

M. Mustermann

Universitätsklinikum Heidelberg

Allgemeiner Musterbeitrag

Muster-Untertitel

» Kurzer prägnanter Titel
(bis ca. 50 Zeichen), ggf.
erläuternder Untertitel

Kohlenmonoxid (CO) verursacht mitunter perakut verlaufende Intoxikationen. Die CO-Vergiftung ist ein Klassiker der klinischen Toxikologie und fester Bestandteil aller notfallmedizinischer Curricula. Eine erneute Betrachtung zeigt: Nach häufiger Zitation in der Literatur, die deutliche Fälle [10] zitiert für Rholten Warnmeldungen veranlassete [25]. Im Jahr 2011 sorgten einige spektakuläre und neuartige Fälle für öffentliche Aufmerksamkeit.

Das frühzeitige Erkennen einer Exposition ist im Fall des CO von besonderer Bedeutung für die Einleitung der adäquaten Therapie wie auch für die Sicherheit der Einsatzkräfte, da das Gas sinnlich nicht wahrgenommen werden kann und die Vergiftungssymptome zuweilen als Zeichen einer akuten internistischen Erkrankung fehlgedeutet werden. Die Feststellung einer CO-Vergiftung ist heute mittels moderner transkutaner Pulsoxymeter bereits präklinisch möglich. Zur hyperbaren Sauerstofftherapie (hyperbare Oxygenation, HBO), die als Goldstandard bei der Behandlung der CO-Intoxikation gilt, wurde jüngst ein aktualisiertes Cochrane-Review veröffentlicht [5]. Da die Zahl einsatzbereiter Druckkammern in Deutschland seit Jahren rückläufig ist, wird die Indikationsstellung zur HBO bei CO-Intoxikationen zunehmend durch einen unverhältnismäßig hohen logistischen Aufwand eingeschränkt.

Eine kurze Geschichte der CO-Vergiftung

Intoxikationen führen laut amtlicher Statistik in Deutschland derzeit zu etwa 75.000 Klinikbehandlungen und 3000 Todesfällen jährlich. Dass nur etwa 400 dieser Vergiftungstoten in einer Klinik versterben, verdeutlicht die Bedeutung der klinischen Toxikologie auch für die präklinische (Notfall-)Medizin.

Häufigste Ursache tödlich verlaufender akzidenteller Intoxikationen ist nach wie vor die Exposition gegenüber Gasen (9191 Klinikbehandlungen, 580 Todesfälle), insbesondere Kohlenmonoxid (3756 Klinikbehandlungen, 374 Todesfälle) (jeweils Durchschnittswerte aus den Jahren 2000 bis 2009).

Kohlenmonoxid (chemisch-fachsprachliche Bezeichnung: Kohlenstoffmonoxid) entsteht bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Materialien unter hoher Temperatur und geringer Sauerstoffzufuhr, denn bereits bei einer Verbrennungstemperatur von 1000 °C liegt das chemische Gleichgewicht von Kohlenstoff und Kohlenstoffdioxid ($C + CO_2 \leftrightarrow CO$, sog. „Boudouard-Gleichgewicht“) nahezu vollständig auf der Seite des CO. Die ursprünglichste Form der CO-Exposition ist daher die Ansammlung des Gases in mit Kohle oder Holz beheizten Wohn- und Schlafräumen bzw. der Austritt von CO aus umschlossenen Öfen.

Kohle findet bei den breite Verwendstoff (Abb. 1). N Kohlenfeuers ware Gefahren den Me

» Abbildungen und Tabellen werden entsprechend der Reihenfolge im Text durchnummeriert

Schon in den Schriften des Aristoteles finden sich Hinweise auf die schädliche Wirkung des „Kohlendunstes“ (ανθρακία). Später berichten Plutarch und Lucrez über die todbringenden Kraft des „odor carbonum“ und die Lehrschriften von Galen und Avicenna enthalten bereits Überlegungen zur Wirkung und Behandlung der Kohlendunstvergiftung [2, 20].

War die Inzidenz tödlicher Gasvergiftungen im 19. Jahrhundert noch gering (zwischen 1870 und 1900 konstant unter 15 Fällen pro 1 Mio. Einwohner [19]), erreichte sie Ende der 1920er Jahren bereits einen Wert von fast 50 pro 1 Mio. Einwohner [26]. Insbesondere der suizidale Gebrauch von CO, der vor der Jahrhundertwende nahezu unbedeutend gewesen war (<1% der Suizide) nahm stark zu (1932: 15%).

Seit 1950 zeigen die relativen Fallzahlen einen abnehmenden Trend und liegen seit den 1990er Jahren wieder unter dem Niveau zu Beginn der Aufzeichnungen. Das folgende Diagramm (Abb. 2) veranschaulicht den zeitlichen Verlauf der Fallzahlen soweit in den verfügbaren Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes ausgewiesen. Artefakte sind wahrscheinlich auch durch Eigenarten des amtlichen Kodierungsverfahrens und die häufige Revision der Kodierungssysteme begründet (1952–1957: ICD-6, 1958–1967: ICD-7, 1968–1978: ICD-8, 1979–1997: ICD-9, seit 1998: ICD-10).

Da die Vergiftung nur schwer zu identifizieren ist, wird CO als „silent killer“ bezeichnet. Es ist unsichtbar und geruchlos und wird beim Einatmen weder zu wahrnehmbaren Empfindungen noch zu einer akuten Symptomatik, die vom Betroffenen selbst



Abb. 1 «Wie sie nun ans Land gestiegen waren, sehen sie Kohlenfeuer an und einen Fisch auf liegen und (Joh. 21,9). Byzantinisches Mosaik in der Kathedrale von Gera am See Gereth. (Mit freundl. Genehmigung von James Emery)

» **Abbildungen (Fotos, Algorithmen, Grafiken) sind erwünscht (max. 6 pro Beitrag), dienen der Veranschaulichung und ergänzen den Text sinnvoll**

Beschwerden klagten. Das Mädchen verstarb kurze Zeit später in einer Klinik.

Kaminöfen ohne Außenluftzuführung können auch dadurch zur Gefahr werden. Maßnahmen (Erneuerung von Fenstern, Türen, Abdichten zur Wärmedämmung) führen zum Aufwachen der Gefahr. Daher können Kaminöfen dann eine Gefahr darstellen. Kaminöfen mit Schornsteinfeuertüren erfordern, wenn eine in den Räumen bestehende Feuerungsanlage selbst nicht verändert wird.

Unfälle mit dauerhaft betriebenen Feuerungsanlagen sind allerdings keineswegs passé: Nach wie vor ereignen sich häufig Vergiftungen durch Fehlfunktionen von mit Gas betriebenen Etagenheizungen oder Heißwassergeräten („Thermen“) in Badezimmern. So starb im Juli 2011 in Berlin-Köpenick eine sechsköpfige Familie im Schlaf, weil Vormieter der Wohnung eine Abluftöffnung mit Stoff und Papier gegen Zugluft verschlossen hatten.

Eine Unfallserie neuer Art sorgte im Juli 2011 in Wien für Schlagzeilen. Hier kam es während einer schwülheißen Wetterlage zu zahlreichen Vergiftungen durch Freisetzung von CO aus Gasgeräten modernerer Bauart, da deren Abgase mit deutlich

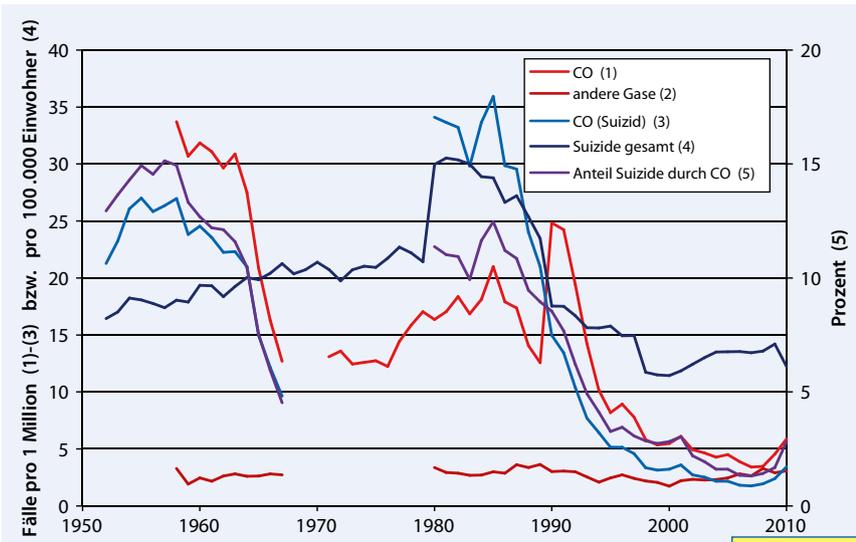


Abb. 2 ▲ Todesfälle in Deutschland durch Gasvergiftungen und Suizide 1950–2010

» **Abbildungslegenden sind möglichst kurz. Lange Erläuterungen der Abbildung werden in den Fließtext integriert**

» **Zier- und Heizkamine in Wohnräumen können CO freisetzen**

oder anderen mit einer respiratorischen Beeinträchtigung in Verbindung gebracht wird. So wurden bis in die Neuzeit viele tödliche Vergiftungen als teuflische Feme gedeutet, da die Ursache nicht erkennbar war und ein Zusammenhang mit okkulten Handlungen (bei denen oft Kohlenfeuer und Räucherwerk eine Rolle spielten) offensichtlich schien [20].

Mit der Einführung von zentralen Heizungsanlagen wurden Feuerstellen in Wohnräumen seltener und damit auch die Unfallsituation des in der Wohnstube ersticken Bewohners. Bei Kaminen offener Bauart, die in den 1960er und 1970er Jahren stark in Mode waren, ist durch die lebhaftere Verbrennung bei ungehinderter Luftzufuhr und das schnelle Entweichen der Verbrennungsgase aus der Reaktionszone die Gefahr einer unbemerkten Exposition gegenüber schädlichen Abgasen geringer.

Seit einiger Zeit allerdings werden wieder zunehmend Zier- und Heizkamine in Wohnräumen installiert, die bei unzureichender Luftzu- bzw. -abfuhr CO freisetzen können. Im Februar 2011 verlor in Brandenburg an der Havel ein 3-jähriges Mädchen das Bewusstsein, nachdem aus dem Kamin eines erst vor wenigen Jahren errichteten Hauses Kohlenmonoxid (in der Presse wurde fälschlicherweise von Kohlenstoffdioxid berichtet [18]) ausgetreten war. Die vor Ort tätigen Einsatzkräfte wurden in diesem Fall erst auf die Gefahr aufmerksam, als mehrere weitere Familienmitglieder über gleichartige

Unfälle durch das Gerät verlastet wurden. Bei den hohen Temperaturen konnten die Abgase durch Konvektion in kalte Luft im Abluftkanal zu Pfropfen. Die örtliche Feuerwehr empfahl daraufhin,

bei entsprechender Witterung Gasgeräte nur kurzzeitig zu betreiben und währenddessen für Belüftung der Räume zu sorgen.

Eine inzwischen in Deutschland vollständig verschwundene Quelle für CO-Vergiftungen ist das Leitungsgas. In die ab der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in vielen Ländern Europas eingerichteten öffentlichen Gasleitungsnetze wurde zunächst das sog. Leucht-, Koch- oder Stadtgas eingeleitet, welches vorwiegend durch Kohleentgasung (Verkokung) gewonnen wurde und neben Wasserstoff und Methan zu etwa 6% aus dem – ebenfalls brennbaren – CO bestand. Der Austritt von Leitungsgas barg daher neben der Explosionsgefahr auch eine erhebliche Vergiftungsgefahr (1% CO in der

Atemluft führt innerhalb weniger Minuten zum Tod [29, 30]) und ermöglichte Suizidhandlungen durch das Einatmen der Gase aus Herd und Backofen. Bis Ende der 1970er Jahre wurde die Gasversorgung in den alten, bis 1996 auch in den neuen Bundesländern und Berlin, vollständig auf Erdgas umgestellt, welches in der abgegebenen Form nur Methan und einige weitere ungiftige Gase enthält.

Suizidale CO-Intoxikationen

» Aussagekräftige Zwischenüberschriften: Vier Hierarchien sind möglich

...ne im KFZ-halten schaden häufig in suizidaler Absicht durch Lauflassen von Motoren in Garagen oder durch Einleitung der Auspuffgase in den Innenraum des Wagens. Diese Form der CO-Vergiftung verliert seit langem an Bedeutung, da der CO-Gehalt der Abgase moderner PKW fortschreitend reduziert wurde. Die Abgase von Fahrzeugen mit regeltem Katalysator, die die Norm EURO4 erfüllen, enthalten inzwischen weniger als 0,3% CO.

An die Stelle der KFZ-Abgase scheint nun die unsachgemäße Verwendung von Kohlegrills zu treten. Seit mehreren Jahren beobachten alle Giftinformationszentren im deutschsprachigen Raum eine hohe Zahl von schweren, mitunter tödlichen Unfällen durch das Aufstellen von Grills in geschlossenen Räumen [10], meist in der Absicht, schlechtem Wetter auszuweichen oder auch durch Verbringen des mutmaßlich erloschenen Grills in den Innenraum zum Schutz vor Regen und Wind. Auf diese tragische Weise kamen am Neujahrstag 2011 Vater und Tochter einer jungen Familie in Freising (Bayern) ums Leben.

» Neu sind Suizide durch gezieltes Abbrennen von Holzkohle in geschlossenen Räumen

Eine völlig neue und zugleich zune... de Erscheinung sind Suizide dur... zieltes Abbrennen von Holzkohle... schlossenen Räumen. Es wird vermutet, dass diese Suizidmethode seit 1998 in... folge eines aufsehenerregenden Falls in Hong Kong unter dem Einfluss des Inter-

» Eye Catcher dienen zur Auflockerung des Textes. Die entsprechende Textstelle ist eine Wiederholung des Fließtextes (max. 70 Zeichen inkl. Leerzeichen)

M. Mustermann

Allgemeiner Musterbeitrag

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Giftinformationszentren beobachten eine Zunahme akuter Kohlenmonoxidvergiftungen.

Fragestellung. Inzidenz und Mortalität von Kohlenmonoxidvergiftungen, Darstellung von deren Wirkung und Klinik sowie Entwicklung von Therapieempfehlungen.

Material und Methode. Auswertung der amtlichen Statistiken, Analyse bemerkenswerter Fälle aus der Presse, Diskussion von Grundlagenarbeiten und Expertenempfehlungen.

Ergebnisse. 2009 und 2010 stieg die Anzahl der Kohlenmonoxid- (CO-)Todesfälle in Deutschland um jeweils ca. 30%. Neuartige Expositionen wie die suizidale Inhalation der Gase aus Kohlegrills häufen sich. Die Einschätzung der Vergiftung orientiert sich an Vigilanz und CO-Hb-Wert. Therapieprin-

zip ist ein hoher Sauerstoffpartialdruck. Die Wirksamkeit der hyperbaren Oxygenation ist nicht gesichert, bei schweren Vergiftungen jedoch zu vermuten. Die Verfügbarkeit geeigneter Druckkammern ist gering.

Schlussfolgerungen. Mit neuartigen Gefahrensituationen ist zu rechnen. CO-Pulsoxymeter erleichtern die... größerer Patienten... servierung von La... sesicherung und T... suffiziente Oxygen... schweren Fällen sc... Druckkammerzent

» Gegliederte Zusammenfassung und englisches Abstract: jeweils max. 1800 Zeichen inkl. Leerzeichen

Schlüsselwörter

Kohlenstoffmonoxid (CO) · Gasvergiftung · Suizid · Hyperbare Oxygenation · Druckkammer

Example article

Abstract

Background. Poison information centers have observed an increasing number of cases of acute carbon monoxide (CO) intoxication.

Objectives. Determination of the incidence and mortality, discussion of effects and clinical signs and presentation of treatment recommendations.

Methods. The official statistics as well as remarkable cases reported in the news are analyzed. Basic literature and expert opinions are discussed.

Results. In 2009 and 2010 fatalities due to CO increased by about 30% in Germany. New types of exposition, such as suicide by charcoal burning were numerous. The assessment of CO poisoning includes the level of consciousness and measurement of CO-hemoglobin (CO-Hb) saturation. A high partial pressure of oxygen is required for treatment. The effectiveness of hyperbaric oxygen re-

mains unclear but may be assumed in cases of severe poisoning. Hyperbaric chambers are not continuously available (24/7) throughout Germany.

Conclusions. A CO poisoning emergency yields new threats and challenges for emergency staff. To ensure the correct diagnosis and to determine the appropriate treatment, a blood sample should be taken immediately. Pulse CO oximeters facilitate the early triage of even larger numbers of patients. Sufficient oxygenation is essential. Severely poisoned patients should be admitted for hyperbaric oxygen therapy.

Keywords

Carbon monoxide (CO) · Gas poisoning · Suicide · Hyperbaric oxygenation · Hyperbaric chamber

» max. 5 Schlüsselwörter und englische Keywords (MeSH-Term-konform)

...ndet [22]. Beim... das Internet ver... agendlicher im... ersachsen), der... mit Schlagzeilen... Einweggrills in... einem besonders präparierten Campingzelt entzündet [28]. Bei derartigen Fällen wird häufig berichtet, dass Suizidenten die Tür- und Fensteröffnungen luftdicht ver-

schließen und handelsübliche Grills oder improvisierte Pfannen entzünden [10].

Wenngleich die Zahl vorsätzlicher Selbsttötungen insgesamt in Deutschland weiter rückläufig ist (■ Abb. 2), nimmt doch der Anteil durch CO verübter Suizide in den letzten Jahren erneut zu. Hieraus resultiert ein im Vergleich zu anderen häufigen Suizidmethoden wie Erhängen oder oraler Vergiftung erhöhtes Ge-



Abb. 3 ◀ Mobiles CO-Pulsoxymeter



Abb. 4 ◀ Druckkammer zur hyperbaren Oxygenation

fährdungspotenzial für das Personal in der präklinischen Notfallrettung. Wurden Rettungskräfte bislang angehalten, bei bewusstlosen Personen in PKW und Garagen auf Manipulationen am Fahrzeug zu achten, erscheint heute ein Hinweis auf verklebte Tür- und Fensterritzen oder andere ungewöhnliche Abdichtungen von Aufenthaltsräumen aller Art angebracht.

Brandrauchvergiftung

Die häufigste Erscheinungsform der akuten CO-Vergiftung dürfte heute in den Industrienationen das Brandrauchinhalationsyndrom sein. In Deutschland sterben der amtlichen Statistik zufolge jährlich etwa 500 Menschen bei Bränden; in etwa 70% der Fälle ist die Rauchvergiftung Todesursache. Nur bei ca. 15% der Brandtoten werden vor der Todesfeststellung noch medizinische Rettungsmaßnahmen unternommen [14]. Weitere et-

wa 100 Menschen erleiden eine schwere Rauchvergiftung mit Bewusstseinsstörungen, die zur Fluchtunfähigkeit führen [14]. Über behandlungspflichtige leichtere Brandrauchvergiftungen sind bislang keine statistischen Daten verfügbar.

» Rauch von Gebäude- und Kraftfahrzeugbränden enthält CO und Zyanwasserstoff

Der Rauch von Gebäude- und Kraftfahrzeugbränden enthält neben einer verringerten Sauerstoffkonzentration zahlreiche inhalative Reizstoffe und wenige systemisch wirkende Gifte, insbesondere CO und Zyanwasserstoff (Blausäure, HCN). Aktuell wird der Stellenwert der HCN-Exposition, die eine größere Bedeutung haben könnte als über Jahrzehnte angenommen, kontrovers diskutiert [9, 15]. Auch der Mehrzahl der neueren Untersu-

chungen zufolge steht jedoch bei schwerer Vergiftungssymptomatik immer die CO-Intoxikation im Vordergrund, wenn auch mitunter subletale CO-Hb-Werte beobachtet werden [1, 17]. Die Gifteinformationszentren empfehlen daher vorläufig, bei der Behandlung schwerer Brandrauchvergiftungen eine Kombinationsvergiftung von CO und HCN in Betracht zu ziehen und ein nebenwirkungsarmes Zyanidantidot (Hydroxocobalamin oder Natriumthiosulfat) zu verabreichen [15, 29, 30] (zum Stand der Diskussion und konkreten Handlungsempfehlungen s. [15]).

Die Behandlung schwerer Rauchvergiftungen und insbesondere die Bedeutung der Zyanwasserstoffexposition sind Gegenstand aktueller Studien in mehreren europäischen Ländern [9]. Mit Ergebnissen ist in Kürze zu rechnen (s. auch Abschn. „Laufende Studien“).

Pathogenese

Die Wirkung von CO auf den menschlichen Körper ist nach gegenwärtigem Wissensstand eine dreifache: Erstens verdrängt CO mit etwa 200–300facher (bei fetalem Hämoglobin sogar 600-facher [29]) Affinität die Sauerstoffmoleküle (O₂) von den Eisen(II)-Bindungsstellen des Hämoglobins und verringert dadurch die Sauerstofftransportkapazität des Blutes unter Bildung von Carboxyhämoglobin (CO-Hb; [11]). Zweitens bewirken CO-Liganden eine allosterische Veränderung am Hämoglobin, die die Bindung der verbliebenen O₂-Moleküle verstärkt, sodass weniger Sauerstoff in die Gewebe abgegeben wird (physiologisch manifestiert sich dies als Linkerverschiebung der Sauerstoffbindungskurve; [27]). Der dritte Effekt beruht darauf,

» Literaturhinweise werden durch Ziffern in eckigen Klammern im Text erwähnt

bin- er als Blau- läres CO die Funktion von Cytochrom-Enzymen wie Cytochrom-c-Oxidase, was bei längerem Andauern zu einer zytotoxischen Hypoxie führt [21].

Da all diese Effekte eine Gewebshypoxie zur Folge haben, manifestiert sich die CO-Intoxikation zunächst im besonders hypoxieempfindlichen zentralen Nervensystem und erst später auch am Herzmuskel, zu dessen Myoglobin CO nur eine et-

Tab. 1 Schweregrade und typische Symptomatik der CO-Intoxikation. (Synopsis aus [29, 30, 13])

Schweregrad	Symptome	CO-Hb-Fraktion
Leicht	Kurzatmigkeit bei Belastung Kopfschmerz	> 10%
	Schwindel Ohrensausen Übelkeit, Erbrechen	> 20%
Mittelschwer	Müdigkeit Sehstörungen	> 30%
	Tachykardie Bewusstseinsverlust Herzrhythmusstörungen (VES)	> 40%
	Koma Tachypnoe	> 50%
Schwer	Krampfanfälle Cheyne-Stokes-Atmung	> 60%
	Atem- und Kreislaufversagen	60–80%

» Tabellen haben eine kurze Überschrift und sind klar strukturiert. Erläuterungen zur Tabelle gehören in die Tabellenfußnote

Tab. 2 Eliminationshalbwertszeit von CO bei verschiedenen inspiratorischen Sauerstoffpartialdrücken

Behandlungsform	F _I O ₂ (%)	Umgebungsluftdruck (kPa)	pO ₂ (kPa)	HWZ [29]
Raumluftatmung	21	100	21	4–6 h
Normobare Oxygenierung	100	100	100	40–80 min
Hyperbare Oxygenierung	100	300	300	15–30 min

F_IO₂ inspiratorische Sauerstofffraktion, pO₂ resultierender Sauerstoffpartialdruck, HWZ Halbwertszeit.

Tab. 3 Indikationsstellung zur hyperbaren Oxygenation. (Aus [15, 29, 30])

Indikation	Kriterien
Bewusstlosigkeit	Nicht erweckbar bei gesicherter Diagnose (CO-Hb über 20% oder eindeutige Expositionsanamnese unter Ausschluss anderer Ursachen)
Hoher CO-Hb-Wert	CO-Hb über 40% (unabhängig von der Schwere der Symptomatik)
Kardiale Symptomatik	Symptome kardialer Ischämie bei gesicherter Diagnose (Expositionsanamnese und erhöhter CO-Hb)
Schwangerschaft	Schwangere Patientin mit CO-Hb über 20% oder klinischer Symptomatik nach CO-Exposition

wa 40-fache Affinität im Vergleich zu Sauerstoff aufweist [21, 30]. Auch hier bestätigen allerdings Ausnahmen die Regel: Dem Giftinformationszentrum-Nord ist der Fall eines Patienten bekannt, der mit pektangösen Beschwerden und infarkttypischen EKG-Zeichen im Herzkatheterlabor vorgestellt wurde. Nach unauffälligem Angiographiebefund wurde differenzialdiagnostisch ein deutlich erhöhter CO-Hb-Wert festgestellt. Die benachrichtigte Feuerwehr stellte daraufhin einen Defekt am Heißwassergerät in der Wohnung des Betroffenen fest.

Es wird vermutet, dass für die akute Toxizität im Bereich mittlerer Dosen alle Effekte eine Rolle spielen. Perakute Verläufe mit Todeseintritt innerhalb von Minuten scheinen hingegen v. a. auf die kardiotoxische Wirkung zurückzugehen, weshalb

die kardiovaskuläre Anamnese des Patienten von entscheidender Bedeutung für die Prognose von Expositionen gegenüber hohen Konzentrationen sein dürfte.

Die von einigen Autoren beschriebenen bleibenden neurologischen Schäden nach CO-Vergiftungen [8] werden überwiegend auf die zytotoxische Wirkung zurückgeführt. Lange Expositionsdauer und später Therapiebeginn dürften daher auch bei weniger schwerer klinischer Symptomatik ein erhebliches Gesundheitsrisiko bedeuten.

Klinische Symptomatik

Die CO-Vergiftung zeigt überwiegend unspezifische Symptome einer Hypoxie (Tab. 1).

Wichtigstes Leitsymptom akuter Vergiftungen ist die Vigilanzminderung. Bei der Einschätzung der Vergiftungsschwere kann neben der klinischen Symptomatik die CO-Hb-Fraktion herangezogen werden, obgleich im Einzelfall starke Abweichungen von der typischen Korrelation (Tab. 1) möglich sind [13, 30]. Da

alten von CO-Hb im Bereich dem des Oxy-) stark ähnelt, können private von herkömmlichen nicht unterschieden skutane Sauerstoffsättigungsmessung zeigt daher nach CO-Exposition häufig falsch-normale Werte [6].

Eine hohe Konzentration von CO-Hb führt zu einer hellroten Verfärbung des Blutes. Dieses spezifische Zeichen manifestiert sich jedoch klinisch zuverlässig nur postmortal in Form der deutlich hellroten Livores, während die in Lehrbüchern erwähnte auffällige Hautrötung tatsächlich nur selten zu beobachten ist [7].

Der CO-Hb-Wert kann heute meist in der Klinik mit herkömmlichen Blutgasanalysegeräten bestimmt werden. Für die präklinische Anwendung stehen mit Atem-CO-Messgeräten und Mehrwellenlängen-Pulsoxymetern („Rainbow“-Technik) auch nichtinvasive Verfahren zur Verfügung. Letztere können O₂- und CO-Hb (mitunter auch Methämoglobin) optisch unterscheiden und separat anzeigen (Abb. 3).

Die präklinische CO-Pulsoxymetrie ermöglicht eine schnelle Differenzialdiagnose und die frühzeitige Stratifizierung bei der Sichtung auch größerer Patientenzahlen. In einer klinischen Fallserie bewies die neue Technik eine ausreichende Präzision [24]; laufende Untersuchungen evaluieren die präklinische Anwendung bei Gas- und Brandunfällen (s. unten).

Therapie

Das Vorliegen einer CO-Vergiftung überhaupt zu bemerken, stellt häufig eine große Herausforderung dar. Gelingt dies nicht, wird die adäquate Therapie verzögert oder gar nicht eingeleitet und die am Ort des Geschehens tätigen Einsatzkräfte können einer erheblichen Gefährdung ausgesetzt sein. In einem Feldversuch der Wiener Rettung konnten durch

Infobox Mehr Informationen zum Thema<http://www.beispieladresse.de><http://www.example.com>http://www.weitere_Informationen.de

ständig mitgeführte Gaswarngeräte innerhalb von 12 Monaten 34 unerwartete CO-Expositionen entdeckt werden. 94 Betroffene und 20 Einsatzkräfte wurden daraufhin hospitalisiert [4].

➤ **Das Antidot zur Behandlung der CO-Intoxikation ist Sauerstoff.**

» **Wichtige Aussagen können als Important optisch hervorgehoben werden (maximal 130 Zeichen mit Leerzeichen)**

Wird mit steigendem Umgebungsdruck (pO_2) erhöht (Abb. 2), weshalb eine Sauerstoffkonzentration – das CO kompetitiv aus der Bindung mit dem Hämoglobin (und den Atmungsfermenten) zu verdrängen. Ferner erhöht sich mit dem pO_2 die im Plasma gelöste Sauerstoffmenge und die Sauerstoffabgabe aus dem Kapillarblut in das Gewebe wird verbessert [12].

Bei suffizienter Spontanatmung ist die hoch dosierte Sauerstoffapplikation per Inhalationsmaske ausreichend. Aufgrund der erhöhten Aspirationsgefahr durch Erbrechen und drohender zerebraler Krampfanfälle ist jedoch zumindest bei komatösen Patienten eine Narkose mit endotrachealer Intubation und kontrollierter Beatmung zu empfehlen.

Die Sauerstoffbehandlung unter erhöhtem Umgebungsdruck (HBO) in einer Druckkammer erhöht den Partialdruck noch einmal auf etwa das Dreifache und gilt daher als Goldstandard der Behandlung von CO-Vergiftungen (Abb. 4). Der vasokonstriktorische Effekt von hyperbarem Sauerstoff vermag außerdem das begleitende Hirnödem zu reduzieren [12].

Die frühzeitige Einweisung in ein Druckkammerzentrum, aber auch der weitere Verlauf der Therapie und Rehabilitation bis hin zur Begründung eventueller versorgungsrechtlicher Ansprüche beruhen auf einer sicheren Diagnosestellung. Der schnelle Rückgang des Blut-CO-Gehalts schon während der präklinischen O_2 -

Therapie (Tab. 2) erfordert daher eine Thoraxpunktion, möglicherweise, asserviert, eine thoraxchirurgische Heparininfusion, die zu initialen CO-

Hb sowie den Nachweis anderer differenzialdiagnostisch relevanter Substanzen (Alkohol, Rauschmittel, Medikamente).

Obwohl die Effekte der HBO vom theoretischen Standpunkt überzeugen, ist die Evidenz zu Indikation und Nutzen im Vergleich zur normobaren Sauerstoffapplikation bislang gering. Ein aktuelles Cochrane-Review nimmt Bezug auf 6 Untersuchungen, die eine extreme Heterogenität im Studiendesign sowie zahlreiche methodische Limitationen aufweisen und zu teilweise gegensätzlichen Schlussfolgerungen kommen [5]. Die Autoren des Reviews legen dar, dass nach aktuellem Stand der Erkenntnis keine definitiven Therapieempfehlungen möglich sind und weisen auf den bestehenden Forschungsbedarf hin. Allerdings wird die Vermutung geäußert, dass manche Patienten, insbesondere solche mit schweren Formen der CO-Intoxikation, von einer HBO profitieren.

Aus theoretisch-toxikologischer Sicht dürften folgende Faktoren einen Vorteil der hyperbaren gegenüber der normobaren Sauerstoffapplikation erwarten lassen:

- hohe Expositions-dosis,
- lange Expositions-dauer,
- schwere klinische Symptomatik,
- frühzeitiger Therapiebeginn.

Aus unserer Sicht sollte daher innerhalb von 6 h nach Expositionsende eine Druckkammerbehandlung erfolgen, wenn unter CO-Exposition Bewusstseinsverlust oder exorbitante CO-Hb-Werte beobachtet werden, kardiale Symptome (pektangiöse Beschwerden, Ischämiezeichen) auftreten oder eine Schwangerschaft besteht (Tab. 3).

Bei Schwangeren sollte die Indikation großzügig gestellt werden, da der Fötus empfindlicher gegenüber CO ist und das Ausmaß der Vergiftung des Kindes nicht allein anhand des klinischen Zustands der Mutter beurteilt werden kann [21].

Die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit geeigneter Druckkammern nimmt in Deutschland seit Jahren ab. Der Anwendung der hyperbaren Sauerstofftherapie können somit durch unverhältnismäßig lange Transportwege Grenzen gesetzt sein. Tatsächlich erhalten auch Patienten mit schwerer CO-Vergiftung nur in wenigen Fällen eine Druckkammerbehandlung [14]. Absolute medizinische Kontraindikationen bestehen in Notfallsituationen jedoch nicht [12]. Es empfiehlt sich daher, die Entscheidung im Einzelfall in Absprache mit einem Giftinformationszentrum zu treffen, das auch bei der Suche nach einer geeigneten Druckkammer Hilfestellung leisten kann.

Therapie leichter CO-Intoxikationen

Ein CO-Hb-Wert über 5% (Nichtraucher) bzw. über 10% (Raucher) belegt in der Regel eine Exposition gegenüber CO. Die Entscheidung über eine Klinikeinweisung sollte sich jedoch bei niedrigen CO-Hb-Werten (<20%) vornehmlich am klinischen Beschwerdebild der Patienten und kardiovaskulären oder neurologischen Vorerkrankungen orientieren.

Bei pektangiösen Beschwerden ist ferner der gleichzeitige Beginn einer Therapie nach den Leitlinien für das akute Koronarsyndrom zu erwägen, da auch nach CO-Exposition ein akutes thrombotisches Geschehen nicht sicher ausgeschlossen werden kann.

Die Sauerstoffbehandlung kann i. Allg. beendet werden, sobald die CO-Hb-Fraktion einen Wert unter 5% erreicht hat. Bei leichteren Expositionen – insbesondere durch Rauch – ist außerdem an eine Beteiligung ätzend wirkender Gase zu denken. Bei Atemwegsreizungen ist eine Klinikvorstellung angezeigt, um ein toxisches Lungenödem frühzeitig erkennen und behandeln zu können (s. hierzu [15] mit weiteren Nachweisen).

Laufende Studien

Identifikation, Diagnosestellung und Therapie akuter CO-Vergiftungen sind aktueller Forschungsgegenstand mehrerer deutscher Studien mit notfallmedizinischem Schwerpunkt, unter anderem bei den Feuerwehren Wuppertal (u. a. CO-

