

令和4年度一般財団法人救急振興財団調査研究事業助成

多波長パルスCOオキシメーターの有用性に関する観察研究

令和5年3月

石川県メディカルコントロール協議会

代表研究者：金沢大学医薬保健研究域医学系 救急・災害医学分野

教授 岡島 正樹

研究組織

代表研究者 石川県メディカルコントロール協議会会長

岡島 正樹 金沢大学医薬保健研究域医学系 救急・災害医学分野 教授

共同研究者

稲葉 英夫 新潟医療福祉大学 教授

蔵 義広 金沢市消防局消防局長

水口 守 七尾鹿島消防本部消防長

湯野 正基 小松市消防本部消防長

市村 公一 加賀市消防本部消防長

澤野 秀紀 かほく市消防本部消防長

近藤 芳功 能美市消防本部消防長

松本 聖史 津幡町消防本部消防長

高道 三春 内灘町消防本部消防長

松生 正友 羽咋郡市広域圏事務組合消防本部消防長

篠田 肇 白山野々市広域消防本部消防長

出坂 正明 奥能登広域圏事務組合消防本部消防長

目 次

I	はじめに	1
II	研究方法	2
1	後ろ向き研究	2
2	前向き研究	2
	(1) 金沢市駅西救急隊	2
	(2) 他消防本部所属救急隊と金沢市の他の救急隊	3
III	結果	4
1	後ろ向き研究の結果	4
	(1) 登録症例と症例選択	4
	(2) 感度と陽性的中率	5
	(3) 発生状況と救急隊判断の関係	5
	(4) 一酸化炭素中毒診断例の背景・特徴	6
	(5) 示唆に富む症例	8
2	前向き研究の結果	9
	(1) SpCO・SpMet 運用隊（金沢市駅西救急隊）	9
	(2) 全県的前向き研究	11
IV	調査研究のまとめと展望	14
	参考文献	15
	参考資料	17

I はじめに

先行研究は、経皮的な一酸化炭素ヘモグロビン濃度測定(SpCO)や病院内で測定された一酸化炭素ヘモグロビン濃度(Hb-CO)が正常であっても一酸化炭素中毒は除外できないが、病院前、病院救急部内での SpCO 測定は一酸化炭素中毒スクリーニング法として有用であることを報告している¹⁻⁴⁾。石川県メディカルコントロール協議会では、一酸化炭素中毒や硝酸・亜硝酸・臭素・アニリンを含む化合物・化学薬品などの中毒、熱傷を含めた救急病態の把握上、経皮的な異常ヘモグロビン濃度測定(カルボキシヘモグロビン:SpCO、メトヘモグロビン:SpMet)の現場での測定が有用であることを消防本部に紹介し、導入を推奨してきた。石川県内の一部の消防本部の救急車両には、SpCO 測定可能な多波長経皮的酸素飽和度装置を配置され⁵⁾、SpCO 値が示された場合、その情報は搬送先病院等と共有している。しかし、病院前の SpCO 測定の有用性を測定群と非測定群で比較した研究は行われていない。また、病院前救急医療における SpMet 測定の有用性に関する研究は皆無に等しい。

本研究は、病院前救急医療における SpCO、SpMet 測定導入の有用性に関し、①一酸化炭素発生が想定される現場とそれ以外の現場での一酸化炭素中毒の判定率に対する効果、②装置に SpMet 測定機能を追加することによる特殊中毒・敗血症などの救急病態把握の向上の点から調査し、評価することを目的とした。

II 研究方法

1 後ろ向き研究

石川県内で一酸化炭素中毒に関連した発症状況・症状を有し救急搬送された症例を後ろ向きに検討した。データ収集対象は、救急隊が一酸化炭素中毒を疑い搬送した症例と、一酸化炭素中毒を疑わなかったが病院搬送後に一酸化炭素中毒と診断された症例とした。救急隊判断の一酸化炭素中毒に対する感度(病院にて一酸化炭素中毒と診断された症例の中で、一酸化炭素中毒を疑った救急搬送の割合)、陽性的中率(一酸化炭素中毒を疑った救急搬送例の中で一酸化炭素中毒の病院診断がなされた割合)を検討した。また、一酸化炭素中毒と診断された症例について、背景や特色を比較した。

対象期間は、過去3年3か月(2019年1月～2022年3月)とした。

2 前向き研究 2022年7月15日～2023年1月15日

(1) 金沢市駅西救急隊

金沢市の駅西消防署救急隊にすでに配備されている SpCO 測定機器に SpMet 測定機能を追加した。

【詳細記録対象】

① 一酸化炭素中毒を疑う症例(一般前向き症例記録に記録)

一酸化炭素の環境濃度が低くても、長時間暴露された場合には、一酸化炭素炭素ヘモグロビンは増加し続け、中毒症状が出現することから、原因不明の頭痛、嘔気、めまい、耳鳴り。倦怠感、軽度の意識障害などがあつた場合には、積極的に疑い、測定を行った。中核ないし専門病院への搬送を選択し、病院内での血液ガス分析結果(一酸化炭素ヘモグロビン、メトヘモグロビン)を積極的に記録した。

② 毒薬物中毒を疑った症例

③ 敗血症ショックを疑い、Perfusion Index（灌流指標）の測定を行った症例

また、救急搬送例で SpCO、SpMet の行い、SpCO が5%以上または SpMet が2%以上を示した症例については、喫煙歴を含めた患者背景、病院での診断を記録した。

(2) 他消防本部所属救急隊と金沢市の他の救急隊

【記録対象】

① 病院で一酸化炭素中毒と診断または病院での血液ガス分析で異常ヘモグロビン（一酸化炭素ヘモグロビン5%以上、メヘモグロビン2%以上を目安）の増加が確認された症例

② 一酸化炭素中毒を疑った症例

③ 敗血症性ショック症例では、ヘモグロビンの増加（一酸化炭素ヘモグロビン5%以上、メヘモグロビン2%以上を目安）が確認された症例

④ 一酸化炭素ヘモグロビン測定機能を有する機器が配備されている救急隊では、一酸化炭素ヘモグロビン5%以上が表示された症例

⑤ 一酸化炭素ヘモグロビン測定機能を有する機器が配備されている救急隊では、敗血症ショックを疑い、Perfusion Index（灌流指標）の測定を行った症例

Ⅲ 結 果

1 後ろ向き研究の結果

(1) 登録症例と症例選択

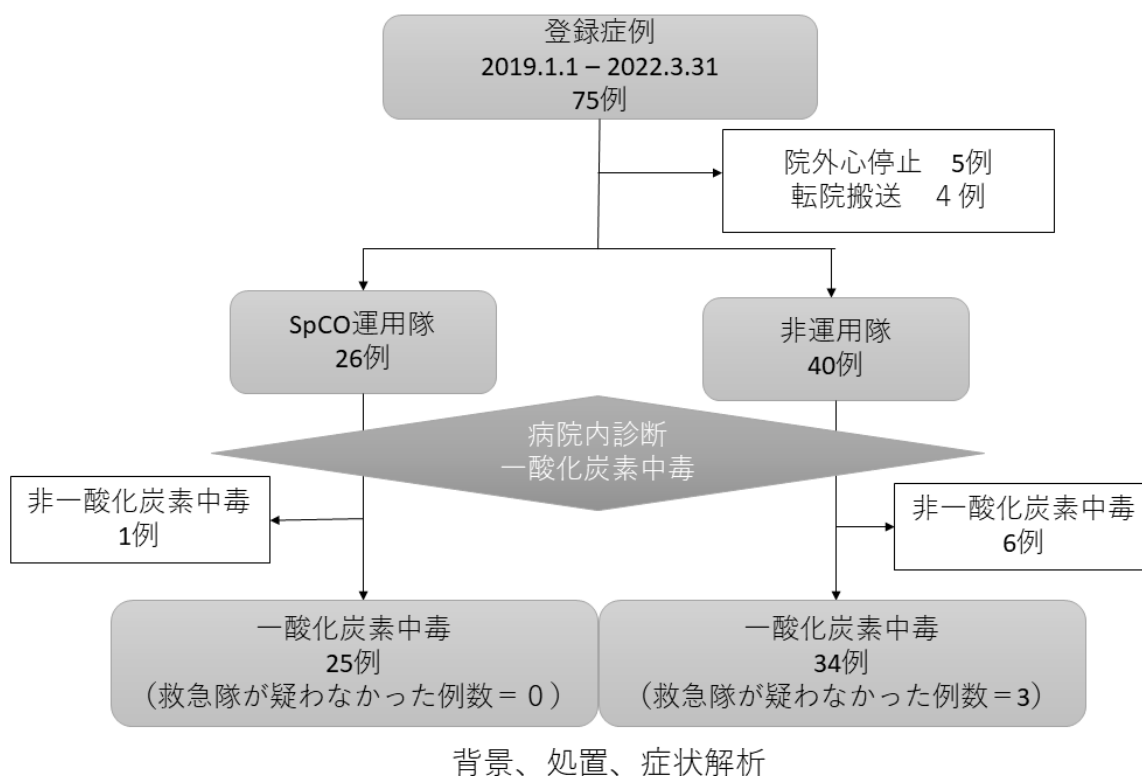


図1 登録症例と症例選択

75症例が登録されたが、あらかじめ診断の確定している転院搬送4例とSpCOの測定ができない院外心停止5例はすべての解析から除外した(図1)。残り66例のうち、26例がSpCO運用隊、40例が非運用隊により搬送された。このうち病院内で一酸化炭素中毒の診断(通常、Hb-COが10%以上が基準とされているが、診断基準は病院により異なる)がなされたのは、SpCO運用隊26例中25例、非運用隊40例中34例であった。SpCO運用隊25例の全例が救急隊により一酸化炭素中毒が疑わ

れていたが、非運用隊34例中3例では救急隊は一酸化炭素中毒を疑えていなかった。

(2) 感度と陽性的中率

SpCO 運用隊と非運用隊の感度及び陽性的中率を表1に示した。救急隊判断の一酸化炭素中毒に対する感度と陽性的中率を比較すると、感度・特異度ともに、非運用隊より SpCO 運用隊で高かったが統計学的な有意な差ではなかった。

表1 感度・陽性的中率の比較

指標	SpCO 運用隊	非運用隊	Fisher's exact probability or Chi-square test
感度	100% (25/25)	91% (31/34)	P = 0.25
陽性的中率	96% (25/26)	84% (31/37)	P = 0.23

(3) 発生状況と救急隊判断の関係

SpCO 運用隊と非運用隊の一酸化炭素中毒の発症状況と救急隊の判断の関係を表2に示した。発生状況が一酸化炭素中毒と関連ある場合、換気の悪い場所での炭・暖房・調理器具の使用の頻度が最も高かった。SpCO 運用隊では、排気ガス吸入例は1例もなかった。状況が明らかでなかったのは17%であった。発生状況の種別に、SpCO 運用隊と非運用隊の間で有意な差は認めなかった。

発生状況と救急隊判断の関係も検討した。一酸化炭素中毒に関連した状況が明らかでなかった場合でも、SpCO 運用隊は一酸化炭素中毒を全例で疑っていたが、非運用隊が疑えたのは半数にとどまった。しかし、統計的には有意な差ではなかった。

関連状況が明らかでない例の中には、すでに一酸化炭素発生源とは離れた状態で、何らかの症状を自覚し通報した症例が散見された。また、日常から、一酸化炭素中毒の危険にさらされていた可能性の高い症例(潜在的中毒例:Occult Poisoning)もあった。

表2 発症状況と救急隊判断の関係

発症状況	心停止・転院搬送を除いた全症例 N = 66			SpCO 運用 非運用隊	Fisher's exact probability or Chi-square test
一酸化炭素中毒関連状況あり	N = 55	N = 21	N = 34		
火災	38% (21)	43% (9)	35% (18)		P = 0.57
炭・暖房・調理器具	53% (29)	57% (12)	50% (17)		P = 0.61
排気ガス	9% (5)	0% (0)	15% (5)		P = 0.14
関連状況なし*	N = 11 (17%)	N = 5 (19%)	N = 6 (15%)		P = 0.65
救急隊の一酸化炭素中毒 疑いあり	72% (8)	100% (5)	50% (3)		P = 0.18

* すべて一酸化炭素中毒の診断がなされている。

(4) 一酸化炭素中毒診断例の背景・特徴

一酸化炭素中毒の診断が病院でなされた58例について、その背景・特色をSpCO 運用隊と非運用隊で比較した(表3)。SpCO 運用隊では、鼻腔・顔面での煤の付着・熱傷など気道熱傷を疑うべき症例が有意に多かった(P = 0.02)。

SpCO 運用隊では、一酸化炭素中毒と関連性のある所見に乏しく、SpCO 測定が救急隊判断の根拠となったと考えられた症例の割合が有意に多かった(P < 0.01)。また、集団発症例の割合は、非運用隊で有意に高かった(P < 0.01)。

非運用隊では、現場環境の酸素・一酸化炭素濃度が測定されている例が報告された。そのすべてが集団発症であった。和室12畳での3例の集団発症の酸素濃度／一酸化炭素濃度は18%／80ppmであった。

表3 一酸化炭素中毒の背景・特色

背景・特色	全ての症例 N = 59	SpCO 運用隊 N = 25	非運用隊 N = 34	Fisher's exact probability or Chi-square test
年齢区分				P = 0.39
小児(20歳未満)	3% (2)	0% (0)	6% (2)	
成人	39% (23)	36% (9)	41% (14)	
高齢者	58% (34)	64% (16)	53% (18)	
性別:男性	58% (34)	52% (13)	62% (21)	P = 0.45
発生場所				P = 0.37
住宅	66% (39)	64% (16)	68% (23)	
書庫・駐車場	19% (11)	20% (5)	18% (6)	
工場・仕事場	8% (5)	8% (2)	9% (3)	
車内	3% (2)	0% (0)	6% (2)	
道路上	3% (2)	8% (2)	0% (0)	
自覚症状				
症状なし	19% (11)	16% (4)	21% (7)	P = 0.65
意識障害	19% (11)	20% (5)	18% (6)	P = 0.82
頭痛	14% (8)	8% (2)	18% (6)	P = 0.28
嘔気	15% (9)	20% (5)	12% (4)	P = 0.38
咽頭痛	12% (7)	12% (3)	12% (4)	P = 0.98
呼吸困難	15% (9)	20% (5)	12% (4)	P = 0.38
めまい	10% (6)	12% (3)	9% (3)	P = 0.69
脱力感	5% (3)	4% (1)	6% (2)	P = 0.75
他覚所見				
不顕性中毒 (SpCO 異常のみ)	10% (6)	24% (6)	0% (0)	P < 0.01
顔面紅潮	15% (9)	16% (4)	15% (5)	P = 0.81
煤の付着/熱傷	19% (11)	32% (8)	9% (3)	P = 0.02
集団発生	31% (18)	12% (3)	44% (15)	P < 0.01

(5) 示唆に富む症例

事例1 入浴中(浴室)での中毒(非運用隊)

2月発生。66歳女性。1時間前に入浴を始め、浴室で倒れているのを夫が発見し、帰宅した娘が通報。救急隊発見時、会話不能、逆行性健忘、シバリングあり。GCS E4V1M6。SpO₂ 96%。体温 33.6度。低体温症を考える症例だが、原因のひとつとして一酸化炭素中毒を考えた(消極的疑い)。

事例2 ガス発生装置作業中の中毒(非運用隊)

10月発生。67歳、男性。ガス発生装置の上部で作業中に、突然の強直性けいれん発症。装置上部では熱処理工程のためにプロパンガス使用。ガス漏れなし。発汗あり。自覚症状なし。血糖値 136mg/dl。SpO₂ 88%。熱中症を疑い搬送したが、病院内診断は一酸化炭素中毒。

事例3 飲食店での外国人中毒(運用隊)

52歳男性。腹痛を主訴にした通報。飲食店の外国人従業員。日本語による事情聴取不能。SpCO 25%のため、高圧酸素治療が可能な病院へ搬送。その後の聴取で、炭を使用した窯を用いた調理中に腹痛を発症したことが判明。

事例4 現場から離れた後に症状が出現した中毒(運用隊)

34歳女性。車両運転中に呼吸困難感、手足のしびれを自覚し、通報。SpCO 18-19%であることから、高圧酸素治療が可能な病院へ搬送。運転開始前に茶道教室で3時間程度けいこを受けていた。

一酸化炭素中毒に明らかに関連している状況でない場合、運用隊では迅速な判断を下し、適切な医療機関へ搬送していることが分かる。また、低濃度の一酸化炭素中毒に長時間暴露された後の症状は多彩であり、潜在的一酸化炭素中毒数は予想以上に多いと考えられた。

2 前向き研究の結果

(1) SpCO・SpMet 運用隊(金沢市駅西救急隊)

登録症例152例の内訳を表4に示した。

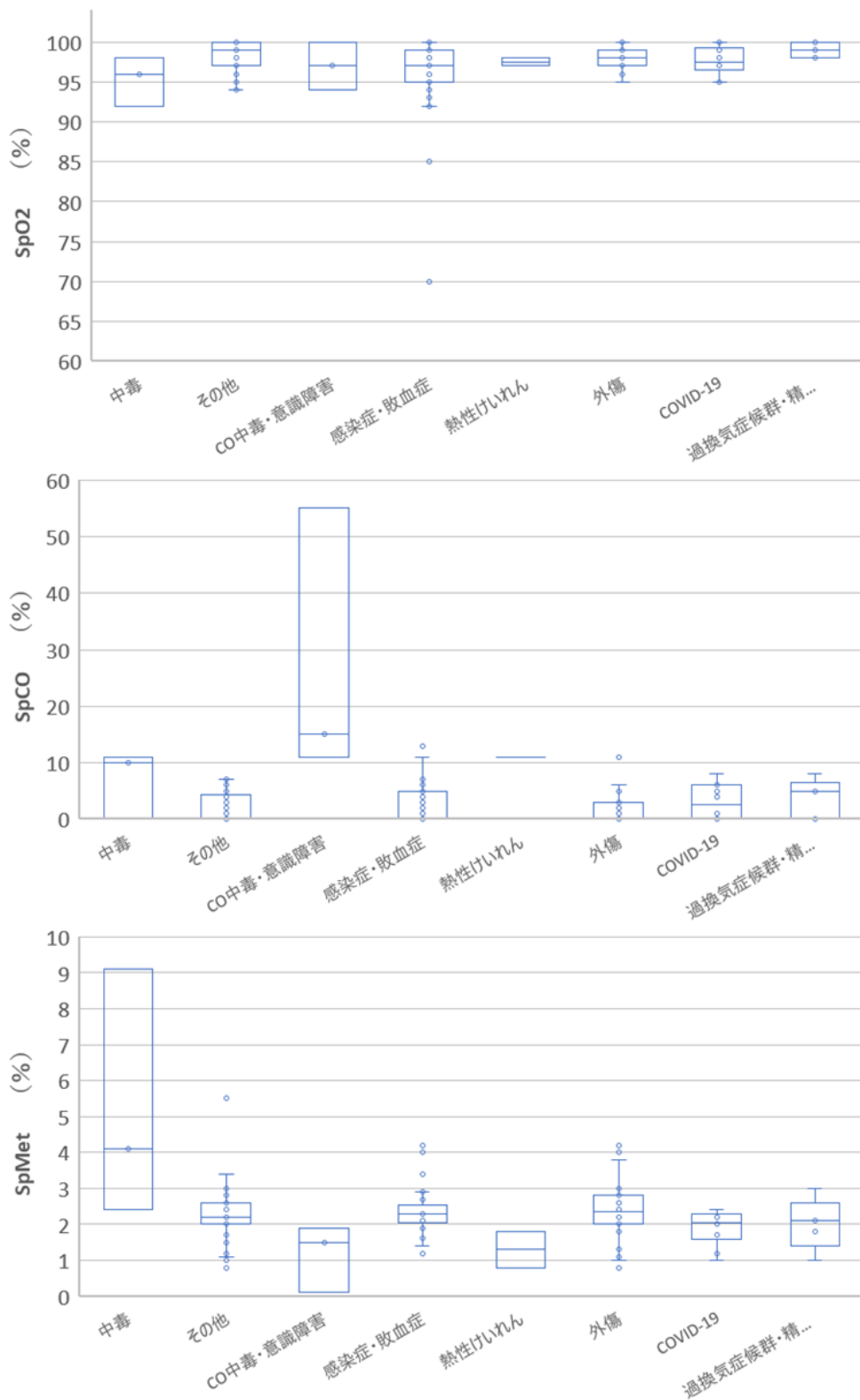
表4 SpCO・SpMet 運用隊の登録内容

項目・特色	症例数(%) 総数=152	備考
SpCO		
≥ 2%	66 (43%)	喫煙者* 6 (9%)
≥ 5%	45 (45%)	喫煙者* 5 (11%)
≥ 10%	11 (7%)	喫煙者* 2 (18%)
SpMet		
≥ 2%	117 (77%)	関連薬剤服用例なし
≥ 5%	2 (1%)	関連薬剤服用例なし
Perfusion Index		
< 1	54 (36%)	
> 5	21 (14%)	
敗血症・感染症	33 (22%)	
入院	66 (43%)	

* 10本/日 以上

① 病態:疾患別 SpO₂・SpCO・SpMet 分布

病態別に SpO₂・SpCO・SpMet の分布を図2に示した。



※過換気症候群は精神疾患を含んでいる

図2 病態別の SpO₂・SpCO・SpMet の分布

個々の病態ごとの症例数は少ないが以下の点が注目された。

- ・ COVID-19 搬送例では高値を示すものはなかった。
- ・ 成人薬物中毒例で SpCO、SpMet ともに高値を呈する場合があるが、その原因は不明である。服用薬物中にメヘモグロビンに関連するもの(参考資料2)は含まれていない。
- ・ 小児熱性けいれん2例ともに SpCO が高値を示した。2例とも2歳以上である。1例は2月、もう1例は7月の発症である。近年、飲料水中の硝酸塩が原因となった乳児メヘモグロビン血症が報告されているが⁶⁻⁸⁾、2名とも乳児ではない。
- ・ 感染症・敗血症症例で SpCO、SpMet が軽度高値を呈するものがある。

② 予後との関係

1か月以内死亡は2例であったが、2例とも SpCO は0%であった。SpMet も5%以下であった。

(2) 全体的前向き研究

① 登録症例の内訳

SpCO 運用隊、非運用隊の疾患・病態別の登録内訳を表5に示した。登録症例のうち、一酸化炭素中毒の診断例は、運用隊で6例、非運用隊で2例であった。

表5 全県的前向き研究の登録内訳

疾患・病態	SpCO 運用隊	非運用隊
	総数 12例	総数 7例
薬物中毒	0 (0%)	2 (29%)
感染症・敗血症	2 (17%)	3 (43%)
一酸化炭素中毒	6 (50%)	2 (29%)
その他	4 (33%)	0 (0%)

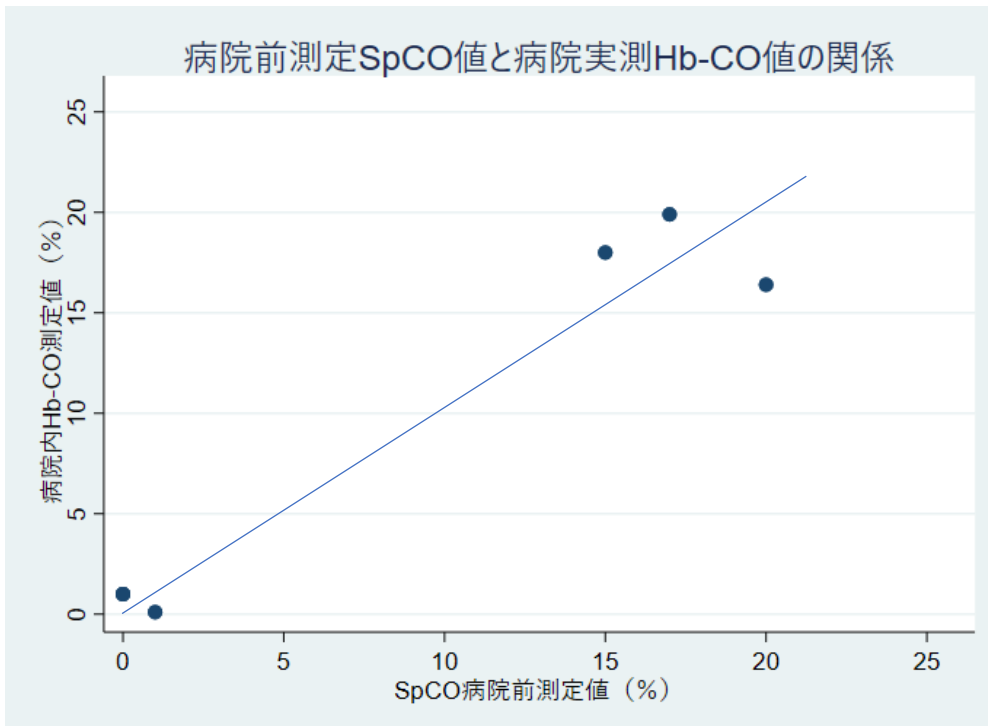
救急搬送例に占める一酸化炭素中毒確定症例の割合を表6に示した。この期間に症例登録のなかった2消防本部を除き、救急搬送件数から一酸化炭素中毒の発生診断率を比較すると、運用隊管轄地域で高かったが統計的有意差は認めなかった。

表6 救急搬送例に占める一酸化炭素中毒確定症例の割合

地域分類	期間中の搬送件数(推定)	一酸化炭素中毒症例の割合(/1000件)	Fisher's exact probability test
SpCO 運用地域	13,927 件	0.43% (6)	P = 0.34
非運用地域	8,897 件	0.22% (2)	

② SpCO と病院内 Hb-CO 測定値との関係

SpCO と病院内 Hb-CO 測定値の間には強い相関があり、回帰直線の傾きは1に近かった(図3)。



$$R^2 = 0.92$$

図3 SpCO と病院内 Hb-CO 測定値との関係

IV 調査研究のまとめと展望

SpCO 測定装置の導入は、地域単位の潜在的な一酸化炭素中毒の診断率を高める可能性が高い。また、説明が困難な SpCO、SpMet の高値を呈した例があり、病院と連携した原因究明が必要である。

測定装置の導入は救急車両更新時になされることがほとんどであり、緊急援助隊登録車両助成制度の対象に SpCO、SpMet 装置が含まれることが望まれる。

この研究は一般財団法人救急振興財団の「救急に関する調査研究事業助成」を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) Nilson D, Partridge R, Suner S, Jay G. Non-invasive carboxyhemoglobin monitoring: screening emergency medical services patients for carbon monoxide exposure. *Prehosp Disaster Med.* 2010 May-Jun;25(3):253-6. doi: 10.1017/s1049023x00008128. PMID: 20586019.
- 2) Suner S, Partridge R, Sucov A, Valente J, Chee K, Hughes A, Jay G. Non-invasive pulse CO-oximetry screening in the emergency department identifies occult carbon monoxide toxicity. *J Emerg Med.* 2008 May;34(4):441-50. doi: 10.1016/j.jemermed.2007.12.004. Epub 2008 Jan 28. PMID: 18226877.
- 3) Onodera M, Fujino Y, Kikuchi S, Sato M, Mori K, Beppu T, Inoue Y. Utility of the Measurement of Carboxyhemoglobin Level at the Site of Acute Carbon Monoxide Poisoning in Rural Areas. *Scientifica (Cairo).* 2016;2016:6192369. doi: 10.1155/2016/6192369. Epub 2016 Apr 30. PMID: 27239377; PMCID: PMC4867061.
- 4) Sebbane M, Claret PG, Mercier G, Lefebvre S, Théry R, Dumont R, Maillé M, Richard JP, Eledjam JJ, de La Coussaye JE. Emergency department management of suspected carbon monoxide poisoning: role of pulse CO-oximetry. *Respir Care.* 2013 Oct;58(10):1614-20. doi: 10.4187/respcare.02313. Epub 2013 Mar 19. PMID: 23513247.
- 5) Coulange M, Barthelemy A, Hug F, Thierry AL, De Haro L. Reliability of new pulse CO-oximeter in victims of carbon monoxide poisoning. *Undersea Hyperb Med.* 2008 Mar-Apr;35(2):107-11. PMID: 18500075.
- 6) do Nascimento TS, Pereira RO, de Mello HL, Costa J. Methemoglobinemia: from diagnosis to treatment. *Rev Bras Anesthesiol.* 2008 Nov-Dec;58(6):651-64. English,

Portuguese. doi: 10.1590/s0034-70942008000600011. PMID: 19082413.

- 7) Ashurst J, Wasson M. Methemoglobinemia: a systematic review of the pathophysiology, detection, and treatment. Del Med J. 2011 Jul;83(7):203-8. PMID: 21954509.

- 8) 朝日新聞デジタル

<https://www.asahi.com/articles/ASPBN4J8JPBNUHNB002.html>

参考資料1 昭和 45 年版公害白書(公表)より抜粋

都市における一酸化炭素(CO)による大気汚染は交通ひんぱんな道路や交差点近くにおいて高いが、最近汚染がしだいに広域化する傾向にある。第 2-1-4 表は、厚生省および東京都が東京都内の交差点または道路沿いで常時測定している結果を CO 濃度の経年変化で示したものであるが、これによると汚染は年々増加する傾向にある。

これらの地点における汚染の時間別動向をみると、第 2-1-1 図に示すように交通量の動向に伴い、午前 5~6 時ごろを最低とし、午後 6~7 時ごろを最高にするような似かよったパターンを形成している。東京都内で常時測定されている CO 濃度を昭和 45 年 2 月に設定された一酸化炭素の環境基準と比較してその適合度合いをみると第 2-1-4 表にみられるように、それは年々悪化の傾向にある。厚生省が 39 年以来、東京都内の測定点において測定した結果を第 2-1-2 図に示す。また、環境基準の不適合日数の割合は、44 年度には都庁前で 53.5%、都立衛生研究所で 6.9%、糀谷保健所で 1.8%、霞が関で 1.9%、板橋で 1.2%および大原町で 25.8%であった。

大阪市では北区梅田新道と住吉区北粉浜小学校で常時測定を行なっているが、44 年度の結果はそれぞれ年平均 5.6ppm および 6.4ppm であり、1 時間平均値の最大値は 50ppm および 25ppm であった。環境基準をこえる日数は、ともに年間 19 日であった。

第 2-1-4 表 東京都内における一酸化炭素常時測定点における
年間平均濃度と環境基準不適合率

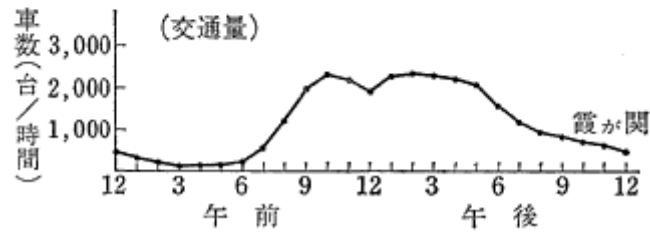
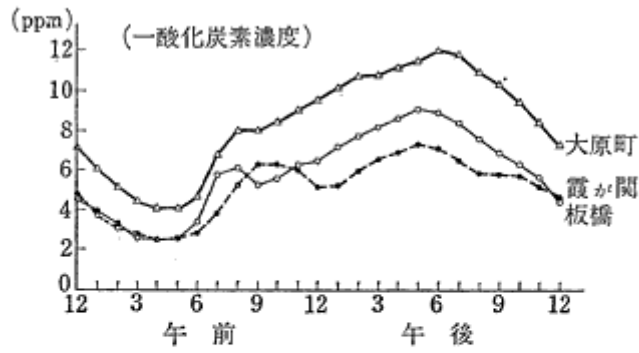
年	都 庁 前		都立衛生研 究 所		糀谷保健所		霞 が 関		板 橋		大 原 町	
	平均濃度 (ppm)	不適合率 (%)	平均濃度 (ppm)	不適合率 (%)	平均濃度 (ppm)	不適合率 (%)	平均濃度 (ppm)	不適合率 (%)	平均濃度 (ppm)	不適合率 (%)	平均濃度 (ppm)	不適合率 (%)
39	—	—	—	—	—	—	4.4	0.3	1.9	0	—	—
40	8.3	33.9	—	—	—	—	3.3	0	2.5	0	6.6	12.0
41	5	4.3	—	—	—	—	3.2	0	3.0	0	7.0	16.2
42	8	34.7	3	3.6	—	—	4.1	0.4	3.0	0	7.5	19.2
43	9.7	42.6	4.9	5.9	—	—	4.4	2.0	4.4	1.4	6.4	16.5
44	10.6	53.5	4.5	6.9	4.8	1.8	5.4	1.9	5.9	1.2	8.3	25.8

厚生省：東京都調べ

(注) 1 環境基準の不適合日数の割合(環境基準 2 条件のうち、24 時間 10ppm の方が不適合日数の割合が大きく、上表の数値はこれを採用している)

2 都庁前、糀谷保健所は東京都資料、その他は厚生省資料

第2-1-1図 一酸化炭素濃度と交通量の時間的変動
(44年1~12月)



厚生省公害部調べ

参考資料2 メトヘモグロビン血症と関連性が報告されている薬剤

(https://www.masimo.co.jp/pdf/spmet/demystifying_methemoglobinemia_white_paper.pdf)

メトヘモグロビン血症の関与が文献で明らかにされている薬物の選択	
ベンゾカイン、セタカイン、プリロカイン (局所麻酔薬類)	麻酔薬 (気管内挿管、経食道心臓超音波検査、気管支鏡検査、痔核の局所療法、歯科の前処置)
セレコキシブ	関節炎の鎮痛
ダブソン	ヒト免疫不全ウイルス (HIV) 患者におけるカリニ肺炎の予防。また皮膚科疾患に適用。
EMLA クリーム	局所麻酔薬の共融混合物
フルタミド	前立腺癌
硝酸塩	食品添加物、井戸水、肥料の流出による産生および食品への混入。防腐剤。
一酸化窒素	肺血管拡張
ニトログリセリン	心血管拡張
ニトロプルシドナトリウム	静注用降圧薬、血管拡張薬
硝酸ナトリウム	肉・魚の防腐剤
スルホンアミド (サルファ剤)	広域スペクトル抗菌薬