P \\ &= 1.004 \times 0.082 \times (273 + 20)/1 \\ &= 24.122 \text{ L} \cdots \cdots \textcircled{3} \end{aligned}$$

5 m³ (=5,000 L) のヘリコプターに充満したとすると、体積濃度 = ③/5,000 より以下の結論に至る。

$$\begin{aligned} \text{ヘリコプター機内でのクロロピクリン濃度} \\ &= 24.122/5,000 \doteq 4,824 \times 10^{-6} \\ &= 4,824 \text{ ppm} \cdots \cdots \textcircled{4} \end{aligned}$$

なお、H₂S と同様に、救急車内の濃度は以下のとおりになる。

$$\begin{aligned} \text{救急車内でのクロロピクリン濃度} \\ &= 24.122/13,500 \doteq 1,787 \text{ ppm} \cdots \cdots \textcircled{5} \end{aligned}$$

V 考 察

硫化水素は 500 ppm より高濃度では 30~60 分以内に呼吸麻痺から死亡に至り (Table 1)⁵⁾、クロロピクリンは 300 ppm において約 10 分で死亡するとされている (Table 2)⁶⁾。今回のシミュレーションから得られた濃度は、機(車)内のスタッフに対して生命への危険性を含め重篤な症状を呈する可能性の高い濃度であった。今回検討した硫化水素およびクロロピクリン以外にも二次被害を起こす可能性がある化学物質として、アジ化ナトリウム⁷⁾⁸⁾、亜ヒ酸・亜ヒ酸ナトリウムなどのヒ素化合物⁹⁾、リン化アルミニウム・リン化亜鉛などのリン化合物があげられる¹⁰⁾¹¹⁾。

通常、化学物質は温度の上昇とともに揮発しやすくなること、また分布は均一ではなく発生源近傍ではより濃度が高くなることが予想される。本検討では、気温を 20 °C と設定していることや、化学物質がすべて反応し均一に室内に分布することなど、複数の仮定に基づいてシミュレーションしているが、これらは現実的な仮定と考えられる。過去に閉鎖空間での H₂S ガス発生実験を実施した大阪市消防は、24 m³ の空間で温泉入浴剤 (多硫化カルシウム含有) 440 g とトイレ洗剤 (塩酸含有) 500 mL を混合させた場合、10 分後に 550 ppm に達したと報告している¹²⁾。この条件について今回われわれが検討した方法を用いて計算すると、硫化水素濃度は 559 ppm となり、実際の測定値とほぼ合致する。

一方で、今回のシミュレーションから得られた濃度では、患者が搬送される前に死亡しており搬送

Table 1 Response to various concentrations of hydrogen sulfide (H₂S)

H ₂ S concentration	Response	Onset
4 to 100 ppm 50 to 500 ppm	Eye irritation Respiratory irritation, possible pulmonary edema	24~72 hr
250 ppm	Bronchitis, non-cardiogenic pulmonary edema	
500 to 1,000 ppm	Coma and death	30 min
600 ppm	Fatal	
800 ppm	Fatal	Immediate
1,000 ppm	Breathing ceases with 1 to 2 breaths, immediate collapse	Immediate

(Hydrogen sulfide. In : POISINDEX[®] System. Truven Health Analytics, Greenwood Village, Colorado, USA. Available at : <http://www.micromedexsolutions.com/> (cited : 06/05/2015))⁵⁾

となる可能性が考慮される。しかし実際に今回と同量のクロルピクリンを服用し、病院へ救急搬送され二次被害を起こし、患者は死亡に至った報告例がある¹³⁾。硫化水素においても 50 mL の石灰硫黄合剤ではあるが、服用後に病院へ搬送され 7 時間後に死亡したが二次被害が発生したという報告例が存在する¹⁴⁾¹⁵⁾。

ゆえに今回のシミュレーションで検討したように、揮発性物質や有毒ガスを発生させる化学物質を摂取した傷病者の搬送時には、医療スタッフ二次被害のリスクに対する評価および対策が必要である。具体的には、患者の脱衣、スタッフの個人防護服、車内の換気装置、検出装置などの有効性と必要性を検討しておく必要がある。個人防護具のうち、濾過式呼吸用保護具(防毒マスク)については、テロなどの特殊災害時に救急隊が使用することを想定した、マルチガス用吸取缶(除毒能力試験ガス：クロルピクリン、塩素、シクロヘキサン、アンモニア、二酸化硫黄、シアン化水素、硫化水素)の規格が消防・危機管理用具研究協議会により定められており¹⁶⁾、2013 年現在、国内 3 社が規格取得品を取り扱っている¹⁷⁾。しかし、この規格で設定されたクロルピクリンの試験ガス濃度は 1,000 ppm であり、本検討におけるシミュレーション結果はそれを超える。また除毒能力試験ガス 7 種以外の化学物質については

Table 2 Response to various concentrations of trichloronitromethane (chloropicrin)

CCl ₃ NO ₂ Concentration (ppm)	Response	Onset
0.3~3.7 ppm	Closing of eyelids according to individual sensitivity	3~30 sec
1.1 ppm	Odor detectable	
1.3 ppm	Lowest irritant concentration	
7.5 ppm	Intolerable	10
15 ppm	Intolerable	1
119.0 ppm	Lethal concentration	30
297.6 ppm	Lethal concentration	10

(Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. 3th revised edition. Vol. II 1982, pp. 4164-6)⁶⁾

除毒能力が保証されているわけではない。さらにヘリコプターの乗員が装着するのは現実的ではない。

以上のことから、二次被害を勘案した場合には、化学物質に汚染された傷病者、とくに服用している場合に不搬送を含めた搬送基準を事前に考慮すべきと考えられる。ヘリコプター搬送に関して法的側面から考察した場合、ヘリコプターによる傷病者搬送に関しては以下に述べるような関連法規が存在する。ヘリコプター搬送は国土交通省令および航空法施行規則に則り運航されているが、国土交通省令第八十六条第一項および航空法施行規則第九十四条六号イに毒物の輸送禁止に関する規定がある。さらには、航空法施行規則第八十六条二には、機長判断で航空機内への持ち込みを拒否できるという権限を与えている。しかし、上記の規定のいずれも、毒物を服用した人間(傷病者)に関しては規定していない。有毒化学物質による汚染傷病者の搬送は想定されておらず、今後搬送基準が必要である。ヘリコプター搬送においては、途中で容易に停止することはできず、十分な換気装置や通気口もないため、対応者に二次被害が生じた際、最悪の場合には墜落する可能性がある。とくに硫化水素のように突然の意識消失(ノックダウン)をきたすような物質では重大な問題である。自治体によっては、原則として死亡確認がなされた症例のドクターヘリ搬送は行わない。また、心肺停止の傷病者に適切な心肺蘇生を行っても心拍再開の可能性がないと判断される場合は、原

則として、ドクターヘリによる搬送の適応としない¹⁸⁾。よって中毒・汚染患者の搬送に関する明確な搬送基準がないが、窓を開けて十分換気した上で、いつでも停車できる救急車での陸路搬送を第一選択とすることが適切であると考えられる。

結 語

有毒化学物質である硫化水素およびクロルピクリンを発生させる化学物質服用時の対応者リスクをヘリコプターおよび救急車での搬送を想定してシミュレーションを行った。有毒化学物質を発生させる化学物質に汚染された事例の搬送時にはリスクが存在し、不搬送を考慮した搬送基準の策定と対策、法的裏づけが必要である。

【文 献】

- 1) 平成 20 年度硫化水素自殺事案とマスメディア報道に関する調査研究；内閣府自殺対策推進室。
- 2) 小山洋史, 高村政志, 奥本克己, 他：クロルピクリン集団災害における危機管理。中毒研究 2009；22：25-31。
- 3) 奥 格, 中村龍, 石井瑞恵, 他：硫化水素中毒患者のヘリコプター搬送中に救急隊員が中毒症状に陥った一例。日集中医誌 2008；15 (Suppl)：250。
- 4) 生物化学テロ災害対処研究会：必携生物化学テロ対処ハンドブック, 診断と治療社, 東京, 2003, p16。
- 5) Hydrogen sulfide. In : POISINDEX® System. Truven Health Analytics, Greenwood Village, Colorado, USA. <http://www.micromedexsolutions.com/> (参照：2015 年 9 月 16 日)。

- 6) Clayton GD & Clayton FE (eds) : Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. 3th revised edition. Vol. II part C. John Wiley & Sons, New York, 1982, pp4164-6.
- 7) 広瀬保夫, 畑耕治郎, 本多拓, 他：アジ化ナトリウム集団中毒症例の検討。日救急医学会誌 2001；12：125-9。
- 8) Senecal PE, Dyer JE, Osterloh JD, et al : Toxic volatile hydrazoic acid (NH₃) from contact of sodium azide (NaN₃) with acid. Vet Hum Toxicol 1991；33：364。
- 9) Kioshita H, Hirose Y, Tanaka T, et al : Oral arsenic trioxide poisoning and secondary hazard from gastric content. Ann Emerg Med 2004；44：625-7。
- 10) Burkhat KK : Phosphides and phosphine. In : Nelson LS, et al eds, Goldfrank's Toxicologic Emergencies. 9th ed, McGraw-Hill, New York, 2011, p1519。
- 11) Cienki JJ : Chapter108 Nonanticoagulant Rodenticides Zinc Phosphide. In : Ford MD, et al eds, Clinical Toxicology. 1st ed, WB Saunders, Philadelphia, 2001, p858。
- 12) 北口正：今, 話題の消防装備・資機材大研究 簡易型硫化水素除去装置。月刊消防 2008；30 (9)：9-12。
- 13) 本多英喜, 川嶋隆久, 加来信雄, 他：クロルピクリン溶液を服用した急性中毒患者の 1 例。中毒研究 2002；15：381-4。
- 14) 米川力, 中永士師明：石灰硫黄合剤による 1 中毒例。日臨救医誌 2002；5：66-9。
- 15) Horowitz BZ, Marquardt K, Swenson E : Calcium polysulfide overdose : A report of two cases. J Toxicol Clin Toxicol 1997；35：299-303。
- 16) 消防・危機管理用具研究協議会：救助隊用ろ過式呼吸用保護具。CFASDM001：2013。
- 17) 消防・危機管理用具研究協議会ホームページ。http://www.fesc.or.jp/cfasdm/cfasdm_kyu_roka.html (参照：2015 年 9 月 16 日)
- 18) 大阪府ドクターヘリ運航調整委員会：大阪府ドクターヘリ運航要領 (平成 25 年 3 月改訂版)。

要旨

背景：救急車、ドクターヘリによる搬送を必要とする傷病者には、有毒化学物質を摂取して、嘔吐に伴い周囲の人々に二次被害を起こし得る傷病者が存在する。しかし、そのような傷病者の搬送のリスクを評価した報告はない。

目的：過去に二次被害が報告されている有毒化学物質である硫化水素、クロルピクリンに関して、ヘリコプターや救急車の閉鎖空間内での濃度を推定し、その危険性を評価した。

方法：対象の有毒化学物質を発生させる元となる化学物質を 100 mL 服用した後、発生した有毒化学物質が気体となって、室内に均一に充満したと仮定し、そのときのヘリコプター、救急車内での濃度を計算した。反応は 1 気圧 20℃の条件下で生じるとし、ヘリコプターおよび救急車の体積はそれぞれ 5 m³, 13.5 m³とした。

結果：多硫化石灰を服用し胃酸と反応して硫化水素を生じるとの想定では、ヘリコプター内濃度は 774 ppm となった。クロルピクリン (純度 99.5%) を服用後に嘔吐して揮発したとの想定ではヘリコプター内濃度は 4,824 ppm となった。救急車内濃度はそれぞれ 287 ppm, 1,787 ppm となった。

考察：硫化水素は 500 ppm より高濃度では 30~60 分以内に呼吸麻痺や死亡に至り、クロルピクリンは 300 ppm において約 10 分で死亡するとされており、本検討で想定した状況は非常に危険性が高いと考えられた。

結語：有毒化学物質を発生する化学物質を摂取した傷病者の搬送においては、二次被害を招くリスクがあるため、搬送方法や搬送基準を検討する必要がある。