

ベッドサイドにおける一酸化炭素測定を試み ～呼気ガスを用いた測定の検討～

福田篤久・石田浩美・久保田芽里・小島義忠
大阪府立泉州救命救急センター

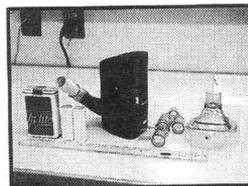
【はじめに】

従来、一酸化炭素 (CO) 濃度を病院検査室で測定することはほぼ不可能であり、かろうじて一酸化炭素ヘモグロビン (COHb) として測定しているのが現状である。しかし COHb の測定には高価な分析機器が必要であり、ベッドサイドにおける測定は困難なうえに採血という侵襲が患者に加えられるためモニタリングには適さない。しかし近年、非侵襲的かつリアルタイムな結果報告が可能な呼気ガス分析が多くの方で臨床応用されている¹⁾。

今回我々は、小型軽量で迅速簡便に呼気中 CO 濃度 (ppm) および、その COHb (%) への変換が可能な Bedfont Scientific 社製 EC-50-ToxCO (以下ToxCO) を導入したので (図 1)、その基礎的な性能試験とともに、救急の現場やベッドサイドでのリアルタイムな測定を最終目的とした臨床応用の可能性を検討したので報告する。

【対象および方法】

1. 標準ガス (CO952ppm/N₂ バランス) を合成空気を用いて、希釈装置 (SGD-710C/GAS DIVIDER: STEC INC.) により 100%、50%、20% に調整したものを、ToxCO を用いてそれぞれ五回連続測定し同時再現性の検討をおこなった。
2. 健常者 8 名において、最大吸気位で 15 秒間息ごらえののち、三方活栓を用い 2 つの集気バックに呼気を同時に収集し、一方を ToxCO で、もう一方を GASTEC 社製 CO 検知管を用いて (以下検知管法) CO 濃度を測定し、両者の相関関係を求めた。
3. 健常者 20 名において、ToxCO で CO 濃度を測定したのち、直ちに静脈血を採血し従来法 (Oximetry) にて COHb (%) を測定した。尚、ToxCO より得た CO 濃度は COHb (%) に変



EC-50-ToxCO

仕 様	
測定範囲	COHb : 0~65% CO : 0~999ppm
検知原理	Electro chemical sens
電 源	9Vアルカリ乾電池
寸 法	63×85×144mm
重 量	225g (電池込み)

図 1.
簡易型呼気中一酸化炭素モニター

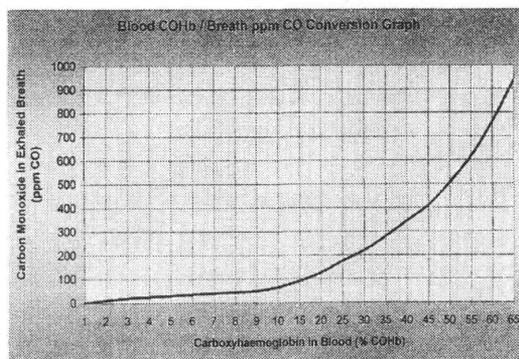


図 2.
CO濃度(ppm)、COHb (%) 変換表
(ToxCO 取扱説明書より引用)

換 (図 2) したものをを用い両者の相関関係を求めた。

4. ToxCO を用いて、院外およびドクターカー (DC) 車内における CO 測定を試み、その実用性を検討した。
5. 人工呼吸器に ToxCO を接続し、非侵襲的連続測定の検討をおこなった。

なお、相関の検討は ToxCO と各測定法との単回帰分析で行い、回帰式と回帰係数 (r) を算出し、危険率 $p < 0.05$ をもって有意とした。また、Oximeter は RADIOMETER 社製 ABL520 を使用し、ガステックおよび ToxCO は使用説明書に従った。

【結果】

1. 標準ガスを用いた再現性の検討では、100%、50%、20%共に良好な結果が得られた(表1)。

表1. 標準ガスを用いた再現性試験

1. 100%希釈試料: CO 952 ppm/N ₂ バランス						
COHb (%)	67.5	65.4	64.2	65.4	65.0	65.1 ± 0.6
CO (ppm)	975	962	912	959	943	950 ± 24
2. 50%希釈試料: CO 952 ppm/2 ppm/空気希釈 (= 476 ppm)						
COHb (%)	48.7	48.6	48.2	48.5	48.2	48.4 ± 0.2
CO (ppm)	484	481	474	480	474	479 ± 4
3. 20%希釈試料: CO 952 ppm/5 ppm/空気希釈 (= 190 ppm)						
COHb (%)	26.4	27.8	27.7	28.2	28.0	27.6 ± 0.7
CO (ppm)	182	195	195	199	197	194 ± 7

標準ガス: CO 952 ppm / N₂バランス
 希釈ガス: 合成空気
 流量: 1.0 l/min
 平均値 ± 標準偏差

2. ToxCOと検知管法との間には有意な正の相関を認めたが、検知管法で測定したものは、ToxCOのそれに比べ約1/2の値を示した (r = 0.99, y=2.1x+0.1)。

3. ToxCOと従来法との間には有意な正の相関を示し、回帰式においても良好な結果が得られた (r = 0.99, y=x-0.1, 図3)。

4. ToxCOは、電源として9vアルカリ電池を使用しているため、院外やDC車内での測定には問題は認められなかった(図4)。

5. 二例のCO中毒患者において、ICU収容後、人工呼吸器の呼気蛇腹管にToxCOを接続しCOHbの測定を試みたが、いずれも予測しているCOHb値を大きく下回った。この原因として呼気流速あるいは呼気容量が測定レベルに達していないことが推測されたため、人工呼吸器呼気側回路間にポート付ストレートアダプタをセットしたのち、患者呼気ガスを持続的に呼気吸引装置(EC-60ガスサンプラー)にて採取し、毎分0.7リットルの持続流量にてToxCO本体に送気させるシステムとしたところ(図5)、人工呼吸器を使用中の患者でも、COHbはリアルタイムに測定ができるようになった(図6)。

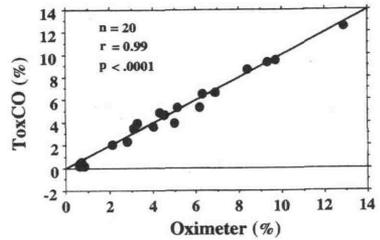


図3. ToxCOとOximeterによるCOHb値の比較

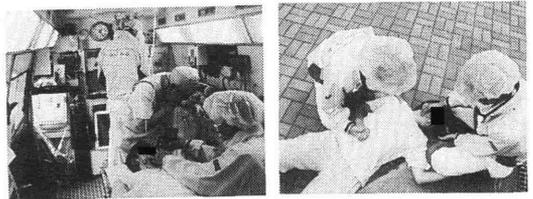


図4. DC車内と屋外における測定の試み

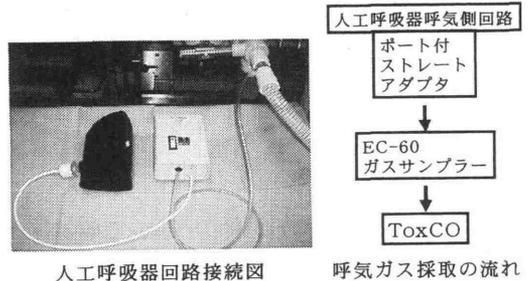


図5. 人工呼吸器接続風景と呼気ガス採取の流れ

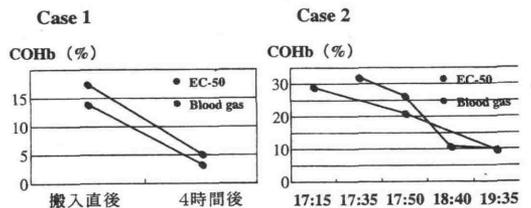


図6. 2例のCO中毒におけるCOHbの推移

【考察】

従来、呼気ガス分析は質量分析計やガスクロマトグラフィーなどの測定装置の開発・普及の結果、多くの分野で研究がなされるようになったが、高額で大型の機器を使用しなければならないため、日常検査としては頻繁に利用することができなかつた^{2,3)}。

ところが最近では、企業努力により機器の小型化や集気バックの開発⁴⁾ などにより、呼気ガス分析が従来以上に注目を浴びつつある。今回使用したToxCOは、定電位電解式センサを用い、図1にも示したように63 (D) × 85 (W) × 144 (H) mmで重さ225 gと小型軽量であり、バッテリーとして9Vアルカリ乾電池を使用するため、容易に持ち運びが可能であり迅速簡便にCO濃度を測定することができる。また、図2に示した変換表が内蔵されているため、CO中毒の指標として用いられているCOHb (%)にもボタン操作ひとつで即座に変換することができ、その測定範囲も0～65%と救急領域でしばしば経験される高い値まで変換可能である。さらに、測定モードは、AおよびBモードを備え、Bモードを使用すれば連続測定も可能である。

本来ToxCOは、喫煙者の禁煙指導の客観的指標として利用されてきたが⁶⁾、今回我々は、当センターに救急搬送された一酸化炭素中毒患者およびそれらの患者の回復期にベッドサイドで、しかも人工呼吸器を介した場合でも使用することができないか検討した。

標準ガスを用いた同時再現性の検討では良好な結果が得られたと同時に、高いCO濃度にも対応し得る測定器であると思われた(表1)。ToxCOと検知管法の比較では、検知管法が低値を示したが、これは検知管法において検知管内部の変色域を目視的に読みとることやその境界部分の評価に個人差があるものと考えられ、さらに検知管内部を移動する被検検体の流速にも疑問が残る。また、従来よりCOHbの測定に用いられているOximeterとの比較では良好な結果が得られ、CO中毒患者に対して非侵襲的な指標になるものと期待される。ToxCOは15秒間の息ごらえを必要とした終末呼気を測定に用いるが、救急領域では意識の低迷もしくは意識の消失したCO中毒患者

が搬入される可能性があり⁷⁾、このような場合、患者の協力が得られないため測定することは困難であり、呼気中のCO濃度を反映させるような検体の採取方法が最も必要である。そこで人工呼吸器回路内の呼気を集気バックに採取し、リアルタイムに結果が得られないものか検討を行ったが、人工呼吸器回路内の空気によって希釈され、予測される患者のCOHb値を反映した結果は得られなかつた。そこで現在では、人工呼吸器呼気側回路間にポート付ストレートアダプタをセットし、患者呼気ガスを持続的に呼気吸引装置にて採取し、毎分0.7リットルの持続流量にてToxCO本体に送気させるシステムとしたところ、人工呼吸器を使用中の患者でも呼気吸引装置による影響をほとんど受けることなく(表2)、ワンステップのボタン操作によりリアルタイムにCOHbを測定することが可能となった。このように呼気ガスを臨床検査に用いることは、非観血的に検体が採取できるため、患者に痛みを伴わず繰り返し検査が可能であり、リアルタイムに結果が得られるのでPoint of care testing⁵⁾の観点からも今後の期待は大きい。

表2.呼気ガス採取による人工呼吸器条件の変化

	接続前	接続後	ガス採取時
Vt (ml)	500 ± 0	490 ± 0	491 ± 3.16
Pmax (cmH ₂ O)	25.39 ± 0.09	25.00 ± 0.07	24.02 ± 0.06
PEEP (cmH ₂ O)	10.0 ± 0.05	9.99 ± 0.03	9.93 ± 0.05

n = 10 mean ± SD

【まとめ】

今回、ToxCOにおける基礎的検討とその臨床応用について検討した結果、標準ガスを用いた同時再現性や健常者や一部のCO中毒患者でのToxCOとOximeterの比較においても良好な結果が得られた。また、呼気吸引装置を用いることにより、人工呼吸器を使用中の患者においてもリアルタイムにCOおよびCOHbが測定可能となった。今後の更なる改良によって、火災や災害などの救急現場やDC車内など多くの利用方法が期待される^{8, 9)}。

【参考文献】

- 1) 渡辺明治: 呼吸測定の内科学的意義, 呼吸生化学-測定とその意義-. 小橋恭一編. メディカルレビュー社, 東京, 8-15, 1998.
- 2) Kajiwara M, Iida K, Takatori K, et al: Validity of ¹³C-urea breath test for the diagnosis of helicobacter pylori infection. Clem Pharm Bull 45: 741-743, 1997.
- 3) Baker AL, Kotake AN, Schoelller DA: Clinical utility of breath tests for the assessment of hepatic function. Semin Liver Dis 3: 318-329, 1983.
- 4) Pleil JD, Lindstrom AB: Exhaled human breath measurement method for assessing exposure to halogenated volatile organic compounds. Clin Chem 43: 723-730, 1997.
- 5) 村井哲夫: 米国における Point of care testing (POCT) 普及の背景. 臨床病理 49 (5): 451-456, 2001.
- 6) Jarvis MJ, Belcher M, Vesey C, et al: Low cost carbon monoxide monitors in smoking assessment. Thorax 41(11): 886-7: 1986.
- 7) 井上尚英, 馬場快彦, 小堀一二: 一酸化炭素. 臨床検査 28 (11): 1412-1416, 1984.
- 8) 福田篤久, 石田浩美, 久保田芽里ほか: 救命救急センターにおけるPOCTの位置づけ-POCTと緊急検査は違うのか-. JJCLA 27 (2): 107-1110, 2002.
- 9) 福田篤久, 石田浩美, 久保田芽里ほか: 第三次救急医療におけるPOCTの有用性について. 臨床病理 47 (12): 1113~1118, 1999.