

Smrtonosna otrovanja ugljikovim monoksidom

Tvrtković, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:762672>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Dr Med - University of Zagreb School of Medicine
Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET

Fran Tvrtković

Smrtonosna otrovanja ugljikovim monoksidom

DIPLOMSKI RAD



Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET

Fran Tvrtković

Smrtonosna otrovanja ugljikovim monoksidom

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zavodu za sudsku medicinu i kriminalistiku Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Davora Mayera i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2017./2018.

SADRŽAJ

1. SAŽETAK

2. SUMMARY

3. UVOD.....	1
3.1. OTROVANJA.....	1
3.2. UGLJIKOV MONOKSID (CO).....	2
3.3. HEMOGLOBIN I FIZIOLOŠKI PRIJENOS KISIKA U TIJELU.....	3
4. PATOFIZIOLOGIJA OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM.....	5
5. GLAVNI IZVORI UGLJIKOVOG MONOKSIDA I OKOLNOSTI U KOJIMA NAJČEŠĆE DOLAZI DO OTROVANJA.....	7
6. OBDUKCIJSKI I TOKSIKOLOŠKI NALAZI KOD OSOBA PREMINULIH ZBOG OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM.....	10
6.1. OBDUKCIJSKI NALAZI.....	10
6.2. TOKSIKOLOŠKI NALAZI.....	13
7. EPIDEMIOLOŠKO – STATISTIČKI PODATCI I TRENDVI SMRTONOSNIH OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM U SVIJETU.....	16
8. ANALIZA SMRTONOSNIH OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM OBDUCIRANIH NA ZAVODU ZA SUDSKU MEDICINU I KRIMINALISTIKU MEDICINSKOG FAKULTETA U PETOGODIŠNJEM RAZDOBLJU (PROSINAC 2011. – SIJEČANJ 2017.).....	18
8.1. CILJ.....	18
8.2. METODE.....	18
8.3. REZULTATI.....	18
8.4. RASPRAVA.....	22

9. ZAHVALE.....	24
10. LITERATURA.....	25
11. ŽIVOTOPIS.....	30

1. SAŽETAK

Naslov rada: Smrtonosna otrovanja ugljikovim monoksidom

Autor: Fran Tvrtković

Otrovanja ugljikovim monoksidom (CO) među vodećim su uzrocima smrti kada je riječ o slučajnim otrovanjima. Iako su relativno rijetka (pretražujući arhivu Zavoda za sudsku medicinu i kriminalistiku, pronašao sam samo 30 slučajeva u posljednjih 5 godina), predstavljaju značajnu potencijalnu opasnost u svakodnevnom životu. Ugljikov monoksid je plin bez boje, okusa i mirisa, neznatno lakši od zraka. Blokira stanično disanje na razini mitohondrija. CO je uobičajeno produkt nepotpunog izgaranja organskih tvari. Uzevši to u obzir, jasno je da su glavni izvori ovih otrovanja motori automobila, kućni požari, štednjaci i grijači vode, ali i cigarete i cigare, koje mogu značajno podignuti razine karboksihemoglobina (COHb) u krvi. Poznato je da se CO veže na slobodni hemoglobin s 200-300 puta većim afinitetom od kisika. Otrovanja ugljikovim monoksidom su opasna, jer nema jasnih znakova ni simptoma koji bi upozorili osobu da napusti mjesto izlaganja. Na obdukciji, najizraženija karakteristika je boja kože, koja se opisuje kao svijetloružičasta. Spektrofotometrija ugljikovog monoksida radi se kao potvrda otrovanja ugljikovim monoksidom. Na samom početku 21. stoljeća, otrovanja ugljikovim monoksidom postala su iznimno popularan način za okončanje života, pogotovo u dalekoistočnim zemljama.

Zaključno, otrovanja ugljikovim monoksidom jedan su od vodećih uzroka smrti zbog nesretnog slučaja, a mogu biti i način završetka života suicidalne osobe.

Ključne riječi: ugljikov monoksid; smrtonosno otrovanje; karboksihemoglobin

2. SUMMARY

Title: Fatal carbon monoxide intoxications

Author: Fran Tvrtković

Carbon monoxide (CO) intoxications are amongst the leading causes of death when it comes to accidental poisonings. Although they are relatively rare (while searching through the archive in Zagreb's Institute of Forensic Medicine, there were only 30 cases found in the last 5 years), they represent significant danger in everyday life. Carbon monoxide is an odorless, colorless, non-irritating gas, slightly lighter than air. It blocks respiration at the mitochondrial level. Usually it is a product of incomplete combustion of organic compounds. That being said, it is clear that the main sources of these poisonings are car motors, housefires, stoves and water heaters, but also smoking cigarettes and cigars, which can significantly raise the percentage of carboxyhemoglobin (COHb). It is known that carbon monoxide is 200-300 times more likely to bind to unsaturated hemoglobin than oxygen. These intoxications are dangerous, as there are no clear signs and symptoms which would alert the person to leave the place of danger. At autopsy, the most striking appearance is the color of the skin, which is commonly described as cherry-red. Spectrophotometry of carbon monoxide is usually done to confirm the diagnosis. At the very beginning of 21st century carbon monoxide poisonings became an enormously popular way to end one's own life, especially in the Far East.

In conclusion, carbon monoxide intoxications are one of the leading causes of accidental deaths, but may also be the method of committing suicide.

Key words: carbon monoxide; fatal intoxication; carboxyhemoglobin

3. UVOD

3.1. OTROVANJA

Otrovima, ili točnije, kemijskim otrovima, smatramo sve anorganske ili organske tvari koje unesene izvana u tijelo mogu narušiti zdravlje ili izazvati smrt.¹ Otrovanja su ozljede uzrokovane otrovima, koji djelujući kemijski ili fizikalno-kemijski, remete homeostazu organizma ili njegovu anatomsku strukturu. Drugi naziv za otrovanja može biti i kemijske ozljede, jer je važno istaknuti da vanjske nokse koje ne djeluju kemijski, već fizikalno, nutritivno ili na neki treći način, ne možemo nazivati otrovima.

Otrove prema vremenu nastanka možemo podijeliti na akutna i kronična, a prema ishodu na smrtonosna i nesmrtonosna. Po načinu nastanka otrovanja su samoubilačka, ubilačka, slučajna i ijtrogena.¹ Ijtrogenim otrovanjima smatramo ona koja su posljedica liječenja određenom tvari, odnosno pogrešnog liječničkog savjeta.

U svijetu, a i u Hrvatskoj, najčešći povod otrovanja su pokušaji samoubojstva koja najčešće ipak ne završavaju smrtnim ishodom.¹ S druge strane, kada govorimo o slučajnim otrovanjima, prednjače upravo otrovanja ugljikovim monoksidom.¹ U Hrvatskoj je u 2016. godini, pod dijagnostičkom skupinom XIX 10. revizije Međunarodne klasifikacije bolesti (MKB-10), koja predstavlja „Ozljede, otrovanja i neke druge posljedice vanjskih uzroka“, zabilježeno ukupno 2834 smrti, od toga 1662 smrti muških osoba i 1172 smrti ženskih osoba, što iza bolesti cirkulacijskog sustava (skupina IX MKB-10) i novotvorina (skupina II MKB-10), predstavlja ukupno treći uzrok smrti prema učestalosti u Republici Hrvatskoj.² Smrtonosna otrovanja, odnosno sama sumnja na iste, obavezno podliježu sudskomedicinskoj obdukciji, te toksikološkoj analizi. Kod preminulih osoba rutinski se uzimaju uzorci tjelesnih tekućina i tkiva, i to: sva mokraća, sav sadržaj želuca, dvanaesnika i žučnog mjehura, oko 100 grama tkiva jetre, bubrega i mozga, 50 do 200 mililitara krvi, te dlake ili kosa.¹ Analiza otrova u krvi izlazi iz domene djelovanja liječnika, njome se bave stručnjaci posebne grane analitičke kemije – toksikološke kemije. Negativan rezultat toksikološke analize ne isključuje nužno samo otrovanje, jer je često zbog raznih okolnosti ili samog stanja leša nemoguće identificirati tvar koja je uzrokovala smrt. Također, pozitivan toksikološki nalaz ne znači nužno da je uzrok smrti otrovanje

tom tvari, već je uvijek potrebno nalaze staviti u kontekst kliničkih i obdukcijских nalaza, te okolnosti u kojima je smrt nastupila.¹

3.2. UGLJIKOV MONOKSID (CO)

Ugljikov monoksid (CO) je pri uobičajenim atmosferskim uvjetima plin bez boje (navodi se da žuti plamen koji nastaje izgaranjem prirodnog plina stvara CO, dok plavi plamen znači da plin izgara bez nusprodukata)³, okusa i mirisa, eksplozivan i zapaljiv.⁴ Očigledno je iz ovih fizikalnih karakteristika zašto ovaj plin predstavlja toliku opasnost i zašto ga neki nazivaju „tihim ubojicom“. Molekularna masa je 28.01 daltona⁴, a pošto je neznatno lakši od zraka, u zatvorenoj prostoriji najveća je koncentracija na visini između 100 i 150 centimetara od razine tla.³ Uz sumporovodik (H₂S) i cijanovodik (HCN) spada u skupinu tzv. kemijskih zagušljivaca.⁵ Ugljikov monoksid nastaje nepotpunim izgaranjem svih organskih tvari, dakle u svim uvjetima u kojima nema dovoljno kisika za izgaranje. Tom reakcijom nastaju CO i voda.⁴ Nastaje u vrlo malim količinama endogeno – katabolizmom hemoglobina, točnije pretvorbom hema u biliverdin.⁴ Od vanjskih izvora, najčešće do stvaranja ugljikovog monoksida dolazi kod neispravnih ložišta, neprohodnih dimnjaka kod kojih se plinovi nastali tijekom izgaranja vraćaju u prostoriju, požara, ali i dima cigareta, cigara i ostalih duhanskih proizvoda.⁵ Najveći udio nastalog CO u atmosferi je automobilskeg porijekla, pri čemu dizelski motori stvaraju manje CO od benzinskih motora, no ta razlika smanjuje se ugrađivanjem katalitičkih pretvarača koji ugljikov monoksid pretvaraju u znatno manje opasni i inertniji ugljikov dioksid (CO₂).⁵ Ugljikov monoksid je krvni otrov⁵, što znači da osoba udisanjem na razini alveola hemoglobin zasićuje dominantno ugljikovim monoksidom, jer je sklonost CO-a za vezanje s hemoglobinom u ekvimolarnim količinama oko 220 puta⁶ veća od sklonosti kisika da stvori vezu s hemoglobinom. Spajanjem CO-a i hemoglobina nastaje karboksihemoglobin (COHb) koji u organizmu nema biološku aktivnost.

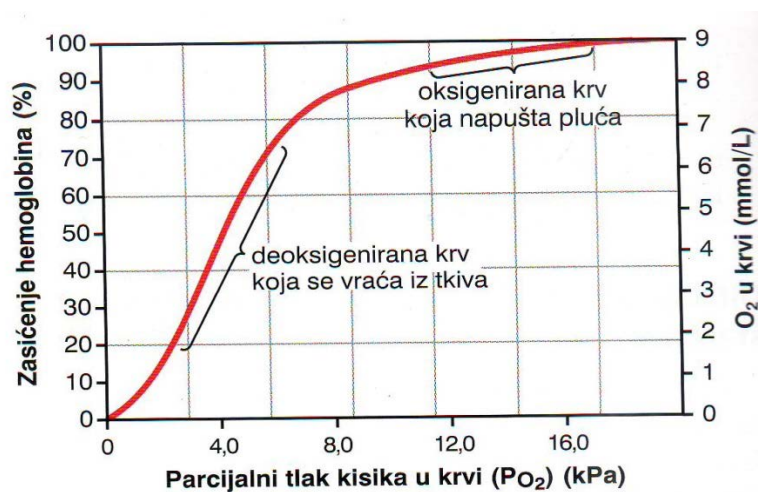
Ovdje treba spomenuti i cijanovodičnu kiselinu (cijanovodik, HCN), budući da je to spoj koji također nerijetko biva udahnut s CO-om, odnosno djeluje sinergistički s ugljikovim monoksidom. Cijanovodik također spada u skupinu plinova zagušljivaca i smatra se jednim od najpotentnijih otrova.⁵ To je bezbojna i lako hlapljiva tekućina koja miriše na gorke bademe, ali procjenjuje se da čak do polovice ljudi nije

sposobno prepoznati i registrirati taj miris.⁷ Nastaje izgaranjem organskih spojeva kao što su plastika, vuna, perje itd.⁷ Uzrokuje hipoksemiju blokirajući respiracijski lanac u mitohondrijima i na taj način inducirajući anaerobni metabolizam.⁸ Simptomi blažeg otrovanja su nemir, dispneja, glavobolja, vrtoglavica⁸, a pri letalnim koncentracijama smrt može nastupiti kroz nekoliko sekundi, najčešće uz glasni krik.⁵ Na obdukciji se otrovanje cijanovodikom može prepoznati po mirisu na gorke bademe, ali i objektivizirati kvalitativnom reakcijom testnom trakom po Schönbeinu, te kvantitativnim određivanjem slobodnog CN⁻ u tjelesnim tekućinama i tkivima.

3.3. HEMOGLOBIN I FIZIOLOŠKI PRIJENOS KISIKA U TIJELU

Hemoglobin se, kao i mioglobin, ubraja u skupinu hemskih proteina. To znači da sadržava hem – ciklički tetrapirrol sastavljen od četiri pirolna prstena koji su međusobno povezani α -metenskim mostovima.⁹ Hem u središtu prstena ima jedan ion dvovalentnog željeza (Fe²⁺).⁹ Razlika hemoglobina i mioglobina je u tome da je hemoglobin tetramerni protein (dakle, sastoji se od četiri podjedinice), a mioglobin monomerni protein. I uloga im je ponešto različita – mioglobin je smješten u crvenim mišićnim vlaknima i skladišti kisik kao zalihu u nedostatku kisika. S druge strane, hemoglobin je protein eritrocita koji prenosi kisik u tkiva, tamo ga otpušta i veže na sebe ugljikov dioksid koji onda prenosi do pluća.⁹ Navodi se kako bi izdvojeni hem vezao CO oko 25000 puta jače nego kisik, ali se zbog vezanja pod manje povoljnim kutom kada je hem u sklopu hemoglobina ta jakost hem-CO veze smanjuje na samo oko 200 puta jakosti hem-O₂ veze.⁹ Hemoglobin veže ukupno četiri molekule O₂ po tetrameru, odnosno jednu molekulu O₂ po svakome hemu. Oko 97% kisika iz pluća prenosi se u tkiva eritrocitima vezano za hemoglobin¹⁰, a ostalih 3% dolazi u tkiva otopljeno u plazmi i eritrocitima. Kisik se s hemom veže labilno i reverzibilno. Prema normalnoj disocijacijskoj krivulji oksigeniranog hemoglobina (slika 1), to znači da se kisik veže s hemoglobinom na mjestima gdje je njegov parcijalni tlak visok (plućne kapilare), a otpušta se iz hemoglobina na mjestima gdje je parcijalni tlak kisika nizak (kapilare svih tkiva organizma).¹⁰ Uz zauzimanje slobodnog mjesta za vezanje kisika na hemu od strane ugljikova monoksida koji ima oko 200 puta veći afinitet za vezanje s hemoglobinom od kisika, pomicanje disocijacijske krivulje oksigeniranog hemoglobina ulijevo (i na taj način otežavanje otpuštanja kisika u tkiva, odnosno

otežavanje oksigenacije krvi u plućima) predstavlja vrlo važan korak u objašnjenju patofizioloških mehanizama otrovanja ugljikovim monoksidom.



Slika 1. Disocijacijska krivulja hemoglobina. Pomak krivulje ulijevo otežava otpuštanje kisika u tkivima. (Preuzeto iz: Guyton AC, Hall JE. Medicinska fiziologija – udžbenik; 12. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2012.)

4. PATOFIZIOLOGIJA OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM

CO je u konkurenciji s kisikom za vezno mjesto na hemoglobinu, ali njegov afinitet za hemoglobin je oko 200 puta veći. Vezanjem se, dakle, smanjuje kapacitet hemoglobina da u tkiva donosi kisik, a istovremeno se povećava dovod u tkiva izravno štetne tvari kao što je ugljikov monoksid. Iako izraženost kliničkih simptoma nije u direktnoj korelaciji s postotkom karboksihemoglobina (COHb) u krvi,¹¹ kod procjene ozbiljnosti otrovanja ugljikovim monoksidom i dalje se rutinski određuje postotak karboksihemoglobina u krvi kao najtočniji i najpouzdaniji indikator ozbiljnosti akutnog otrovanja ugljikovim monoksidom.¹² Neke studije na psima su dokazale i da je toksičnost CO-a veća pri udisanju nego pri intravenskom injiciranju slične doze eritrocita koji su bili izloženi CO-u.¹¹ CO vezanjem za mioglobin miokarda uzrokuje depresiju rada miokarda, hipotenziju i aritmije. Također, vezanje za mioglobin poprečno-prugastog mišićja može kod otrovanih uzrokovati nemogućnost pokreta te micanja od izvora ugljikovog monoksida (često u požarima gdje su osobe svjesne opasnosti ali nisu u mogućnosti maknuti se od požarišta). Dekompenzacija srca dovodi do daljnje tkivne hipoksije¹³ i na taj način se zatvara začarani krug koji rezultira smrću ako se osoba ne udalji od izvora ugljikovog monoksida i ako se adekvatno ne liječi. CO se na staničnoj razini, u mitohondrijima, natječe s kisikom za citokrom a_3 , ali je afinitet kisika oko 9 puta veći u ovome slučaju.¹⁴ Na taj način CO djeluje i izravno citotoksično, sprečavajući oksidativnu fosforilaciju u mitohondrijima – na vrlo sličan način djeluju i druga dva stanična otrova: cijanid i dušikov oksid (NO).¹¹ CO može zamijeniti dušikov oksid (NO) u trombocitima, te na taj način poprimiti vazodilatatorsko djelovanje koje je već dobro poznato kod NO-a, i uzrokovati sustavnu vazodilataciju i hipotenziju.⁵ U hipoksičnim uvjetima dolazi i do stvaranja superoksida¹¹ koji djeluju štetno na staničnu membranu, što je još jedan korak u nizu mehanizama oštećenja organizma djelovanjem CO-a. Hipoksija potiče i endotelne stanice, te trombocite, na stvaranje dušične kiseline (HNO_3), koja onda stvara slobodne radikale peroksinitrata. Posebice u mozgu to izaziva daljnje pogoršanje mitohondrijske disfunkcije, propusnost kapilara, sekvestraciju leukocita, i konačno apoptozu neurona.¹³ Tkivo mozga, koje je najosjetljivije na nedostatak kisika, prvo biva zahvaćeno masovnim ulaskom kalcija u stanicu, koje dodatno pogoršava stanje neurona.¹¹ Ulazak kalcija u stanicu uvjetovan je usporenim ili potpuno zaustavljenom

oksidativnom fosforilacijom te posljedičnim manjkom adenozin-trifosfata (ATP-a), koji onda više nije u stanju regulirati kalcijsku crpku na membrani, te dolazi do masovnog ulaska kalcija u stanicu.

Glavni i najčešći mehanizam smrti kod većine otrovanja ugljikovim monoksidom je aritmija miokarda, i to ventrikularna fibrilacija.¹⁴ Česti su i akutni infarkti miokarda. Drugi najčešći mehanizam smrti je cerebralni edem te posljedični prekid disanja zbog uklještenja centra za disanje u produljenoj moždini.

5. GLAVNI IZVORI UGLJIKOVOG MONOKSIDA I OKOLNOSTI U KOJIMA NAJČEŠĆE DOLAZI DO SMRTONOSNIH OTROVANJA

Nakon alkohola i nekih lijekova, otrovanje ugljikovim monoksidom vjerojatno je najčešće otrovanje koje susrećemo u forenzičkoj toksikologiji. Povijesno gledano, otrovanja CO-om bilo je i više, ali incidencija je prilično pala zamjenom drvnog (ugljenog) plina prirodnim plinom (koji ne sadrži CO) diljem svijeta.¹⁵ Drvni plin je smjesa vodika, ugljikovog monoksida, metana, ugljikovog dioksida, dušika, te ostalih raznih ugljikovodika.¹⁶ Prirodni plin ne sadrži u sebi CO, već je smjesa većinski metana s još nekim drugim alkanima i manje opasnim plinovima kao što je CO₂.

Jedan od glavnih izvora CO-a u svakodnevnom okruženju svakako su ispušni plinovi motora i motornih vozila. Izgaraju fosilna goriva, i osim ugljikovog dioksida (koji je najzastupljeniji plin u toj smjesi), nastaje i CO. Procjenjuje se da radom benzinskih motora u ispušnim plinovima bude 5-7% CO-a, a taj broj značajno raste kada je motor defektan na bilo koji način.¹⁵ Dizelski motori stvaraju značajno manje CO-a.¹⁵ Smatra se da prometni policajci u većim gradovima zahvaljujući prometu mogu u krvi imati i do 10% karboksihemoglobina,¹⁵ što predstavlja donju granicu pri kojoj bi neke osobe mogle imati simptome poput glavobolje, nemira, vrtoglavice itd. Današnji automobili s benzinskim motorima imaju ugrađene katalizatore koji onda smanjuju emisiju CO-a u atmosferu za čak 80-90%.¹⁷ Otrovanja ove etiologije najčešće se događaju u garažama, i tu se uglavnom radi o nesretnim slučajevima, ali je i značajan broj samoubojstava ili pokušaja samoubojstava izvršenih na ovaj način. Zatvorena garažna vrata mogu upućivati na samoubojstvo (ipak, to je prilično nepouzdan znak), a razbacan alat ili podignut poklopac motora mogu upućivati na to da se možda radi o nesretnom slučaju (pogotovo ako se osoba ne nalazi u vozačkoj kabini)³. Smatra se da se letalne koncentracije CO-a u zraku mogu postići u zatvorenoj garaži dok motor automobila radi već kroz 10 minuta.¹⁵ Akutna otrovanja opisana su čak i pri vožnji u određenim neodržavanim i starim automobilima u kojima je sustav za odvodnju ispušnih plinova bio neispravan i gdje se CO provukao kroz pukotine za ventilaciju i ušao u unutrašnjost automobila i na taj način otrovao osobe.¹⁸ Nekoliko je slučajeva zabilježeno čak i na otvorenom prostoru ako je osoba sjedila duže vrijeme pored ispušne cijevi automobila.³ Ovaj način samoubojstva je

raširen i danas, kad se često na mjestu smrti vidi preminula osoba za vozačkim mjestom u zatvorenoj garaži, ili, što je također viđeno, na nekom osamljenom mjestu gdje osobe onda najčešće provedu neku cijev koja ispušne plinove vraća nazad u vozačku kabinu.

Vjerojatno najveći broj osoba strada u kućama, odnosno stanovima. Iako prirodni plin normalno ne sadrži CO, do njegovog stvaranja može doći u uvjetima kada u prostoriji nema dovoljno kisika za njegovu potpunu oksidaciju, ili kada je normalna odvodnja plinova kompromitirana na bilo koji način (najčešće neispravni i neodržavani dimnjaci).¹⁵ U takvim slučajevima dolazi do povratnog toka plina u prostorije i tada smrtno stradaju čak i cijele obitelji. Dimnjaci koji su pregledani i očišćeni barem jednom godišnje smatraju se prilično sigurnima za korištenje.¹⁹ Ostali izvori CO-a u kući su razne uljne i plinske peći, grijači vode i plinski bojleri, pećnice, štednjaci na drva, roštilji na ugljen itd. Smatra se da nabrojeni izvori CO-a iz kuće uzrokuju više od polovine svih akutnih otrovanja ugljikovim monoksidom.²⁰ Takvi slučajevi najčešće su nesretni, no krajem 20. stoljeća u istočnoj i jugoistočnoj Aziji pojavio se trend samoubojstava paljenjem ugljena u nekoj od dobro zatvorenih kućnih prostorija. Prvi takav slučaj opisan je 1998. u Hong Kongu²¹, i kroz 5 godina to je postao drugi najčešći način izvršenja samoubojstva u Hong Kongu i Tajvanu.²¹ Takav način izvršenja samoubojstva postao je osobito popularan u gradskim područjima. Slučajevi su zabilježeni i u Japanu, Makau, Republici Koreji i ponegdje drugdje u svijetu.^{21,22} Najzaslužnijim za takvu popularizaciju samoubojstva proglašeni su mediji koji su događaje prikazivali vrlo eksplicitno i opisivali kao bezbolan način okončanja života.^{21,22} Rizičnim faktorom pokazala se i arhitektura nekih azijskih kuća, u kojima dimnjak kroz kuću prolazi horizontalno (kako bi dodatno zagrijao i sobe na katu), gdje eventualno začepljenje dimnjaka može biti fatalno ne samo za osobe koje se nalaze u sobi s izvorom CO-a, već i za ukućane u svim sobama.²³ Opisano je i nekoliko slučajeva otrovanja pečenjem roštilja u zatvorenom prostoru.²⁴

Pri požarima, pogotovo onima u zatvorenim prostorima, stvaraju se velike količine CO-a. Zanimljivo je da većina poginulih u požarima umre prvotno od otrovanja ugljikovim monoksidom, a opekline su najčešće tek sekundarni uzrok.¹⁵ To je na neki način i logično, jer ljudi u prvom trenutku bježe od požarišta ili ga barem pokušaju

gasiti i tu dolazi do trovanja. Ta činjenica nam je važna i sa sudskomedicinskog gledišta, jer određivanjem postotka karboksihemoglobina u krvi preminulog možemo diferencirati je li npr. već mrtva osoba zapaljena (neće imati značajne razine karboksihemoglobina u krvi, jer nije bilo respiracije) ili je osoba stradala uslijed djelovanja požara (osoba će imati visoke razine karboksihemoglobina u krvi).⁶ U toksikološkom nalazu nerijetko se nađu i koncentracije etilnog alkohola koje odgovaraju pripitom, pijanom ili teško pijanom stanju. Osobe akutno intoksicirane alkoholom često i puše duhanske proizvode, i opušak cigarete može lako u kućnim uvjetima izazvati zapaljenje i požar.⁶ Važan način prevencije je postavljanje detektora CO-a u kućanstva, što je obavezno u svakoj novoj kući ili stanu u SAD-u, dok u Republici Hrvatskoj još uvijek nije.²⁵ Detektori se oglase unutar 189 minuta ako je razina CO-a 70 ppm (*parts per million*, 0.007%), unutar 50 minuta ako je razina 150 ppm, te unutar 15 min ako je razina u zraku 400 ppm.²⁵ Za primjer, izlaganje koncentraciji od 500 ppm kroz sat vremena može rezultirati koncentracijom COHb u krvi između 15 i 20 posto, što se najčešće manifestira glavoboljom, vrtoglavicom i povraćanjem.⁴ Višesatno izlaganje već i ovoj koncentraciji može izazvati smrt.⁴ Veći požari na otvorenom, npr. opožarena šuma, mogu također biti uzrok otrovanja CO-om. Najviše CO-a stvara se u fazi tinjanja, i čak osobe udaljene od požarišta uz neki (ne)povoljan vjetar mogu biti izložene visokim koncentracijama CO-a.²⁶ Primjer ovakve situacije jest i smrtno stradanje vatrogasaca na Kornatu 2007. godine.

Postoje zaista mnogobrojni izvori CO-a u svijetu. Izdvojit ću još nekoliko relevantnijih i zanimljivijih. Do otrovanja može doći u industriji (posebice kod proizvodnje nikla; u profesionalnim izloženostima CO-u mogu se javiti brojne, prije svega neurološke posljedice, zbog kroničnog izlaganja CO-u), u rudarstvu,¹⁵ kod ronilaca čije su boce sa zrakom kontaminirane CO-om pri punjenju,²⁷ itd. Opisana su čak i akutna otrovanja uzrokovana pušenjem nargile,^{28,29} te još neki zbilja raznovrsni i živopisni slučajevi. Posebno ističem diklorometan (metilen klorid; CH₂Cl₂) koji se koristi kao otapalo i kao sredstvo za uklanjanje boja, te kao sredstvo za dekafeinizaciju kave i čaja.³⁰ To je lako hlapljiva tekućina koja može uzrokovati otrovanje CO-om na način da se metabolizmom ovog kemijskog spoja u jetri endogeno stvara CO čije je vrijeme polueliminacije onda čak dvostruko duže od eliminacije CO-a koji u organizam ulazi udisanjem.³¹

6. OBDUKCIJSKI I TOKSIKOLOŠKI NALAZI KOD OSOBA PREMINULIH ZBOG OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM

6.1. OBDUKCIJSKI NALAZI

Na otrovanje ugljikovim monoksidom posumnjat će se (a možda i sa sigurnošću utvrditi) u nekim situacijama koje su karakteristične za ovo otrovanje. Npr., bude li osoba pronađena na mjestu ili u okolini požara, u zatvorenoj garaži s upaljenim motorom automobila, ili ležeći u kadi u kupaonici u kojoj postoji bojler, već same okolnosti smrti sugeriraju koji je uzrok smrti. To naravno ne isključuje potrebu za kompletnom obdukcijom i toksikološkom analizom (često se u toksikološkoj analizi nađu značajne razine etilnog alkohola i nekih drugih lijekova, najčešće sedativa-hipnotika). Brojni su slučajevi opisani kada su najčešće neiskusni liječnici smrt otrovanjem proglasili prirodnom smrću, jer su znakovi koji bi naveli na otrovanje CO-om često vrlo suptilni.¹⁵ Već pri prvom pregledu tijela potrebno je zapaziti karakteristično svijetloružičasto obojenje kože, osobito u područjima postmortalne hipostaze¹⁵ (slika 2A). Takvo obojenje kože moguće je pod dobrim svjetlom vidjeti već kod postotka COHb-a od 30 posto naviše.¹⁵ Između 20 i 30 posto COHb-a u krvi potrebno je iskustvo i dobra rasvjeta da bi se uočilo obojenje kože, a kod manje od 20 posto nije moguće uočiti ovakvo obojenje kože.¹⁵ Mrtvačke pjege su uobičajeno svjetlije i svijetloružičaste boje. Skeletna muskulatura također je svjetlije boje nego što je uobičajeno.³ Kod anemičnih žrtava lako je moguće propustiti ovo, jer žrtva nema dovoljno hemoglobina u krvi da bi se stvorila ovakva obdukcijaska slika.¹⁵ U osoba drugih rasa, pogotovo crne, ove znakove nalazimo na unutarnjim stranama usnica i vjeđa, jeziku, dlanovima i tabanima.¹⁵ Posebno je zanimljivo pregledati ležišta noktiju, koja kod svih rasa pokazuju ovakvo karakteristično obojenje.³ Kod jedne preživjele ženske osobe uočena je promjena ležišta nokta te samog distalnog dijela nokta koji je izgledao kao da je odgrizen. Ta promjena nokta bila je uočljiva unutar nekoliko sati od samog otrovanja, a spontano se povukla kroz nekoliko mjeseci.³² Nađu se i kožni mjehuri sa seroznom tekućinom, najčešće iznad velikih zglobova. Takvi mjehuri najčešće se zovu „barbituratni blisteri“ jer nastaju kao rezultat kutanog edema u dubokoj komi uzrokovanoj predoziranjem barbituratima. Ipak, takvi mjehuri mogu nastati i kao posljedica otrovanja CO-om, zbog periferne

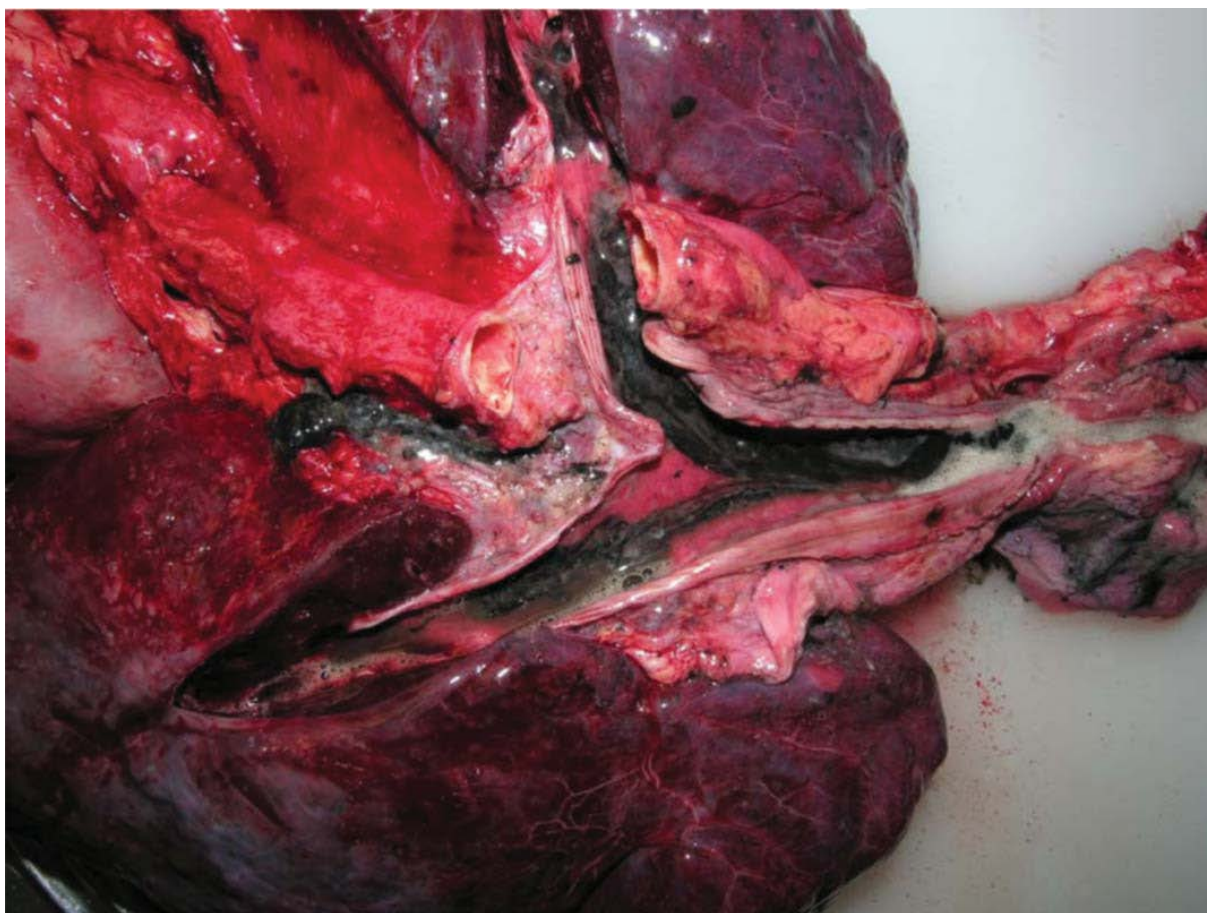
vazodilatacije, staze u venskom bazenu zbog nemogućnosti mišićnog pokretanja i curenja iz kapilara.^{3,15} Važno je te mjehure ne zamijeniti s opeklinama drugog stupnja.³ Krv će biti ružičaste boje, kao i mišići (zbog karboksihemoglobina i karboksimioglobina).¹⁵ Ružičasta boja kože javlja se i kod hipotermije, ali nijansa je drugačija, a potrebno je i određeno iskustvo obducenta. Ostali znakovi manje su specifični. Uobičajeni su plućni edem, edem mozga i obostrana nekroza blijede kugle (*globus pallidus*), putamena, hipokampusa, supstancije nigre itd.^{15,33} Takva oštećenja središnjeg živčanog sustava moguće je vidjeti i kod preživjelih akutno intoksiciranih osoba nekim od radioloških slikovnih tehnika (CT, MR).³³ Nađu se i višestruka točkasta krvarenja u bijeloj tvari mozga.³ Na srcu se često pronađu žarišta nekroze za koja se smatra da nisu izravna posljedica toksičnosti CO-a, već posljedica anoksije i reperfuzijske ozljede u stanicama miokarda.¹⁵ Nastupom truležnih promjena gubi se i karakteristična svijetloružičasta boja kože. Unatoč tome, iz tjelesnih tekućina moguće je odrediti koncentracije karboksihemoglobina (iako je kompliciranije i nešto manje pouzdano) jer se raspadanjem tijela ne stvara CO niti se CO može značajno resorbirati iz atmosfere eventualno zagađene CO-om.³ Dakle, CO mora biti udahnut kako bismo ga registrirali u krvi. Od ostalih znakova rjeđe se nalaze krvarenja u gastrointestinalnom sustavu, hepatomegalija, retinalna krvarenja, edem papile vidnog živca itd.³² Izuzetno rijetko opisani su i slučajevi izolirane lezije malog mozga³⁴, bilateralne ozljede brahijalnog pleksusa³⁵ itd.

Ako je žrtva pronađena na mjestu požara ili na mjestu gdje je nešto evidentno gorjelo, važno je razlučiti je li osoba zaista bila na tom mjestu dok je još bila živa ili ju je možda netko već mrtvu prenio na mjesto te podmetanjem požara pokušao prikriti ubojstvo. Nekoliko je obdukcijskih nalaza koji nam mogu potvrditi da je žrtva bila živa u trenutku požara/gorenja. To su udisanje čađe (pronađe se čađa u respiratornom traktu; slika 3), gutanje čađe (čađa se pronađe u ustima, jednjaku, želucu, tankom crijevu; slika 2B) i udisanje dima (visoke koncentracije COHb-a u krvi).³⁶ To su tzv. vitalne reakcije.



Slika 2. A) Karakteristična boja kože kod otrovanja ugljikovim monoksidom. B) Čađa na nosnicama i ustima ukazuje na udisanje dima i otrovanje ugljikovim monoksidom.

(Preuzeto iz: Dinis-Oliveira RJ, Carvalho F, Magalhães T, Santos A. Postmortem changes in carbon monoxide poisoning. Clin Toxicol (Phila). 2010.; 48(7):762-3. doi: 10.3109/15563650.2010.484394)



Slika 3. Čađa koja pokriva grkljan, dušnik i bronhe dokazuje da je žrtva bila živa u vrijeme požara. (Preuzeto iz: Dinis-Oliveira RJ, Carvalho F, Magalhães T, Santos A. Postmortem changes in carbon monoxide poisoning. Clin Toxicol (Phila). 2010.; 48(7):762-3. doi: 10.3109/15563650.2010.484394)

6.2. TOKSIKOLOŠKI NALAZI

Pri otrovanju CO-om, osim na karboksihemoglobin, krv se rutinski testira i na neke druge supstance (alkohol uvijek, po indikaciji i na neke druge lijekove). Alkohol je vrlo čest nalaz uz letalne koncentracije karboksihemoglobina. Osobe su često u pijanom stanju, što im ili olakšava odluku o počinjenju samoubojstva, ili ih upravo ta akutna intoksikacija dovodi u situacije smanjene kritičnosti u kojima se izlažu rizičnim radnjama koje rezultiraju nasilnom smrću zbog nesretnog slučaja (najčešće opuškom prouzrokuju požar). Zanimljiv je rezultat jednog istraživanja prema kojem je pronađeno da etilni alkohol djeluje kao zaštitni čimbenik na mozak pri akutnoj intoksikaciji ugljikovim monoksidom.³⁷ Studija je rađena na preživjelim osobama

magnetskom rezonancijom mozga i dokazano je da su osobe koje su bile akutno intoksicirane i alkoholom (uz CO) imale bolje neurološke ishode od onih koji su bili intoksicirani samo CO-om.³⁷ S druge strane, dokazan je i sinergistički učinak alkohola i CO-a, pri kojem smrt nastupa pri nižim koncentracijama CO-a kada je istovremeno visoka koncentracija alkohola u krvi.³⁸

Postoji nekoliko jednostavnijih preliminarnih testova za dokazivanje karboksihemoglobina u krvi koji se brzo i jednostavno izvedu. Jedan način je dodavanje nekoliko kapi krvi u otopinu 10-postotnog natrijeva hidroksida (NaOH).¹⁵ Kod normalne krvi će, zbog stvaranja methemoglobina, doći do trenutne promjene boje u smečkasto-zelenu, dok će kod krvi bogate karboksihemoglobinom, ukoliko je prisutna značajnija koncentracija, smjesa ostati ružičaste boje.¹⁵ Drugi jednostavan test, koji je opisan još 1857., uključuje miješanje 3 mL krvi sa 6 mL vodovodne vode i kratko zagrijavanje u vodenoj kadici. Krv bogata karboksihemoglobinom postat će boje cigle, dok će normalna krv postati sivkasto-smeđa.¹⁵ Preliminarni kvalitativni test koji se obično rabi kod nas je proba sa zasićenom otopinom pirogalola [$C_6H_3(OH)_3$] u vodi.⁴ U jednakim omjerima pomiješa se zasićena otopina pirogalola i krvi – u slučaju pozitivnog nalaza nastaje jagodastomalinasto obojenje, a u slučaju da krv ne sadrži COHb nastaje čokoladno obojenje.⁴

U slučaju pozitivnog nalaza, pristupa se kvantitativnom određivanju karboksihemoglobina u krvi. Vršiti se uobičajeno spektrofotometrijskom metodom po Heilmayeru (automatizirano na CO-oksimetru ili manualno na spektrofotometru), ili metodom plinske kromatografije s FID-om (plameno-ionizacijskim detektorom).⁵ Spektrofotometrija je kemijska metoda kvantitativnog mjerenja reflektivnih i/ili transmisivnih osobina materijala kao funkcija valne duljine. Izvodi se na uređaju koji se zove spektrofotometar.³⁹ Interpretacija rezultata krvi koja je prošla truležno-fermentacijske promjene zahtijeva oprez.⁵

Procjenjuje se da smrt nastupa kod udjela karboksihemoglobina koji je viši od 50 posto⁴⁰, odnosno 70 posto.⁵ Pretpostavlja se da osobe s krvožilnim ili plućnim komorbiditetima mogu umrijeti već pri koncentracijama od 30%.⁵ Simptomi otrovanja prema postotcima COHb-a opisani su u dolje navedenoj tablici (tablica 1).

Tablica 1. Odnos koncentracija COHb u krvi i simptoma (prema podacima iz: Sutlović D i sur. Osnove forenzične toksikologije. Split: Redak; 2011. i Payne-James J, Busuttil A, Smock W. Forensic Medicine: Clinical and Pathological Aspects. London: Greenwich Medical Media; 2003.)

% COHb	Simptomi
<10	asimptomatski kod svih ljudi
10-30	glavobolja, otežano disanje, vrtoglavica, kratkoća daha
30-50	smušenost, mučnina, povraćanje, sinkope, tahipneja, otežana koordinacija i kontrola pokreta
50-60	sinkope, moguća koma i/ili konvulzije, koma zbog respiratornog aresta
60-70	koma, vrlo ugroženi kardijalna i plućna funkcija
70-80	paraliza disanja, vrlo vjerojatno smrt
>80	smrt u roku nekoliko minuta

7. EPIDEMIOLOŠKO – STATISTIČKI PODATCI I TRENDVI SMRTONOSNIH OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM U SVIJETU

Smrtonosna otrovanja ugljikovim monoksidom ubrajaju se uvijek u nasilne smrti, s većim udjelom nesretnih slučajeva u odnosu na samoubojstva. Vjerojatno su opisani i slučajevi ubojstva ugljikovim monoksidom, no pošto su izuzetno rijetki, u redu je na neki način zanemariti ih kada se govori o ovoj problematici. Diljem svijeta, uz neke iznimke, najčešći način izvršenja samoubojstva je vješanje, s najvećim prevalencijama u istočnoeuropskim zemljama gdje vješanje čini udio od 85-90% svih samoubojstava.⁴¹ U nekim drugim zemljama, primjerice u SAD-u, vodeći način izvršenja je samoubojstvo vatrenim oružjem (razumljivo s obzirom na široku dostupnost oružja).⁴¹ Za samoubojstva udisanjem plinova, od kojih je vodeći CO, procjenjuje se da zauzimaju udio između 5 i 15 posto, ovisno o državi.⁴² Internet kao izrazito dostupni izvor informacija izravno je pogodio porastima incidencija određenih načina izvršenja samoubojstva – osobe motivirane za izvršenje samoubojstva su na samo nekoliko klikova mišem od detaljnih uputa kako to izvršiti. Posebno su popularni „bezbolni“ načini, pa je tako najveći porast u Njemačkoj u razdoblju od 2007. do 2015. doživjelo udisanje plinova (od kojih je na prvom mjestu CO), s porastom incidencije od čak 500% u ženskom dijelu populacije.⁴³ Upravo zbog živopisnog i eksplicitnog opisivanja u medijima, poznata je epidemija paljenja ugljena u dobro zatvorenim prostorijama u dalekoistočnim zemljama na prijelazu iz 20. u 21. stoljeće.^{21,44} Prvi opisani slučaj bio je u Hong Kongu, a na Tajvanu je u 10 godina incidencija porasla za čak 25 puta, a paljenje ugljena postalo drugi najčešći način izvršenja samoubojstva.⁴⁴ Čak 87 posto preživjelih koji su pokušali samoubojstvo naveli su da su mediji utjecali na njihov izbor metode samoubojstva.⁴³ Općenito kad se govori o otrovanjima, na prvom mjestu pri pokušajima samoubojstva prednjače otrovanja lijekovima, a kada govorimo o incidenciji slučajnih otrovanja, gotovo uvijek prednjači CO. Kao metoda samoubojstva, otrovanje CO-om je u SAD-u obično na četvrtom mjestu.⁴⁵ Studija iz Republike Irske pokazala je da odrasli znatno češće umiru od namjernih otrovanja, u odnosu na mlađu populaciju.⁴¹ Od svih samoubojstva plinovima u SAD-u, oko 73 posto izvršeno je CO-om.⁴² Rapidan porast u popularnosti bilježi helij, koji je u zadnjih desetak godina uvjerljivo na drugom mjestu kada govorimo o plinovima kao sredstvima samoubojstva.^{42,43} Od ostalih

plinova vrijedi još spomenuti i sumporovodik (H_2S), dušik, dušikov oksid, propan i prirodni plin.⁴²

Otrovanja CO-om najčešća su u zimskim mjesecima, te na sjevernoj hemisferi prednjače prosinac i siječanj.⁴⁶ U Maroku, čak je 98% smrtonosnih otrovanja bilo posljedica nesretnog slučaja⁴⁶, što je najvjerojatnije kulturološki uvjetovano [države s velikim utjecajem religije na svakodnevni život (u ovom slučaju to je islam), imaju znatno niže stope samoubojstava u odnosu na države u kojima religija ne igra značajnu ulogu]. U SAD-u, kada govorimo o otrovanjima kao nesretnim slučajevima, za glavne rizične čimbenike proglašeni su muški spol, pripadnost etničkim manjinama (Afroamerikanci, Hispanoamerikanci), te rad u industriji, dob starija od 65 godina i zimski mjeseci.^{47,48} Kao glavni izvor slučajnih otrovanja prepoznati su briketi ugljena i ispušni plinovi motora.⁴⁷

8. ANALIZA SMRTONOSNIH OTROVANJA UGLJIKOVIM MONOKSIDOM OBDUCIRANIH NA ZAVODU ZA SUDSKU MEDICINU I KRIMINALISTIKU MEDICINSKOG FAKULTETA U PETOGODIŠNJEM RAZDOBLJU (PROSINAC 2011. – SIJEČANJ 2017.)

8.1. CILJ

Cilj analize slučajeva bio je, uz osnovnu analizu preminulih po dobi, spolu, postotcima karboksihemoglobina u krvi itd., potvrditi hipotezu koja glasi: „Osobama s komorbiditetima kardiorespiratornog sustava potrebna je manja koncentracija karboksihemoglobina u krvi kako bi nastupio smrtni ishod.“

8.2. METODE

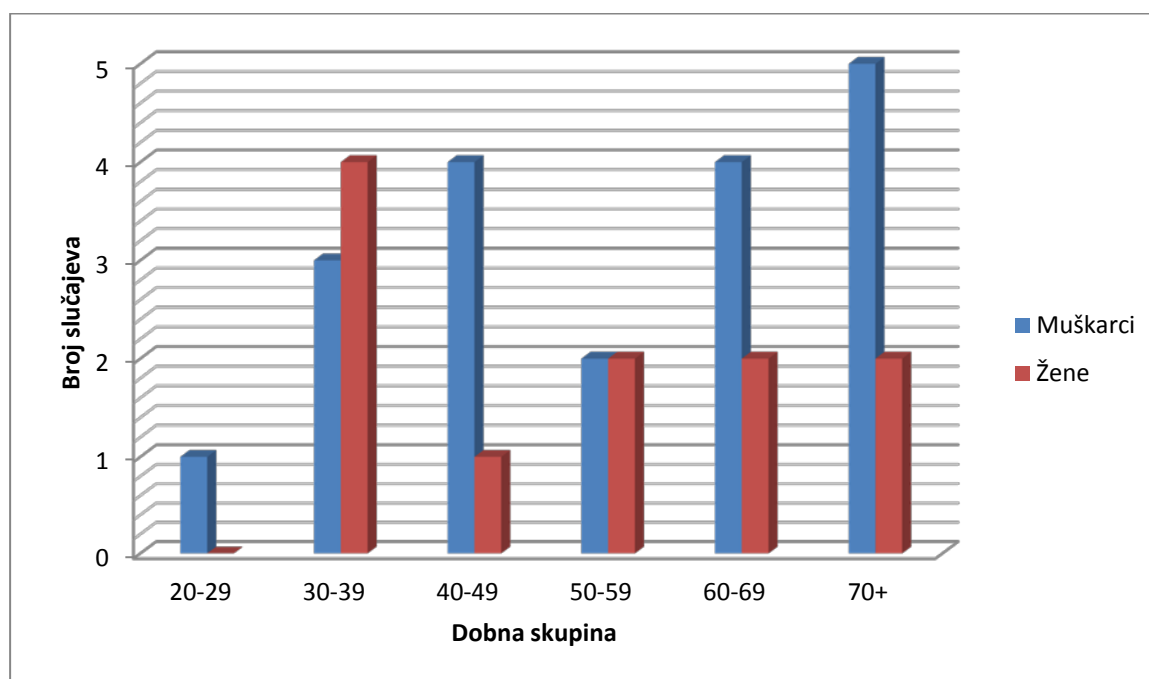
Retrospektivno su vađeni podatci iz registra obdukcija (obuhvaćeno je petogodišnje razdoblje) na Zavodu. U daljnje prikupljanje podataka iz zapisnikâ o obdukciji uključeni su svi slučajevi nasilne smrti kojima je vodeći uzrok smrti bilo otrovanje ugljikovim monoksidom. U tom petogodišnjem razdoblju zabilježen je ukupno 31 slučaj, od kojih je kasnije jedan slučaj isključen iz analize jer se uspostavilo da je vodeći uzrok smrti ipak bilo otrovanje ugljikovim dioksidom. Iz svakog zapisnika o obdukciji koji je uključen u ovu analizu, zabilježeni su sljedeći podatci: datum smrti i dob u kojoj je osoba preminula, okolnosti u kojima je došlo do smrti, toksikološka analiza barem COHb-a i alkohola u krvi, eventualni komorbiditeti žrtve, patološke i histološke dijagnoze utvrđene obdukcijom, te vodeći uzrok smrti. U ponekim slučajevima zabilježene su i neke dodatne opservacije, ovisno o tome koliko je opširan bio zapisnik o obdukciji.

8.3. REZULTATI

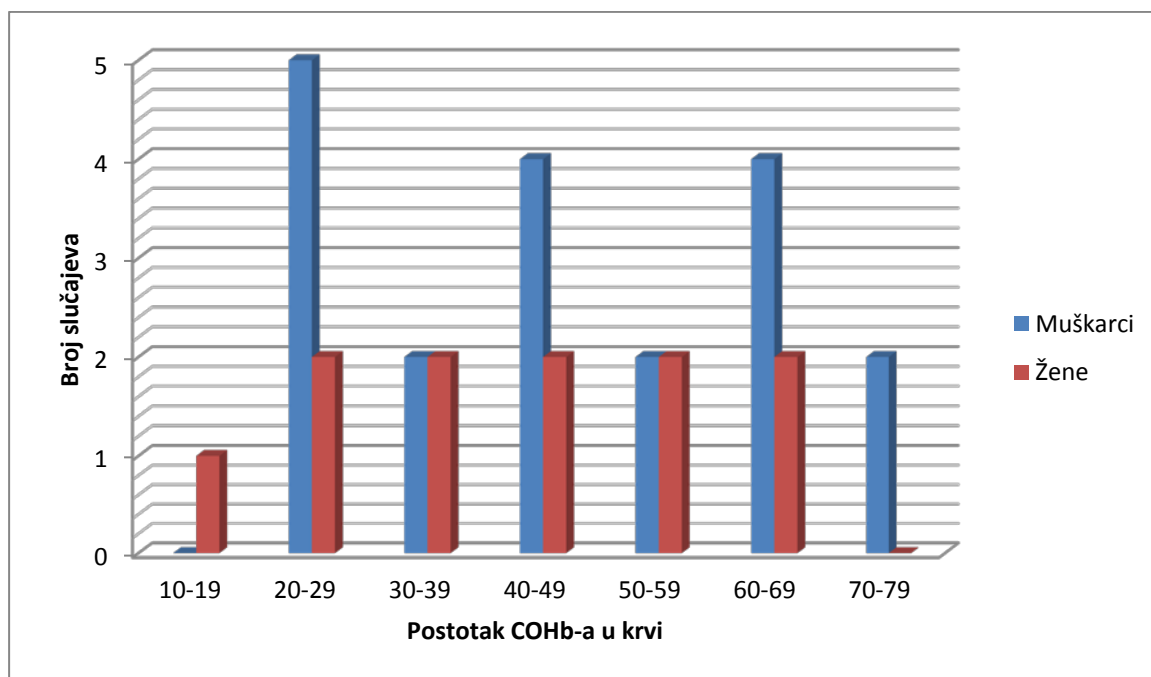
Od ukupno 30 smrtnih slučajeva, 6 je bilo samoubojstava (20%), a nesretnih slučajeva 24 (80%). 11 žrtava bilo je ženskog spola (37%), a 19 žrtava bili su muškarci (63%). Vrlo je dojmljiv podatak da su svi samoubojice bili muškarci, odnosno 32% muškaraca stradalih od CO-a bili su samoubojice. Zanimljivo, svi koji su počinili samoubojstvo bili su u vrijeme smrti u trijeznom stanju, što se na neki

način protivi opće uvriježenom mišljenju. Kod žena, svih 11 slučajeva posljedica su nesretnog slučaja, tj. nije zabilježeno nijedno samoubojstvo žene CO-om u petogodišnjem razdoblju. Osmero osoba stradalih zbog nesretnog slučaja bile su akutno intoksicirane alkoholom, a prosjek je bio 2.59 g/kg što odgovara teškom pijanom stanju.

Medijan dobi stradalih bio je 55 godina, s rasponom od 27 godina do 96 godina (slika 4). Medijan dobi samoubojica bio je 44 godine, s rasponom od 27 godina do 86 godina. 55% stradalih žena (n=6) imalo je kardiorespiratorne komorbiditete dokazane obdukcijom, a kod muškaraca je taj postotak bio približno jednak (58%). Medijan zasićenosti krvi karboksihemoglobinom bio je 43.9%, s rasponom od 18% do 73% (slika 5). Takva razina COHb-a u krvi (43.9%) u načelu nije smrtonosna kod zdravih osoba, ali valja u obzir uzeti komorbiditete te određenu grešku spektrofotometrijske metode zbog različitih vremena toksikološke analize u odnosu na vrijeme nastupa smrti (podaci dobiveni spektrofotometrijom ne predstavljaju nužno stvarnu koncentraciju COHb-a koja je dovela do smrti u realnom vremenu).

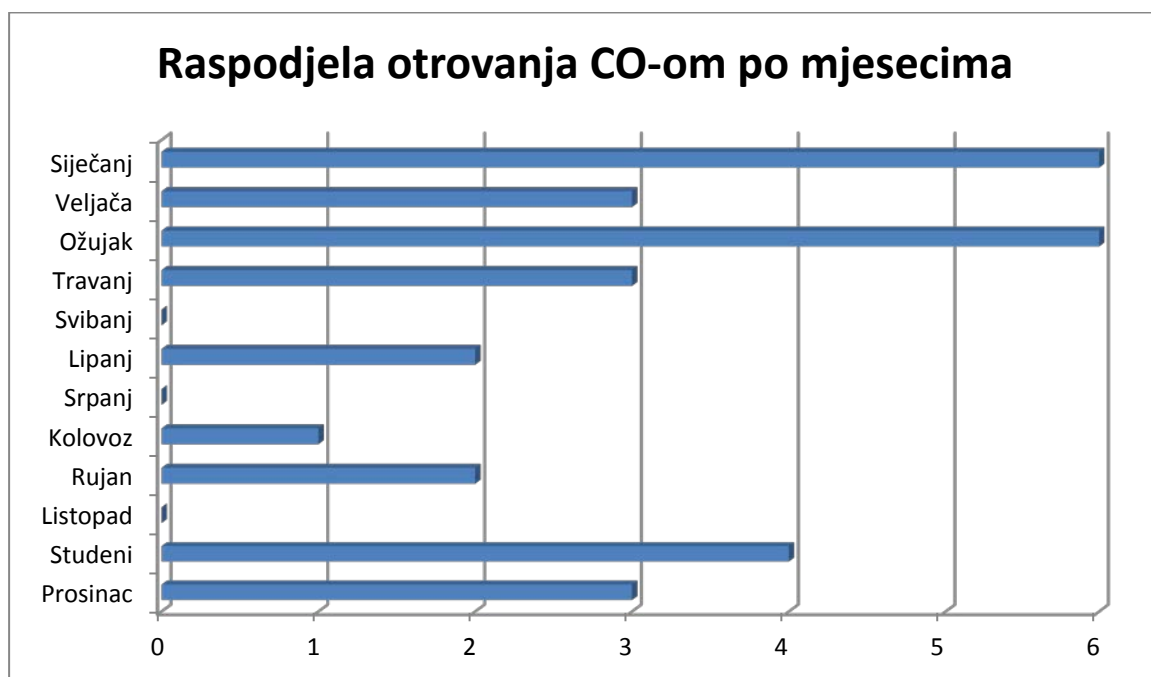


Slika 4. Dobno-spolna raspodjela preminulih zbog otrovanja CO-om.



Slika 5. Dobno-polna raspodjela preminulih prema postotku COHb-a u krvi.

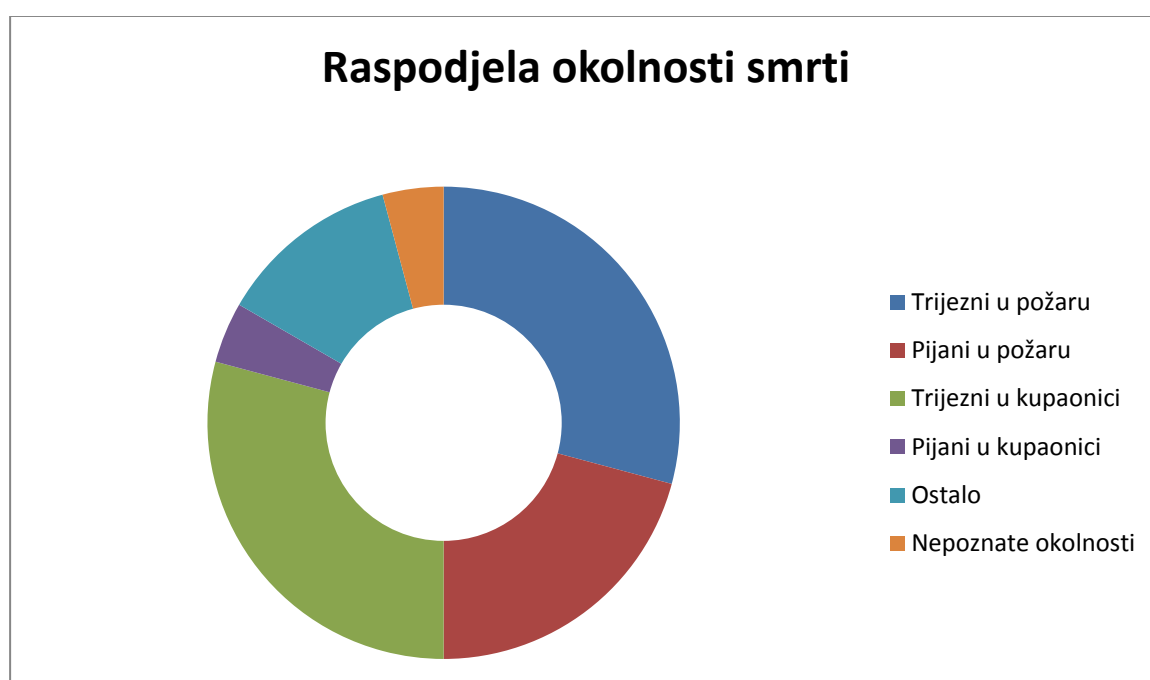
Najviše žrtava otrovanja bilo je za vrijeme zime (53%), slijedi proljeće s 20%, jesen sa 17% i na posljednjem mjestu ljeto s 10%. Raspodjela otrovanja po mjesecima prikazana je na slici niže (slika 6).



Slika 6. Raspodjela otrovanja CO-om po mjesecima.

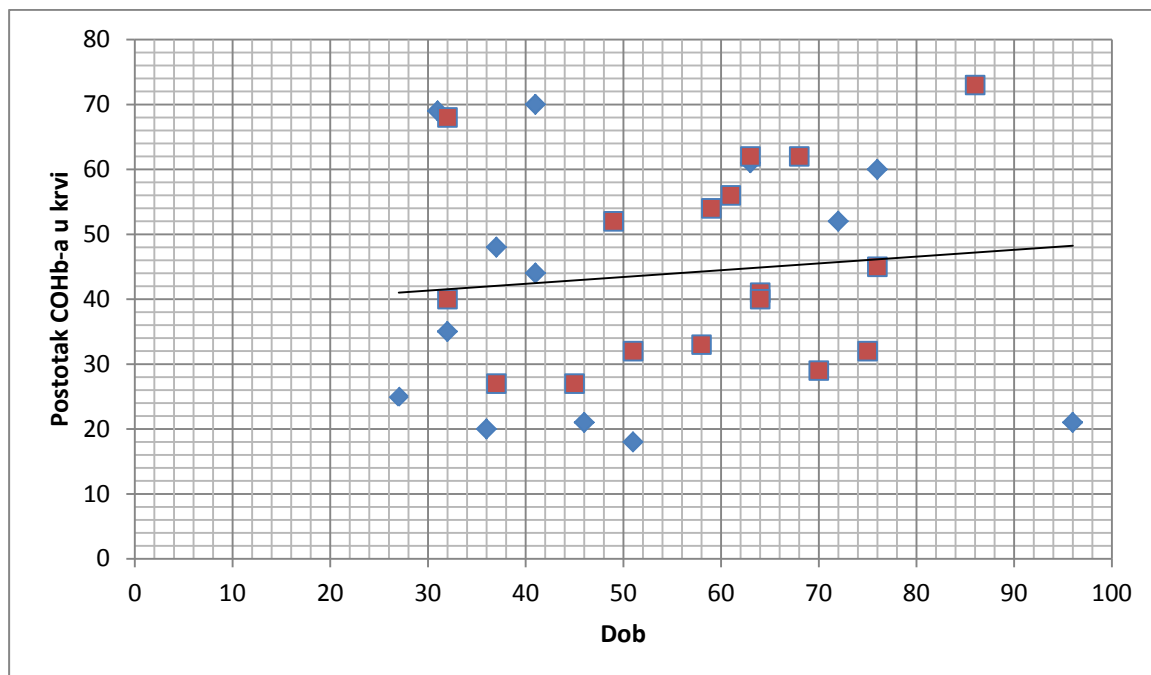
Pet od šest slučajeva samoubojstva dogodilo se u osobnom automobilu, jedan u kuhinji uz upaljen štednjak. Od šest slučajeva, dvije su bile kointoksikacije sa sedativima i analgeticima (paracetamol, diazepam, zolpidem itd.).

Čak 20 od 24 nesretna slučaja dogodili su se ili u kupaonici s neispravnim grijačem vode ili kao posljedica kućnog požara. Od tih 20 slučajeva, u pijanom ili teško pijanom stanju bio je 1 od 8 slučajeva umrlih u kupaonici (13%), a 5 od 12 slučajeva (42%) kada je riječ o kućnim požarima. Detaljniji grafički prikaz nalazi se niže (slika 7).



Slika 7. Najčešće okolnosti nesretnih slučajeva i utjecaj alkohola na iste.

Na slici 8 prikazana je međuovisnost dobi o koncentraciji karboksihemoglobina u krvi i komorbiditetima.



Slika 8. Međuviznost dobi o koncentraciji karboksihemoglobina u krvi i komorbiditetima. Plavi rombovi predstavljaju osobe bez komorbiditeta, a crveni kvadrati osobe s komorbiditetima.

8.4. RASPRAVA

Smrtonosna otrovanja ugljikovim monoksidom razmjerno su rijedak uzrok smrti u Republici Hrvatskoj. Na Zavodu je obducirano 30 takvih slučajeva u petogodišnjem razdoblju, što predstavlja prosječno 6 slučajeva godišnje, odnosno jedan slučaj svakih 2 mjeseca. Četiri puta češće od samoubojstva radilo se o nesretnim slučajevima, a svi samoubojice bili su muškarci. Omjer muških prema ženskim žrtvama bio je 1.7 : 1. Trećina svih nesretnih slučajeva dogodila se osobama koje su bile u pijanom ili teško pijanom stanju. Najviše smrti bilo je u razdoblju između studenog i travnja, čak 83 posto, dok je u periodu između svibnja i listopada zabilježeno samo 5 slučajeva. To je i očekivano jer su to razdoblja u kojima se u Hrvatskoj ljudi griju i više vremena provode u zatvorenim prostorima, a i prevalencija depresije, koja je poznati okidač za izvršenje samoubojstva, nešto je veća u zimskim mjesecima (nijedno samoubojstvo iz ove analize slučajeva nije zabilježeno u mjesecima svibnju, lipnju, srpnju i kolovozu). Gotovo sva samoubojstva (5 od 6)

izvršena su u osobnom automobilu, i to ili u zatvorenoj garaži ili uz cijev koja je dovodila ispušne plinove u vozačku kabinu. Gotovo svi nesretni slučajevi bili su posljedica ili neispravnih bojlera u kupaonici, ili požara u kući ili stanu. Kao važan rizični faktor kod stradanja u kućnim požarima pokazala se alkoholiziranost, jer je čak 42 posto žrtava požara bilo u pijanom ili teško pijanom stanju. Nameće se pitanje obaveznog postavljanja detektora za ugljikov monoksid u sve stambene objekte, jer ipak je 12 osoba u 5 godina izgubilo život zbog nečega što je relativno lako prevenirati.

Iznenadujuće, hipoteza rada nije potvrđena. Distribucija slučajeva pokazala je, umjesto očekivane silazne putanje u koordinatnom sustavu, čak blago uzlaznu putanju, što znači da je u prosjeku zasićenost karboksihemoglobinom u krvi obduciranih rasla s dobi. Također, nije uočena značajna razlika u smrtnosti osoba sa kardiorespiratornim komorbiditetima od onih koji te komorbiditete nemaju, niti značajan pomak takvih slučajeva prema niže, tj. prema nižim koncentracijama karboksihemoglobina u krvi. Ipak, za takav rezultat smatram da je najzaslužniji mali uzorak od 30 slučajeva, i smatram da bi pri većem uzorku hipoteza ipak bila donekle potvrđena.

9. ZAHVALE

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Davoru Mayeru na pomoći oko izrađivanja ovog diplomskog rada i spremnosti na odgovaranje na sva moja pitanja. Zahvaljujem se i mami i tati, bratu i sestri, bakama i dedi, za podršku u svakom smislu te riječi tijekom ovog napornog studija. Bez njih sve ovo ne bi bilo moguće.

10. LITERATURA

1. Bušljeta M. Toksikologija. U: Zečević D i sur. Sudska medicina i deontologija. Zagreb: Medicinska naklada; 2004. str. 131-166
2. Hrvatski zavod za javno zdravstvo. Hrvatski zdravstveno-statistički ljetopis za 2016. godinu. Stevanović R, Capak K, ur. [Internet] Zagreb: Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 2017. [pristupljeno 10.4.2018.] Dostupno na: https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2018/03/Ljetopis_2016_IX.pdf
3. Spitz WU. Medicolegal Investigation of Death. Guidelines for the Application of Pathology to Crime Investigation. Third Edition. 487-492
4. Kovačić Z. Toksikologija. U: Zečević D i sur. Sudska medicina i deontologija. Zagreb: Medicinska naklada; 2004. str. 131-166
5. Sutlović D i sur. Osnove forenzične toksikologije. Split: Redak; 2011.
6. Jones AW, Musshoff F, Kraemer T, Schwaninger AE, Gerostamoulos D, Drummer OH i sur. Toxicology of Specific Substances. U: Madea B. Handbook of Forensic Medicine. Oxford: John Wiley & sons; 2014. str. 955-957
7. Dettmeyer RB, Verhoff MA, Schütz HF. Forensic Medicine. Berlin: Springer-Verlag; 2014.
8. Wise B, Levine Z. Inhalation injury. Can Fam Physician. 2015.; 61(1):47-9
9. Kennelly PJ, Rodwell VW. Proteini: mioglobin i hemoglobin. U: Harperova ilustrirana biokemija, 28. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2011. str. 43-50
10. Guyton AC, Hall JE. Medicinska fiziologija – udžbenik; 12. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2012.
11. Rose JJ, Wang L, Xu Q, McTiernan CF, Shiva S, Tejero J, i sur. Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy. Am J Respir Crit Care Med. 2017.; 195(5):596-606

12. Young LJ, Caughey WS. Pathobiochemistry of CO poisoning. *FEBS Lett.* 1990.; 272(1-2):1-6.
13. Blumenthal I. Carbon monoxide poisoning. *J R Soc Med.* 2001.; 94(6):270-2
14. Dolan MC. Carbon monoxide poisoning. *CMAJ.* 1985.; 133(5):392-9
15. Saukko P, Knight B. *Knight's Forensic Pathology Fourth Edition.* Boca Raton: CRC Press; 2016.
16. Wikipedia: the free encyclopedia [Internet]. St. Petersburg (FL): Wikimedia Foundation, Inc. 2001 – Coal gas; [ažurirano 8.4.2018.; pristupljeno 16.4.2018.]. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Coal_gas
17. O'Brien JT, Tarbuck AF. Suicide and vehicle exhaust emissions. *BMJ.* 1992.; 304(6838):1376.
18. Smith RA, Ball RJ. Carbon monoxide poisoning in two children riding in the back of a van. *Arch Dis Child.* 1994.; 71(5):482
19. Menagé HD, Everest MS. Carbon monoxide poisoning in the home. *BMJ.* 1990.; 301(6764):1331
20. Manuel J. A healthy home environment? *Environ Health Perspect.* 1999.; 107(7):A352-7
21. Chang SS, Gunnell D, Wheeler BW, Yip P, Sterne JA. The evolution of the epidemic of charcoal-burning suicide in Taiwan: a spatial and temporal analysis. *PLoS Med.* 2010.; 7(1):e1000212. doi: 10.1371/journal.pmed.1000212. Epub 2010 Jan 5.
22. Lee DT, Chan KP, Yip PS. Charcoal burning is also popular for suicide pacts made on the internet. *BMJ.* 2005.; 330(7491):602
23. Lu Q, Lv W, Tian J, Zhang L, Zhu B. Risk Factors for Non-Occupational Carbon Monoxide Poisoning: Anshan Prefecture, Liaoning Province, China, 2011-2012. *PLoS One.* 2015.; 10(6):e0129121. doi: 10.1371/journal.pone.0129121. eCollection 2015

24. Gasman JD, Varon J, Gardner JP. Revenge of the barbecue grill. Carbon monoxide poisoning. *West J Med.* 1990.; 153(6):656-7
25. Abelsohn A, Sanborn MD, Jessiman BJ, Weir E. Identifying and managing adverse environmental health effects: 6. Carbon monoxide poisoning. *CMAJ.* 2002.; 166(13):1685-90
26. Balmes JR. Where There's Wildfire, There's Smoke. *N Engl J Med.* 2018.; 378(10):881-883. doi: 10.1056/NEJMp1716846. Epub 2018 Jan 31.
27. Allen H. Carbon monoxide poisoning in a diver. *Arch Emerg Med.* 1992.; 9(1):65-6.
28. Ateş A, Arikan M, Özgök A. An Unusual Cause of Carbon Monoxide Poisoning: Narghile Smoking. *Am J Case Rep.* 2016.; 17:660-2.
29. von Rappard J, Schönenberger M, Bärlocher L. Carbon monoxide poisoning following use of a water pipe/hookah. *Dtsch Arztebl Int.* 2014.; 111(40):674-9. doi: 10.3238/arztebl.2014.0674
30. Wikipedia: the free encyclopedia [Internet]. St. Petersburg (FL): Wikimedia Foundation, Inc. 2001 – Dichloromethane; [ažurirano 20.4.2018.; pristupljeno 21.4.2018.]. Dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dichloromethane>
31. Smollin C, Olson K. Carbon monoxide poisoning (acute). *BMJ Clin Evid.* 2010.; 2010. pii: 2103
32. Hatami M, Naftolin F, Khatamee MA. Abnormal fingernail beds following carbon monoxide poisoning: a case report and review of the literature. *J Med Case Rep.* 2014.; 8:263. doi: 10.1186/1752-1947-8-263
33. Meredith T, Vale A. Carbon monoxide poisoning. *Br Med J (Clin Res Ed).* 1988.; 296(6615):77-9
34. Hamcan S, Akgun V, Yilmaz O, Turan A. Isolated cerebellar damage caused by carbon monoxide intoxication. *BMJ Case Rep.* 2013.; 2013. pii: bcr2013201647. doi: 10.1136/bcr-2013-201647

35. Rahmani M, Belaidi H, Benabdeljlil M, Bouchhab W, El Jazouli N, El Brini A, i sur. Bilateral brachial plexus injury following acute carbon monoxide poisoning. BMC Pharmacol Toxicol. 2013.; 14:61. doi: 10.1186/2050-6511-14-61
36. Madea B. Injuries due to Heat. . U: Madea B. Handbook of Forensic Medicine. Oxford: John Wiley & sons; 2014.
37. Kim HH, Choi SC, Chae MK, Min YG. Neuroprotective effect of ethanol in acute carbon monoxide intoxication: A retrospective study. Medicine (Baltimore). 2018.; 97(1):e9569. doi: 10.1097/MD.00000000000009569
38. Baker SP, Fisher RS, Masemore WC, Sopher IM. Fatal unintentional carbon monoxide poisoning in motor vehicles. Am J Public Health. 1972.; 62(11):1463-7
39. Wikipedia: the free encyclopedia [Internet]. St. Petersburg (FL): Wikimedia Foundation, Inc. 2001 – Spectrophotometry; [ažurirano 29.3.2018.; pristupljeno 22.4.2018.] Dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrophotometry>
40. Payne-James J, Busuttil A, Smock W. Forensic Medicine: Clinical and Pathological Aspects. London: Greenwich Medical Media; 2003.
41. Arensman E, Bennardi M, Larkin C, Wall A, McAuliffe C, McCarthy J, i sur. Suicide among Young People and Adults in Ireland: Method Characteristics, Toxicological Analysis and Substance Abuse Histories Compared. PLoS One. 2016.; 11(11):e0166881. doi: 10.1371/journal.pone.0166881. eCollection 2016.
42. Azrael D, Mukamal A, Cohen AP, Gunnell D, Barber C, Miller M. Identifying and Tracking Gas Suicides in the U.S. Using the National Violent Death Reporting System, 2005-2012. Am J Prev Med. 2016.; 51(5S3):S219-S225. doi: 10.1016/j.amepre.2016.08.006
43. Paul E, Mergl R, Hegerl U. Has information on suicide methods provided via the Internet negatively impacted suicide rates? PLoS One. 2017.; 12(12):e0190136. doi: 10.1371/journal.pone.0190136. eCollection 2017

44. Ku CH, Hung HM, Leong WC, Chen HH, Lin JL, Huang WH, i sur. Outcome of patients with carbon monoxide poisoning at a far-east poison center. PLoS One. 2015.; 10(3):e0118995. doi: 10.1371/journal.pone.0118995. eCollection 2015.
45. Fisher LB, Overholser JC, Dieter L. Methods of committing suicide among 2,347 people in Ohio. Death Stud. 2015.; 39(1-5):39-43. doi: 10.1080/07481187.2013.851130. Epub 2014 Jun 23.
46. Aghandous R, Chaoui H, Rhalem N, Semllali I, Badri M, Soulaymani A, i sur. Poisoning by carbon monoxide in Morocco from 1991 to 2008. J Pak Med Assoc. 2012.; 62(4):335-8.
47. Ralston JD, Hampson NB. Incidence of severe unintentional carbon monoxide poisoning differs across racial/ethnic categories. Public Health Rep. 2000.; 115(1):46-51
48. Henn SA, Bell JL, Sussell AL, Konda S. Occupational carbon monoxide fatalities in the US from unintentional non-fire related exposures, 1992-2008. Am J Ind Med. 2013.; 56(11):1280-9. doi: 10.1002/ajim.22226. Epub 2013 Jul 19

11. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 10. svibnja 1994. u Zagrebu. 2008. završio sam OŠ Ivana Cankara, 2012. VII. gimnaziju u Zagrebu. Iste godine upisao sam Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, koji završavam 2018. Govorim engleski jezik. Bavio sam se mačevanjem u razdoblju od 2000. do 2014., a 2011. bio sam kadetski državni prvak i član reprezentacije posljednjih nekoliko godina.