

ŠOLA ANESTEZIOLOGIJE, REANIMATOLOGIJE IN PERIOPERATIVNE INTENZIVNE MEDICINE

PRVI MODUL

SPLOŠNA ANESTEZIJA I

E-učbenik

Učbenik je dostopen na:

<https://www.szaim.org/wp-content/uploads/2021/03/Modul1-zbornik-2023.pdf>



Slovensko združenje za anesteziologijo in intenzivno medicino SZAIM



Slovensko zdravniško društvo



Zdravniška zbornica Slovenije



Medicinski simulacijski center, Univerzitetni klinični center Ljubljana



Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok,
Univerzitetni klinični center Ljubljana

Univerza v Ljubljani
Medicinska fakulteta



Katedra za anesteziologijo in reanimatologijo, Medicinska fakulteta, Univerza
v Ljubljani

20.10. 2023

MEDICINSKI SIMULACIJSKI CENTER, UNIVERZITETNI KLINIČNI CENTER LJUBLJANA

**ŠOLA ANESTEZIOLOGIJE, REANIMATOLOGIJE IN PERIOPERATIVNE INTENZIVNE MEDICINE, PRVI
MODUL, SPLOŠNA ANESTEZIJA I E-UČBENIK**

URL NASLOV: <https://www.szaim.org/wp-content/uploads/2021/03/Modul1-zbornik-2023.pdf>

GLAVNA UREDNICA E-UČBENIKA prof. dr. Vesna Novak Jankovič, dr. med., svetnica

RECENZIJA : izr. prof. Maja Šoštarič, dr. med., doc. dr. Marko Zdravković, dr. med.

TEHNIČNI UREDNIK: Vanja Oven, dr. med.

TEHNIČNA PODPORA: Bojan Veberič, univ. dipl. nem., Andrej Brlan

IZDAJATELJA: Medicinski simulacijski center, Univerzitetni klinični center Ljubljana

Katedra za anesteziologijo in reanimatologijo, Medicinska fakulteta, Univerza v

Ljubljani

TRETJA DOPOLNJENA IZDAJA

PRVA OBJAVA NA SVETOVNEM SPLETU: februar 2018

TRETJA OBJAVA NA SVETOVNEM SPLETU: oktober 2023

Avtorske pravice imajo avtorji prispevkov.

Prispevki niso lektorirani.

STROKOVNO ORGANIZACIJSKI ODBOR: Vesna Novak Jankovič, Maja Šoštarič, Štefan Grosek, Dušan Mekiš, Marko Zdravković, Vesna Zadnik, Miljenko Križmarić, Peter Poredoš, Andreja Moeller Petrun, Matej Jenko, Marko Špoljarič, Vanja Oven

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID 167370499
ISBN 978-961-7105-29-2 (UKC, PDF)

KAZALO VSEBINE

- 5** Beseda urednice
- 6** Recenzija tretje dopolnjene izdaje E-učbenika
- 9** Etika v anesteziologiji, reanimatologiji in perioperativni intenzivni medicini
Štefan Grosek
- 16** Odgovornost zdravnika do pacienta v slovenskem pravnem redu
Marko Špoljarič
- 31** Pojasnilna dolžnost in privolitev pacienta v anesteziološko, algološko ter intenzivistično oskrbo
Marko Zdravković
- 40** Osnove statistike v raziskovalnem delu
Katja Goričar
- 44** Fizika za anesteziologe
Miljenko Križmarič
- 61** Anestezijski aparat in anestezijski dihalni sistem
Peter Poredoš
- 77** Priprava bolnika na diagnostični ali operativni poseg v anesteziji
Maja Šoštarič
- 88** Prenos in nadzor prenosa kisika in ogljikovega dioksida
Dušan Mekiš
- 105** Nadzorovanje transporta ogljikovega dioksida
Vesna Novak Jankovič
- 116** Monitoring – EKG in krvni tlak
Alenka Spindler Vesel, Matej Jenko
- 127** Mehansko predihavanje med splošno anestezijo ter nadzor mehanskega predihavanja
Andreja Moeller Petrun

AVTORJI

- prof. dr. **Štefan Grosek**, dr. med., višji svetnik, Enota za intenzivno nego in terapijo novorojenčkov, Služba za neonatologijo, Klinični oddelek za perinatologijo, Ginekološka klinika, UKC Ljubljana; Klinični oddelek za intenzivno terapijo otroka, Pediatrična klinika, UKC Ljubljana; Katedra za pediatrijo, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani
- **Marko Špoljarić**, univ. dipl. prav., Pravna služba, Univerzitetni klinični center Ljubljana
- doc. dr. **Marko Zdravković**, dr. med., Oddelek za anesteziologijo, intenzivno terapijo in terapijo bolečin UKC Maribor
- asist. dr. **Katja Goričar**, univ. dipl. biokem., Laboratorij za farmakogenetiko, Inštitut za biokemijo, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani
- izr. prof. dr. **Miljenko Križmarić**, univ. dipl. inž. el., Center za medicinsko tehnologijo, Medicinska fakulteta, Univerza v Mariboru
- doc. dr. **Peter Poredoš**, dr. med., DESAIC, EDRA Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok, Kirurška klinika, Univerzitetni Klinični center Ljubljana
- izr. prof. dr. **Maja Šoštarič**, dr. med., Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok, Kirurška klinika, Univerzitetni Klinični center Ljubljana
- izr. prof. dr. **Dušan Mekiš**, dr. med., Oddelek za anesteziologijo, intenzivno terapijo in terapijo bolečin, Univerzitetni Klinični center Maribor
- prof. dr. **Vesna Novak Jankovič**, dr. med., svetnica, vodja, Medicinski simulacijski center, Univerzitetni Klinični center Ljubljana
- Doc. dr. **Andreja Möller Petrun**, d. med., DESAIC, Oddelek za anesteziologijo, intenzivno terapijo in terapijo bolečin, Univerzitetni klinični center Maribor
- doc.dr. **Alenka Spindler Vesel**, dr. med., Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok, Kirurška klinika, Univerzitetni Klinični center Ljubljana
- **Matej Jenko**, dr. med., Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok, Kirurška klinika, Univerzitetni Klinični center Ljubljana

BESEDA UREDNICE

Slovenija je ena od osmih evropskih držav, kjer je simulacijsko učenje obvezni del kurikuluma specializacije iz Anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine (ARPIM). V začetku decembra 2022 in januarju 2023 je prva generacija specializantov končala šestletno izobraževanje, ki temelji na simulacijskemu učenju. Moduli so se organizirali izmenično v Medicinskem simulacijskem centru (MSC) Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana ter Simulacijskem centru Medicinske fakultete Univerze v Mariboru. Skrb za izboljšanje varnosti bolnikov je pripeljala do razvoja simulacijskega poučevanja. S takim načinom poučevanja so začeli v letalski, vojaški in nuklearni panogi zaradi možnosti simulacije realnih kritičnih situacij v nadzorovanih pogojih. Hitro so ugotovili, da je to odlična metoda za simulacijo neželenih dogodkov tudi v medicini ter s tem učenja kriznega vodenja in ukrepanja. Simulacijsko poučevanje v medicini v zadnjih dveh desetletjih postaja vse pomembnejši del učnega procesa. Simulacijsko poučevanje predstavlja tehniko, ki uporablja različne tehnološke pripomočke z namenom ustvarjanja različnih kliničnih situacij in kriznih dogodkov v kontroliranih pogojih. S simulacijskimi metodami lahko učimo: tehnične in ročne spretnosti, kritično razmišljanje, komunikacijske veščine in vlogo vodje ter delo v timu. Učni pripomočki so lahko visoko tehnološko izpopolnjene lutke, računalniki, ki uporabljajo navidezno resničnost in bolj enostavni modeli. Pomemben del učenja predstavlja tudi analiza reševanja krizne situacije, z iskanjem izboljšav v pravilnosti in hitrosti odločanja in ukrepanja. Specializante smo zaprosili, da ocenijo pretekle izobraževalne module in so jih odlično ocenili in so izrazili željo za čim več izobraževanja v simulacijskih centrih. Očitno je, da je bil program prenovljene specializacije dobro zasnovan. V tretji dopolnjeni izdaji učbenika smo dodali tudi poglavje o odgovornost zdravnika do pacienta v slovenskem pravnem redu, ker upamo, da bo to pomagalo mlademu specializantu ARPIM pri njegovemu varnem delu.

prof. dr. Vesna Novak Jankovič, dr. med., svetnica

RECENZIJAZ TRETJE DOPOLNJENE IZDAJE E-UČBENIKA

PRVI MODUL, SPLOŠNA ANESTEZIJA I

Učbenik 1. modula šole anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine predstavlja učno gradivo za specializante anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine. Kontinuirano izobraževanje anesteziologov/intenzivistov ima v slovenskem prostoru že večletno tradicijo in od leta 2015 poteka v obliki modulov. Moduli so sestavljeni iz teoretičnega dela ter praktičnih delavnic v simulacijskem okolju. Tak način poučevanja se je izkazal kot zelo uspešen, saj učenje v simulacijskem okolju predstavlja velik napredek pri poučevanju kliničnih veščin mladih zdravnikov in prispeva k povečani varnosti obravnave pacientov v klinični praksi.

Ob letošnji ponovitvi 1. modula je izšel tudi prenovljen in dopolnjen učbenik. Uredniki in organizatorji 1. modula sledijo novostim in aktualnim temam v anesteziologiji, algologiji in perioperativni intenzivni medicini.

Glede na naravo dela v operacijskih dvorah kot tudi na oddelkih za intenzivno medicino, kjer se srečujemo s kritično bolnimi, se anesteziologi pogosto srečamo z etičnimi vprašanji. Prispevek Medicinska etika v anesteziologiji, reanimatologiji in perioperativni intenzivni medicini je vsekakor dobrodošel za vsakega anesteziologa, saj tam najde odgovor na marsikatero vprašanje in dilemo tako s področja medicinske kot tudi raziskovalne etike.

Zakon o zdravstveni dejavnosti in Zakon o zdravniški službi sta zakona, ki ju mora poznati zdravnik kot nosilec zdravstvene dejavnosti. Na žalost zdravniki pogosto nimamo časa, da bi se poglobili v ta dva zakona in se seznanimo s podrobnostmi šole, ko smo soočeni z morebitno tožbo ali pa smo povabljeni kot izvedenci medicinske stroke. Čeprav so te teme vključene že v dodiplomski študij, pa je prav, da se specializanti seznanijo in osvežijo znanje o pravnem redu na področju zdravstva. Zato je urednica dodala poglavje Odgovornost zdravnika do pacienta v slovenskem pravnem redu.

Poleg strokovne in varne obravnave pacientov v perioperativnem obdobju je naša naloga, da jim pravočasno in v razumljivem jeziku razložimo anesteziološke in intenzivistične postopke in tehnike. K temu nas zavezuje Zakon o pacientovih pravicah. Pacientu je potrebno pojasniti vrsto anestezije ter mu predstaviti prednosti in možne zaplete. Prav tako mu pojasnimo možnosti za lajšanje pooperativne bolečine ter potek zgodnje pooperativne rehabilitacije, ki lahko vključuje tudi zdravljenje v enoti intenzivne terapije. Pacientu odgovorimo na vsa zastavljena vprašanja in ga vzpodbujamo, da aktivno sodeluje pri odločitvah in načrtovanju perioperativnega obdobja. Pri starejših pacientih, seveda obvezno pri otrocih, na pogovor povabimo tudi bližnje sorodnike oziroma starše. V poglavju *“Pojasnilna dolžnost in privolitev pacienta na poseg v anesteziji”* je opisan pomen pojasnilne dolžnosti ter po kakšnih standardih naj se izvede v zdravstveni ustanovi, kjer se izvaja anesteziološka oskrba.

Poznavanje statističnih metod je vsekakor pomembno za vse zdravnike in ne zgolj za tiste, ki se sami ukvarjajo z raziskovalnim delom. Težko kritično ovrednotimo kvaliteto objavljenih člankov, če ne poznamo osnovnih statističnih in raziskovalnih metod. Dober primer pomanjkljivega razumevanja znanstvenega dela in koncepta z dokazi podprte medicine (ang. evidence based medicine) med

zdravstvenimi delavci je še posebej izstopalo v času pandemije COVID-19. Zato se v poglavju "*Osnove statistike v raziskovalnem delu*" v kratkem povzetku dobro predstavi osnovne elemente statističnega dela. Sledi poglavje "*Fizika za anesteziologe*" ki slikovito prikaže bazične fizikalne principe, ki jih je treba poznati v vsakdanjiku dela anesteziologa/intenzivista, ki je vse bolj podvrženo različnim tehnološkim inovacijam. Posebna pozornost je namenjena anestezijskemu aparatu, kjer je v kratkem zgodovinskem pregledu orisan ogromen tehnološki napredek v naši stroki. Napredno poznavanje delovanja anesteziološkega aparata je ena izmed nujnih znanj in veščin vsakega anesteziologa. V poglavju "*Priprava pacienta na diagnostični in operativni poseg v anesteziji*" je jasno izpostavljen osnovni namen predoperativnega pregleda s poudarkom na optimizaciji pacientovega zdravstvenega stanja. Pomembno je, da je pacient pri anesteziologu pregledan dovolj zgodaj, da je na razpolago čas tako za optimizacijo zdravstvenega stanja kot tudi za izvedbo pojasnilne dolžnosti in pridobitev ozaveščenega pristanka za anesteziološko perioperativno oskrbo.

Fiziologija in patofiziologija prenosa kisika in ogljikovega dioksida sta temi, ki sta v letošnjem učbeniku združeni v poglavju "*Prenos in nadzor prenosa kisika in ogljikovega dioksida*". Poznavanje sistema prenosa kisika in ogljikovega dioksida je ključnega pomena za anesteziologa/intenzivista, da pravilno vodi anestezijo in kontrolirano predihavanje med operacijo kot tudi v enoti za intenzivno zdravljenje kritično bolnih. Prav anesteziologi/intenzivisti smo tisti, ki s svojimi postopki ter uporabo zdravil in učinkovin vplivamo na prenos kisika in ogljikovega dioksida. V poglavju so opisani fizikalni principi različnih načinov prenosa plinov v plazmi ter dogajanja do katerega pride pri različnih fizioloških in patofizioloških spremembah. V drugem delu avtor opiše principe delovanja aparatov za merjenje nasičenosti arterijske krvi in tkiv s kisikom.

Uporaba aparatov za nadzor življenjskih funkcij je sestavni del vsakodnevnega dela anesteziologov/intenzivistov. Kapnografija, za nadzorovanje transporta ogljikovega dioksida, je sestavni del nadzora med anestezijo, sedacijo in tudi v enoti intenzivne terapije. Z neprekinjenim merjenjem koncentracije ogljikovega dioksida v izdihanem zraku, pridobimo informacijo o delovanju dihal, srčno-žilnega sistema ter primernosti umetnega predihavanja. Za nadzor vitalnih funkcij je poleg merjenja nasičenosti arterijske krvi s kisikom obvezno tudi merjenje arterijskega krvnega tlaka in spremljanje srčnega ritma z elektrokardiografijo. Fizikalne principi ter povezave med pretokom, uporom in tlakom so razložene v poglavju »*Monitoring-EKG in krvni tlak*«. Specializant anesteziologije in intenzivne medicine mora poleg monitoringa vitalnih funkcij poznati tudi principe delovanja aparatov, ker bo le na ta način lahko pravilno interpretiral informacije, ki jih pridobi.

Med pandemijo COVID-19 se je pokazalo kako pomembno je, da zdravniki, ne le anesteziologi in intenzivisti, znajo uporabljati aparate za umetno predihavanje. V poglavju »*Mehansko predihavanje med splošno anestezijo ter nadzor mehanskega predihavanja*« avtorica opiše in pojasni postopke preoksigenacije in apnoične oksigenacije, ki sta pomembna postopka, da preprečimo hipoksemijo med uvodom v anestezijo. V nadaljevanju so v prispevku opisani principi umetnega predihavanja.

Učbenik 1. modula šole anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine bi, prav zaradi celostne obravnave pacienta v perioperativnem obdobju, lahko bil namenjen ne le anesteziologom/intenzivistom pač pa tudi drugim zdravnikom, ki se v klinični praksi srečujejo z umetnim predihavanjem.

Učbenik kot celota predstavlja kvaliteten učni vir v slovenskem jeziku, ki specializantom anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine omogoča pridobitev znanja in poznavanja osnovnih konceptov za vsakdanje delo: od pridobitve ozaveščenega pristanka pacienta za anesteziološko perioperativno obravnavo in predoperativne optimizacije pacientovega zdravstvenega stanja, do razumevanja statističnih metod za primerno interpretacijo strokovne literature, osnovnih fizikalnih principov, delovanja anestezijskega aparata, umetnega predihavanja in monitoringa vitalnih

funkcij. Tovrstna literatura je zagotovo velikega pomena za vzdrževanje kontinuiranega podiplomskega izobraževanja na področju anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine. Kot osnovno čtivo je učbenik primeren tudi za študente medicine in zdravstvenih ved.

Izr. prof. dr. Maja Šoštarič, dr. med.

doc. dr. Marko Zdravković, dr. med.

MEDICINSKA ETIKA V ANESTEZIOLOGIJI, REANIMATOLOGIJI IN PERIOPERATIVNI INTENZIVNI MEDICINI

Štefan Grosek

Povzetek

Medicinska etika je veja etike (profesionalna etika), ki proučuje, spremlja in svetuje moralne norme pri delu zdravstvenih delavcev in pri z medicino povezanimi raziskavami (raziskovalna etika). Naloga specialista anesteziologa ni samo uspavanje in preprečevanje bolečine med posegom in pooperativno vodenje ampak je mnogo širša. Anesteziologija je namreč tista specialnost v medicini, kjer anesteziolog sodeluje v paru ali timu zdravnikov drugih specialnosti, največkrat kirurgov, interventnih radiologov ter internistov oziroma pediatrov, ko morajo pred, med in po posegu sodelovati v največje dobro pacienta, da bi se lahko izvedel predviden poseg ali preiskava pacienta. Medicinska etika v anesteziologiji je pomembna čeprav ne zadosti raziskana predvsem v luči odnosa anesteziologa do pacienta pred, med ter po posegu, med zdravljenjem v intenzivni enoti, odločanjih o nadaljevanju ali prekinitvah zdravljenja in posebno, ko ima opravka s pacientom, ki se ne strinja z uporabo določenih krvnih pripravkov, ni sposoben razumeti anesteziološkega ali operativnega posega in je nekompetenten, da bi se sam odločal zaradi starosti, zmanjšane opravljalnosti, itd. Čeprav je največkrat ugovor vesti zabeležen pri ginekologih in porodničarjih, ko nočejo opraviti splava nosečnosti, se lahko tudi anesteziologi odločijo za ugovor vesti, ko ne želijo sodelovati pri posegih, ki so z moralno-etičnega vidika za njih sporni in neetični. Posebno velika etična odgovornost anesteziologa se kaže med samim posegom, ko je pacient uspavan in nezmožen sodelovati (začasna izguba avtonomije) v odločanju in je popolnoma odvisen od usposobljenosti in znanja anesteziologa ter medicinskega tima, ki sodeluje v anesteziologiji in pri operaciji. Etična odgovornost anesteziologa je zato izjemna, da pridobi privolitev po poučitvi v medicinsko oskrbo od pacienta, ki ga čaka nadaljnji kirurški ali internistični ali radiološki poseg, da določi, katere slikovne in laboratorijske preiskave pred samim začetkom anestezije potrebuje za uspešno vodenje anestezije in kasnejši potek zdravljenja, da je ustrezno poučen s strani pacienta, če se znajde v situaciji, ko mora anestezirati pacienta, ki zavrača kri ali dele krvnih preparatov, če noče sodelovati pri določenih posegih zaradi ugovora vesti ali ker se uvaja visoko rizična inovativna kirurgija, ki še ni dovolj preizkušena, da se zna in hoče opredeliti do napake, ki je nastala zaradi njega ali drugih dejavnikov.

Ključne besede: moralne norme, profesionalna etika, ugovor vesti, profesionalizem

Uvod

Medicinska etika je veja etike, ki proučuje, spremlja in svetuje moralne norme pri delu zdravstvenih delavcev in z medicino povezanimi raziskavami (raziskovalna etika). Anesteziologija je tista specialnost v medicini, kjer anesteziolog sodeluje v paru ali timu zdravnikov drugih specialnosti, kirurgov, interventnih radiologov ter internistov oziroma pediatrov, ko morajo pred, med in po posegu sodelovati v največje dobro pacienta, da bi se lahko izvedel predviden poseg ali preiskava pacienta.

Medicinska etika v anesteziologiji je pomembna čeprav ne zadosti raziskana predvsem v luči odnosa anesteziologa do pacienta pred, med ter po posegu, med zdravljenjem v intenzivni enoti, odločanjih o nadaljevanju ali prekinitvah zdravljenja in posebno, ko ima opravka s pacientom, ki se ne strinja z uporabo določenih krvnih pripravkov, ni sposoben razumeti anesteziološkega ali operativnega posega ali je nekompetenten, da bi se sam odločal zaradi starosti, zmanjšane opravljalnosti, itd. Prav tako se medicinska etika ukvarja z odnosi med zdravstvenimi delavci, ki sodelujejo timsko v oskrbi pacienta in poskuša, da zdravstveni delavci ponotranjijo temeljne zaveze profesionalizma tako do pacientov kot do drugih zdravstvenih delavcev.

V nadaljevanju bomo predstavili nekaj temeljnih etičnih dilem v anesteziologiji kot so: privolitev po poučitvi odraslih in otrocih, predoperativno testiranje, anestezija in kirurški posegi na osebah, ki zavračajo krvne pripravke, ugovor vesti. Seveda ostajajo še druge etične dileme kot so: odločanje o opustitvi ali nepristopanju k oživiljanju, posegi z visokim tveganjem v luči inovativne kirurgije, odkloni, opustitev zdravljenja, pomanjkanje zdravil, in na koncu etika v raziskavah na pacientih, kar pa so teme za nov prispevek.

1. Privolitev po poučitvi v zdravstveno oskrbo (ang. informed consent)

Privolitev po poučitvi v medicinski poseg je vsaj zadnjih 15 let tisti neizogibni pogoj (lat. *Conditio sine qua non*), ki mora biti izpolnjen predno se začne anestezija pacienta. Ta pogoj izhaja iz temeljnega načela avtonomije pacienta, ki se po natančni poučitvi odloča o predlaganih postopkih in izvedbah teh postopkov (operacija, anestezija, diagnostika). Leta 2008 je bil sprejet zadnji Zakon o pacientovih pravicah, ki v 26. -31. členu določa o pravici do privolitve v zdravstveno oskrbo (26. člen) skupaj z opisom privolitvenega obrazca (27. člen), nujni medicinski pomoči (28. člen) o zdravstveni oskrbi brez privolitve (29. člen), o pravici do zavrnitve zdravstvene oskrbe (30. člen), o preklicu privolitve ali zavrnitve (31. člen).

Privolitev po poučitvi v zdravstveno oskrbo je po Beauchampu in Childressu v knjigi *Principles of Biomedical Ethics*, je razgovor med dvema osebama, izvajalcem medicinske oskrbe in pacientom, to je osebo na kateri se bo medicinska oskrba izvajala. Da bi bila privolitev po poučitvi resnično odraz razumevanja obeh strani in avtonomnega odločanja pacienta mora izvajalec medicinske oskrbe iti skozi tri osnovne elemente v pogovoru s pacientom, in to so: *I. temeljni element*, ki je predpogoj, da sploh nadaljujemo razgovor v katerem prepoznamo, da je pacient kompetenten (razumen in se zna odločati) ter pristopa k razgovoru in kasneje k medicinskemu posegu brez prisile, zaradi lastne volje in želje; *II Element* poučitve, kjer izvajalec, zdravnik predstavi pacientu ključne materialne informacije, ki so pomembne v zvezi z zadevo, boleznijo zaradi katere je bil pacient napoten k dotičnemu zdravniku. Te materialne informacije morajo biti ne samo tiste, ki so v zvezi s pacientovo boleznijo ampak tudi tiste, ki zadevajo zdravnika, njegova usposobljenost, da opravi medicinsko oskrbo. K tem informacijam spadata tudi priporočilo, kaj naj bi bilo za pacienta najboljše in seveda, da je zdravnik prepričan, da pacient razume vse kar mu je bilo povedano. Na koncu sledi *III. element*, to je element privolitve. Tukaj se pacient odloči za ali proti medicinski oskrbi, ki mu je bila predlagana. Katerokoli možnost izbire, se s podpisom zaveže, da je razumel vse kar mu je bilo povedano in svetovano.

Členi 26. Zakona o pacientovih pravicah natančneje razlaga tudi, da je privolitev pacienta potrebna v Zakonu na opisanih primerih, (kar pogosto zdravniki pozabijo), in to so: sodelovanje v učnem procesu, uporaba zdravstvenih podatkov za namene, ki ne predstajajo zdravljenja, seznanjenje tretjih oseb z zdravstveno dokumentacijo, sporočanje informacij o zdravstvenem stanju tretjim osebam, sodelovanje v raziskavah, preiskav na njemu odvzetem biološkem materialu, razpolaganje s telesom ali deli telesa po njegovi smrti, darovanje organov, tkiv, celic.

Členi 35. – 38 Zakona o pacientovih pravicah pa določa poseben način uveljavljanja pravice pacientov, ki niso sposobni odločanja o sebi, to so otroci, o omejitvah odločanja staršev oziroma skrbnika, pacientov s težavami v duševnem zdravju in /ali ko je začasno nesposoben odločanja o sebi.

Členi 27.-31. nato še natančneje opredeljujejo kdaj je lahko privolitev ustna, kdaj mora biti pisna ali kdaj ustno pred pred dvema pričama.

Pri raziskavah, ki se opravljajo na pacientih prav tako veljajo etična pravila, ki se jih morajo držati zdravniki raziskovalci. Komisija za medicinsko etiko Republike Slovenije ima na svoji spletni strani obrazec, ki ga je potrebno izpolniti točko za točko, kjer naslavljajo vsa vprašanja v zvezi z predstavljeno raziskovalno nalogo.

2. Predoperativno testiranje (pridobitev relevantnih izvidov pred samo izvedbo anestezije)

Za uspešno anestezijo in operativni poseg mora biti pacient ustrezno pripravljen, se pravi da mora biti v takšni telesni kondiciji, da bo anestezijo in/ali operativni poseg dobro prenesel in ne bo kasnejših težav, ki bi bile posledica slabe ali nezadostne predanestezijske oziroma predoperativne priprave. Vemo, da temu ni vedno tako, posebno v nujnih primerih poškodb ali nenadnih poslabšanj nekaterih kroničnih stanj. V tak namen je izjemno pomembno, da ima anestezijska stroka izdelane *Standardne operativne postopke*, (Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo kirurških strok UKC Ljubljana, 2019), pri katerih se vidi, kako mora potekati sama priprava na anestezijo, anestezija in nato spremljanje pooperativnega poteka v prebujevalnici ali v intenzivni enoti.

Veliko je bilo in še napisanega o etiki genetskih testiranj, prenatalnih presejalnih testov, itd, manj ali pa nič pa ni napisanega o tem katere rutinske preiskave je potrebno res nujno odvzeti za dobro izvedeno anestezijo in operacijo ali diagnostiko, kot je ugotavljal Van Norman v poglavju knjige *Ethical issues in anaesthesiology and surgery*, izdano leta 2015. Njegova ocena je bila, da je to največkrat posledica napačnega razumevanja češ, da je obsežno rutinsko testiranje pred anestezijo in operacijo povezano z boljšim izhodom zdravljenja, ni drago in ni škodljivo. Kot navaja v članku, navkljub neštivilnim profesionalnim navodilom, kaj je primerno in kaj ne v predoperativnem testiranju, mnogi anesteziologi in kirurgi to ignorirajo, kar predstavlja ne samo znanstveno in medicinsko začudenje zakaj tako ampak je tudi etično sporno. Nekako lahko ugotovljamo, da zdravstveni delavci pogosto sledimo nekim "ritualom" naročanja predoperativnih testov, ki so lahko tudi preživeti in nimajo nobene napovedne vrednosti za izhod anestezije in operativnega posega.

Na spletni strani Združenja zdravnikov družinske medicine so napisana *Navodila za pripravo bolnika v osnovnem zdravstvu za operativni poseg v splošni, področni ali lokalni anesteziji*, ki na pregledno in jasno glede na vrsto operacije in anestezije ter starost pacienta priporočajo katere preiskave so potrebne. Še vedno pa občasno zdravniki splošne in družinske medicine javljajo, da nekatere enote zahtevajo veliko več predanestezijskih in predoperativnih preiskav in testov, kot bi bilo to potrebno oziroma v primerjavi z drugimi enotami, ki opravljajo enako vrsto anestezije ali posegov. Zato so anestezijske ambulante v bolnišnicah, ki opravijo pregled pacienta in pregledajo napravljene preiskave in teste pravi način kako zmanjšati nepotrebno število tetsov in preiskav ter predvsem nepotrebno ponavljanje istih testov in preiskav še enkrat v bolnišnicah oziroma zdravstvenih ustanovah. V mojem spominu se še vedno vtisi koliko preiskav in testov je bilo potrebnih včasih za enostavne operativne posege zaradi ritualov, in smo jemali odvzeme krvi, kar je bilo pogosto pri otrocih težavno in združeno s strahom in bolečinami. Sčasoma smo prešli na zmanjšanje testov in preiskav pri otrocih na minimalno število res nujno potrebnih. Podobno se odraža tako stanje v odraslih in pediatrični ter neonatalnih intenzivnih enotah kjer se vrstijo preiskave in testi kot bi rekli "za vsak slučaj", da ne bi česa spregledali oziroma iz načela dobrotelosti ter načela neškodljivosti. Istočasno pa smo enostavno pod velikim pritiskom najsodobnejše tehnologije, kor nam najsodobnejši laboratoriji za kemijo in bioekmijo

ponujajo izjemno število rezultatov iz minimalnega količine krvi, tudi takih, ki jih sploh ne potrebujemo ali želimo narediti in ob tem je cena enaka. V *Bolnišničnem odboru UKC za varno in racionalno rabo krvi, sestavin krvi in zdravil iz krvi*, Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana se ravno iz potrebe po zmanjšanju porabe krvi in krvnih pripravkov trudimo zmanjšati najprej število odvzemov od pacienta in pri tem uporabiti tiste epruvetke, ki potrebujejo najmanjšo količino krvi za enako dobljen rezultat ter zmanjšati število pripravkov krvi pri velikih kirurških posegih.

Pri naročanju testov moramo ločiti še eno pomebno stvar in sicer ali naročamo teste, da bi naredili *presejalni test*, če kakšna vrednost odstopa ali pa naročamo *točno tarčno določen test*, ki je potreben, da izključimo ali potrdimo določen odstop ali bolezensko stanje. Med presejalnimi testi lahko predvsem pri tistih bolezenskih stanjih z nizko prevalenco prihaja do *paradoksa lažno pozitivnih rezultatov*, ki potegnejo za seboj nove in nove raziskave, da bi pozitiven test potrdili ali ovrgli. Za razliko od presejalnih testov imajo tarčno določeni testi veliko večjo verjetnost, da so dobljeni rezultati resnično pozitivni. In še dalje, ko testiramo bodisi presejalno ali tarčno ni vseeno kaj iščemo in niso vsi testi etično enakovredni in lahko vplivajo na pacientov strah, čustveno prizadetost, če bi ga pozitiven test lahko socialno marginiziral, kot npr. pri okužbi z virusom imunske pomanjkljivosti.

Da bi se izognili nepotrebnim obremenitvam pacientov je potrebno vse teste in preiskave, ki jih uporabljamo občasno kritično ovredniti in videti, če so preživele zob časa ali ne in se odločiti ali tak test še moramo izvajati in naročiti ali ne.

3. Etične dileme zdravstvenih delavcev pri oskrbi pacientov, ki zavračajo sprejemanje krvi in krvnih komponent

Pravica odraslih oseb, pacientov, ki so popolnoma sposobni, da sprejmejo odločitev o odklonitvi specifičnega zdravljenja kot je npr. transfuzija krvi je, v stališču Komisije za medicinsko etiko Republike Slovenije, ki se oslanja tudi na Kazenski zakon in sicer drugi odstavek 178 člena, popolnoma jasna (glej citata Stališča in KZ-1 spodaj):

“Pri vprašanih, ki se pojavijo ob odklanjanju transfuzije na eni in zdravstvenih indikacijah na drugi strani, se najdeta v stiski tako bolnik kot zdravnik. Da ne bi zdravnik, ki sledi načelom stroke, v urgentnih primerih in neobveščen o prepričanju bolnika, odločil v nasprotju z željo oziroma zahtevo bolnika - kar ima lahko tudi v primeru uspešno zaključenega zdravljenja neprijetne osebne in pravne posledice – želi KME opozoriti vodstva slovenskih bolnišnic oziroma vseh zdravstvenih ustanov, v katerih lahko pride do transfuzije krvi, da 30. člen Zakona o pacientovih pravicah zagotavlja bolniku, ki je sposoben odločati o sebi, pravico, da zavrne predlagani medicinski poseg oziroma zdravstveno obravnavo. Če bolnik pri svoji odločitvi vztraja tudi potem, ko mu je zdravnik pojasnil možne posledice zavrnitve na njegovem zdravju, je tako bolnikovo odločitev dolžan spoštovati tudi po 2. odst. 178. člena kazenskega zakonika. Bolnik mora svojo odločitev pismeno potrditi, zdravstveno osebo pa naj jo protokolira v bolnikovi zdravstveni dokumentaciji” in 178. člen KZ-1:

“(1) Zdravnik ali drug zdravstveni delavec, ki v nasprotju s svojo poklicno dolžnostjo ne pomaga bolniku ali komu drugemu, ki je v nevarnosti za življenje, se kaznuje z zaporom do enega leta. (2) Dejanje iz prejšnjega odstavka ni protipravno, če zdravnik opusti določen način zdravljenja, poseg ali medicinski postopek na izrecno pisno zahtevo bolnika ali druge osebe, ki je sposobna odločati o sebi in pomoč zavrača tudi še potem, ko je poučena o nujnosti pomoči ter o mogočih posledicah zavrnitve in tudi potem, ko jo je zdravnik ponovno poskusil prepričati, naj spremeni svojo odločitev”.

Jehove priče so mednarodna verska skupina, ki v v Združenih državah Amerike predstavlja od 0,6 do 0,8 % odraslih oseb, na celem svetu jih je okoli 8 milijonov. Za njih je značilno tudi, da približno samo ena tretjina vernikov zadrži svoje versko prepričanje tudi v odrasli dobi. Čeprav je bila verska skupina ustanovljena leta 1870, je šele leta 1945 prepovedala uporabo transfuzije krvi med svojimi članicami in člani. Kar nekaj dejstev je, ki jih med prebiranjem strokovne literature lahko najdemo in ki govorijo različno. Tako avtorija prispevka o Jehovih pričah v knjigi *Ethical Issues in Anesthesiology and Surgery*, Liza-Marie Johnson in James M West navajata pogosta nepravilna mnenja v zvezi z Jehovinami pričami,

npr. da če damo kri ali komponente krvi osebi, ki je Jehova priča proti njeni volji, da bo on ali ona zaradi tega podvržen večnemu prekletstvu. Ali, če bo sprejela oseba, ki je Jehova priča kri, da bo podvržena večnemu prekletstvu brez možnosti obžalovanja. Avtorja navajata, da nobeni od teh dveh mnenj nista pravilni glede na pisni odgovor, ki sta ga dobila od glavne pisarne Jehovih prič v Združenih državah Amerike. Navajata odgovor iz glavne pisarne Jehovih prič, (citat): *“ Transfuzija krvi se ne ocenjuje kot greh. Tudi pod zelo ekstremnim pritiskom in ko je oseba Jehova priča pod stresom lahko Jehova priča sklene kompromis s svojo vero in sprejme transfuzijo krvi; z drugimi besedami, če je padla v trenutne spiritualne (duševne) slabosti vendar se še vedno drži svojega verovanja, taka oseba ne bo izključena iz svoje družbe Jehovih prič, rajši ji bomo izkazali dobroto in pastoralno pomoč. Seveda lahko prisilna transfuzija ali kompromisna odločitev za transfuzijo pusti na taki osebi globoke čustvene brazgotine”*. Nadalje avtorja pišeta, da od leta 2000 dalje Jehove priče niso izključene iz svojega občestva (družbe) zaradi sprejema krvi. Menijo, da so se prostovoljno ločile od Cerkve. Z drugimi besedami, če obžalujejo svoje grehe lahko ostanejo pod njihovim okriljem.

Če povzamemo lahko vidimo, da navkljub prepovedi sprejemanja tuje krvi obstajajo okoliščine, ki dajo misliti zdravstvenim delavcem, da ne smejo suhoparno brati določenih etičnih ali pravnih sklepov, ampak razmišljati s svojo glavo in reševati človeško življenje z vsemi močmi. To nam nalagata tudi dve od štirih temeljnih etičnih načel in sicer načelo dobrotelčnosti in načelo neškodljivosti.

V primeru otrok Jehovinih prič je odločitev za zdravstvene delavce lažja, saj starši ali zakoniti zastopniki ne morejo delovati v nasprotju z največjo koristjo za otroka, to je ohranitev otrokovega življenja. *Zakon o pacientovih pravicah* govori o načelu varstva največje zdravstvene koristi za pacienta, zlasti otroka (3. člen) in zato nalaga zdravstvenim delavcem, da morajo opraviti Nujno medicinsko pomoč tudi, kadar jo starši ali skrbnik zavrnejo (36. člen). Nenazadnje tudi 3. člen *Konvencije o otrokovih pravicah* predlga, da pri vseh dejavnostih v zvezi z otroki, bodisi da jih vodijo državne bodisi zasebne ustanove za socialno varstvo, sodišča, upravni organi ali zakonodajna telesa, morajo biti otrokove koristi glavno vodilo.

4. Ugovor vesti

Avtorja, filozofa Beauchamp in Childress sta v svoji knjigi *Principles of Biomedical ethics* med moralnimi lastnostmi oziroma karakterji našela pet temeljnih vrlin, ki so pomembne pri delu zdravstvenih delavcev in sicer: sočutje, razsodnost, zaupljivost, integriteto (celostnost) in delo po vesti (vestnost). Te moralne vrline so po njunem pomembne za razvoj in izražanje oskrbe pacientov. *Delo, delati po vesti (vestnost)* pomeni, da delaš tako, ker meniš, da je prav, poskušaš delati marljivo, da določiš kaj je prav, imaš namen delati kar je prav in izkazuješ dovolj veliko željo, da delaš prav. *Zakon o pacientovi pravici v 3. členu* med načeli pri uresničevanju pravic pacientov po tem zakonu navaja, da se upoštevajo zlasti naslednja načela: *-spoštovanje vsakogar kot človeka in spoštovanje njegovih moralnih, kulturnih, verskih, filozofskih in drugih osebnih prepričanj, – spoštovanje telesne in duševne celovitosti ter varnosti, – po vesti, – spoštovanje zasebnosti, – spoštovanje samostojnosti pri odločanju o zdravljenju, – spoštovanje osebnosti in dostojanstva tako, da nihče ni socialno zaznamovan zaradi svojega zdravstvenega stanja in vzrokov, posledic ter okoliščin tega stanja ali zdravstvene oskrbe, ki jo je bil zaradi tega deležen.*

Če zdravnik meni, da mu njegova vest ne dovoljuje, da bi delal v skladu s svojo vestjo ima pravico do ugovora vesti. Kaj je to ugovor vesti? Avtorja Cheng R in Abbey KR v poglavju knjige *Ethical Issues in Anaesthesiology and Surgery*, izdane leta 2015 omenjata, da naj bi se izraz *ugovor vesti* najprej začel uporabljati v vojaški službi, ker nekatere verske skupnosti ne dovoljujejo svojim članom nošenje orožja ali sodelovanja v bojih. Kaneje se je ugovor vesti razširil ne samo na zdravstvene delavce ampak tudi na druge dejavnosti, kot npr. ugovor vesti proti izobraževanju v javnih šolah, ugovor vesti proti obveznem cepljenju, itd. V poglavju dalje navajata tudi zgodovino uporabe ugovora vesti v vojski od antičnih rimskih časov dalje, medtem, ko je v medicini ugovor vesti možen tudi od antičnih grških časov,

od Hipokrata dalje in to v porodništvu, kjer v Hipokratovi prisegi zdravnik prisega, da nosečnici ne bo dal nobenega zdravila, ki bi uničil njenega še nerojenega otroka.

Ugovor vesti navaja 3. člen *Kodeksa zdravniške etike*: 3. člen *Zdravnik ima pravico do ugovora vesti. V skladu s tem lahko odkloni zdravljenje ali drug poseg, v kolikor ta nasprotuje njegovim temeljnim osebnim prepričanjem in vesti, vendar le, če ne gre za nujno zdravniško pomoč. O tem obvesti paciente in sodelavce.*

Tudi *Ustava Republike Slovenije* v 46. členu zagotavlja pravico ugovora vesti in sicer: *Ugovor vesti je dopusten v primerih, ki jih določi zakon, če se s tem ne omejujejo pravice in svoboščine drugih oseb.*

Zakon o zdravniški skužbi v 31., 49. in 81. členu govori o ugovoru vesti. V 31. Členu govori, da ob vpisu zdravnika v register zdravnika, zdravniška zbornica zbira med drugimi osebnimi podatki tudi izjavo o uveljavljanju pravice do ugovora vesti. V 49. Členu navaja: *Zdravnik lahko odkloni zdravniški poseg, če sodi, da ni v skladu z njegovo vestjo in če ne gre za nujno zdravniško pomoč. O svojem ugovoru vesti mora bolnika pravočasno obvestiti in ga napotiti k drugemu usposobljenemu zdravniku, če pa je zaposlen, mora o zavrnitvi posega obvestiti svojega delodajalca.* In v 81. členu po točko 4 navaja plačilo kazni, če ne poda izjave o uveljavljanju ugovora vesti iz 31. člena tega zakona, pa jo kasneje uveljavlja.

Če povzamemo, zdravniki in ostali zdravstveni delavci v Republiki Slovenija imajo vse pravne in etične možnosti, da uveljavljajo ugovor vesti, če bi bilo sodelovanje pri zdravljenju v nasprotju z njihovo vestjo in moralnimi normami.

Zaključek

Medicinska etika je veja etike (profesionalna etika), ki proučuje, spremlja in svetuje moralne norme pri delu zdravstvenih delavcev. Anesteziologija je specialnost v medicini, kjer anesteziolog sodeluje v paru ali timu zdravnikov drugih specialnosti, največkrat kirurgov, interventnih radiologov ter internistov oziroma pediatrov, ko morajo pred, med in po posegu sodelovati v največje dobro pacienta, da bi se lahko izvedel predviden poseg ali preiskava pacienta. V prispevku smo med številnimi etičnimi dilemami natančneje zapisali in razložili štiri etične dileme, ki lahko med anesteziologi povzročajo številne dileme in vprašanja in tudistresne situacije: 1. Privolitev po poučitvi v zdravstveno oskrbo (ang. informed consent), 2. Predoperativno testiranje (pridobitev relevantnih izvidov pred samo izvedbo anestezije), 3. Etične dileme zdravstvenih delavcev pri oskrbi pacientov, ki zavračajo sprejemanje krvi in krvnih komponent in 4. Ugovor vesti.

Priporočena literatura

1. Bauchamp TL, Childress JF. Principles of Biomedical Ethics. 6th Ed. Oxford University Press, Inc., 2009, p. 417.
2. Ethical issues in Anesthesiology and Surgery. (Ed.) Jericho G. Barbara. Springer Interantional Publishing Switzerland 2015, p. 371.
3. Standardni operativni postopki Kliničnega oddelka za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok., Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana. Ur. Jankovič Novak V, Stecher A. 3. Dopolnjena izdaja, Ljubljana. Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok., Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, 2019. (Acta Anaesthesiologica Emonica Supplementum), p. 679.
4. Anon. Navodila za pripravo bolnika v osnovnem zdravstvu za operativni poseg v splošni, področni ali lokalni anesteziji. Dostopno na: http://www.drmed.org/wp-content/uploads/2014/06/564-Navodila_za_pripravo_na_operacijo-vsebina.pdf

5. Stališče Komisije RS za medicinsko etiko o ravnanju z bolniki, ki so Jehovove priče. Dostopno na: <https://www.gov.si/zbirke/delovna-telesa/komisija-rs-za-medicinsko-etiko/>
6. Kazenski zakonik (KZ-1). Dostopno na: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO5050>
7. Konvencija o otrokovih pravicah. Dostopno na: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MZZ/Dokumenti/multilateral/clovekove-pravice/porocila-SLO-po-instrumentih-o-clovekovih-pravicah/73241a9c65/Konvencija-o-otrokovih-pravicah.pdf>
8. Kodeks zdravniške etike. Dostopno na: <https://www.zdravniskazbornica.si/docs/default-source/zbornicni-akti/kodeks-2016.pdf?sfvrsn=2>
9. Ustava Republike Slovenije. Dostopno na: <https://www.google.com/search?q=ustava+RS&oq=ustava+RS&aqs=chrome.0.69i59j0i512l9.2948j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
10. Zakon o zdravniški službi. Dostopno na: <https://www.google.com/search?q=ugovor+vesti+zdravni%C5%A1ka+zbornica&oq=&aqs=chrome.0.69i59j0i512l9.354969189j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
11. Zakon o pacientovih pravicah. Dostopno na: <https://www.google.com/search?q=zakon+o+pacientovih+pravicah&oq=Zakon+o+pacientovi h&aqs=chrome.0.0i512j69i57j0i512l4.5714j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

ODGOVORNOST ZDRAVNIKA DO PACIENTA V SLOVENSKEM PRAVNEM REDU

Marko Špoljarić

I. Uvodno

Zakon o zdravstveni dejavnosti¹ določa, da zdravstveni delavci in zdravstveni sodelavci opravljajo zdravstveno dejavnost v skladu s sprejeto zdravstveno doktrino in s kodeksom medicinske deontologije oziroma z drugimi strokovnimi in etičnimi kodeksi ter, da morajo pri opravljanju svojega dela obravnavati vse ljudi pod enakimi pogoji na enak način in spoštovati njihove ustavne in zakonske pravice. Edino merilo prednosti je nujnost zdravstvenega posega.

Poklic zdravnika, ki je odgovorni nosilec opravljanja zdravstvene dejavnosti, je pravno reguliran z Zakonom o zdravniški službi², ki določa pogoje za opravljanje zdravniške službe (izobrazba in usposobljenost, vpis v register in licenca) ter pravice in dolžnosti pri opravljanju službe (delovni čas, nujno zdravniško pomoč, opravljanje službe v času stavke, medsebojne odnose in ugovor vesti, strokovno izpopolnjevanje). V razmerju do pacienta izhajajo zdravnikove dolžnosti predvsem iz pacientovih pravic, ki jih v slovenskem pravnem redu podrobneje ureja Zakon o pacientovih pravicah³. V določenih primerih ima zdravnik dolžnost tudi v razmerju do pacientovega zakonitega zastopnika ali svojcev.⁴

Prispevek obravnava pravni vidik odnosa zdravnika do pacienta, civilnopravno (odškodninsko) odgovornost zdravnika, zdravstvene inštitucije in zavarovalnice v zvezi z strokovno (zdravniško) napako, zakonsko ureditev informirane privolitve pacienta v zdravljenje ter s tem povezano odgovornost zdravnika v zvezi s kršitvijo pojasnilne dolžnosti. Ravnanje zdravnika (storitev ali opustitev), je namreč lahko strokovno neoporečno (*lege artis*), pa bo kljub temu protipravno, v kolikor v zdravljenju pacient ni veljavno privolil. Veljavnost privolitve je odvisna predvsem od pravilno izvedene pojasnilne dolžnosti, ki dobi svoj pravni pomen, ko se uresniči tveganje v zvezi z zdravljenjem, na katerega pacient ni bil opozorjen, čeprav bi, glede na okoliščine primera, moral biti. Poznavanje tematike je za zdravnike zelo pomembno, saj zdravniška napaka oziroma zdravljenje brez veljavne privolitve pacienta, pod določenimi pogoji, ki bodo predstavljeni v nadaljevanju, lahko

¹ 45. člen Zakona o zdravstveni dejavnosti (ZZDej, Uradni list RS, št. 23/05 – uradno prečiščeno besedilo, 15/08 – ZPacP, 23/08, 58/08 – ZZdrS-E, 77/08 – ZDZdr, 40/12 – ZUJF, 14/13, 88/16 – ZdZPZD, 64/17, 1/19 – odl. US, 73/19, 82/20, 152/20 – ZZUOOP, 203/20 – ZIUPOPDVE, 112/21 – ZNUPZ, 196/21 – ZDOsk, 100/22 – ZNUZSZS, 132/22 – odl. US, 141/22 – ZNUNBZ, 14/23 – odl. US in 84/23 – ZDOsk-1)

² Zakon o zdravniški službi (ZZdrS, Uradni list RS, št. [72/06](#) – uradno prečiščeno besedilo, [15/08](#) – ZPacP, [58/08](#), [107/10](#) – ZPPKZ, [40/12](#) – ZUJF, [88/16](#) – ZdZPZD, [40/17](#), [64/17](#) – ZZDej-K, [49/18](#), [66/19](#) in [199/21](#))

³ Zakon o pacientovih pravicah (ZPacP, Uradni list RS, št. 15/08, 55/17, 177/20 in 100/22 – ZNUZSZS)

⁴ Na primer dolžnost pridobiti veljavno privolitev v primerih, ko pacient ni privolitveno sposoben

privede bodisi do civilne (odškodninske) odgovornosti zdravnika oz. zdravstvene inštitucije ali pa je protipravno ravnanje zdravnika celo inkriminirano.

II. Pravna narava odnosa med zdravnikom in pacientom

Odnos zdravnika oz. zdravstvene inštitucije do pacienta, je pravna teorija opredelila kot praviloma pogodbeno (poslovno) razmerje, razen v primeru nujne medicinske pomoči, kadar je pacient v stanju, ko ni sposoben izraziti svoje volje⁵.

Neoblična pogodba med pacientom in zdravnikom nastane s konkludentnim ravnanjem, ko se pacient zgledi pri zdravniku in ga zdravnik oz. inštitucija prevzame v zdravstveno oskrbo. Zdravnik je v tem razmerju dolžan s profesionalno skrbnostjo opraviti dogovorjeno zdravstveno storitev, pacient pa za opravljeno storitev plačati, bodisi sam ali preko sklenjenega zdravstvenega zavarovanja. Glede na to, da je izid zdravljenja pogojen tudi z okoliščinami, ki niso v sferi delovanja zdravnika, zdravnik ni odgovoren za dosego samega rezultata zdravljenja, temveč je zavezan, da deluje s profesionalno skrbnostjo ter si skladno z dognanji medicinske stroke in upošteva veljavno privolitve pacienta prizadeva za dosego ugodnega rezultata zdravljenja (izboljšanje zdravstvenega stanja ali ozdravitev). Gre torej za obligacijo prizadevanja, ne rezultata.

Sodna praksa med temeljne pogodbene obveznosti zdravnika umešča tudi izpolnitev pojasnilne *dolžnosti*. Ta je namenjena varstvu pravice do osebnega dostojanstva (34. člen Ustave RS), telesne nedotakljivosti in varstva osebnostnih pravic (35. člen Ustave RS) ter spoštovanju načela prostovoljnosti zdravljenja (tretji odstavek 51. člena Ustave RS). Zgolj pravilno opravljeno pojasnilo zdravnika, pacientu zagotavlja ustrezno obveščeno, da lahko učinkovito uresničuje svojo pravico do samoodločbe, tj. da aktivno sodeluje pri odločanju glede svojega zdravljenja. Da je torej obravnavan kot subjekt in ne le objekt zdravljenja⁶.

Zdravljenje v nasprotju s pravili stroke ali kršitev pojasnilne dolžnosti tako pomeni kršitev pogodbe ter lahko privede do odškodninske odgovornosti. Poslovna podlaga uveljavljanja odškodninske odgovornosti pa glede na določbe Obligacijskega zakonika⁷ prinaša v primerjavi z neposlovno podlago, določene posebnosti in sicer glede zastaralnega roka, ekskulpacijskega razloga in vrste pravno priznane škode.

III. Odškodninska odgovornost za zdravniško napako

a) Zdravniška napaka

O zdravniški napaki govorimo, ko zdravnik krši skrbnost dobrega strokovnjaka in ravna v nasprotju z dognanji medicinske stroke (*contra legem artis*). V praksi se očitki o napaki nanašajo tako na

⁵ Ravnanje zdravnika, ki pacientu nesposobnemu oblikovati lastno voljo brez privolitve pacienta nudi nujno medicinsko pomoč pravna teorija presoja po pravilih nujne gestije.

⁶ [VSRS Sodba II Ips 104/2019, z dne 5. 6. 2020](#)

⁷ Obligacijski zakonik (OZ, Uradni list RS, št. 97/07 – uradno prečiščeno besedilo, 64/16 – odl. US in 20/18 – OROZ631)

diagnostiko, terapijo kot tudi na nadzor zdravnika glede poteka zdravljenja. Zdravniška napaka postane pravno pomembna v primerih, ko zaradi napačnega ravnanja ali opustitve zdravnika, pacient utрпи pravno priznana škoda⁸. Ta je lahko premoženjska (navadna škoda in izgubljeni dobiček) in nepremoženjska (za pretrpljene telesne bolečine, duševne bolečine in strah)⁹. V primeru smrti ali posebno težke invalidnosti, lahko sodišče prisodi odškodnino tudi ožjim družinskim članom pacienta. Poleg napačnega ravnanja in škode, je za nastanek odgovornosti zdravnika potrebno ugotoviti tudi vzročno zvezo med ravnanjem in škodo.

Zdravniška napaka postane pravno pomembna v primerih, ko zaradi napačnega ravnanja ali opustitve zdravnika, pacient utрпи pravno priznana škoda¹⁰. Ta je lahko premoženjska (navadna škoda in izgubljeni dobiček) in nepremoženjska (za pretrpljene telesne bolečine, duševne bolečine in strah)¹¹. V primeru smrti ali posebno težke invalidnosti, lahko sodišče prisodi odškodnino tudi ožjim družinskim članom pacienta. Poleg napačnega ravnanja in škode, je za nastanek odgovornosti zdravnika potrebno ugotoviti tudi vzročno zvezo med ravnanjem in škodo.

V primerih, ko se pacient z odškodninsko terjatvijo obrne na sodišče, je pri odločanju o storjeni napaki, nastali škodi in vzročni zvezi med njima, ključna izvedba dokaza z izvedencem medicinske stroke, saj sodišče samo nima potrebnega medicinskega znanja. Izvedencu ali v zahtevnejših primerih več izvedencem različnih specialnosti, sodišče naloži izdelavo izvedenskega mnenja, v katerem je potrebno odgovoriti na temeljno vprašanje, kaj so v konkretnem primeru od zdravnika zahtevala pravila medicinske stroke (medicinska doktrina), glede na razvitost zdravstvenega sistema v Republiki Sloveniji. Predhodno izvedenec prouči medicinsko dokumentacijo in v kolikor je to potrebno opravi tudi pregled pacienta. Ko izvedenec pojasni na kakšen način bi moralo po pravilih stroke potekati zdravljenje glede na okoliščine konkretnega primera, sodišče ugotavlja ali je v konkretnem primeru zdravnik ravnal kot je treba. Presoja se vedno naša na doktrino, ki je veljala v času zdravljenja, torej v času sprejemanja odločitev s strani zdravnika. Razvoj medicinske znanosti in stroke po zaključenem zdravljenju, za odločitev o odgovornosti ni relevanten, čeprav bi razvoj lahko privedel do drugačnih postopkov zdravljenja. V kolikor sodišče ugotovi kršitev medicinske doktrine, se s pomočjo izvedenca ukvarja tudi z vprašanjem vzročne zveze med kršitvijo doktrine in pacientu nastalo škodo, ter obsegom škode. V primeru, če niso dokazane omenjene predpostavke odškodninske odgovornosti, sodišče zavrne odškodninski zahtevek pacienta.

Za odločanje o odškodninski odgovornosti so pomembna tudi pravila o dokaznem bremenu. Pacient mora za uspeh v sporu, zatrjevati nedopustno ravnanje zdravnika ter dokazati obseg škode in vzročne zveze med napačnim ravnanjem zdravnika in nastalo škodo, ekskulpacijski razlog pa mora dokazati zdravnik oz. zdravstvena inštitucija. Ker pacient kot laik ne ve, kaj je vzrok poslabšanja njegovega zdravja (zaplet ali strokovna napaka), je po presoji Vrhovnega sodišča RS v pravnem postopku

⁸ Pravne predpostavke odškodninske odgovornosti so protipravno ravnanje, nastanek pravno priznane škode, vzročna zveza med škodo in protipravnim ravnanje ter krivda povzročitelja.

⁹ Skladno s 179. členom OZ so priznane oblike nepremoženjske škode: pretrpljene telesne bolečine, pretrpljene duševne bolečine zaradi zmanjšanja življenjske aktivnosti, skaženosti, razžalitve dobrega imena in časti ali okrnitve svobode ali osebnostne pravice ali smrti bližnjega in strah.

¹⁰ Pravne predpostavke odškodninske odgovornosti so protipravno ravnanje, nastanek pravno priznane škode, vzročna zveza med škodo in protipravnim ravnanje ter krivda povzročitelja.

¹¹ Skladno s 179. členom OZ so priznane oblike nepremoženjske škode: pretrpljene telesne bolečine, pretrpljene duševne bolečine zaradi zmanjšanja življenjske aktivnosti, skaženosti, razžalitve dobrega imena in časti ali okrnitve svobode ali osebnostne pravice ali smrti bližnjega in strah.

dovoljen (informativni) dokaz z izvedencem, ki omogoča, da pacient odločilna dejstva v zvezi z vzročno zvezo navaja šele po prejemu izvedenskega mnenja¹². Novejša sodna praksa je v smeri razbremenitve položaja pacienta omilila tudi dokazni standard glede vzročne zveze, saj namesto dokaznega standarda prepričanja, velja mejni prag zadostne (nadpolovične) verjetnosti, kar pomeni, da mora pacient z verjetnostjo, višjo od 50 %, dokazati, da je ravnanje zdravnika vzrok za nastalo škodo.¹³

V kolikor so izkazane vse predpostavke, je glede premoženjske škode pacient upravičen do denarne odškodnine, ki naj bi vzpostavila takšen premoženjski položaj pacienta, kakršen bi bil, če ne bi bilo škodljivega dejanja ali opustitve. Glede nepremoženjske škode pa mora sodišče določiti odškodnino v višini, da bo zagotovljena pacientu primerna satisfakcija. Pri tem mora upoštevati intenzivnost in trajanje telesnih in duševnih bolečin, strahu, neprijetnosti, omejitev, ki pacienta spremljajo ter pomen prizadete dobrine. Paziti mora, da ne ugodi težnjam, ki niso združljive z naravo in družbenim namenom odškodnine.

b) Zaplet (komplikacija)

Potrebno je razlikovati škodo, ki nastane pacientu v posledici zdravniške napake, od škode, ki je posledica zapleta. O zapletu oz. komplikaciji pri zdravljenju govorimo, ko zaradi zdravljenja pacient kljub skrbnemu in strokovnemu ravnanju zdravnika utrpi škodo. Praviloma gre za vnaprej predvidljive negativne posledice zdravljenja, ki jih kljub določeni statistični predvidljivosti, v konkretnem primeru ni moč vnaprej napovedati in ne preprečiti. Zanje zdravnik ne odgovarja, v kolikor je bila pravilno izvedena pojasnilna dolžnost in je pacient privolil v zdravljenje z *védenjem* o možnih zapletih. V odsotnosti informirane privolitve, zaplet postane pravno relevanten in je pravno priznana škoda, povezana z zapletom lahko podlaga za odškodninsko terjatev.

c) Odgovornost izvajalca zdravstvene dejavnosti (zdravnikovega delodajalca) in zavarovalnice

Za škodo, ki jo povzroči zdravnik pacientu, je zdravnik odgovoren neposredno v kolikor je izvajal zdravljenje kot zasebnik, sicer pa zanj odgovarja njegov delodajalec. Po principu odgovornosti za delavca¹⁴ namreč škodo, ki jo povzroči delavec pri delu ali v zvezi z delom tretji osebi, odgovarja pravna ali fizična oseba, pri kateri je delavec delal takrat, ko je bila škoda povzročena.¹⁵ V kolikor zdravnik opravlja delo za delodajalca, bi lahko pacient terjal povračilo škode neposredno od zdravnika le v primeru, če ta škodo povzroči namenoma. Tovrstnih primerov v sodni praksi ni zaslediti. Subjektivni odnos zdravnika do kršitve (krivda) je lahko relevanten tudi v primeru, če delodajalec od zdravnika terja povrnitev odškodnine izplačane pacientu. S takšnim zahtevkom bo delodajalec uspešen le v primeru, če bo dokazal, da je zdravnik kot delavec povzročil škodo pacientu

¹² Sklep Vrhovnega sodišča RS II Ips 302/2011

¹³ Sklep Vrhovnega sodišča RS II Ips 221/2018

¹⁴ 147. člen OZ

¹⁵ Izvajalci so v zdravstvu organizirani v različnih statusnih oblika in sicer v javnem sistemu praviloma kot javni zdravstveni zavodi, v zasebnem (s koncesijo ali brez) pa kot gospodarske družbe po Zakonu o gospodarskih družbah, kot zasebni zavod ali kot samostojni podjetniki ali kot zasebni zdravniki.

namenoma ali iz hude malomarnosti. Za škodo povzročeno iz navadne malomarnosti zdravnik v razmerju do svojega delodajalca ni odškodninsko odgovoren.¹⁶

V mejah in pod pogoji iz zavarovalne pogodbe odgovarja za škodo tudi zavarovalnica, kjer ima izvajalec zavarovano odgovornost. Zakon o zdravniški službi v 61. členu določa, da mora biti zdravnik, ki dela neposredno z bolniki, zavarovan za odgovornost za škodo, ki bi lahko nastala pri njegovem delu. Zaposlenega zdravnika zavaruje delodajalec. Zakon določa, da zavarovalno vsoto po posameznih specialnostih vsako leto določi zbornica v soglasju z ministrom, a je trenutno še vedno v veljavi sklep Izvršilnega odbora zdravniške zbornice, z dne 18. 10. 2018, ki določa zavarovalno vsoto najmanj 130.000 eurov za vse specialnosti. Zavarovalna vsota za katero je zavarovan zdravnik predstavlja zgornjo mejo odgovornosti zavarovalnice. Preostanek morebitnega zneska dosojene ali v primeru mirne rešitve dogovorjene odškodnine torej plača izvajalec zdravstvene dejavnosti, kjer se je pacient zdravil.

Pacient se sam odloča ali bo terjal plačilo samo od izvajalca, od zavarovalnice ali od obeh skupaj. V kolikor je spor sprožen samo zoper izvajalca, le-ta v praksi praviloma pozove zavarovalnico, da vstopi v spor kot intervenient na njegovi strani. Zavarovalnica lahko v razbremenitev odgovornosti do pacienta uveljavlja enake ugovore kot izvajalec (npr. da je zdravnik ravnal z dolžno profesionalno skrbnostjo in ni kršil medicinske doktrine, da je pravilno opravil pojasnilno dolžnost, da ni vzročne zveze med ravnanji zdravnika in nastalo posledico, da pacientu ni nastala pravno priznana škoda...) poleg tega pa ima tudi ugovore, ki izvirajo iz zavarovalne pogodbe (npr. izključitev zavarovalnega kritja in ugovor glede višine zavarovalne vsote).

IV. Privolitev in zavrnitev zdravljenja ter pravne posledice kršitve pojasnilne dolžnosti zdravnika

a) Privolitev v obravnavo

V preteklosti je bil odnos zdravnika do pacienta paternalističen. Pacient je bil obravnavan kot objekt zdravljenja, zdravnik pa je sprejemal odločitve o načinu zdravljenja brez vključitve pacienta. Ta koncept je v slovenskem pravnem redu presežen, saj je nesporno, da mora biti pacient kot subjekt zdravljenja ustrezno informiran in ima pravico soodločati o poteku zdravljenja.

V 35. členu Ustave RS je zagotovljena nedotakljivost človekove telesne in duševne celovitosti, njegove zasebnosti in osebnostnih pravic, po 51. členu pa nikogar ni mogoče prisiliti v zdravljenje¹⁷. Iz opisanih človekovih pravic izhaja pravica do samoodločbe pacienta, ki je podrobneje urejena z zakonsko ureditvijo pacientovih pravic. Že osnovno besedilo leta 1992 sprejetega Zakona o zdravstveni dejavnosti je v 47. členu določalo, da ima pacient pravico izvedeti za diagnozo svoje bolezni in za obseg,

¹⁶ O hudi malomarnosti govorimo, ko gre za skrajno nepazljivo ravnanje, ki odstopa o ravnanj povprečno skrbnega delavca in presega navadno malomarnost oz. nepazljivost.

¹⁷ Sodba Vrhovnega sodišča RS II Ips 203/2012 z dne 21.03.2013: Prisilno zdravljenje je izrecno ustavno prepovedano. Varovana pravna dobrina sta svoboda in samostojnost odločanja posameznika v zvezi z uvedbo, načinom izvajanja, obsegom, vsebino ali morebitno opustitvijo medicinskega posega oziroma zdravstvene oskrbe, katere naj bi bil oziroma je (lahko) posameznik deležen. Glavni namen ustavnopravnega varstva je zagotoviti polno spoštovanje pacientovega osebnega dostojanstva ter njegove svobodne in samostojne odločitve o zdravljenju. Nujni predpogoj svobodnega in samostojnega odločanja o zdravljenju je pacientova celovita obveščенost, ki ji ustreza zdravnikova pojasnilna dolžnost. Ta obsega tudi pojasnilo o možnih tveganjih zdravljenja. Le ustrezno informiran pacient lahko uresniči svojo pravico do svobodnega in samostojnega odločanja o zdravljenju.

način, kakovost ter predvideno trajanje zdravljenja ter da ima pravico dati soglasje za kakršen koli medicinski poseg in biti predhodno obveščen o vseh možnih metodah diagnosticiranja in zdravljenja ter njihovih posledicah in učinkih. Navedena določba je bila v uporabi do 25. 8. 2008, ko je stopil v veljavo Zakon o pacientovih pravicah, ki je na sistemski ravni celovito uredil področje pacientovih pravic. Glede vpliva na obveznosti in posledične odgovornosti zdravnika je potrebno izpostaviti zlasti pravico pacienta do samostojnega odločanja o zdravljenju in pravico do sodelovanja v procesu zdravljenja.

Zakon tako določa, da pacientu, ki je sposoben odločanja o sebi, brez njegove poprejšnje svobodne in zavestne privolitve na podlagi prejetih pojasnil, ni dovoljeno opraviti medicinskega posega oziroma zdravstvene obravnave, razen v primerih, ki jih določa zakon¹⁸. Zakon določa tudi druge primere ko se zahteva privolitev pacienta¹⁹, a se za potrebe tega prispevka v nadaljevanju omejujem le na privolitev v poseg oz. obravnavo.

Samo izjemoma se lahko izvede zdravstvena obravnava brez privolitve (28. in 29. člen ZPacP). Brez privolitve se lahko opravi nujna medicinska pomoč v primeru če pacient ni sposoben odločanja o sebi ali ni zmožen izraziti svoje volje. Poleg tega se lahko brez pacientove privolitve opravi tudi medicinski poseg oziroma zdravstvena obravnava, ki ni nujna medicinska pomoč in hkrati ni operativni ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, pod naslednjimi pogoji:

- pacient ni sposoben odločanja o sebi,
- zdravnik ni vedel in ni mogel vedeti, da je pacient, pacientov zdravstveni pooblaščenec oziroma pooblaščenka, pacientov zakoniti zastopnik oziroma zastopnica ali druga oseba, ki po zakonu lahko da privolitev, posegu nasprotoval,
- privolitve oseb iz prejšnje alineje v razumnem času ni bilo mogoče pridobiti in
- bo medicinski poseg oziroma zdravstvena obravnava pacientu v največjo zdravstveno korist.

Za vse ostale obravnave je torej vedno potrebna veljavna privolitev pacienta, ki je lahko ustna (z dejanjem oziroma ravnanjem, iz katerega je mogoče zanesljivo sklepati, da pomeni privolitev), za operativni ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo pa pisna na obrazcu katerega vsebino določa zakon. Sodna praksa je na vprašanje ali je pisnost privolitve pogoj za njeno veljavnost že odgovorila, da je smisel in namen pisnosti v olajšanju dokazovanja in da zahtevo po pisnosti ni mogoče razlagati v smislu pogoja za veljavnost privolitve. O tem gre sklepati že iz same zakonske ureditve (27. člen ZPacP), ki izrecno ureja primer, ko pacient v medicinski poseg sicer privoli,

¹⁸ 26-člen ZPacP

¹⁹ Pod pogoji, ki jih določa zakon je pacientova privolitev potrebna tudi v primeru:

- sodelovanja v učnem procesu, zlasti ob prisotnosti drugih oseb med izvajanjem zdravstvene obravnave zaradi zdravstvenega izobraževanja, ki ga ureja 43. člen ZPacP,
- uporabe zdravstvenih podatkov za namene, ki ne predstavljajo zdravljenja, ki jo ureja 44. člen ZPacP,
- seznanjanja tretjih oseb z zdravstveno dokumentacijo, ki ga ureja 44. člen ZPacP,
- sporočanja informacij o zdravstvenem stanju tretjim osebam, ki ga ureja 45. člen ZPacP,
- sodelovanja v medicinskih raziskavah,
- preiskav na njemu odvzetem biološkem materialu, pri čemer se te lahko opravijo samo za potrebe njegovega zdravljenja, razen če morebitno drugo rabo biološkega materiala ureja poseben zakon,
- razpolaganja s telesom ali deli telesa po njegovi smrti za potrebe medicinskega izobraževanja in znanstvenih raziskav, za katerega se smiselno uporabljajo določbe zakona, ki ureja odvzem in presaditev delov človeškega telesa zaradi zdravljenja,
- darovanja organov, tkiv ali celic v času življenja in po smrti, ki ga ureja poseben zakon.

pisne privolitve pa noče dati in določa, da je to dejstvo in morebitne razloge potrebno dokumentirati na privolitvenem obrazcu in potrditi s podpisom dveh polnoletnih prič.²⁰

Kadar pacient ne more dati pisne privolitve, lahko da privolitev tudi ustno v prisotnosti dveh polnoletnih prič, kar je prav tako potrebno dokumentirati na privolitvenem obrazcu, skupaj z navedbo razloga nezmožnosti.

b) Zavrnitev obravnave

Poleg privolitve zakon izrecno ureja tudi pravico pacienta do zavrnitve zdravstvene obravnave.²¹ Pacient, ki je sposoben odločanja o sebi, ima pravico zavrniti predlagani medicinski poseg oziroma zdravstveno obravnavo, razen kadar bi to ogrozilo življenje ali huje ogrozilo zdravje drugih. Če zdravnik, ki pacienta zdravi, oceni, da je pacientova odločitev v nasprotju z njegovo najboljšo zdravstveno koristjo in bi zavrnitev lahko ogrozila njegovo življenje ali povzročila nepopravljivo in hudo poslabšanje njegovega zdravstvenega stanja, mora poskusiti pacienta o tem prepričati, po potrebi pa za pomoč zaprositi pacientove ožje družinske člane oziroma predlagati pacientu pridobitev drugega mnenja. Zavrnitev medicinskega posega oziroma zdravstvene obravnave ne sme imeti posledic v odnosu zdravnika in zdravstvenih delavcev do pacienta. Za operativne ali druge medicinske posege, povezane z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, se enako kot privolitev, tudi zavrnitev dokumentira na privolitvenem obrazcu.

c) Vnaprej izražena volja pacienta

Zakon je predvidel možnost, da polnoletni pacient, ki je sposoben odločanja o sebi, s pisnim pooblastilom določi svojega zdravstvenega pooblaščenca (npr. zakonca, partnerja, starše ali katerokoli drugo osebo, ki ji zaupa), ki bo lahko v primeru in za čas njegove nesposobnosti odločanja o sebi, odločal o njegovi zdravstveni obravnavi (npr. o pregledih, operacijah, manjših posegih) in drugih

²⁰ Sodba Vrhovnega sodišča RS II Ips 106/2019: «ZPacP v petem odstavku 26. člena določa, da mora biti pacientova privolitev za operativni ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, dokumentirana na obrazcu iz 27. člena tega zakona. Tožničina privolitev, ki je bila izražena samo konkludentno, s samim prihodom v zdravstveno ustanovo, kjer je bila opravljena operacija, ter s podpisom privolitvenega obrazca za anestezijo, je zato na prvi pogled neveljavna. Vendar iz drugih določb 26. člena ZPacP izhaja, da je smisel in namen pisnosti privolitve le v olajšanju dokazovanja ter da te zahteve ni mogoče razlagati kot pogoj za veljavnost same privolitve ali kot pogojevanje oprave medicinskega posega s pisno obliko privolitve. To jasno izhaja iz sedmega odstavka tega člena, ki za primer, da pacient, ki je v medicinski poseg privolil, pisne privolitve pa noče dati, predvideva, da je treba potem to dejstvo in morebitne razloge dokumentirati na obrazcu iz 27. člena tega zakona in potrditi s podpisom dveh polnoletnih prič. Razen tega so konkludentna dejanja, kot je sam pacientkin prihod v bolnišnico, kjer je bila opravljena operacija, in nato njen podpis privolitvenega obrazca za anestezijo, z vidika jasnosti, nedvoumnosti in nespornosti svobodno izražene privolitve vsaj tako zanesljiva kot podpis privolitvenega obrazca. Ker je torej veljavnost pacientove privolitve v poseg tudi po stališču teorije »nedvoumno« vezana »na izjavo volje in ne na pisnost kot tako«, in ker je tožnica svojo voljo nesporno in jasno izrazila s prihodom na operacijo in nato s podpisom privolitvenega obrazca za anestezijo, ki »je kot sestavni del operacije predstavljala funkcionalno celoto v okviru opravljenega operativnega zdravljenja«, odsotnost pisne oblike privolitve kot taka in sama po sebi ni vplivala na veljavnost pacientkine privolitve.»

²¹ 30. člen ZPacP

pravicah iz zakona (npr. o vložitvi zahteve za obravnavo kršitve pacientovih pravic, seznanitvi z zdravstveno dokumentacijo). Pacient zdravstvenega pooblaščenca določi s pisnim overjenim pooblastilom, pri čemer lahko določi navodila in usmeritve glede njegove zdravstvene obravnave ter morebitne omejitve pravice do seznanitve z zdravstveno dokumentacijo in njegovim zdravstvenim stanjem. Podatki o morebitnem zdravstvenem pooblaščenca so izvajalcu zdravstvene dejavnosti dostopni prek centralnega registra podatkov o pacientih (CRPP).

Urejena je tudi pravica tudi do vnaprejšnje zavrnitve določene zdravstvene obravnave, za primer, če bi se pacient znašel v položaju, ko ne bi bil sposoben dati privolitve oziroma zavrniti zdravstvene obravnave, in bi:

- trpel za hudo boleznijo, ki bi glede na dosežke medicinske znanosti v kratkem času vodila v smrt tudi ob ustreznem medicinskem posegu oziroma zdravstveni obravnavi in tako zdravljenje ne daje upanja na ozdravitev oziroma izboljšanja zdravja ali lajšanje trpljenja, ampak samo podaljšuje preživetje ali
- mu medicinski poseg oziroma zdravstvena obravnava podaljšala življenje v položaju, ko bo bolezen ali poškodba povzročila tako hudo invalidnost, da bo dokončno izgubil telesno ali duševno sposobnost, da bi skrbel zase.

Takšno vnaprej izraženo voljo lahko pacient poda na posebnem obrazcu, potem, ko je s strani osebnega zdravnika in zastopnika pacientovih pravic poučen o pomenu in posledicah njegove odločitve.

d) Posebej o zavrnitvi transfuzije s strani Jehovovih prič²²

V zvezi z zavrnitvijo obravnave in vnaprej izraženo voljo se v praksi večkrat postavlja vprašanje, kako naj zdravnik ravna v primeru zavrnitve transfuzije krvi s strani Jehovovih prič. Pripadniki te verske skupnosti sicer ne nasprotujejo zdravljenju kot takemu, saj sprejemajo večino vrst zdravljenja, tudi kirurške in anestezijske postopke, naprave, pripomočke in tehnike ter hemostatična in terapevtska sredstva, zavračajo pa transfuzijo alogene krvi (tj. celo kri, rdeče krvničke, bele krvničke, krvne ploščice in plazmo) in predoperativno zbiranje avtologne krvi (PAD) za kasnejšo uporabo. Razlog je v verskem prepričanju, ki izhaja iz svetopisemske zapovedi o vzdrževanju krvi.²³

Stališče o ravnanju z bolniki, ki so Jehovove priče, je sprejela Komisija RS za medicinsko etiko (KME) na seji 20. februarja 2018 in ga posredovala vsem slovenskim bolnišnicam z navodilom, kako naj ravnajo, da bodo Jehovove priče brez strahu pred neželenimi posledicami uresničevali zdravstvene pravice in udeleževali svoje prepričanje²⁴. Komisija poudarja pravico do svobodne privolitve in opozarja na 30. člen Zakona o pacientovih pravicah, ki bolniku, ki je sposoben odločati o sebi, zagotavlja pravico, da zavrne predlagani medicinski poseg oziroma zdravstveno obravnavo in dolžnost

²² Jehovove priče so Krščanska verska skupnost, ki po podatkih njihovega uradnega spletnega mesta JW.ORG® (<https://www.jw.org/sl/jehovove-price/>) deluje v 239 deželah in ima skoraj 8.7 mio pripadnikov po celem svetu.

²³ Na uradni spletni strani Jehovovih prič je pojasnjeno, da je vprašanje odklonitve transfuzije povezano z vero, ne z medicino. Navajajo, da tako Stara zaveza kot tudi Nova jasno zapovedujeta, naj se zdržujemo krvi. (1. Mojzesova 9:4; 3. Mojzesova 17:10; 5. Mojzesova 12:23; Apostolska dela 15:28, 29) Poleg tega kri z Božjega stališča predstavlja življenje. (3. Mojzesova 17:14) Zato odločitev Jehovovih prič, da ne bodo sprejeli krvi, ni povezana le s poslušnostjo Bogu, ampak tudi s spoštovanjem do njega kot vira življenja.

²⁴ <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MZ/DOKUMENTI/staro/KME/Uradna-stalisca/Stalisce-KME-o-ravnanju-z-bolniki-ki-so-Jehovove-price.pdf>

zdravnika, da takšno odločitev upošteva s tem, da predhodno pojasni možne posledice zavrnitve in da pacient svojo odločitev pismeno potrdi, zdravstveno osebje pa jo protokolira v bolnikovi zdravstveni dokumentaciji. Izpostavlja tudi dejstvo, da imajo Jehovove priče vedno pri sebi overjeni dokument »Trajno pooblastilo za mojo zdravstveno oskrbo«, opozorilo, da zavračajo transfuzijo krvi, kar je potrebno upoštevati tudi v primeru nezavestnega bolnika. Na opozorilu imajo še navedena imena in telefonske številke njihovih zakonitih zastopnikov, na katere se je v primeru dvoma ali kakšne druge potrebe možno obrniti za pojasnilo oziroma odločitev v skladu z 28. in 30. členom Zakona o pacientovih pravicah in 178. členom Kazenskega zakonika. Uradni zavrnitveni obrazec iz Pravidnika o obrazcih o pisnih izjavah volje pacienta pa se glede zavrnitve nanaša samo na zavrnitev transfuzije krvi in ne celotnega načrtovanega zdravljenja.

V svojem mnenju se KME izrecno ni opredelila glede odklonitve transfuzije s strani staršev pripadnikov Jehovovih prič, ki odločajo o domnevno privolitveno nesposobnem otroku ali o odklonitvi pri drugih osebah, ki niso sposobne odločati o sebi. V nadaljevanju povzemam zakonsko ureditev, ki sicer omogoča odklonitev medicinske obravnave, a ne omogoča, da kdo odkloni nujno medicinsko pomoč drugi osebi.

e) Privolitev pri pacientih, ki niso sposobni odločati o sebi

Pogoj za veljavno privolitev je prava volja pacienta. Pri določenih osebah se domneva, da prave volje niso sposobne oblikovati. V zvezi s tem zakon določa pravila privolitve v primeru otrok, pacientov s težavami v duševnem zdravju in pacientov, ki so začasno nesposobni odločanja o sebi.

Glede otrok je vzpostavljena zakonska domneva, da otrok do 15. leta starosti ni sposoben privolitve, razen če zdravnik glede na otrokovo zrelost oceni, da je za to sposoben. Pri presoji se zdravnik glede okoliščin, ki govorijo o sposobnosti odločanja otroka, praviloma posvetuje s starši oziroma skrbnikom. Po 15 letu starosti otroka, pa je otrok glede na zakonsko domnevo sposoben privolitve, a tudi v tem primeru domneva ni absolutna. Zdravniku namreč zakon dopušča, da glede na otrokovo zrelost oceni, da za privolitev ni sposoben, a mu tudi v tem primeru nalaga, da se glede okoliščin, ki govorijo o sposobnosti odločanja otroka, praviloma posvetuje s starši oz. skrbnikom. Otrok ima pravico, da se, kadar o njegovi zdravstveni obravnavi odločajo druge osebe, kolikor je najbolj mogoče upošteva njegovo mnenje, če ga je sposoben izraziti in če razume njegov pomen ter posledice.

O zdravstveni obravnavi otroka odločata starša praviloma sporazumno. V primeru posega, ki je povezan v večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, oziroma posega, ki utegne imeti pomembne posledice za otroka, se zahteva privolitev obeh staršev, razen kadar eden od staršev ni znan ali je neznanega bivališča, je enemu od staršev odvzeta roditeljska pravica, eden od staršev zaradi začasne zadržanosti mnenja ne more dati pravočasno brez nevarnosti za nastanek resne zdravstvene škode za otroka, ali eden od staršev ne izpolnjuje pogojev, ki se zahtevajo za pacientovo sposobnost odločanja o sebi.

Za druge medicinske posege oz. zdravstveno obravnavo lahko da privolitev tisti od staršev, ki je takrat, ko se privolitev daje, prisoten. Če sta prisotna oba in ne soglašata, zdravnik pridobi soglasje konzilija v največjo možno korist otroka, če to ni mogoče, pa od drugega zdravnika, ki dotlej ni bil in pozneje ne bo vključen v zdravljenje.

Namesto pacienta, ki zaradi težav v duševnem zdravju ali drugega vzroka, ki vpliva na zmožnost razsojanja, ni sposoben privolitve v medicinski poseg, privolitev poda zakoniti zastopnik. Če ga nima izvajalec zdravstvene dejavnosti obvesti pristojni organ za začetek postopka za postavitve zakonitega

zastopnika. Do postavitve zastopnika, privolitev v medicinski poseg oziroma zdravstveno obravnavo dajo polnoletne osebe, ki so sposobne odločanja o sebi v naslednjem izključujočem vrstnem redu:

- pacientov zakonec, zunajzakonski partner ali partner iz istospolne skupnosti,
- pacientovi otroci ali posvojenci,
- pacientovi starši oziroma posvojitelji,
- pacientovi bratje ali sestre,
- pacientovi stari starši,
- pacientovi vnuki.

Enak izključujoč vrstni red velja tudi za privolitev pri pacientu, ki je le začasno nezmožen odločanja o sebi.

V nobenem od zgoraj naštetih primerov nezmožnosti odločanja o sebi, oseba, ki dajejo privolitev namesto pacienta, ne more zavrni nujne medicinske pomoči. To lahko zavrne le pacient, ki je sposoben odločanja o sebi.

f) Pojasnilna dolžnost

Privolitev pacienta je veljavna le pod pogojem, če je bil pacient predhodno ustrezno informiran. Pravica do predhodnih informacij velja tudi za osebe, ki podajo privolitev namesto pacienta (opisano v prejšnji točki). Govorimo o t.i. informirani privolitvi (angl. informed consent). Šteje se, da je pacient informiran, če je zdravnik predhodno pravilno opravil svojo pojasnilno dolžnost²⁵. Ta po vsebini vključuje pojasnilo:

- **diagnoze:** zdravstveno stanje in verjeten razvoj ter posledice bolezni ali poškodbe
- **terapije:** cilj, vrsta, način izvedbe, verjetnost uspeha ter pričakovane koristi in izid predlaganega medicinskega posega oziroma predlaganega zdravljenja in morebitne druge možnosti zdravljenja, postopke in načine zdravljenja, ki v Republiki Sloveniji niso dosegljivi ali niso pravice iz obveznega zdravstvenega zavarovanja
- **tveganja:** možna tveganja, stranski učinki, negativne posledice in druge neprijetnosti predlaganega medicinskega posega oziroma predlaganega zdravljenja, vključno s posledicami njegove opustitve

Pojasnila mora dati zdravnik, ki je odgovoren za zdravljenje, v neposrednem stiku, obzirno, na pacientu razumljiv način oziroma skladno z individualnimi sposobnostmi sprejemanja informacij, v celoti in pravočasno.

Za operativni ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, mora dati razumljiva ustna in pisna pojasnila zdravnik, ki bo opravil medicinski poseg, če to ni možno, pa drug zdravnik, ki je usposobljen za tak medicinski poseg²⁶. S tem ko medicinska stroka opredeli posege z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, postavi tudi mejo med primeri, ko zadostuje zgolj ustno pojasnilo od primerov, ko je poleg tega potrebno dati pacientu tudi pisna pojasnila. Pomen pisnih in ustnih pojasnil (eno ni nadomestljivo z drugim) poudarja tudi sodna praksa, pri čemer le izjemoma v posebnih primerih omogoča odstop o zakonske zahteve po pisnih pojasnilih.²⁷

²⁵ 20. člen ZPacP

²⁶ VSL sodba in sklep PRp 416/2015: »Za presojo, kateri zdravnik mora pacientu dati pojasnila, je bistveno tveganje, s katerimi je poseg povezan. Le za operativni ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, da pacientu razumljiva ustna in pisna pojasnila zdravnik, ki bo opravil medicinski poseg.«

²⁷ Sodba Vrhovnega sodišča RS II Ips 106/2019:

g) Terapevtski privilegij zdravnika

Do dopustne izjeme od informiranosti pacienta lahko privede, t.i. terapevtski privilegij, ki zdravniku dovoljuje, da sme pacientu izjemoma zamolčati podatke o njegovem zdravstvenem stanju, če glede na okoliščine oceni, da bi mu takšno obvestilo povzročilo resno zdravstveno škodo, razen kadar pacient, ki je sposoben odločanja v svojo najboljšo zdravstveno korist, izrecno zahteva, da je o svojem zdravstvenem stanju popolnoma obveščen. Razloge za zamolčanje podatkov se ločeno dokumentira v zdravstveni dokumentaciji. Okoliščine, ki omogočajo zdravniku pravico do terapevtskega privilegija, je treba razlagati restriktivno, saj s preširoko razlago zdravnik tvega očitek o kršitvi pojasnilne dolžnosti in posledično odgovornost.

Izjema od informiranosti je lahko tudi posledica odločitve samega pacienta, saj zakon zdravniku nalaga da spoštuje pacientovo zahtevo, da se mu podatki o zdravstvenem stanju ne sporočijo.

»Smisel zahteve, da morajo biti pri operativnih posegih, ki so povezani z večjim tveganjem, pojasnila ne samo ustna, temveč tudi pisna, ni le v tem, da se pacient zave resnosti svojega zdravstvenega stanja, usodnosti kirurškega posega in z njim povezanih tveganj, temveč predvsem, ker pisna pojasnila pacientu omogočajo reprodukcijo ustno povedanega. Zapisane besede ostajajo, izrečene besede pa so podvržene pozabi in z njo povezanim spominskim disfunkcijam. Pomembna prednost pisnih pojasnil je v tem, da jih lahko pacient večkrat in natančno prebere ter predela »v miru« in v okoliščinah, ki so drugačne od tistih v zdravstveni ustanovi, kjer je bil opravljen pogovor z zdravnikom. Zato o pisnih pojasnilih ter o svoji odločitvi na podlagi njih bolje in temeljiteje razmisli. Ustna pojasnila tudi niso vselej z lahkoto sprejeta, že zaradi stresa, v katerem je pacient, ko je prvič in ustno soočen s svojim zdravstvenim stanjem, s potrebo po operaciji in z njo povezanimi tveganji. Pisna pojasnila pacientu omogočajo tudi pridobitev drugega mnenja, posvetovanja s sorodniki, z znanci in s prijatelji ter z drugimi, ki so imeli podobne medicinske izkušnje. Pisna zdravniška pojasnila tako zagotavljajo višjo raven informiranosti in zato tudi bolj pretehtane pacientove odločitve o poteku in metodah zdravljenja. Povedano velja za tipične (povprečne) primere.« ...

»Obravnavani primer je izrazito poseben. Ne samo, da bi pisnost pojasnil pri tožnici - osebi s posebnimi kognitivnimi sposobnostmi - lahko povzročila večjo zmedenost, zaradi česar je morda celo bolje, da ji je zdravnik le ustno, v neposrednem stiku na njej razumljiv način, v njej prilagojenem besednjaku pojasnil nujnost operacije in z njo povezano tveganje. Pritožbeno sodišče je tudi izrecno ugotovilo, da pri tožnici pisna oblika pojasnil ne bi zadostila standardu pravilne in popolne obveščenosti. Sama je namreč izpovedala, da »kadar ji zdravnik da kakšne papirje, jih ne vzame tako resno oziroma v določenem trenutku takšnih zadev ne sprejema«. Te okoliščine (tožničine mejne kognitivne sposobnosti, ki pa ji po eni strani še vedno omogočajo neovirano odločanje o sami sebi, po drugi strani pa jo pri sprejemanju življenjskih odločitev postavljajo v izrazito drugačen položaj ter dejstvo, da »kadar ji zdravnik da kakšne papirje, jih ne vzame tako resno oziroma v določenem trenutku takšnih zadev ne sprejema«) delajo obravnavani primer do te mere specifičen, da bi vztrajanje pri pisnih pojasnilih pomenilo prazen formalizem, namenjen samemu sebi in ne tistemu, kar je (v veliki večini drugih primerov) smisel in cilj pisnosti zdravnikovih pojasnil. Še več, strogo upoštevanje predpisane pisnosti bi lahko v primeru, kot je obravnavani, pri osebah s posebnimi kognitivnimi sposobnostmi privedlo do ravno nasprotnih učinkov od tistih, zaradi katerih je pisnost sploh predpisana.«

h) Odškodninska odgovornost v zvezi kršitvijo pojasnilne dolžnosti

V postopkih, kjer se ugotavlja temelj odškodninske odgovornosti zdravnika oz. zdravstvene inštitucije, se tako poleg vprašanja storjene zdravniške napake postavi tudi vprašanje pravilno izvedene pojasnilne dolžnosti. Za razbremenitev odgovornosti zdravnika je enako pomembno oboje. Kljub strokovnemu zdravljenju, se v primeru kršitve pojasnilne dolžnosti šteje, da je poseg oz. obravnava protipravna in bo škoda, ki iz tega izvira podlaga za odmero odškodnine. Velja tudi obratno in sicer, da vprašanje kršitve pojasnilne dolžnosti ni več bistveno, če je predhodno že dokazano, da je škodo pacient utrpel v posledici zdravniške napake. Pacient namreč ne more veljavno privoliti v zdravljenje, ki bi bilo v nasprotju s pravili stroke.

Pri uveljavljanju zdravniške odgovornosti zaradi kršitve pojasnilne dolžnosti mora tožnik (pacient) zatrjevati, da pojasnilna dolžnost ni bila izpolnjena oziroma ni bila pravilno izpolnjena, da mu je zato nastala škoda, ki se kaže kot uresničenje tveganja, na katero ni pristal, ter da je med kršitvijo pogodbe in nastalo škodo podana vzročna zveza. Ob takšni trditveni podlagi je tožba sklepčna. Ker je predmet varstva pravica do samoodločbe, trditev, da se ob pravilno izvedeni pojasnilni dolžnosti pacient ne bi odločil za poseg, ni predpostavka odškodninske odgovornosti. Odgovornost namreč temelji na spoznanju, da so bili posegi kot tudi iz njega nastale posledice zaradi odsotnosti pravno učinkovite privolitve nedopustni.²⁸

Pri ugotavljanju pravilno izvedene pojasnilne dolžnosti je največkrat izpostavljeno vprašanje glede obsega pojasnil o tveganjih medicinskega posega. Na podlagi obravnavanih primerov se je izkazalo, da je obseg pojasnil glede tveganj, ki jih prinaša zdravljenje, potrebno prilagajati glede na okoliščine posameznega primera. V izogib očitku o pomanjkljivem pojasnilu, je za razumevanje pojasnilne dolžnosti zato pomembno poznavanje sodne prakse, ki je na presoji konkretnih sodnih primerov oblikovala dodatna splošna merila glede obsega pojasnil o tveganjih. Vrhovno sodišče RS je tako pri obravnavi očitka o kršitvi pojasnilne dolžnosti v zvezi spinalno anestezijo pri operaciji kile in s tem povezanim tveganjem paraplegije izpostavilo da:

- mora biti **obseg in podrobnost pojasnila v obratnem sorazmerju z nujnostjo posega,**
- se mora opozorilo nanašati na **redna tveganja** posameznega medicinskega posega, kamor spadajo **tipična in statistično pogostejša tveganja,**
- mora opozorilo upoštevati **tudi redka tveganja** predvidenega posega, če ta lahko v primeru njihove realizacije **tako ogrožajo pacientovo življenje in zdravje,** da so primerljiva z naravnim potekom zdravljenih bolezni ali ga celo presegajo in bi lahko vplivala na pacientovo privolitev.²⁹

²⁸ VSRS Sodba II Ips 148/2017

²⁹ VSRS sodba in sklep II Ips 94/2015: »Tipično tveganje je tisto, ki je lastno samemu posegu, torej posebej značilno glede na naravo določenega medicinskega posega. Revizijsko sodišče pritrjuje sodiščema nižjih stopenj, da je bistvo spinalne anestezije ravno v posegu v hrbtenični kanal, zato je tveganje krvavitve in poškodovanja živcev hrbtenjače s posledično paraplegijo za takšen poseg tipično ne glede na njegovo redkost. Opredelevitev posameznega tveganja kot tipičnega je načeloma neodvisna od njegove pogostosti, razen v primerih, ko gre za statistično tako ekstremno nizko pojavnost, da je mogoče domnevati, da pri razumnem pacientu omenjeno tipično tveganje ne bi vplivalo na njegovo privolitev v poseg, kar pa, kot že rečeno, ni sestavni del dejanske podlage spora. Revizijsko sodišče še dodaja, da je opozorilo na takšno tveganje, ne glede na njegovo ugotovljeno redkost, sestavni del pojasnilne dolžnosti ravno zaradi načela obratne sorazmernosti z nujnostjo posega in načela tehtanja med težo posledic realizacije tveganja pri opravljenem medicinskem posegu ter težo posledic zdravstvenega stanja brez opravljenega posega. Opravljeni poseg ni bil življenjsko nujen, zato je potrebno tudi pri redkih tveganjih opozorilo prilagoditi posledicam

V drugi zadevi je Vrhovno sodišče RS ukvarjalo z vprašanjem nezadostnih pojasnil in načinom podajanja pojasnil pri Endoskopsko-Retrogradno-Holangio-Pankreatikografije (ERCP) in posledičnim hudim vnetjem trebušne slinavke. V tem primeru je pojasnilo, da mora biti pojasnilna dolžnost podana na takšen način, da se pacient na eni strani seznaniti z možnimi zapleti, vendar tako obzirno, da se ne prestraši preveč. Vendar pa mora biti pojasnilo takšno, da pacient razume bistvo, pomen in posledice posega ter da razume razloge za in proti posegu do te mere, da jih lahko razumno pretehta in se odloči, ali se bo spustil v zdravniško obravnavo. Omogočena mu mora biti presoja, ali je pripravljen nase prevzeti tudi tista tveganja, ki lahko povzročijo neuspeh posega ali poslabšanje njegovega zdravja. Pri tem zadostuje, da se pacientu tveganja pojasni v grobem, v osnovnih značilnostih in brez strokovnega izrazja, vendar dovolj razumljivo, da pacient razume naravo posega, njegov namen in rizičnost.³⁰

Vrhovno sodišče opozarja tudi, da je zelo pomembna nujnost posega. Če je poseg zelo nujen, potem morajo biti tveganja bolj pomirjevalno predstavljena, saj se domneva, da je razumen pacient v tem primeru pripravljen nase prevzeti večja tveganja in ima v takšnem primeru prednost obzirnost. Pojasnilo tveganj pa mora biti posebej poudarjeno, kadar se zdi odločitev pacienta za določen medicinski poseg nespametna. Tudi pri diagnostičnih posegih, ki niso neposredno povezani z zdravljenjem oziroma nimajo terapevtske vrednosti, mora biti pojasnilo tveganj obširnejše. Kadar je poseg primarno namenjen zdravljenju ali lažšanju bolečin, obenem pa služi tudi diagnostičnim namenom, se zahteve po pojasnilu ravna po terapevtskih značilnostih posega.

Neizpolnitev oziroma nepravilna izpolnitev pojasnilne dolžnosti je pravno relevantna, ko se uresniči s posegom povezano tveganje, na katerega pacient ni bil opozorjen, pa bi moral biti, in če je iz tako realiziranega tveganja izšla pravno priznana škoda.³¹

morebitnega realiziranega tveganja (paraplegija) v razmerju s posledicami pacientovega zdravstvenega stanja (kila). Glede na to, da je realizacija navedenega tveganja z vidika kvalitete pacientovega življenja nedvomno veliko hujša kot posledice bolezenskega stanja, ki so ga skušali sanirati z operacijo pooperativne kile, je to le še dodatni razlog, zaradi katerega bi moral drugi toženec z njim seznaniti prvo tožnico. Gre namreč za okoliščine, ki se ne izidejo v domnevi, da nizka pojavnost zapleta pri razumnem pacientu ne bi vplivala na njegovo privolitev v medicinski poseg. Zatrjevana redkost omenjenega zapleta glede na ugotovljene okoliščine zato v nobenem primeru ne bi mogla pripeljati do drugačnih pravnih zaključkov. Ker drugi toženec (oziroma njegova anesteziologinja) prve tožnice na omenjeno tveganje pred posegom ni opozoril, je prekršil svoje pogodbene obveznosti in zato odgovarja za nastalo škodo.«

³⁰ V isti zadevi II Ips 140/2015 je Vrhovno sodišče RS tudi obrazložilo: »Pojasniti je treba predvsem specifična tveganja, torej tveganja, ki so s posegom tipično povezana in je nanje po medicinskih izkušnjah treba računati. Gre predvsem za tveganja, ki bi v primeru uresničitve močno obremenila pacientovo življenje. Splošna tveganja mora zdravnik pacientu pojasniti zlasti takrat, kadar ima pacient predvideni poseg zmotno za povsem nenevarnega. Zadostuje splošno pojasnilo v smeri vpliva posega oziroma tveganj, to je posredovanje splošne slike resnosti in usmerjenosti spektra tveganj, tako da pacient nima iluzij o tem, kaj ga lahko doleti v primeru neuspeha posega. V primeru, ko obstaja več tveganj, katerih posledice pacienta prizadenejo na enak način, načeloma zadošča že opozorilo na tisto tveganje, ki pacienta prizadene najhujše. Pacient se mora zavedati posledic, ki jih zaplet s seboj prinaša. Utemeljen je očitek tožnice, da iz pisnega pojasnila ni bilo mogoče razbrati resnosti tveganj pri preiskavi ERCP (tožnica trdi, da ji ustno pojasnilo ni bilo dano) in je bila zato povsem zmotno prepričana, da gre na nenevarno diagnostično preiskavo.«

³¹ VSRS Sodba II Ips 207/2015

V. Sistem nekrivdne odgovornosti v zdravstvu (predlog zakona)

V strokovni javnosti že več let potekajo razprave o uvedbi sistema nekrivdne odgovornosti za škode, v zvezi z zdravljenjem. Zdravniška zbornica Slovenije je bila konkretna in je leta 2019 predlagala državi sprejem Zakona o nekrivdni odškodninski odgovornosti države³². V predlogu opozarjajo, da ima trenutna pravna ureditev odškodninske odgovornosti pomanjkljivosti, pri tem pa izpostavljajo zlasti, da je trenutni sistem dolgotrajen, drag in kompleksen ter ne nudi ustreznega pravnega varstva, da je težavno dokazovanje odgovornosti, da vzpodbuja defenzivno medicino, poslabšuje odnosa med zdravstvenim delavcem in pacientom in da je osredotočen na krivdo zdravstvenega delavca in ne na promocijo varnosti v zdravstvu. Predstavijo tudi primerjalno pravno ureditev nekrivdnih odškodninskih sistemov Švedske, Finske Avstrije in Nove Zelandije. Ta ali podoben zakon po javno dostopnih podatkih še ni v formalnem zakonodajnem postopku. Trenutno tako ostaja odškodninska odgovornost države na zdravstvenem področju omejena le na škode, ki nastanejo posamezniku zaradi cepljenja.³³

VI. Odgovornost za kaznivo dejanje s področja opravljanja zdravniškega poklica

Inkriminacija zdravnikovih ravnanje s področja opravljanja poklica³⁴ je v posebnem delu Kazenskega zakonika razvidna iz opisa kaznivih dejanj Opustitev zdravstvene pomoči (178. člen)³⁵ in Malomarno zdravljenje in opravljanje zdravilske dejavnosti (179. člen)³⁶. Pri prvem je poleg zdravnika lahko storilec tudi drug zdravstveni delavec, ki v nasprotju s svojo poklicno dolžnostjo ne pomaga bolniku ali komu drugemu, ki je v nevarnosti za življenje³⁷. Protipravnost takšne opustitve je izključena v kolikor je

³²[https://www.zdravniskazbornica.si/docs/default-source/pravni-oddelek/zakon_o_nekrivdni_odskodninski_odgovornosti_drzave-\(1\).pdf?sfvrsn=769c3636_0](https://www.zdravniskazbornica.si/docs/default-source/pravni-oddelek/zakon_o_nekrivdni_odskodninski_odgovornosti_drzave-(1).pdf?sfvrsn=769c3636_0)

³³ Od 53.a do 53.f člena Zakona o nalezljivih boleznih (Uradni list RS, št. 33/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/20 – ZIUZEOP, 142/20, 175/20 – ZIUOPDVE, 15/21 – ZDUOP, 82/21, 178/21 – odl. US in 125/22)

³⁴ V Kazenskem zakoniku (KZ-1) je sicer zdravnik kot možni storilec (skupaj z nekaterimi drugimi poklici, kot so duhovnik, učitelj, vzgojitelj..) izrecno naveden tudi v opisu kaznivih dejanj: Neupravičena izdaja poklicne skrivnosti (142. čl. KZ-1), Spolni napad na osebo, mlajšo od petnajst let (173- člen), Neupravičena proizvodnja in promet s prepovedanimi drogami, nedovoljenimi snovmi in postopki v športu ter predhodnimi sestavinami za izdelavo prepovedanih drog (186. člen), Omogočanje uživanja ali uporabe prepovedanih drog ali nedovoljenih snovi ali postopkov v športu (187. člen) Izdaja in uporaba lažnega zdravniškega ali veterinarskega spričevala (255. člen).

³⁷ Sodba Višjega sodišča v Ljubljani II Kp 7158/2011 z dne 16.05.2013: »Izvršitveno dejanje pri kaznivem dejanju opustitve zdravstvene pomoči je v storilčevi opustitvi nujne zdravstvene pomoči ne glede na to, ali je bila posebej zahtevana, za kaznivo dejanje je dovolj, da je bila potrebna. Za obstoj tega kaznivega dejanja ni pomembno, ali je zaradi opustitve zdravstvene pomoči tudi dejansko prišlo do posledice pri bolniku ali drugi osebi zaradi te opustitve.

Kaznivo dejanje opustitve zdravstvene pomoči je dokončano z opustitvijo pomoči v času, ko bi jo storilec moral nuditi. Storilec kaznivega dejanja malomarnega zdravljenja in opravljanja zdravilske dejavnosti pa je zdravnik, ki malomarno ravna v nasprotju s pravili zdravniške znanosti in stroke, torej tisti, ki dejansko opravlja zdravniško dejavnost.«

opustitev zdravnika posledica pisne zahteve samega pacienta, ki pri opustitvi vztraja navkljub opozorilu o nujnosti pomoči in mogočih posledicah zavrnitve. Za kaznivo dejanje je predpisna kazen zapora do enega leta. Zaporna kazen do treh let pa je zagrožena pri kaznivem dejanju malomarnega zdravljenja, kjer je storilec zdravnik, ki pri opravljanju zdravniške dejavnosti iz malomarnosti ravna v nasprotju s pravili zdravniške znanosti in stroke in tako povzroči, da se komu občutno poslabša zdravje. Če zaradi ravnanj kdo umre je zagrožena zaporna kazen od enega do osmih let.

V obeh inkriminacijah je torej predpostavka za kaznivost, da je zdravnik kršil dolžno ravnanje, to je ravnanje, ki mu ga nalagajo pravila medicinske stroke.

VII. Sklepno

Razmerje med zdravnikom in pacientom je zaradi narave zdravstvenih storitev obremenjeno s tveganjem, da pride do škodljivih posledic in v kolikor so te povezane neskrbnim ravnanjem zdravnika ali pomanjkljivim informiranjem, tudi z odgovornostjo zdravnika oziroma zdravstvene inštitucije. Za zmanjšanje tveganj je pomembno, da je zdravnik za svoje delo ustrezno strokovno usposobljen, da je delo dobro organizirano, zlasti pa, da se ozavešči pomen kakovosti in varnosti v zdravstvu. Izjemnega pomena je tudi komunikacija, ki mora biti po času in vsebini prilagojena okoliščinam konkretne zdravstvene obravnave, predvsem pa prilagojena posameznemu pacientu in njegovim sposobnostim sprejemanja informacij. V kolikor pri posamezni obravnavi pride do napak, pa je ključno, da se vzpostavi kultura, da se iz teh napak učimo in jih ne ponavljamo.

POJASNILNA DOLŽNOST IN PRIVOLITEV PACIENTA V ANESTEZIOLOŠKO, ALGOLOŠKO TER INTENZIVISTIČNO OSKRBO

Marko Zdravković

1. Uvod

Pojasnilna dolžnost, se pravi postopek pridobivanja ozaveščenega pristanka pacienta v anesteziološko, algološko in intenzivistično oskrbo (v nadaljevanju anesteziološko oskrbo), temelji na značilnostih pravnega sistema države, v kateri se izvaja zdravstvena storitev, ter veljavnih etičnih normah v tej državi. Oboje, etični standardi in pravni okvirji se s časom spreminjajo, kar se odraža tudi v klinični praksi. To bom v tem prispevku ponazoril s kratkim zgodovinskim pregledom razvoja pojasnilne dolžnosti za anesteziološko oskrbo v Združenem kraljestvu.

V Sloveniji pojasnilno dolžnost določa Zakon o pacientovih pravicah (ZPacP). Zato je za vsakega anesteziologa, algologa in intenzivista pomembno temeljito poznavanje tega zakona. Kljub temu, da je sodobna anestezija relativno varna, obstaja kar širok spekter zapletov povezanih z anesteziološkim delom: od blagih do takih, ki lahko ogrozijo življenje. K tveganju operativnega izhoda sicer največ prispevajo pacienti dejavniki (spremljajoče bolezni) in vrsta samega posega. Kot rečeno pa lahko tudi anestezija sama predstavlja del tveganja, zato je potrebno paciente pred vsakim posegom posebej seznaniti tudi z zapleti, povezanimi z anesteziološkimi postopki. Ker je splošno poznavanje anesteziološkega dela v laični javnosti slabo, je pojasnilna dolžnost v sklopu predoperativnega anesteziološkega pregleda namenjena tudi temu, da pacienta seznanimo s samimi anesteziološkimi postopki. Pomembno je, da razgovor o anesteziji in možnih anestezioloških zapletih opravi anesteziolog in ne kirurg, ki teh informacij ne pozna dovolj. Poleg tega je pomembno, da je privolitev dokumentirana na ustreznem obrazcu.

Po kratkem pregledu slovenskih zakonskih okvirjev bom v tem prispevku izpostavil tudi ključne posebnosti izbranih skupin pacientov ter razpravljaj o ovirah v procesu izvajanja pojasnilne dolžnosti, saj smernice in zakonske zahteve velikokrat trčijo ob realnost klinične prakse, ki strukturno zmeraj ne omogoča osnovnih pogojev za izvajanje pojasnilne dolžnosti kot je zakonsko predvidena. Posebno poglavje je namenjeno predstavitvi informacij, ki bi jih naj podali našim pacientom.

2. Spreminjanje pravnih in etičnih standardov – primer Združenega kraljestva

V 90ih letih prejšnjega stoletja je v Združenem kraljestvu prevladalo mnenje, da za anesteziološko obravnavo ni potrebnega dodatnega pisnega soglasja pred operacijo in da zadošča pisno soglasje za kirurški poseg (1). Poudarjena je sicer bila potreba po dokumentiranju razgovora s pacientom glede izbrane anesteziološke tehnike in potencialnih tveganj (2). Tako leta 2001 95,5% anestezioloških oddelkov v Združenem kraljestvu ni uporabljalo obrazca za podpis soglasja za anesteziološko oskrbo in 72% jih je menilo, da uvedba takšnega obrazca ni potrebna (3). Že v letu 2004 so se pojavile glasne nasprotne težnje. Nesmiselnost veljave splošnega kirurškega soglasja tudi za anestezijo je podrobneje argumentiral White (4). Trenutno veljavne smernice o pojasnilni dolžnosti v Združenem kraljestvu so bile objavljene leta 2017 in v prvem odstavku poudarjajo, da so bile posodobljene zaradi spremenjenih

etičnih in pravnih standardov (5). To priča na dinamičen družbeni proces, ki ima pomemben vpliv na zdravstveno prakso.

Ključne vsebine trenutno veljavnih priporočil v Angliji in Walesu lahko povzamemo v devetih točkah (5):

- I. Informacije o anesteziji in z njo povezanih tveganjih se naj predstavi pacientom čim prej pred predvidenim posegom. To je lahko v obliki spletnega ali pisnega vira, ki ga lahko pacient po potrebi ponovno uporabi. Anestezilog mora preveriti, da je pacient vsebino tudi razumel.
- II. Tik pred indukcijo anestezije za elektivne posege (na primer v operacijski dvorani) ni sprejemljivo dajati novih informacij razen v izjemnih okoliščinah.
- III. Obseg informacij, ki jih naj pacient dobi, določa vprašanje: *"Kaj bi ta pacient smatral kot pomembno za sprejetje odločitve glede izbora ene izmed možnosti anesteziološke obravnave?"*
- IV. Na koncu pojasnila o posegu je treba pacienta vprašati, ali ima kakšna vprašanja. Na vprašanja je treba v celoti odgovoriti in to zabeležiti.
- V. Anestezilog mora zabeležiti podrobnosti razgovora, vključujoč tveganja, koristi in alternative (tudi odstop od zdravljenja).
- VI. Proces soglasja je kontinuiran proces in včasih vodi v ponovno razpravo oziroma potrditev, kar mora biti zmeraj dokumentirano.
- VII. Za določeno zdravljenje (npr. kronične bolečine), je treba soglasje za nadaljevanje zdravljenja potrditi in dokumentirati pred vsako posamezno komponento (tveganja, koristi in alternative naj bodo v celoti predstavljena).
- VIII. Če pacient vztraja, da ne želi vedeti o tveganjih, mu je treba razložiti posledice takšnega pristopa. To je treba pisno zabeležiti in pacientu omogočiti, da si premisli. Pacienti se morajo zavedati, da obstajajo tveganja, hkrati pa se jim ne sme mimo njihove volje vsiliti podrobnejše razlage.
- IX. Način obravnave mlajših od 18 let po različnih starostnih kategorijah ima svoje posebnosti.

3. Pravni in etični vidik – Slovenija

Pravico do informiranosti in odločanja o lastnem zdravljenju v Sloveniji ureja ZPacP iz leta 2008 (6). Pri uresničevanju pacientovih pravic se v ZPacP upoštevajo naslednja načela (6):

- spoštovanje vsakogar kot človeka in spoštovanje njegovih moralnih, kulturnih, verskih, filozofskih in drugih osebnih prepričanj,
- spoštovanje telesne in duševne celovitosti ter varnosti,
- varstvo največje zdravstvene koristi za pacienta, zlasti otroka,
- spoštovanje zasebnosti,
- spoštovanje samostojnosti pri odločanju o zdravljenju,
- spoštovanje osebnosti in dostojanstva tako, da nihče ni socialno zaznamovan zaradi svojega zdravstvenega stanja in vzrokov, posledic ter okoliščin tega stanja ali zdravstvene oskrbe, ki jo je bil zaradi tega deležen.

V procesu pojasnilne dolžnosti je tako temeljno določilo ZPacP, da pacientu, ki je sposoben odločanja o sebi, brez njegove svobodne in zavestne privolitve ni dovoljeno opraviti medicinskega posega (6).

ZPacP v 20. členu določa, da ima pacient pravico do obveščeniosti o: svojem zdravstvenem stanju in verjetnem razvoju ter posledicah bolezni ali poškodbe; cilju, vrsti, načinu izvedbe, o verjetnosti uspeha, pričakovanih koristih in izidu predlaganega posega; možnih tveganjih, stranskih učinkih, negativnih posledicah in drugih neprijetnostih predlaganega medicinskega posega oziroma predlaganega

zdravljenja, vključno s posledicami njegove opustitve; ter o morebitnih drugih možnostih zdravljenja (6).

Privolitev

Pojasnila mora zdravnik, odgovoren za zdravljenje, pojasniti pacientu v neposrednem stiku, na pacientu razumljiv način oziroma skladno z individualnimi sposobnostmi sprejemanja informacij, v celoti in pravočasno. Za operativni ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem, pacientu da razumljiva ustna in pisna pojasnila zdravnik, ki bo opravil medicinski poseg, če to ni možno, pa drug zdravnik, ki je usposobljen za tak medicinski poseg (6).

Privolitev za operativni poseg ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, mora biti pisna in dokumentirana na posebnem privolitvenem obrazcu. V 26. in 27. členu ZPacP je opredeljeno, kaj mora vsebovati privolitveni obrazec (6).

Pridobitev privolitve temelji na etičnem načelu avtonomije, ki pomeni, da pacient sprejme samostojno in svobodno odločitev, potem ko je bil seznanjen s tveganji, pa čeprav se nam včasih odločitev zdi nesmiselna. Osnovni pogoj za pravilno izvedeno in veljavno pojasnilno dolžnost je, da je pacient razumel informacije, ki smo mu jih podali in da na osnovi teh sprejme odločitev. Kadar pacient ne more dati pisne privolitve, lahko da privolitev tudi ustno v prisotnosti dveh polnoletnih prič, kar je treba dokumentirati na privolitvenem obrazcu, skupaj z navedbo razloga nezmožnosti (6).

Kršitev obveznosti pridobitve veljavne privolitve v poseg ima za posledico odškodninsko odgovornost zdravnika oziroma zdravstvene organizacije, če pacientu nastane škoda, ki je posledica dejstva, da v poseg ni veljavno privolil, četudi je bil poseg opravljen z vso potrebno skrbnostjo (6).

Sposobnost odločanja

Avtonomije pacienta ne moremo doseči, če ni sposoben samostojnega odločanja. Sposobnost odločanja je lahko motena zaradi duševnih bolezni, demence, nezrelosti, lahko pa tudi začasno zaradi bolečine, strahu, vpliva zdravil in podobno. Kadar je le mogoče, se moramo truditi, da odpravimo začasni vzrok nesposobnosti odločanja, preden pridobimo soglasje, če z odložitvijo posega ne ogrožamo zdravja pacienta. Ne smemo pa pozabiti, da so tudi duševno manj razviti pacienti do neke mere sposobni sprejemati odločitve, ki jih moramo upoštevati.

Kadar odrasli pacient zaradi težav v duševnem zdravju ali drugega vzroka ni sposoben privolitve v medicinski poseg, se ta sme opraviti le, če ga dovoli zakoniti zastopnik. Če pacient nima zakonitega zastopnika, pristojni organ na zahtevo izvajalca zdravstvene storitve sproži začetek postopka za postavitve zakonitega zastopnika. Dokler le-ta ni postavljen, lahko privolitev v medicinski poseg dajo osebe, ki so sposobne odločanja o sebi in so dopolnile 18 let starosti, in sicer v naslednjem izključujočem vrstnem redu (6): pacientov zakonec, zunajzakonski partner ali partner iz istospolne skupnosti, pacientovi otroci ali posvojenci, pacientovi starši oziroma posvojitelji, pacientovi bratje ali sestre, pacientovi stari starši, pacientovi vnuki. Pomembno je, da omenjeni zastopniki sprejemajo odločitve, ki bi se najbolj skladale z odločitvijo pacienta in bi bile v njegovo korist in ne take, kot bi jih sami sprejemali o sebi in svojem zdravju.

Pravica do zavrnitve

Po 30. členu ZPacP ima pacient, ki je sposoben odločanja o sebi, pravico zavrniti predlagani medicinski poseg oziroma zdravstveno oskrbo, razen kadar bi to ogrozilo življenje ali huje ogrozilo zdravje drugih (6). Primer zavrnitve je zavračanje transfuzije krvi in krvnih derivatov. Če zdravnik, ki pacienta zdravi, oceni, da je pacientova odločitev v nasprotju z njegovo najboljšo zdravstveno koristjo in bi zavrnitev lahko ogrozila njegovo življenje ali povzročila nepopravljivo in hudo poslabšanje njegovega zdravstvenega stanja, mora poskusiti pacienta o tem prepričati, po potrebi pa za pomoč zaprositi pacientove ožje družinske člane oziroma predlagati pacientu pridobitev drugega mnenja (6). Za operativne ali druge medicinske posege, povezane z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, se zavrnitev dokumentira na privolitvenem obrazcu. Pacient ima kadarkoli pravico preklicati zavrnitev ali privolitev v medicinski poseg oziroma zdravstveno oskrbo (6).

Nujni primeri – zdravstvena oskrba brez privolitve

ZPacP v 28. členu določa (6): "*Če pacient ni sposoben odločanja o sebi ali ni zmožen izraziti svoje volje, se lahko opravi nujna medicinska pomoč brez njegove privolitve.*"

4. Izbrane skupine pacientov

Sindrom krhkosti

Krhkost (ang. frailty) je prisotna pri več kot 30% pacientov starejših od 65 let, ki vstopajo v anesteziološko obravnavo (7). V procesu ozaveščenega pristanka predstavljajo posebno skupino pacientov predvsem zaradi povišanega tveganja za slabše perioperativne izide (umrljivost, zaplete in podaljšan čas bolnišničnega zdravljenja). Prav tako so v tej skupini pacientov sočasno pogosto prisotne nevrokognitivne motnje, ki lahko vplivajo na sposobnost odločanja.

Debelost

Pacienti, ki imajo povišan indeks telesne mase nad 30 kg/m², predstavljajo dodatne tehnične izzive v anesteziološki obravnavi (npr. intravenski dostop, oskrba dihalne poti, regionalna anestezija) in imajo hkrati povišano tveganje za določene zaplete (npr. zavedanje med anestezijo, venski trombembolizmi) (8). V postopku pojasnilne dolžnosti je praviloma težko jasno sporočiti z debelostjo povišana tveganja v perioperativni obravnavi in se izogniti percepciji pacienta v smislu stigmatizacije debelosti (9).

Porodnice

Pridobitev ozaveščenega pristanka pri porodnicah je lahko dodatno otežena. V idealnih pogojih bi se naj ozaveščeni pristaneček za porodno analgezijo in anestezijo pridobil vnaprej, se pravi pred pričetkom poroda in nastopa bolečine. Zaradi možnosti, da se zavrnitev oziroma privolitev kadarkoli lahko prekličeta, pa nastop akutne hude bolečine predstavlja posebno dodatno okoliščino. Po nekaterih izsledkih tudi v teh okoliščinah, se pravi kljub bolečini in stresni situaciji, porodnice večinoma ohranijo zmožnost za razumevanje in priklic informacij predstavljenih med porodom (10).

Otroci

Dodatna dimenzija v kompleksnosti procesa pridobivanja ozaveščenega pristanka nastopi v skrbi za otroke, kjer v procesu običajno sodelujeta otrok in starši oziroma skrbniki. Čeprav je otrok mladoleten še to ne pomeni, da nima pravice do aktivnega sodelovanja v procesu pridobivanja ozaveščenega pristanka, pri čemer je potrebno upoštevati otrokovo starost in stopnjo razvoja (11). Enako velja v Sloveniji, saj ZPacP v 8 odstavku 35. člena določa, da ima otrok pravico, da se kadar o njegovi zdravstveni oskrbi odločajo druge osebe, kolikor je najbolj mogoče upošteva njegovo mnenje, če ga je sposoben izraziti in če razume njegov pomen ter posledice (6). V raziskavah s tega področja so se največ osredotočali na starše in njihovo razumevanje, veliko manj na otroke in njihovo razumevanje, strah in zavračanje (12).

ZPacP v 30. členu določa da otrok do 15. leta starosti ni sposoben privolitve, razen če zdravnik glede na otrokovo zrelost oceni, da je za to sposoben, pri čemer se glede okoliščin, ki govorijo o sposobnosti odločanja o sebi, praviloma posvetuje s starši oziroma skrbniki (6). Šteje se, da pa je otrok, ki je dopolnil 15 let starosti, sposoben privolitve, razen če zdravnik glede na otrokovo zrelost oceni, da za to ni sposoben, pri čemer se glede okoliščin, ki govorijo o sposobnosti odločanja o sebi, praviloma posvetuje s starši oziroma skrbniki (6). Za operativni ali drug medicinski poseg, povezan z večjim tveganjem ali večjo obremenitvijo, oziroma medicinski poseg, ki utegne imeti pomembne posledice za otroka, se zahteva privolitev obeh staršev, razen kadar eden od staršev ni znan ali je neznanega bivališča; je enemu od staršev odvzeta roditeljska pravica; eden od staršev zaradi začasne zadržanosti mnenja ne more dati pravočasno brez nevarnosti za nastanek resne zdravstvene škode za otroka; eden od staršev ne izpolnjuje pogojev, ki se zahtevajo za pacientovo sposobnost odločanja o sebi.

Zdravljenje v enoti intenzivne terapije

Vsem pacientom, ki vstopajo v anesteziološko oskrbo, je smiselno omeniti možnost nadaljevanja zdravljenja v enoti intenzivne terapije, v kolikor bi splet dogodkov v perioperativnem obdobju to zahteval (13). Posebno kompleksnost predstavlja izvedba diagnostično terapevtskih postopkov v sami enoti intenzivne terapije, kjer pacienti praviloma niso pri zavesti in zmožni podajanja nadaljnjih specifičnih soglasij. Pri tem se velikokrat obračamo na svojce, ki pa imajo različna pričakovanja (14,15). Nekateri bi želeli podati generalno soglasje za invazivne postopke v enoti intenzivne terapije (ang. bundled approach), medtem ko drugi za vsak poseg posebej (14,15).

Uporaba tehnik regionalne analgezije in anestezije

Največje tveganje pri regionalni anesteziji in analgeziji predstavljajo nevrološki zapleti, ki primarno izhajajo iz tehnične narave posega (16,17). Čeprav so zapleti redki, jih je treba pacientom ustrezno predstaviti, skupaj z alternativnimi anesteziološkimi pristopi (16,17). Uporabljati je treba sodobne podatke o incidenci zapletov (pogostih in benignih ter redkih, a s potencialno pomembnim vplivom na kvaliteto življenja), pri čemer se v praksi velikokrat soočamo z zmožnostjo razumevanje pomena incidence, na primer 1 na nekaj 100.000 primerov.

Sodelovanje v raziskavah in procesu izobraževanja

ZPacP v 26. členu določa da je privolitev pacienta potrebna tudi v primeru: sodelovanja v učnem procesu; uporabe zdravstvenih podatkov za namene, ki ne predstavljajo zdravljenja; sodelovanja v medicinskih raziskavah (6).

5. Ovire v procesu pojasnilne dolžnosti: smernice in zakonske zahteve vs realnost klinične prakse

Relativno veliko objavljenih člankov iz primerljivih zahodnih družbenih okolij razpravlja o razkoraku med etičnimi in pravnimi normami, ki so podlaga za smernice, ter vsakdanjo klinično realnostjo (18-21). Čeprav je v teoriji tveganje opredeljeno kot zmnožek incidence zapletov in njihove resnosti, pa je percepcija anesteziologov in pacientov za tveganja pod vplivom številnih spremenljivk (22). Zlasti v sodobni anesteziološki doktrini, ko so zapleti zelo redki in se nekateri tako hitro prepustijo razmišljanju "*po mojih izkušnjah...*" Tako imamo velikokrat težave s prenosom statistike v prakso. Nadalje, sklepanje na incidenco zapletov iz lastne prakse je lahko podvrženo precenjevanju in podcenjevanju verjetnosti zapletov. Dva različna anesteziologa lahko enako razumeta incidenco epiduralnega hematoma, pa vendar bo njuna percepcija in prenos v pojasnilni dolžnosti različen, če je eden od njiju pri katerem od svojih pacientov že doživel ta zaplet (22).

Prav tako obstaja dilema, katera tveganja in v kakšnem obsegu predstaviti pacientom (22). Chrimes in Marshall sta predstavila zelo dobro argumentacijo, da lahko različne komponente anesteziološke oskrbe v grobem razdelimo na posege (npr. žilni dostopi, regionalne tehnike) in procese (npr. izbira monitoringa, zdravil, naprav) (18). V svoji razpravi izpostavi neravnovesje v procesu pojasnilne dolžnosti tako znotraj obeh skupin kot med njima. Na primer, redki zapleti arterijske kanilacije se praktično ne razpravljajo, medtem ko se podobno redki zapleti neuraksialne analgezije/anestezije obširneje predstavljajo pacientom. Na drugi strani so tudi pomembni možni zapleti izbora zdravil v oskrbi, česar pa se praktično ne razpravlja s pacienti, saj bi predstavljalo preveliko kognitivno breme (22). Tako prispe do sklepa, da je pridobivanje veljavnega ozaveščenega pristanka v anesteziologiji zelo težko če ne nemogoče (22). Medtem podatki iz Združenih držav amerike kažejo na pričakovanja pacientov, da se jim pojasni tveganja za pogoste a manj hude zaplete ter za redke a zelo hude zaplete (23). To je kar širok spekter, ki med drugim vključuje eksplicitno izjavo, da lahko v procesu anesteziološke obravnave tudi umrejo. Zanimivo, pojasnilo na dan posega je bilo zaželeno pri 46% vprašanih, 1 teden prej pri 35% in 1 mesec prej pri 16% (23).

Ravno kot zelo pereče vprašanje se izpostavlja pridobivanje soglasje v primerih sprejemov pacientov v zdravstvene ustanove na dan posega in brez predhodnega posveta z anesteziologom (22). Tako časovno okrnjena okna in omejene prostorske zmožnosti onemogočajo ustrezen proces za podajo ozaveščenega pristanka, saj imajo pacienti med drugim (pre)kratek čas za razmislek (22). Namreč, da pacient lahko pretehta vse prejete informacije in sprejme odločitev, mora imeti na voljo dovolj časa, ne sme biti pod stresom ali v časovni stiski. Imeti moramo tudi čas, da odgovorimo na vsa vprašanja.

Ta problematika je zlasti pomembna ob še večjem pritisku na operativno dejavnost v času ob oziroma po pandemiji COVID-19 (24), ko ustanove velikokrat "žrtvujejo" anesteziološko ambulantno dejavnost na račun zagotavljanja enega operativnega delovišča več, saj so zamude v zdravstveni oskrbi pacientov postale nesprejemljive. Hkrati se je treba zavedati, da takšne systemske pomanjkljivosti pomembno bremenijo tudi same ustanove in ne zgolj izvajalcev anesteziološke dejavnosti, ki s(m)o ostali brez določenega in časa (in prostorov) za pravočasno in ustrezno pridobitev ozaveščenega pristanka.

6. Obseg podanih informacij v postopku pojasnilne dolžnosti

Kot dopolnilo v postopku pridobivanja ozaveščene privolitve pogosto posegamo po knjižicah in spletnih virih, ki pacientom omogočijo, da iz zanesljivih virov pridobijo osnovne informacije že pred obiskom v anesteziološki ambulanti. Ti viri so dostopni tudi na spletni strani Slovenskega združenja za anesteziologijo in intenzivno medicino: www.szaim.org (25). Poudariti velja, da so pacienti v nedavni raziskavi v Združenih državah amerike poudarili pomembnost razgovora z anesteziologom: željo po osebni razpravi z anesteziologom ali v kombinaciji s pisnimi informacijami je podala večina (96%) in zgolj 4% vprašanih so izrazili željo zgolj po pisnih informacijah (23). Na podlagi vnaprej prebranih zapisov se nato vodi osebni razgovor s pacientom v anesteziološki ambulanti, kjer je ključno, da ustrezno odgovorimo na vsa vprašanja.

Pri odločanju o tem, koliko informacij o morebitnih zapletih posredujemo pacientu, se ravnamo po tem, kaj mislimo, da bi običajno želel vedeti razumen pacient (5,26). Pri tem ne naštevamo vseh možnih zapletov, saj s tem preobremenimo pacienta z informacijami, ki si jih ne more zapomniti, ga po nepotrebnem prestrašimo in mu otežimo odločitev (26). Priporoča se, da pacientu navedemo zaplete, ki so najpogostejši in zaplete, ki so najbolj resni. Pri vsakem pacientu pa se glede na okoliščine individualno odločamo, ali mu bomo pojasnili kateri zaplet, ki bi bil zanj pomemben – npr. poškodba glasilk ob intubaciji pri poklicnem pevcu (26). Količina informacij je odvisna tudi od pacientovega splošnega stanja, spremljajočih bolezni ter vrste in nujnosti operativnega posega. Pri navajanju pogostnosti posameznih zapletov priporočajo, da namesto dejanske incidence v številkah, ki pacientu ne povejo prav veliko, pogostost zapleta primerjamo s pogostostjo določenih dogodkov v vsakdanjem življenju (npr. verjetnost nastanka spontanega epiduralnega hematoma je enaka, kot je verjetnost zadetka sedmice na lotu) (26).

Pacientu je tudi smiselno pojasniti potek dogodkov povezanih z anesteziološko oskrbo: čas teščosti, režim jemanja redne terapije na dan posega, morebitna anksiolitična premedikacija 30 do 60 minut pred posegom, transport v operacijske prostore, začetni anesteziološki postopki v operacijski dvorani (intravenska pot, infuzija, monitoring itd.), uvod v anestezijo in dodatni anesteziološki postopki (npr. nastavitev centralnega venskega katetra) oziroma regionalna tehnika z ali brez sedacije. Pacientu pojasnimo, da bomo med posegom ves čas nadzorovali njegove življenjske funkcije in po potrebi ukrepali. Pomembno je pojasniti postopek zbujanja ter kje ga bomo zbudili (operacijska dvorana, prebujevalnica, enota intenzivne terapije). Pojasnimo mu način lajšanja pooperativne bolečine in možnost pooperativne slabosti in bruhanja. Razložimo mu tudi možnost transfuzije krvi in krvnih derivatov in pridobimo pacientovo soglasje za le-to. Ne smemo pozabiti pojasniti, kako bomo ravnali v primeru neuspele intervencije (npr. neuspešna regionalna tehnika).

Na koncu moramo pacientu še enkrat dati možnost, da postavi morebitna dodatna vprašanja in mu nanje odkrito odgovoriti, četudi se po raziskavi iz Španije skoraj polovica pacientov kasneje ne spomni, da bi v standardziranem procesu pridobivanja soglasja imeli možnost za razjasnitev nejasnosti (27). Vprašanja v zvezi s kirurškim posegom, koliko časa bodo ostali v bolnišnici in podobno spadajo v domeno kirurške oskrbe in so za podajo odgovorov nanje kompetentni kirurgi in ne anesteziologi (26).

Pomembno je, da vse podatke, ki se nam pri pojasnilni dolžnosti zdijo pomembni, ustrezno dokumentiramo. Zraven natančno izpolnjenega obrazca za privolitev z vsemi predpisanimi obveznimi podatki je priporočljivo zabeležiti tudi dodatne informacije, ki smo jih posredovali pacientu, zabeležiti, če je dal soglasje le za del postopkov in podobno (6,26).

7. Zaključek

V klinični praksi je zdravnikova primarna odgovornost, da deluje v najboljšem interesu za pacienta v njegovi oskrbi. Razkorak med pravnimi akti in realnostjo komunikacije s pacienti v času težkih in visoko stresnih situacij ima velikokrat nasproten učinek od želenega (19). Ključno ostaja, da se pacientu na razumljiv način predstavi najpomembnejše zaplete, preveri razumevanje podanih informacij ter odgovori na vsa vprašanja. S pravnega vidika je za nas pomembno pisno dokumentiranje opravljenega procesa pojasnilne dolžnosti in pridobitve ozaveščenega pristanka v anesteziološko oskrbo.

8. Literatura

- (1) Dobson R. Anaesthetists do not need separate consent before surgery. *BMJ*. 1999 Jul 17;319(7203):142. doi: 10.1136/bmj.319.7203.142a.
- (2) Aitkenhead A. Anaesthetists need consent, but not written consent. *BMJ*. 1999 Oct 23;319(7217):1135. doi: 10.1136/bmj.319.7217.1135.
- (3) Watkins EJ, Milligan LJ, O'Beirne HA. Information and consent for anaesthesia: a postal survey of current practice in Great Britain. *Anaesthesia*. 2001 Sep;56(9):879-82. doi: 10.1046/j.1365-2044.2001.02059.x.
- (4) White SM Consent for anaesthesia *Journal of Medical Ethics* 2004;30:286-290.
- (5) Yentis SM, Hartle AJ, Barker IR, Barker P, Bogod DG, Clutton-Brock TH, Ruck Keene A, Leifer S, Naughton A, Plunkett E. AAGBI: Consent for anaesthesia 2017: Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland. *Anaesthesia*. 2017 Jan;72(1):93-105. doi: 10.1111/anae.13762.
- (6) Zakon o pacientovih pravicah, Uradni list RS, št. 15/2008.
- (7) Silbert BS, Scott DA. Informed Consent in Patients With Frailty Syndrome. *Anesth Analg*. 2020 Jun;130(6):1474-1481. doi: 10.1213/ANE.0000000000004629.
- (8) Nightingale CE, Margaron MP, Shearer E, et al. Peri-operative management of the obese surgical patient 2015. *Anaesthesia* 2015; 70: 859–76.
- (9) Selak T, Selak V. Communicating risks of obesity before anaesthesia from the patient's perspective: informed consent or fat-shaming? *Anaesthesia*. 2021 Feb;76(2):170-173. doi: 10.1111/anae.15126.
- (10) Broaddus BM, Chandrasekhar S. Informed consent in obstetric anaesthesia. *Anesth Analg*. 2011 Apr;112(4):912-5. doi: 10.1213/ANE.0b013e31820e777a.
- (11) Lauro HV. Pediatric Anesthesia Informed Consent: "That's the Signpost Up Ahead - Your Next Stop, The Twilight Zone!". *Anesth Analg*. 2018 Dec;127(6):1289-1291. doi: 10.1213/ANE.0000000000003808.
- (12) Feinstein MM, Pannunzio AE, Lobell S, Kodish E. Informed Consent in Pediatric Anesthesia: A Narrative Review. *Anesth Analg*. 2018 Dec;127(6):1398-1405. doi: 10.1213/ANE.0000000000003705.
- (13) Siewiera J, Trnka J, Kübler A. Consent to eventual treatment in the intensive care unit expressed within the consent form for elective anaesthesia and surgery. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2013 Jan-Mar;45(1):44-8. doi: 10.5603/AIT.2013.0010.
- (14) Modra LJ, Hart GK, Hilton A, Moore S. Informed consent in the intensive care unit: the experiences and expectations of patients and their families. *Crit Care Resusc*. 2014 Dec;16(4):262-8.
- (15) Espinosa ML, Tannenbaum AM, Kilaru M, Stevens J, Siegler M, Howell MD, Parker WF. Bundled Consent in US Intensive Care Units. *Am J Crit Care*. 2020 May 1;29(3):e44-e51. doi: 10.4037/ajcc2020502.
- (16) McCombe K, Bogod D. Regional anaesthesia: risk, consent and complications. *Anaesthesia*. 2021 Jan;76 Suppl 1:18-26. doi: 10.1111/anae.15246.

- (17) Tierney S, Perlas A. Informed consent for regional anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2018 Oct;31(5):614-621. doi: 10.1097/ACO.0000000000000635.
- (18) Zarnegar R. Informed consent in anaesthesia. *Br J Anaesth*. 2018 Apr;120(4):883-884. doi: 10.1016/j.bja.2018.01.009.
- (19) Cyna AM, Simmons SW. Guidelines on informed consent in anaesthesia: unrealistic, unethical, untenable.... *Br J Anaesth*. 2017 Dec 1;119(6):1086-1089. doi: 10.1093/bja/aex347.
- (20) Tait AR, Teig MK, Voepel-Lewis T. Informed consent for anesthesia: a review of practice and strategies for optimizing the consent process. *Can J Anaesth*. 2014 Sep;61(9):832-42. doi: 10.1007/s12630-014-0188-8. Epub 2014 Jun 5.
- (21) Grady C. Enduring and emerging challenges of informed consent. *N Engl J Med*. 2015;372:855–862.
- (22) Chrimes N, Marshall SD. The illusion of informed consent. *Anaesthesia*. 2018 Jan;73(1):9-14. doi: 10.1111/anae.14002. Epub 2017 Jul 26.
- (23) Burkle CM, Pasternak JJ, Armstrong MH, Keegan MT. Patient perspectives on informed consent for anaesthesia and surgery: American attitudes. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2013 Mar;57(3):342-9. doi: 10.1111/aas.12037.
- (24) Huda F, Kumar P, Singh SK, Agrawal S, Basu S. Covid-19 and surgery: Challenging issues in the face of new normal - A narrative review. *Ann Med Surg (Lond)*. 2020 Dec;60:162-167. doi: 10.1016/j.amsu.2020.10.039.
- (25) Slovensko združenje za anesteziologijo in intenzivno medicino – SZAIM. Dostopno na <https://www.szaim.org/za-paciente-in-svoje/> in <https://www.szaim.org/anestezija-na-kratko/> [spletni vir dostopen 17. 4. 2022].
- (26) Mušič P. Pojasnilna dolžnost in privolitev na poseg v anesteziji. In: Šola anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine: učbenik. Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok, Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center; Oddelek za anesteziologijo, intenzivno terapijo in terapijo bolečin, Univerzitetni klinični center; 2018. p. 40–4.
- (27) Faura A, Izquierdo E, Escriche L, Nogué G, Videla S. Consentimiento informado de anestesia: ¿información presencial o no presencial? [Informed consent for anaesthesia: Presential or non-presential information?]. *J Healthc Qual Res*. 2019 Nov-Dec;34(6):283-291. Spanish. doi: 10.1016/j.jhqr.2019.07.004.

OSNOVE STATISTIKE V RAZISKOVALNEM DELU

Katja Goričar

Poznavanje statističnih metod je ključno za raziskovalno delo na področju biomedicine, tako za ustrezno načrtovanje in izvedbo raziskav ter analizo podatkov kot tudi za ustrezno interpretacijo in razumevanje znanstvenih člankov.

Načrtovanje raziskav

Pri načrtovanju raziskav je treba poleg izbora raziskovalnega vprašanja določiti še ustrezno velikost vzorca, ki nam bo omogočil, da bo imela raziskava dovolj veliko moč. Poskrbeti moramo tudi za to, da je vzorec reprezentativen (dobro predstavlja celotno populacijo). Prav tako je treba že na začetku razmisliti, katere podatke potrebujemo za odgovor na zastavljeno vprašanje, ter katere so morebitne dodatne spremenljivke, ki jih je potrebno upoštevati. Za uspešno raziskavo je zelo pomembno, da so zbrani podatki čim bolj natančni, prav tako je pri časovno odvisnih spremenljivkah potrebno upoštevati še časovni vidik.

Glede na raziskovalno vprašanje in dostopnost vzorcev oziroma podatkov moramo izbrati primerno vrsto raziskave. Nekaj najpogostejših zasnov raziskav predstavljajo:

- opazovalne raziskave, npr.
 - raziskave primerov in kontrol (retrospektivne),
 - kohortne raziskave (običajno prospektivne),
 - presečne raziskave in
- eksperimentalne raziskave, npr. randomizirane kontrolirane klinične raziskave.

Za določitev potrebne velikosti vzorca za raziskavo so potrebni naslednji podatki:

- želena stopnja značilnosti,
- želena moč študije,
- kakšne spremenljivke bomo preučevali,
- metoda, ki jo bomo uporabili za analizo podatkov,
- variabilnost spremenljivke v populaciji in
- kakšna je pričakovana razlika med skupinami oziroma kakšna je minimalna razlika, ki nas zanima.

Stopnja značilnosti α nam pove, kakšno je tveganje, da je rezultat lažno pozitiven. Pri raziskavah je mejna vrednost α običajno določena pri 0,05, kar pomeni, da je 5 % verjetnost za lažno pozitiven rezultat. Moč študije pa predstavlja verjetnost, da bomo odkrili razliko oziroma opazili povezanost med spremenljivkami, če ta obstaja. Pri raziskavah želimo, da je moč študije čim večja. Pogosto je vrednost, ki jo želimo doseči, 80 % ali več. Večji vzorec bolje predstavlja populacijo, prav tako pa nam omogoča večjo moč študije – omogoča večjo verjetnost, da bomo opazili povezanost med spremenljivkami, če ta obstaja. Dejavniki, ki prav tako povečajo moč študije so večja stopnja značilnosti, manjša variabilnost v populaciji in večja

razlika med skupinami. Za izračun velikosti vzorca so na voljo različni računalniški programi, dostopni na spletu, na primer »PS: Power and Sample Size Calculation« (1, 2).

Analiza podatkov

Pri analizi podatkov moramo določiti vrsto odvisnih (izid) in neodvisnih (napovedni dejavniki) spremenljivk, ter na podlagi tega izbrati ustrezne statistične metode za opis in primerjave skupin. Spremenljivke so lahko kategorične (opisne) ali številske.

Kategorične spremenljivke so kvalitativne, delijo pa se na:

- binarne – možni sta le dve ločeni vrednosti oziroma kategoriji, ki sta enakovredni,
- nominalne – možnih je več ločenih kategorij, ki so vse enakovredne in
- ordinalne – možnih je več ločenih kategorij, ki so urejene v zaporedje od najmanjše do največje.

Številske spremenljivke so kvantitativne, delijo pa se na:

- intervalne – lahko računamo razliko med vrednostmi, nimajo pa absolutne ničelne vrednosti in
- razmerostne – lahko računamo razliko in razmerje med vrednostmi, saj imajo absolutno ničlo.

Za opis številskih spremenljivk podamo mero centralne tendence (najpogosteje uporabljamo povprečno vrednost ali mediano) in mero razpršenosti (standardni odklon, razpon, interkvartilni razpon), kategorične spremenljivke pa opišemo s frekvencami.

V Tabeli 1 je predstavljen pregled nekaj najbolj pogosto uporabljenih statističnih testov in kdaj se uporabljajo (3, 4). Pri izboru statističnih metod moramo upoštevati, ali so naše spremenljivke normalno porazdeljene: v primeru normalne porazdelitve lahko uporabimo parametrične teste, drugače pa uporabimo neparametrične teste, predvsem pri majhnem številu vzorcev. Za opis normalno porazdeljenih številskih spremenljivk običajno podajamo povprečno vrednost in standardni odklon, za nenormalno porazdeljene spremenljivke pa mediano in interkvartilni razpon. Prav tako je izbor statističnega testa odvisen od tega, ali imamo v skupinah neodvisne ali odvisne/parne vzorce oziroma meritve. Za analize podatkov, kjer nas zanima tudi časovna komponenta, npr. čas do pojava nekega dogodka, pa lahko uporabimo analize preživetja.

Tabela 1. Pregled najpogosteje uporabljenih statističnih testov.

Neodvisna spremenljivka	Odvisna spremenljivka	Statistični test	
		Neodvisni vzorci	Odvisni vzorci
Binarna kategorična	Normalno porazdeljena intervalna	Neodvisni vzorci	t-test za neodvisne vzorce
		Odvisni vzorci	t-test za odvisne vzorce (parni t-test)
	Ordinalna ali neparametrična intervalna	Neodvisni vzorci	Mann-Whitneyev test
		Odvisni vzorci	Wilcoxonov test predznačenih rangov
	Kategorična	Neodvisni vzorci	hi-kvadrat / Fisherjev eksaktni test
		Odvisni vzorci	McNemarjev test
Kategorična (≥ 2 kategoriji)	Normalno porazdeljena intervalna	Neodvisni vzorci	Enosmerna analiza variance (ANOVA)
		Odvisni vzorci	Enosmerna analiza variance (ANOVA) za ponovljene meritve
	Ordinalna ali neparametrična intervalna	Neodvisni vzorci	Kruskal-Wallisov test
		Odvisni vzorci	Friedmanov test
	Kategorična	Neodvisni vzorci	hi-kvadrat
		Odvisni vzorci	Cochranov Q test
Intervalna	Normalno porazdeljena intervalna	Pearsonov koeficient korelacije / linearna regresija	
	Ordinalna ali neparametrična intervalna	Spearmanov koeficient korelacije	
	kategorična	Logistična regresija	

Interpretacija rezultatov

Pri interpretaciji rezultatov statistične analize moramo poleg tega, ali je nek rezultat statistično značilen, opisati tudi smer in velikost vpliva, ki nam pomaga opredeliti, ali so naši rezultati tudi klinično relevantni. Pomembno je, da se zavedamo morebitnih pomanjkljivosti raziskave in napak, ki jih lahko naredimo.

Pri statističnih analizah moramo na primer upoštevati, da se z večanjem števila testov povečuje možnost lažno pozitivnih rezultatov. Ti predstavljajo statistične napake I. vrste, kjer kljub temu, da dejanske razlike v populaciji ni, na podlagi rezultatov statistične analize sklepamo, da razlika obstaja. Da bi se temu izognili, moramo uporabiti prilagoditve za večkratno testiranje, med katerimi je najbolj poznana Bonferronijeva korekcija (5).

Po drugi strani je lahko problem posameznih raziskav premajhna moč, zato lahko dobimo lažno negativne rezultate. Ti predstavljajo statistične napake II. vrste, kjer kljub temu, da v populaciji obstaja dejanska razlika, na podlagi rezultatov statistične analize sklepamo, da razlike ni. Meta-analize nam omogočajo združevanje rezultatov večjega števila že objavljenih

raziskav in analizo na večjem številu vzorcev, s čimer lahko bolje ovrednotimo povezave med spremenljivkami (5).

Pri pisanju znanstvenih člankov je potrebno vse uporabljene statistične metode in rezultate statistične analize tudi ustrezno predstaviti, pri čemer si lahko pomagamo z navodili za poročanje o različnih vrstah raziskav, ki so na voljo na spletu v okviru zbirke »EQUATOR Network« (6).

Zaključek

V biomedicinskih raziskavah v zadnjem času pridobivamo vedno večje število podatkov, predvsem zaradi pojava novih tehnologij, zato je nujno, da jih znamo tudi ustrezno analizirati. Za uspešno raziskovalno delo in morebiten prenos v klinično prakso je zato ključno tudi skrbno načrtovanje raziskave.

Literatura

1. Dupont WD, Plummer WD, Jr. Power and sample size calculations. A review and computer program. *Controlled Clinical Trials*. 1990; 11 (2): 116-28.
2. PS: Power and sample size calculation. Dosegljivo na <http://biostat.mc.vanderbilt.edu/wiki/Main/PowerSampleSize>
3. Field A. *Discovering statistics using SPSS*: SAGE Publications; 2009.
4. Choosing the correct statistical test in SAS, Stata, SPSS and R. Dosegljivo na: <https://stats.idre.ucla.edu/other/mult-pkg/whatstat/>
5. Matthews DE, Farewell VT. *Using and understanding medical statistics*. 4th, completely rev. and enl. ed. Basel ; New York: Karger; 2007.
6. EQUATOR Network: Enhancing the quality and transparency of health research. Dosegljivo na: <https://www.equator-network.org/>

FIZIKA ZA ANESTEZIOLOGE

Miljenko Križmarić

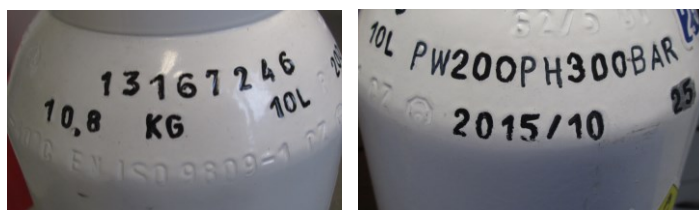
TLAK PLINOV IN KAPLJEVIN

Tlak v tlačnih posodah in instalacijah medicinskih plinov

Tlak plina nastane zaradi trkov molekul s steno posode v kateri se nahaja plin. Molekule plina se gibajo neurejeno. Tlak (P) je odvisen od termodinamičnih količin, kot so temperatura (T), prostornina (V) in števila molekul (N). Spodnja *plinska enačba* podaja zvezo med količinami začetnega in končnega termodinamičnega stanja plina:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}.$$

Pri konstantni temperaturi ($T_1=T_2$) velja *Boyllov zakon*: $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$. Uporabimo ga za izračun prostornine kisika (V_2), ki ga dobimo iz tlačni posode, prikazane na sliki 1. Na tlačni posodi so podatki napisani v treh vrsticah. V zgornji vrstici je serijska številka (13167246). Druga vrstica prikazuje podatek o masi prazne tlačne posode (10,8 kg), sledi pa podatek o prostornini stisnjene kisika ($V_1=10$ L).



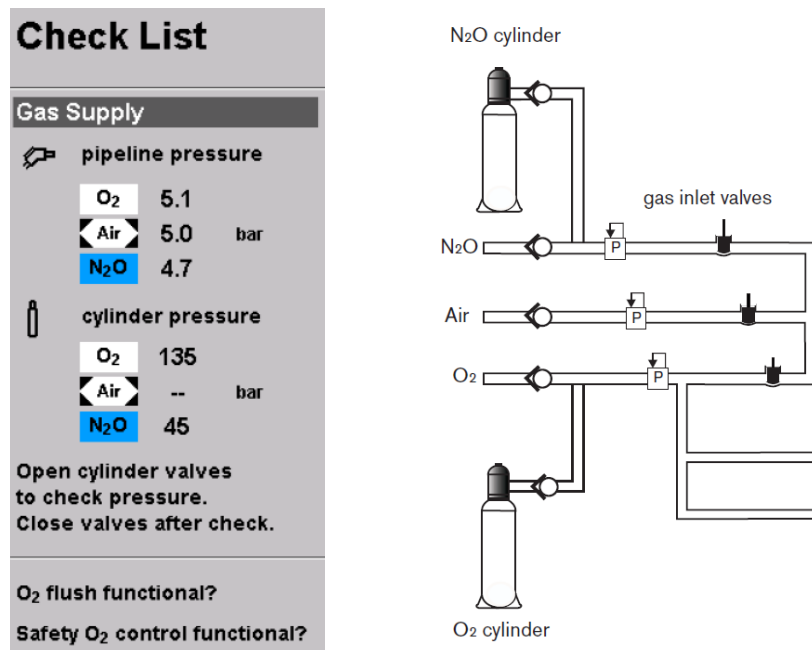
Sliki 1: Oznake na tlačnih posodah.

Desni del Boylevega zakona predstavlja termodinamično stanje zunaj tlačne posode, na primer v obrazni maski, kjer je atmosferski tlak 1 bar ($P_2=1$ bar). Prostornino kisika, ki nam je na voljo iz tlačne posode izračunamo po formuli: $V_2=P_1 \times V_1$.

Tlačna posoda je napolnjena na delovni tlak (angl. PW, Pressure Working) 200 ali 300 barov, kar je odvisno od njene konstrukcije. Delovni tlak posode na sliki 1 je 200 barov, preskusni tlak (PH, Pressure Hydrostatic), znaša 300 barov (1,5 kratnik polnilnega tlaka). Spodnja tretja vrstica prikazuje podatek o preskusu tlačne posode, ki se izvaja na vsakih 10 let (v primeru na sliki 1, bo naslednji tlačni preskus leta 2025).

Rezidualni tlak v tlačni posodi je varnostni mehanizem, s katerim jo ščitimo pred kontaminacijo in vstopom vlage. Posoda se zato ne sme izprazniti do konca (0 barov na manometru, relativni tlak), razen, ko kisik nujno potrebujemo, nimamo pa na razpolago rezervne posode. Če pri izpraznjeni posodi pustimo ventil odprt in prihaja do temperaturnih sprememb, posoda začne "dihati". Ko pade temperatura (na primer v nočnem času), pade tudi tlak znotraj posode in povleče zunanji zrak v njeno notranjost in jo kontaminira.

Tlačna posoda s kisikom je obvezna na vsaki anestezijski delovni postaji in se uporabi v primeru, da je prekinjen dovod kisika po centralnih instalacijah. Med preverjanjem postaje lahko odčitamo vrednost tlaka v instalacijah (angl. pipeline pressure) in tlaka v tlačni posodi (cylinder pressure), kar je prikazano na levi strani slike 2. Prikazano je tudi obvestilo »Close valves after check«, kar pomeni, da jo moramo po preverjanju tlaka, takoj zapreti. Če jo pozabimo zapreti se lahko zgodi, da jo med delovanjem anestezijske delovne postaje izpraznimo. Kot je razvidno iz desnega dela slike 2, sta oba priključka (tako iz stenske instalacije kot iz tlačne posode) povezana v isto točko. Če je tlak iz tlačne posode nekoliko večji (npr. 5,2 bar), kot tlak iz stenske instalacije (npr. 5,1 bar), se posoda prazni med delovanjem aparata.



Slika 2: Del kontrolnega seznama preverjanja (levo) in shema priklopa plinov (desno) anestezijske delovne postaje Dräger Primus.

Na tlačno posodo priključimo regulator tlaka, ki tlak iz 200 barov (polna posoda) zmanjša in uravnava (regulira) na vrednost 5 barov, kar je *delovni tlak* za večino medicinskih pripomočkov. Tlak 5 barov je v vseh končnih spojkah instalacij medicinskih plinov, prikazanih na Sliki 3. Končne spojke so take oblike, da ni mogoče zamenjati priklopov plinov (spojka za kisik je šest kotne oblike, spojka za dušikov oksidul pa okrogle oblike). Standard ne določa uporabo barvnih kod na končnih spojkah, večina proizvajalcev pa vseeno barvno označi te spojke (bela barva za kisik in modra barva za dušikov oksidul). V operacijskih sobah na kirurškem stativu najdemo tudi tlak 10 barov, ki je namenjen kirurškemu električnemu orodju, predvsem v ortopediji (uporaba za pogone vrtečih delov kirurškega orodja).



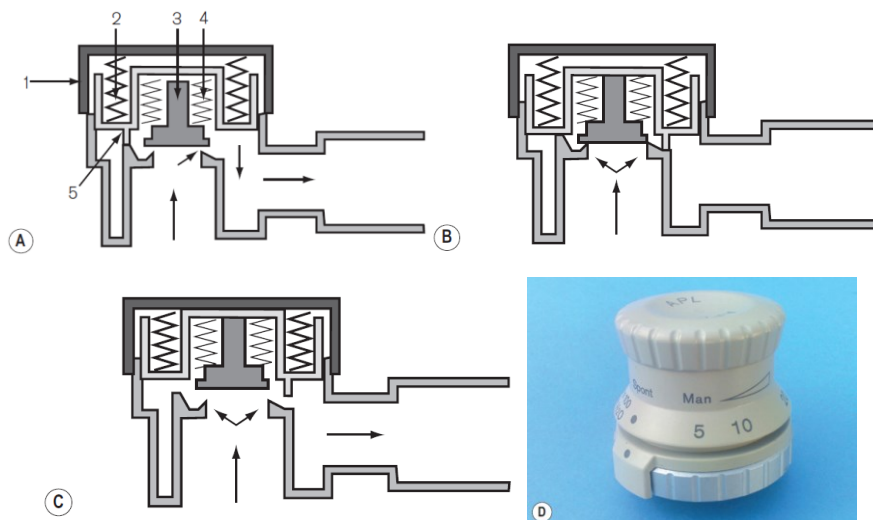
Slika 3: Končna spojka instalacij kisika (levo) in dušikovega oksidula (desno).

Razbremenilni ventil

Funkcija razbremenilnega ventila (Slika 4) je izpust presežnega plina iz anestezijskega dihalnega sistema pri ventilaciji v ročnem načinu, navadno med ekspirijem. Plini se izpustijo iz sistema, ko dosežemo vrednost tlaka nastavljeno na ventilu. Če gumb (1) zavrtimo do konca v nasprotni smeri urinega kazalca, nastavimo najnižji mogoč tlak. Tedaj je ventil popolnoma odprt, namenjen spontanemu dihanju (Slika 4, A), vendar ga vseeno nekoliko zapira notranji ventil. Notranji ventil (3) s šibko vzmetjo ja zaprt toliko časa, dokler ne presežemo minimalni tlak za odpiranje tega ventila: 1,5 cmH₂O (0,15 kPa). Odpiranje pri tako majhnem tlaku je izvedeno zaradi tega, da se prej napolni dihalni balon in nato se odpre razbremenilni ventil.

Če gumb za nastavljanje tlaka (1) zasučemo do konca v desno je nastavljen najvišji mogoč razbremenilni tlak (70 cmH₂O). V tem primeru je aktivna močna vzmet (2), ki zunanji ventil s silo potiska v nasprotni smeri kot je sila tlaka plina v sistemu. Tedaj ni pomika notranjega ventila (slika 4, B). Zunanji ventil se prične odpirati nekje pri tlaku 30 cmH₂O in je popolnoma odprt pri tlaku med 60 in 70 cmH₂O pri pretoku 50 L/min (slika 4, C).

Pri tem tipu razbremenilnega ventila moramo paziti, da nam cevka za vzorčenje plinov ne ostane ujeta v reži med gumbom za nastavljanje in med ohišjem ventila (Slika 5). V tem primeru je ventil odprt in ne dosežemo tlaka za ventilacijo s pozitivnim tlakom v ročnem načinu.



Slika 4: Razbremenilni ventil. (1) Gumb za nastavljanje tlaka; (2) močna vzmet; (3) notranji ventil; (4) šibka vzmet; (5) zunanji ventil. (A) odprt ventil med izdihom; (B) zaprt ventil; (C) zaprt ventil z delovanjem varnostnega tlaka; (D) ohišje ventila.



Slika 5: Ujetje cevke v razbremenilnem ventilu.

Linjski tlak v infuzijski črpalki z brizgalko

Monitoring tlaka infuzijske črpalke z brizgalko je izveden na dva načina: pri prvem se meri tlak bata brizgalke (angl. »PUMPING PRESSURE«), pri drugem pa tlak znotraj same linije/cevja (angl. »LINE PRESSURE«).



Slika 6: Tlak bata brizgalke (levo), membrana (sredina) in linijski tlak (desno).

Pri merjenju tlaka bata brizgalke, črpalka prikaže črtice, ki se pojavljajo od spodaj navzgor, glede na višanje tlaka (Slika 6, levo). Maksimalen tlak, ki ga dovoljuje model črpalke Alaris je 1000 mmHg in vsaka od 10 možnih črtic predstavlja 100 mmHg tlaka. V našem primeru na sliki 6 levo, je bil tlak 200 mmHg (oznaka L 2 na črpalki). Najvišja črtica na lestvici predstavlja nastavljen tlak okluzije, ki je bil v tem primeru 600 mmHg. Vrednost tlaka pri kateri se proži alarm in črpalka ustavi delovanje je naveden zraven oznake v obliki zvončka (L 6) (Slika 6, levo). Merjenje tlaka v liniji je izvedeno s posebno ploščico z balončkom/membrano (prikazan na sliki 6, v sredini) in je bolj natančno. Vrednosti so prikazane v mmHg (Slika 6, desno). Tlak v cevju je odvisen od viskoznosti zdravila, pretoka, dolžine kanile in premera kanile:

$$\text{linijski tlak} = \frac{128 \cdot \text{viskoznost} \cdot \text{pretok} \cdot \text{dolžina kanile}}{\pi \cdot \text{premer kanile}^4}$$



Slika 7: Razbremenitev linijskega tlaka.

Če je nastavljena visoka meja alarma, do sprožitve alarma ob morebitni okluziji, traja dlje časa. Ko se sproži alarm okluzije, se črpalka zaustavi. Manjši pretoki, ki jih uporabljamo v neonatologiji, vplivajo na daljši čas do proženja alarma. Tlak, ki je naraščal med zaporo, bi ob prenehanju zapore potisnil zdravilo po cevki v bolnika. Večja je podajnost cevke in bolj se stisne gumijasti čep na koncu bata brizgalke, višji bi bili neželeni bolusi. Nekatere črpalke, imajo zaščito pred tem dogodkom izvedeno na ta način, da se ob aktivaciji alarma okluzije, bat samodejno pomakne v nasprotno smer od smeri črpanja - razbremenitev. Tlak se razbremeni, ko je dosežen nastavljen tlak okluzije in črpalka nas v tem trenutku razbremenitve, opozori s sporočilom »BACKOFF« (Slika 7).

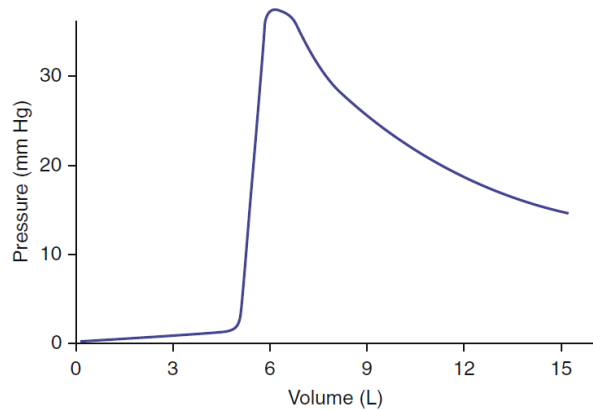
Laplaceov zakon

Anestezijski dihalni balon ima varnostno funkcijo, ki varuje bolnikova pljuča pred barotravmo. Je najbolj podajni del dihalnega sistema in med njegovim polnjenjem je balon prvi, pri katerem opazimo polnjenje. Pri zaprtem razbremenilnem ventilu se balon napolni preko nazivne prostornine, a mora vseeno vzdrževati varnostni tlak v mejah pod 60 cm H₂O. Laplaceov zakon prikazuje povezavo med površinsko napetostjo balona (T), intramuralnim tlakom znotraj balona (P) in polmerom balona (r). Matematično ga lahko zapišemo z naslednjima enačbama:

$$T = \frac{P \cdot r}{2}; \quad P = \frac{2 \cdot T}{r} .$$

Ko anestezijski balon polnimo z dihalnimi plini preko nazivne prostornine, prične v njem naraščati tlak (Slika 8, desno). Naraščanju tlaka (enota sile na površino: N/m²) kljubuje nasprotna sila, ki jo imenujemo površinska napetost ali napetost zidu balona in ima enoto sile na dolžino (N/m).

Balon se napihne preko nazivnih vrednosti prostornine pri popolnoma zaprtem razbremenilnem ventilu (70 cmH₂O). Polmer balona (r) med napihovanjem narašča, pri tem narašča tudi površinska napetost (T), tlak pa ostaja konstanten, kar je razvidno iz enačbe Laplaceovega zakona. Na Sliki 8 levo, je premer balona približno 66 cm, kar ustreza prostornini 150 litrov.

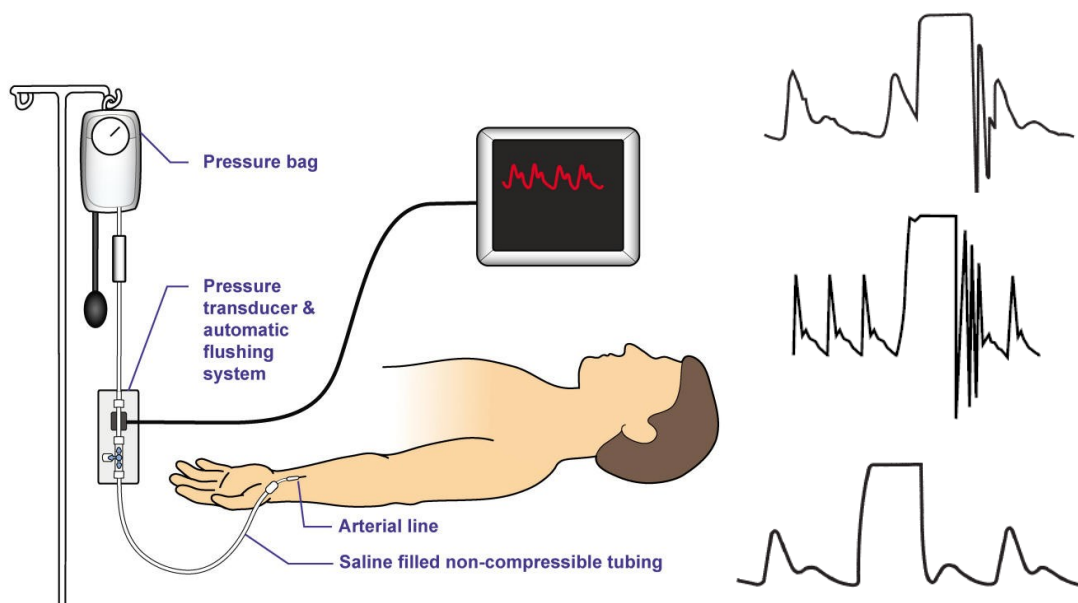


Slika 8: Varovalna funkcija anestezijskega dihalnega balona (levo) in dinamična sprememba tlaka v balonu med njegovim polnjenjem.

Invazivno merjenje krvnega tlaka

Pri invazivnem merjenju tlaka so obtočila povezana preko hidravlične povezave fiziološke raztopine s tipalom (pretvornikom tlaka v električni tok). Gibanje diafragme se v pretvorniku tlaka (angl. pressure transducer) spremeni v električni signal, ki se prikaže na monitorju. Gibanje diafragme je povezano z majhnimi pomiki fiziološke raztopine v kanili (angl. arterial line) in cevki z majhno podajnostjo (angl. non-compressible tubing), ki predstavlja povezavo med arterijo in pretvornikom tlaka (Slika 9, levo). Kanila, skupaj s fiziološko raztopino, vsebuje lastno frekvenco. Ko se zunanja frekvenca (pulziranje arterijskega tlaka) ujame z lastno frekvenco sistema, pride do resonance in izmerimo višje vrednosti sistoličnega tlaka in nižje vrednosti diastoličnega tlaka v primerjavi z realnimi vrednostmi tlaka. Preveliko dušenje sistema se pojavi, ko je na primer v cevki majhen mehurček zraka. Če je sistem preveč dušen je sistolični tlak manjši od realnega, diastolični pa nekoliko višji. Da sistem merjenja tlaka ustrezno deluje, mora biti optimalno dušen: ne preveč in ne premalo. Ustrezno dušenje preverimo s pomočjo pravokotnega impulza na ta način, da odpremo stišček za prebrizgavanje sistema in ga takoj spustimo. Opazujemo število oscilacij, ki nastanejo takoj, ko stišček spustimo. Optimalno dušen sistem ima 1 do 2 oscilaciji (zgornji del desne Slike 9). Premalo dušen ima več kot 2 oscilaciji (sredina desne Slike 9) in preveč dušen sistem ima manj kot eno in pol oscilacije (spodnji del desne Slike 9).

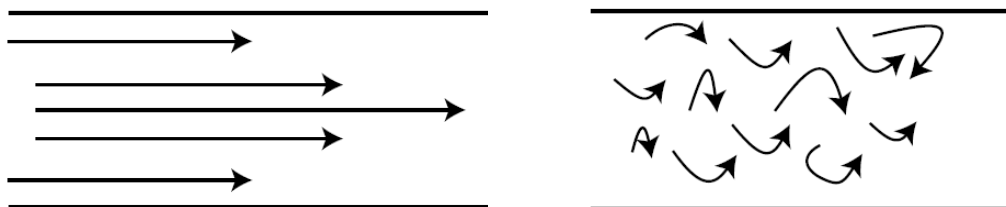
Vsebnik fiziološke raztopine (angl. Pressure bag) je pod tlakom 300 mmHg, znotraj tipala je uporabni element, ki omogoča neprekinjen konstanten pretok skozi sistem 3 ml/uro (sistem za odrasle). Ta pretok ima funkcijo preprečevanja zamašitve kanile.



Slika 9: Sistem invazivnega merjenja arterijskega tlaka (levo) in odgovor sistema na pravokotni impulz (desno).

TOK PLINOV IN KAPLJEVIN

Tok tekočin nastane v primerih, ko je prisotna tlačna razlika med dvema točkama (gradient tlaka) skozi katere teče tekočina. Gibanje tekočin ponazorimo s tokovnicami, ki kažejo smeri hitrosti v različnih točkah. Tokovnice so črte, katere tangente kažejo smeri hitrosti v različnih točkah tekočine (Slika 10).



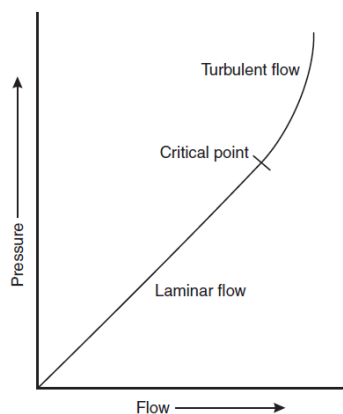
Slika 10: Laminarni (levo) in vrtničast (desno) tok tekočine.

Glede na obliko tokovnic poznamo laminarno gibanje tekočin (Slika 10, levo) in turbulentno (Slika 10, desno). Pri laminarnem toku so tokovnice gladke, nepremične in urejene, vijejo se druga ob drugi v plasteh (laminah), ne da bi se pri tem prepletale ali križale. Masni tok je določen z maso tekočine, ki steče v časovni enoti skozi izbrani presek, prostorninski tok pa je določen s prostornino tekočine, ki steče v časovni enoti skozi izbran presek. Za prostorninski laminarni pretok velja Hagen-Poiseullov zakon, kjer je r polmer cevi, P tlak, l dolžina cevi in η viskoznost:

$$\phi_V = \frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \eta \cdot l} = \frac{\Delta P}{R}; R = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4}.$$

Pretočena prostornina (ϕ_V) se 16 krat poveča če se polmer podvoji. Pretok je namreč proporcionalen četrti potenci polmera in obratno sorazmeren dolžini cevke. Cev s svojimi dimenzijami, predstavlja upornost (R) pretoku tekočine. Bolj je tekočina viskozna (η), višja je upornost.

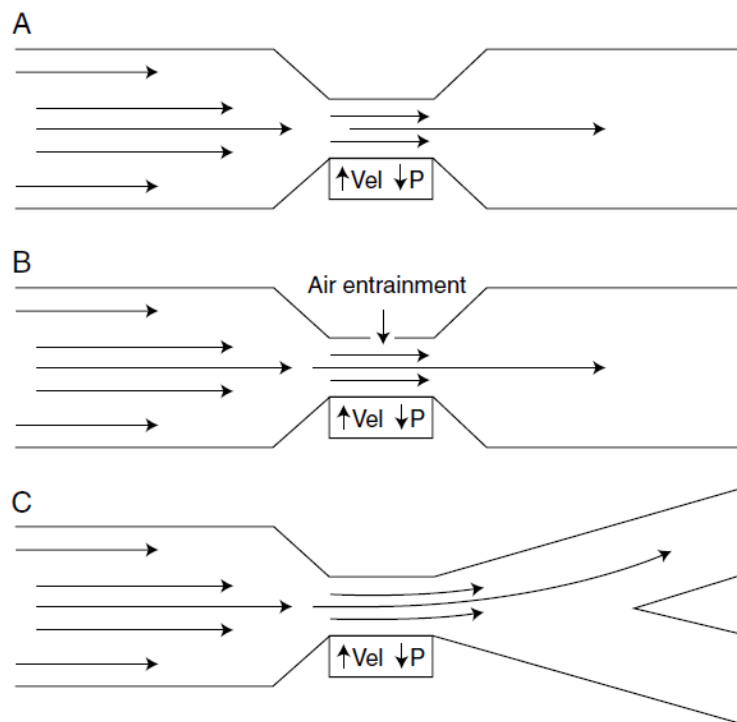
Pri turbulentnem (vrtinčastem) toku opazimo vrtince, ki se selijo po toku. Tokovnice od trenutka do trenutka spreminjajo svoj položaj, se prepletajo in mešajo. Na Sliki 11 vidimo povezavo med pretokom (angl. Flow) in tlakom (angl. Pressure), ki je linearna do kritične točke (angl. Critical point).



Slika 11: Prehod tekočine iz laminarnega v turbulentni tok.

Od kritične točke dalje, postane tok turbulenten in narašča tlak po kvadratni funkciji. Kritična točka je odvisna od različnih faktorjev (hitrosti tekočine v , njene gostote ρ , polmera cevke r in viskoznosti η), ki so vsebovani v Reynoldsovem številu: $Re = (v \cdot \rho \cdot 2r)/\eta$. Reynoldsovo število nad 4000 pomeni, da dominira turbulenten tok. Med 2000 in 4000 pa je tok prehodni (tako laminarni kot turbulentni). Kritični pretoki (L/min) za mešanico 60 % N₂O in 40 % kisika znašajo približno enako, kot premer dihalne poti (umetne ali anatomske) v milimetrih. Pri dihalni cevki premera 9 mm, znaša prehod iz laminarnega v turbulentni pretok pri pretokih nad 9 L/min, pretok v sapniku premera 15 mm je turbulenten pri pretokih nad 15 L/min, v dihalnem sistemu premera 22 mm, pa je pretok turbulenten pri vrednostih nad 22 L/min.

Slika 12 A prikazuje Bernoullijev princip, kjer pri toku skozi zožitev naraste hitrost tekočine (angl. *Vel* - velocity), hkrati pa pade tlak (P). Učinek nastane zaradi velikega povečanja kinetične energije toka tekočine. Zaradi ohranjanja energije, se mora zmanjšati potencialna energija, zato opazimo padec tlaka. Na sliki 12 B je uporaba Bernoullijevega zakona pri Venturi maski: negativni tlak potegne zunanji zrak (angl. Air entrainment), ki se meša z notranjim tokom (princip vbrizgalnika – injektorja). Na Sliki 12 C je prikazan učinek Coanda, kjer tok zraka, ki izhaja iz šobe teži slednji najbližji ukrivljeni površini. Krivina površine ali kot med površino tokom ne sme biti preoster.

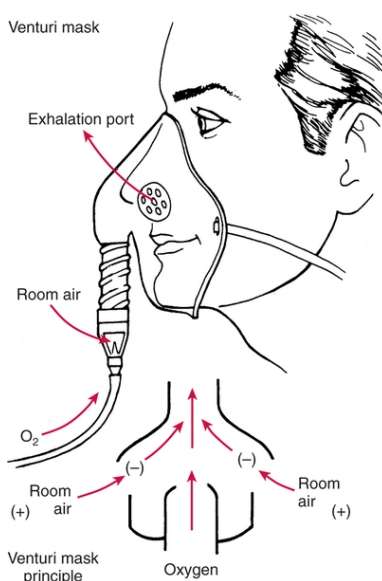


Slika 12: Bernoulli princip (A), Venturi (B) in učinek Coanda (C).

Venturijeve obrazne maske

Venturijeve obrazne maske zahtevajo natančno določen pretok čistega kisika. Cevka v Venturijevi maski se zoži in povzroči sub atmosferski tlak (-), ki potegne okoliški zrak (angl. Room air) (zgornji del slike 13).

Pri Venturi maski, ki dostavlja 24 % deleža kisika v vdihanem zraku, je potrebno nastaviti pretok kisika na 2 L/min. Skupni pretok (vsota čistega kisika in zunanjega atmosferskega zraka) je v tem primeru 51 L/min. Če pretok čistega kisika povečamo na 4 L/min, dobimo skupni pretok 102 L/min. Masko se uporablja za aplikacijo natančnega deleža kisika v vdihanem zraku, saj so skupni pretoki dovolj visoki ne glede na vzorec dihanja bolnika (spodnji del Slike 13). Večji so deleži kisika v vdihanem zraku (F_{iO_2}), nižji so skupni pretoki. Pri 60 % Venturi nastavku in nastavljenem pretoku čistega kisika na 15 L/min je skupni pretok 30 L/min. Ta Venturi maska potegne 15 L/min zunanjega atmosferskega zraka.



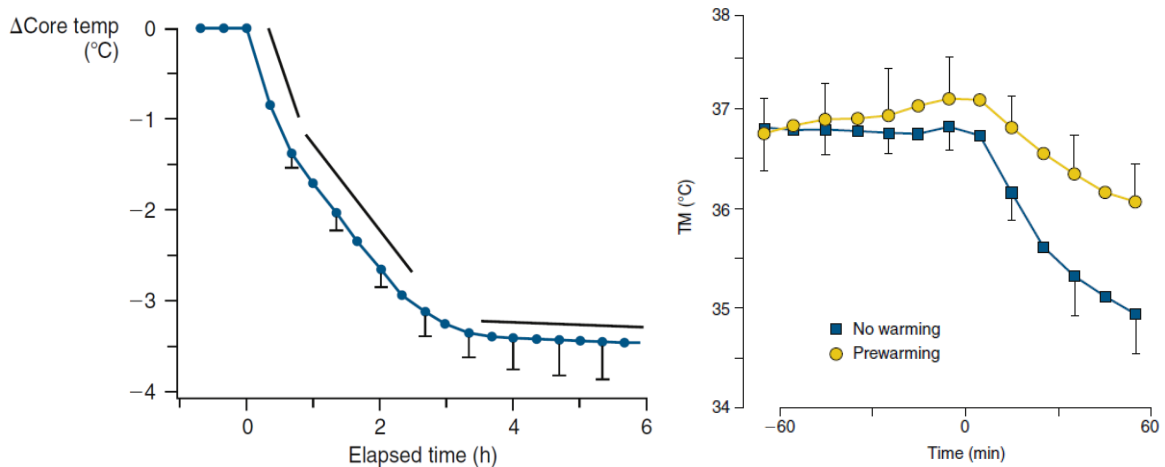
Set oxygen flow (l.min ⁻¹)	24% Venturi (l.min ⁻¹)	28% Venturi (l.min ⁻¹)	35% Venturi (l.min ⁻¹)	40% Venturi (l.min ⁻¹)	60% Venturi (l.min ⁻¹)
15			84	82	30
12			67	50	24
10			56	41	
8		89	46		
6		67			
4	102	44			
2	51				

Slika 13: Venturi obrazna maska (zgoraj) in skupni pretoki (spodaj).

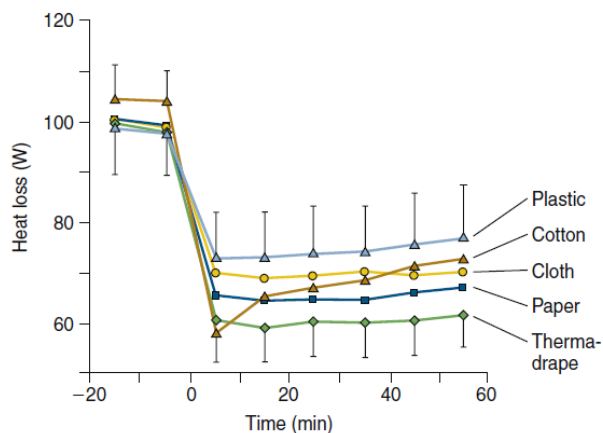
PRENOS TOPLOTE

Toplota je fizikalna količina s katero merimo energijo, ki prehaja s toplejšega na hladnejšo telo. Toplota prehaja od telesa z višjo temperaturo na telo z nižjo temperaturo, pri tem se spremeni notranja energija teles. Prenos toplote je lahko s prevajanjem (kondukcijo), s konvekcijo, s sevanjem (radiacijo) in z izhlapevanjem (evaporacijo). Pri prenosu s sevanjem gre za prenos toplote brez posredovanja druge snovi. Za preprečevanje izgube toplote zaradi sevanja se bolnika med operativnim posegom prekrije s posebno astro folijo, kjer srebrno stran obrnemo proti bolniku in se sevanje, ki prihaja od bolnika odbija nazaj k njemu.

Hipotermija se med splošno anestezijo razvije v karakterističnem vzorcu prikazanem na Sliki 14, kjer toplota prehaja tako znotraj bolnika kot iz bolnika v okolico. Začetni padec temperature jedra bolnika znaša od 0,5 do 1,5 °C v prvih 30 minutah, sledi druga faza s padcem 0,3 °C na uro in končni plato, ko se temperatura stabilizira. Izgubo toplote lahko zmanjšamo tako, da bolnika pred uvodom v anestezijo segrejemo (Slika 14, desno, Prewarming) ali pa uporabljamo različne materiale za pokrivanje (Slika 15) (angl. Plastic – plastika; Cotton – bombaž; Cloth – oblačila; Paper – papir; Therma-Drape – posebni material za pokrivanje).



Slika 14: Temperaturni profil med splošno anestezijo (levo) in uporaba segrevanja bolnika pred uvodom v anestezijo.



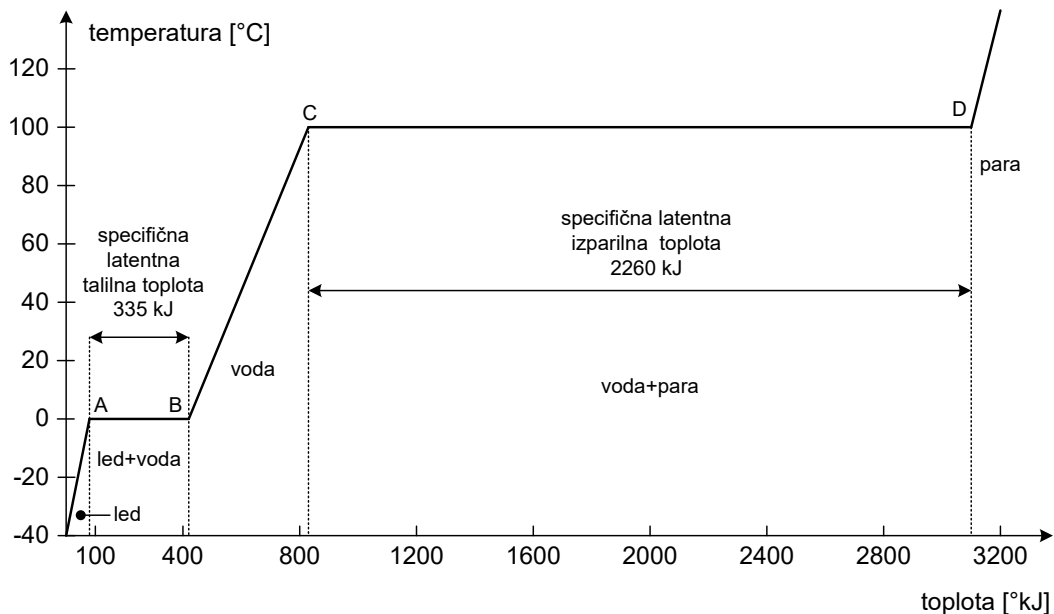
Slika 15: Izguba toplote (Heat loss) glede na čas (time) pri različnih materialih s katerimi pokrivalo bolnika med OP posegom.

FAZNI PREHODI

Poznamo tri osnovna agregatna stanja (faze) snovi: trdno (močne kemijske vezi med molekulami), tekoče in plinasto (šibke kemične vezi med molekulami). Plazma je četrto agregatno stanje, ki ga dobimo pri posebnih ekstremnih pogojih. Plazmo dobimo pri zelo visokih temperaturah in je sestavljena iz naelektrenih delcev – ionov.

Fazni prehod ali fazna sprememba je sprememba, pri kateri preide termodinamični sistem iz ene faze v drugo. Za fazni prehod potrebujemo energijo v obliki toplote. Slika 16 prikazuje fazni prehod vode: iz ledu v tekočo vodo in iz vode v vodno paro. Fazna sprememba iz trdnine v kapljevino je taljenje (za vodo potrebujemo 335 kJ energije), fazna sprememba iz kapljevine v paro pa izparevanje (za vodo potrebujemo 2260 kJ energije). Kilogramu do vrelišča segrete kapljevine moramo dovesti energijo oziroma izparilno latentno toploto, da jo izparimo. Latentna toplota se imenuje zato, ker se med faznim prehodom ne spreminja temperatura in izgleda, kot da se dogaja nek prikrit (latenten) dogodek. Ko led talimo, se temperatura ledu najprej dvigne do točke ledišča. Dvig temperature se tedaj ustavi, kljub temu, da led še vedno sprejema termično energijo. V tem primeru sta prisotni dve fazi snovi: led in voda.

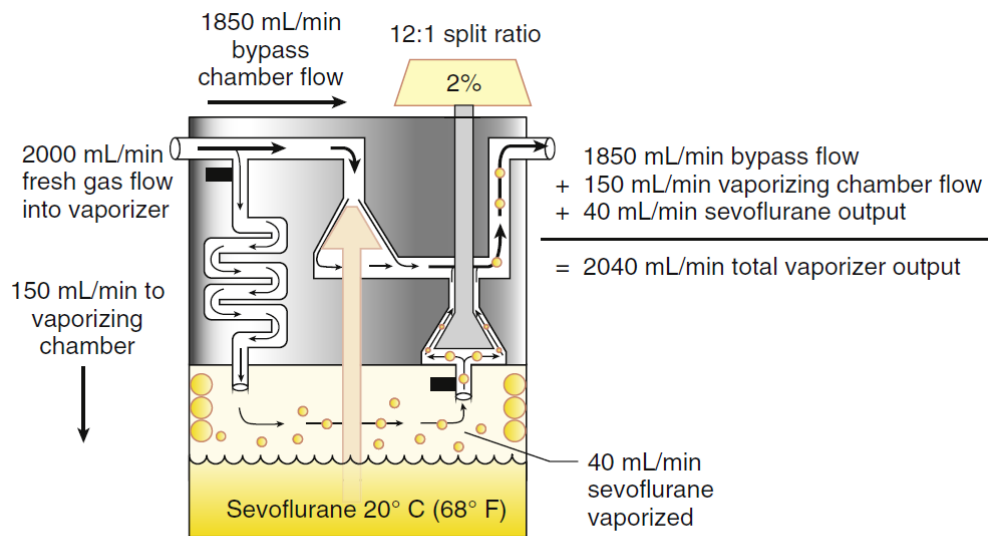
Nasičeni parni tlak je kadar sta kapljevina in para v termodinamičnem ravnovesju in je odvisen predvsem od temperature. Nasičen parni tlak se viša z višanjem temperature. Sevofluran ima vrelišče pri 58 °C desfluran pa pri 23 °C.



Slika 16: Fazni prehod iz ledu v vodo in iz vode v paro.

Hlapilniki

Inhalacijski anestetiki so pri normalnih pogojih kapljevine. Preden jih dodamo dihalnim plinom morajo biti v plinski fazi v obliki pare. Fazni prehod iz kapljevine v plinasto fazo zagotovimo s pomočjo hlapilnikov. Pri 20 °C je nasičen parni tlak sevoflurana 160 mmHg. Pri normalnem zračnem tlaku (1 atmosfera; 1 bar; 760 mmHg) sevofluran predstavlja $160/760=21$ volumskih odstotkov. Te vrednosti so previsoke za klinično uporabo, zato se v hlapilnikih uporabi obvod v določenem razmerju (angl. splitting ratio). Če želimo imeti 1 volumski odstotek sevoflurana je obvod v razmerju 25:1, pri 2 volumska odstotka je razmerje 12:1 in pri 3 vol%, je razmerje 8:1. Na spodnji sliki vidimo željeno koncentracijo sevoflurana 2 vol%. V tem primeru mora biti razmerje med deleži pretoka 12:1. Sveži plini ki vstopajo v hlapilnik, se delijo na del, ki vstopa v hlapilno komoro in na del, ki jo obide (splitting ratio). Na sliki 17, 150 mL/min vstopa v hlapilnik, obvod pa zavzema vrednosti 1850 mL/min. Razmerje obroda je v tem primeru: $1850/150=12:1$. V hlapilni komori je nasičen parni tlak, ki pri 20 °C znaša za sevofluran 160 mmHg in razredči nosilni plin na 79 %, pri tem pa sevofluran predstavlja 21 %. Ker je v komori normalni zračni tlak 760 mmHg, je nosilni plin, ki vstopa v komoro na tlaku 600 mmHg, sevofluran pa je pod nasičenim parnim tlakom 160 mmHg (skupaj 760 mmHg). Pare sevoflurana se vsako minuto dodajo nosilnemu plinu v razmerju: $150 \text{ mL nosilnega plina}/79 \% = x \text{ mL sevoflurana}/21 \%$ in dobimo: $x = 150 \times 21/79 = 40 \text{ mL sevoflurana}$. Vsako minuto se doda 40 mL sevoflurana. Skupni pretok iz hlapilnika znaša: $1850 \text{ mL/min obvod nosilnega plina} + 150 \text{ mL/min nosilnega plina iz hlapilne komore} + 40 \text{ mL/min sevoflurana} = 2040 \text{ mL/min}$. V tej mešanici je 2 % sevoflurana ($40 \text{ mL}/2040 \text{ mL}$)



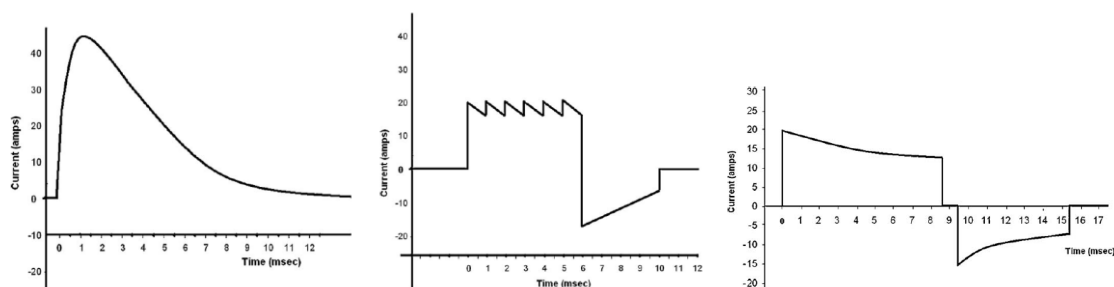
40 mL sevoflurane / 2040 mL total output ~ 2% sevoflurane (v/v%)
 $2\% \times 760 \text{ mm Hg} \sim 15.2 \text{ mm Hg sevoflurane}$

Slika 17: Hlapilnik sevoflurana z obodom.

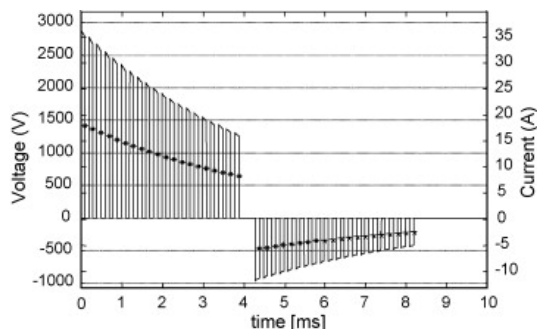
ELEKTRIČNI TOK

Električni tok (I) je tok nosilcev naboja (v kovinah elektroni, v telesu človeka pa ioni). Električni tok steče skozi prevodnik, ko je prisotna potencialna razlika – električna napetost (U). Tok je tem večji, če je napetost čim večja in čim manjša je upornost prevodnika, kar je opisano z Ohmovim zakonom: $I=U/R$. O upornosti govorimo, ko obravnavamo enosmerni električni tok. Enota za upornost je ohm ($1\Omega=V/A$; kvocient med Voltom (V) in Amperom (A)). Ko teče izmenični tok, pa govorimo o impedanci.

Električni tok, ki teče skozi bolnika med električno terapijo (npr. defibrilacijo) je odvisen od impedance bolnika, ki jo aparat avtomatično izmeri. Različne oblike defibrilatorskega električnega toka so predstavljene na Sliki 18 in 19. Trajanje električnega sunka med defibrilacijo ne sme preseči 20 milisekund (msec), ker bi povzročili ponovno fibrilacijo. V tem časovnem intervalu se dovede energija do 360 Joulov.



Slika 18. Monofazna oblika defibrilatorskega električnega toka (levo), bifazna žagasta oblika defibrilatorskega električnega toka (angl. rectilinear biphasic) (sredina), bifazna eksponencialna oblika defibrilatorskega električnega toka (angl. biphasic truncated exponential) (desno).

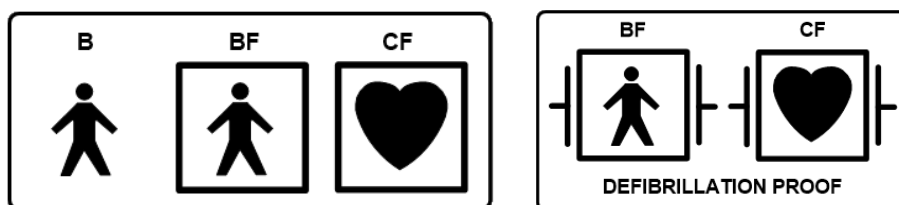


Slika 19. Bifazna pulzna oblika defibrilatorskega električnega toka (angl. pulsed biphasic).

Samolepilne terapijske elektrode predstavljajo vmesnik med elektroni, ki tečejo po električni žici in ioni, ki tečejo skozi bolnika. Elektrode za terapijo so različne za defibrilacijo in za električno stimulacijo srca. Na tržišču so tudi kombinirane elektrode, ki omogočajo tako defibrilacijo, kot električno stimulacijo. Če bi izvajali električno stimulacijo z elektrodami za defibrilacijo, nam po določenem času ne bi delovale.

Električna oprema v stiku z bolnikom

Med bolnikom in električnim aparatom se pogosto nahajajo posebni deli aparata (elektrode, kabli, katetri ali kanile), ki skrbijo za povezavo med osnovno komponento aparata in bolnikom. Te dele aparata strokovno imenujemo »deli aparata v stiku z bolnikom« oziroma »aplicirani deli« (angl. Applied parts). Medicinski aparati so praviloma priključeni tudi na omrežno izmenično napetost 230 V (ko ne delujejo na baterijsko napajanje) in obstaja nevarnost, da v primeru napake v aparatu, električni tok steče iz primarnega aparata skozi del aparata v stiku z bolnikom in do bolnika. V najslabšem primeru, bi električni udar sprožil fibrilacijo prekatov in bolnik bi lahko umrl. Zaradi zmanjšanja nevarnosti pred takšno obliko električnega udara, so ti deli aparata v stiku z bolnikom skrbno načrtovani in preizkušeni. Na vsakem preizkušenem aparatu, mora biti na vidnem mestu oznaka, ki označuje kakšnega varnostnega tipa je del aparata, ki je v stiku z bolnikom. Oznaka se vedno nahaja v neposredni bližini vtičnice v katero priključimo aplicirane del. Slika 20 levo prikazuje oznake za aplicirane dele, ki so varnostno tako načrtovani, da so izključene možnosti poškodb zaradi električnega udara.

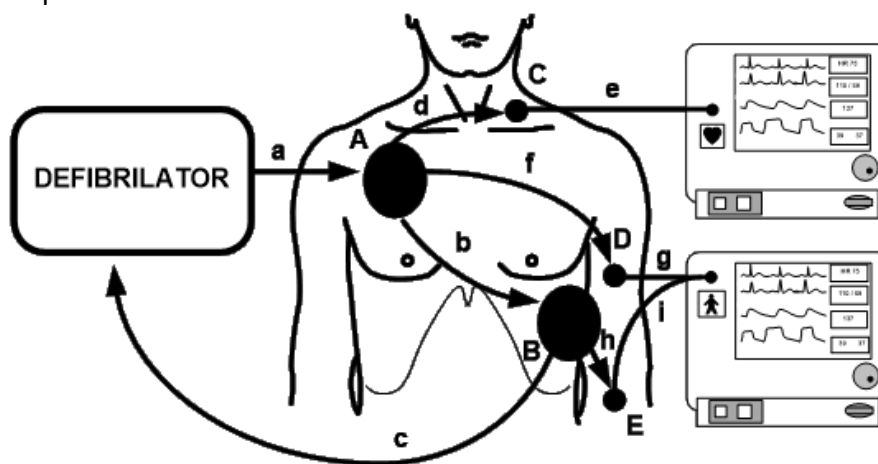


Slika 20: Deli aparata v stiku z bolnikom tip B, tip BF in tip CF, ki niso preizkušeni na defibrilacijo (levo) in medicinska električna oprema preizkušena na defibrilacijo (desno).

Tip B je osnovna zaščita, kjer so aplicirani deli v neposrednem stiku z ozemljitvijo primarnega aparata. Tip BF pomeni višjo zaščito pred udarom električnega toka in ima hkrati osnovno in ločeno (lebdečo) zaščito (angl. B-Basic, F-Floating), ki omejuje maksimalno varno vrednost električnega toka na 500 mikroamperov (μA), ki bi, v primeru morebitne napake aparata stekel skozi bolnika. Tip BF priključka, ne smemo priključiti neposredno na srce oziroma v srce. Za posege na srcu lahko uporabljamo tip aparata CF (C-Cardiac, F-Floating), ki ima največje zahteve po varnosti in dovoljuje maksimalne tokove v vrednosti le $50 \mu\text{A}$, kar je 10 krat manj od tipa BF. Poudariti je potrebno, da aplicirani deli medicinske opreme označeni s simboli na sliki 20 levo, ne ustrezajo zaščiti med defibrilacijo, zato bi se ti medicinski pripomočki morali odklopiti od bolnika med izvajanjem defibrilacije. Med defibrilacijo bolnika na katerega je pred zastojem srca že priključena medicinska električna oprema, moramo biti pazljivi.

Oprema, ki je prej opisana, ne sme biti v stiku z bolnikom, ki ga defibriliramo. Primer priklopa opreme, ki bi jo morali med defibrilacijo izključiti, je prikazana na Sliki 21. Z velikima tiskanima črkama »A« in »B« sta označeni zunanji elektrodi defibrilatorja. Z oznakami »C« »D« in »E« so označene elektrode na bolniku, ki so preko električnih vodnikov priključene na opremo tipa CF in BF. Defibrilatorski tokovi v tem primeru ne bi tekli samo skozi srce (po poti »b«), kot si želimo, ampak tudi skozi priključeno opremo. Od defibrilatorske elektrode »A« bi električni tok tako tekkel po poti »d« do elektrode »C« in po električnemu vodniku »e« do aparata, in nadalje v ozemljitev. Nadaljnji potencialni neželeni električni tok bi tekkel od defibrilatorske elektrode »A« skozi bolnika »f«, do elektrode »D« ter preko vodnika »g« v aparat. Neželen

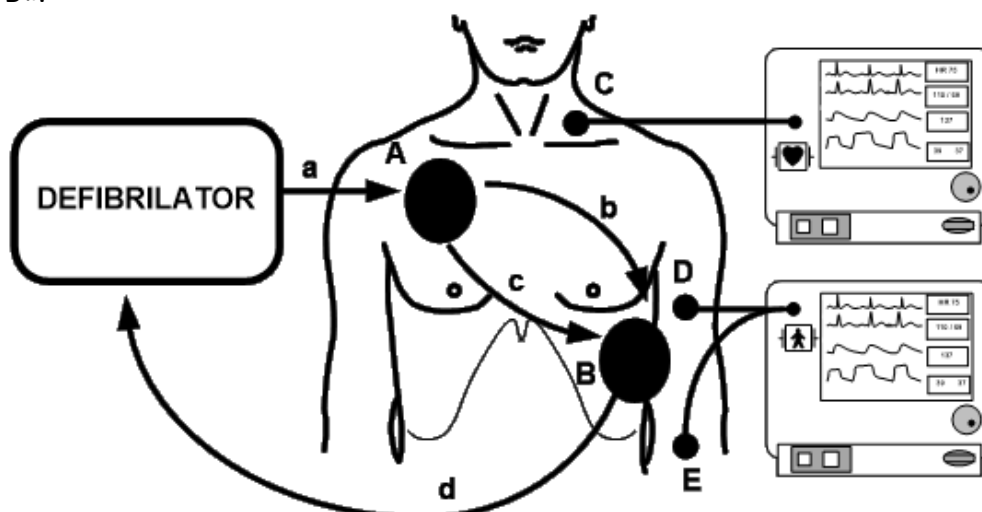
tok, bi lahko ubral tudi pot iz elektrode »B«, preko »h«, do »E« elektrode in skozi električni vodnik »i« do aparata.



Slika 21: Neustrezna priključitev opreme med defibrilacijo.

Opisani neželeni tokovi bi zaradi defibrilatorskega pulza visokih napetosti lahko uničili dodatno priključene aparate. Za osebe v stiku z dodatnimi aparati bi prav tako obstajalo tveganje električnega udara. Defibrilacija v tem primeru ne bi bila učinkovita, saj se celotna dostavljena energija razdeli na delež, ki teče skozi srce in na neželen delež, ki teče mimo srca v medicinsko električno opremo.

Samo deli aparata v stiku z bolnikom, ki jih je proizvajalec preizkusil na defibrilacijo (angl. defibrillation proof) so lahko priključeni na bolnika med defibrilacijo. Ti aplicirani deli se priključijo na priključno vtičnico aparata, kjer se v neposredni bližini nahaja ena od dveh oznak na sliki 20 desno. Takšni aparati ne samo, da so »imuni« na defibrilacijo, ampak skozi njih ne more teči električni defibrilatorski tok. Primer je prikazan na sliki 22, kjer defibrilatorski tokovi (slika 22, oznaki »b« in »c«) tečejo samo v področju srca, med defibrilatorskimi elektrodami »A« in »B«.



Slika 22: Ustrezna priključitev opreme med defibrilacijo.

Zahvala

Avtor se zahvaljuje prof. dr. Aleksandru Manohinu za dolgoletno pedagoško in raziskovalno sodelovanje na področju medicinske tehnologije in fizike v anesteziologiji.

Literatura

1. Manohin A. Anestezijski aparat, anestezijski dihalni sistemi in anestezijski ventilatorji. In: Manohin A, Hribar-Habinc M, Paver-Eržen V, ur. *Respiracija: kontinuirano podiplomsko izobraževanje iz anesteziologije (CME): osmi tečaj FEEA*. Ljubljana: Slovensko združenje za anesteziologijo in intenzivno medicino, Slovensko zdravniško društvo; 2000. p. 27–59.
2. Manohin A, Križmarić M. *Temeljne fizikalne osnove v anesteziologiji, anestezijski aparat, anestezijski dihalni sistemi in anestezijski ventilator*. Maribor: Visoka zdravstvena šola; 2006.
3. Dorsch JA, Dorsch SE. The breathing system: general principles, common components, and classifications. In: Dorsch JA, Dorsch SE, ur. *Understanding anesthesia equipment*. 5th. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2008. p. 191-208.
4. Riutort KT, Eisenkraft JB. The Anesthesia Workstation and Delivery Systems for Inhaled Anesthetics. In: Barash P, Cullen BF, Stoelting RK, Cahalan M, Stock MC, Ortega R, ur. *Handbook of clinical anesthesia*. 7th. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 641-696.
5. Davey AJ. Breathing systems and their components. In: Davey AJ, Diba A, ur. *Ward's Anaesthetic Equipment*. 6th ed. Philadelphia: Saunders Elseiver; 2012, p. 107-138.
6. Davis PD, Kenny GNC. *Basic physics and measurement in anaesthesia*. 5th ed. London: Butterworth-Heinemann; 2010, p. 11-22.
7. Middleton B, Phillips J, Thomas R, Stacey S. *Physics in anaesthesia*. Banbury, Oxfordshire: Scion Publishing; 2012, p. 9-19
8. Cross M, Plunkett E. *Physics, pharmacology and physiology for anaesthetists*. 2nd ed. Cambridge: University press; 2014, p. 57-58.
9. Walker SG, Smith TC, Sheplock G, Acquaviva MA, Horn N. Breathing circuits. In: Ehrenwerth J, Eisenkraft JB, Berry JM. *Anesthesia equipment: principles and applications*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2013, p. 95-124.
10. Al-Shaikh B, Stacey S. *Essentials of Anaesthetic Equipment*. London: Churchill Livingstone Elsevier; 2008. p. 55-75.
11. *Instructions for Use – PRIMUS Anesthesia Workstation SW 4.n.* Dräger Medical AG & Co. KG. Moislinger Allee 53–55 D-23542 Lübeck; 2007.
12. Areti YK. Anesthesia ventilators. In: Areti YK, Kodali BS, ur. *Principles of Anesthesia Equipment*. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2016. p. 60-71.
13. *Instructions for Use – FABIUS GS Anesthesia Workstation SW 3.n.* Dräger Medical AG & Co KG (editorial). Moislinger Allee 53–55 D-23542 Lübeck. 3th. ed, 2006.
14. Eisenkraft JB. Anesthesia Delivery System. In: Longnecker D, Brown DL, Newman MF, Zapol W, ur. *Anesthesiology*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education; 2012; p. 616-662.
15. Venticinque SG, Andrews JJ. Inhaled Anesthetics: Delivery systems. In: Miller RD, Cohen NH, Riksson LI, Fleisher LA, Wiener-Kronish JP, Young WL, ur. *Miller's anesthesia*. 8th. ed. Philadelphia: Elsevier Saunders Health Sciences; 2015. p. 752-820.

ANESTEZIJSKI APARAT IN ANESTEZIJSKI DIHALNI SISTEMI

Peter Poredoš

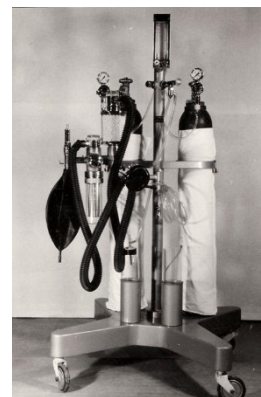
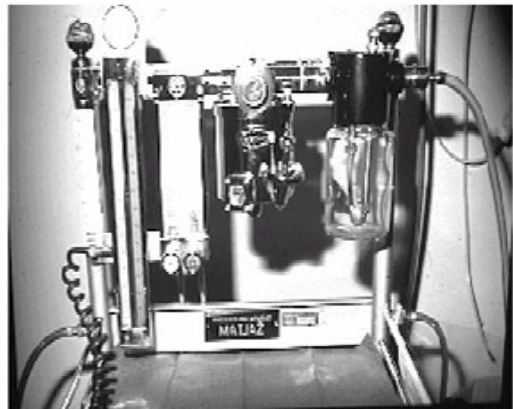
Anestezijski aparat je naprava, ki preko anestezijskega dihanega sistema (ADS) pacientu dovaja zmes dihalnih plinov. Najpogosteje ga uporabljamo med splošno anestezijo, lahko pa tudi za dajanje kisika pri posegih v področni anesteziji ter za dajanje kisika in nadzorovano predihavanje med oživljanjem.

V naslednjem prispevku bom povzel sestavo, delovanje in nevarnosti pri uporabi anestezijskega aparata in ADS, ki jih mora za varno izvajanje anestezije poznati vsak anesteziolog.

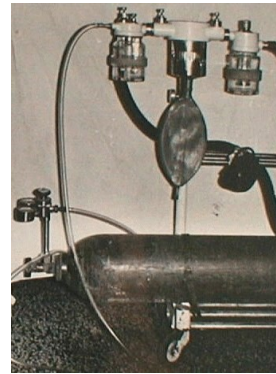
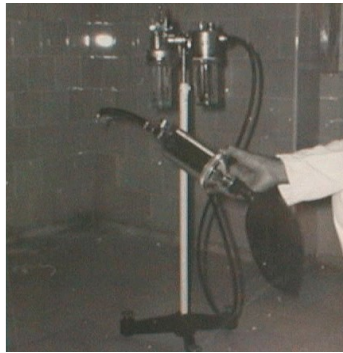
Zgodovina

Razvoj anestezijskih aparatov se je pričel z uporabo z etrom prepojenih zložencev v sredini 19.stoletja. Prvi anestezijski aparati na slovenskih tleh so bili plod slovenskega znanja in idej, ki so prispevale k nastanku kar 4 domačih anestezijskih aparatov:

- anestezijski aparat Matjaž: prvi domači anestezijski aparat tipa Boyle po drugi svetovni vojni (pobudnica prof. dr. Darinka Soban), ki je bil zaradi težav uvoza dolga leta praktično edini anestezijski aparat in so ga naročale tudi bolnišnice iz drugih republik Jugoslavije. Z njim so dajali kisik in dušikov oksidul ter eter ali halotan;
- anestezijski aparat Alenka, ki so ga na pobudo dr. Stojana Jeretina iz Maribora izdelali v Elektrostrojnem klubu Tovarne avtomobilov v Mariboru v letih 1963 in 1964. Z njim so dajali kisik in dušikov oksidul ter eter. Omogočal je dajanje anestezije po zaprti in polzaprti metodi, s posebnimi dodatki pa so ga lahko uporabljali tudi za nepovratni anestezijski dihalni sistem (ADS) z Rubenovo zaklopko, Ayrov ADS in Digby-Leighov ADS;



- anestezijska aparata iz 50-ih in 60-ih let iz Celja, ki so ju izdelali v finomehانيčni delavnici IDRO. Levega so izdelali na pobudo internista dr. Rojnika, desnega pa na pobudo dr. Hrašovca, pozneje specialista medicine dela.



Z leti so se konvencionalni anestezijski aparati razvili v napredne anestezijske delovne postaje (ADP), ki s pomočjo elektronike, programske opreme in napredne tehnologije omogočajo številne možnosti ventilacije, monitoringa, varnega dovajanja hlapnih anestetikov, odvajanja odpadnih anestezijskih plinov in celo anestezijo v zaprtem krogu. Ponujajo integriran monitoring in možnosti snemanja.

Anestezijska delovna postaja

Vsaka ADP mora:

- dovajati hlapni anestetik v točno določeni koncentraciji,
- omogočati ponovno vdihovanje izdihanih anestezijskih plinov po odstranitvi ogljikovega dioksida (CO_2),
- individualno dovajati kisik (O_2) in dva ali več drugih dihalnih plinov ter neprekinjeno bogatiti vdihano zmes plinov s temi hlapi,
- zagotavljati ročni način predihavanja (ventilacijo z balonom) z nastavljivim tlakom v dihalnem sistemu,
- odstranjevati odvečne pline iz pacientovega dihalnega sistema ter jih odstraniti iz prostora,
- neprekinjeno meriti vdihano koncentracijo O_2 ,
- preprečevati nastanek hipoksične zmesi plinov zaradi napake uporabnika ali izpada dovoda plina (obvezni varnostni mehanizmi),
- zagotavljati možnost ročnega dovajanja O_2 v dihalni sistem («oxygen flush»),
- imeti rezervni vir O_2 ,
- prikazovati tlake plinov v napeljavi in rezervnih jeklenkah.

Z razvojem postajajo ADP vse bolj varne. Kljub temu je še vedno približno 1% sodnih primerov zaradi neželenega izhoda anestezije vezanih na anestezijski aparat z anestezijskim dihalnim sistemom (ADS). Pri tem je bilo 75% incidentov posledica človeške napake (napačne uporabe), 24% pa posledica okvare opreme. 35% je bilo vezanih na odklop ali napačen priklop ADS. Čeprav so ti primeri redki, so njihove posledice hude – smrt ali trajna možganska okvara.

V izogib težavam je potrebno dobro poznavanje funkcionalne anatomije ADP in ADS, saj je v večini primerov vzrok za komplikacije človeški dejavnik in ne okvara naprave. Pred leti so bili aparati preprosto sestavljeni, njihove komponente pa dobro dostopne. Sodobni aparati pa so

modularni, naše poznavanje aparatov in reševanje težav pa je zaradi naraščajoče kompleksnosti, raznolikosti med različnimi proizvajalci in skritosti komponent vse težje.

Sistem dovoda anestezijskih plinov

Dihalne pline dobimo iz osrednjih preskrbovalnih enot ali iz jeklenk ob anestezijskem aparatu. Poleg kisika iz osrednjih preskrbovalnih enot dobivamo tudi stisnjeni zrak, ki služi kot dihalni plin ter za delovanje ventilatorja in aspiratorja.

Kisik in drugi dihalni plini tečejo iz bolnišničnih napeljav preko priključnih cevi v aparat do pretočnih ventilov, skozi pretočne merilnike in skozi hlapilnik. Od tam teče zmes vseh plinov preko cevi za dovod svežih plinov v ADS. Aparat omogoča tudi direktno in hitro dovajanje 100% O₂ v pacientov dihalni sistem («oxygen flush»), poleg tega je O₂ na voljo preko dodatnega pretočnega merilca ob strani aparata. Oba omenjena načina dovajanja O₂ delujeta tudi, ko je anestezijski aparat izključen.

Sistem dovajanja plinov delimo po funkciji v visoko-, srednje- in nizekotlačni del.

Visokotlačni del. Visokotlačni del sistema dovajanja plinov predstavlja jeklenka s tlaki plinov do 200 barov. Vsak anestezijski aparat mora imeti priklop za kisikovo jeklenko za primer izpada kisika v centralni napeljavi. Cevi za priklop ADP v bolnišnično napeljavo plinov in priklopi za jeklenke na aparatu so opremljeni s PISS (Pin Index Safety System) varnostnim sistemom z zatiči za priključitev na pravo mesto, ki preprečuje uporabo napačnega dihalnega plina. Vtičnica in vtikač na cevi za O₂ sta tako šesterokotne oblike, vtičnica in vtikač na cevi za dušikov oksidul (N₂O) sta okrogla, vtičnica in vtikač na cevi za stisnjeni zrak pa sta kvadratna.

Vsaka jeklenka ima mehanizem za zmanjšanje tlaka (reducirni ventil), ki zniža tlak v standardni tlak za pline, ki jih uporabljamo v ADP (5 bar), poleg tega minimizira nihanje tlaka. Običajno ustvarijo reducirni ventili na jeklenkah na anestezijskem aparatu nekoliko nižji kot je tlak v bolnišnični napeljavi, s čimer je bolnišnična napeljava primarni vir dihalnih plinov tudi ob odprti jeklenki. Kljub temu je po jutranjem testiranju potrebno jeklenke zapreti, saj se občasno tlak v napeljavi znotraj anestezijskega aparata zniža (uporaba »Flush« ventila ali med uporabo velikega pretoka svežih plinov), kar povzroči praznjenje jeklenke. Če pride do padca tlaka kisika v centralnem dovodnem sistemu, se poleg alarma na ADP oglasi tudi opozorilni zvočni signal v operacijskih prostorih, kar je znak, da je potrebno odpreti jeklenko za kisik.

V državah EU je jeklenka za kisik bele barve, tlak v jeklenki pa je odvisen od njene napolnjenosti, običajno je 100-200 bar. Jeklenka za N₂O je sive barve, tlak v njej pa 51 bar in se med porabo plina ne spreminja, dokler se vsa množina oksidula v jeklenki ne uplini; šele takrat se prične vrednost tlaka pri nadaljnji porabi plina zmanjševati. Jeklenki morata stati navpično in biti privezani s pasom, da ne bi padli in se poškodovali. Najobčutljivejši del jeklenke je njen vrat, ki se pri padcu jeklenke ali močnejšem udarcu lahko odlomi (takrat jeklenka deluje kot raketa in se z veliko hitrostjo in silo nenadzorovano giblje po prostoru, dokler se ne izprazni). Glavni ventil jeklenke moramo počasi odpirati, še zlasti pri kisikovi jeklenki in ga nežno zapirati. Pri hitrem odpiranju ventila nastane namreč tlačni sunek, ki lahko povzroči požar, najpogosteje v reducirnem ventilu, pri premočnem zapiranju pa se navoj ventila lahko poškoduje.

Prostornino kisika, ki nam je na voljo, lahko izračunamo po formuli: $V_1 = p_0 \times V_0$, pri čemer je p_0 tlak v jeklenki, V_0 pa prostornina jeklenke. Iz dobljenega podatka lahko ob upoštevanju minutnega dihalnega volumna in odstotka kisika v vdihani plinski zmesi izračunamo, koliko časa bomo pacienta lahko predihavali s kisikom v jeklenki.

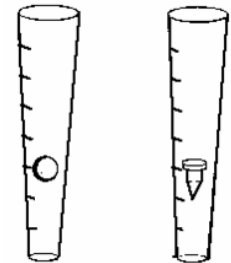
Srednjetlačni del. Srednjetlačni del sistema dovajanja plinov predstavlja centralna bolnišnična napeljava s standardnimi tlaki dihalnih plinov 5 barov za O₂, stisnjen zrak in N₂O. Anestezijski aparat mora na sprednji strani vedno prikazovati tlake v centralnem dovodu plinov (analogno ali elektronsko).

Anestezijski aparat omogoča neposreden tok O₂ iz centralne napeljave ali reducirnega ventila jeklenke (mimo pretočnega merilnika in hlapilnika) v ADS. V ta namen je na aparatu gumb ali ročica (navadno z napisom »O₂-bypass« ali »O₂ flush«); ko ju pritisnemo, prične teči O₂ pod povečanim tlakom in z velikim pretokom (35-75 L/min) neposredno v ADS. Sistem deluje tudi ob izključenem anestezijskem aparatu, predstavlja pa tudi določeno nevarnost: nedelujoč ali poškodovan ventil lahko ostane popolnoma odprt, kar lahko vodi v barotravmo pljuč.

Anestezijske delovne postaje imajo ob strani nameščen dodatni O₂ pretočni merilnik, ki omogoča dovajanje kisika neodvisno od ADS (preko Venturijeve maske, nosnega katetra). Vir kisika je neodvisen od delovanja anestezijskega aparata (deluje tudi ob izklopljenem aparatu), saj se dovodna cev za kisik odcepi pred pnevmatsko zaporo v srednjetlačnem delu. Hkrati služi kot varnostni mehanizem za dovajanje O₂ s pomočjo Ambu-balona ob okvari aparata.

V srednjetlačnem delu ADP so številni varnostni sistemi, ki preprečujejo dotok hipoksične zmesi plinov do pacienta. Kisik je primarni plin v sistemu dovoda plinov in vpliva na pretok vseh ostalih plinov. Ventili ob padcu tlaka v kisikovi napeljavi zaprejo ali delno zmanjšajo pretok drugih plinov. Poleg tega je v srednjetlačni O₂ napeljavi senzor, ki sproži vidno in slušno opozorilo ob padcu tlaka O₂ in se ga ne da utišati, dokler tlak O₂ ponovno ne doseže minimalnega potrebnega. Ker delujejo omenjeni varnostni sistemi na podlagi tlaka v napeljavi, ob morebitnem napačnem priklopu plinov zunaj anestezijskega aparata ne preprečijo dovajanja hipoksične zmesi plinov.

Nizkotlačni del. Nizkotlačni del se prične pri pretočnih merilnikih (le-ti dodatno znižajo tlak v sistemu na 1 bar) in se konča pri priključku za ADS. Pretočni merilnik skrbi za natančen nadzor in merjenje pretoka plina. Pri nekaterih aparatih nastavljammo pretok plina preko pretočnega ventila ročno, pri čemer povečamo pretok plina z vrtenjem gumba v nasprotni smeri urinega kazalca. Pretok plina odčitamo s pomočjo cevke, v kateri je plavač (valj ali kroglica), za natančno odmerjanje pretoka nekaterih plinov sta zaporedno vezani 2 cevki. Vsak pretočni merilnik je umerjen za specifičen plin (O₂, N₂O, zrak). Večinoma so umerjeni pri temperaturi 20⁰ C in tlaku 1 bar, zato so pri izjemno nizki oziroma visoki temperaturi ali pri povečanem tlaku (hiperbarična komora) možne merske napake. Opozoriti je treba, da pretočnega merilnika, v katerem plavač ne niha oziroma se ne vrti okoli vzdolžne osi, kadar plin teče skozenj, ne smemo uporabiti. Možne so tudi merilne napake, saj se plovec lahko prilepi ob steno cevke ali se poškoduje.



Pretočni merilnik s krogličnim in valjčnim plavačem.

Pri številnih novejših aparatih se pretočni ventil uravnava elektronsko, a imajo tudi ti ADP rezervni ročni nadzor nad pretokom kisika in pretočni merilnik za primer električne ali sistemske okvare.

Pretočni merilniki imajo vgrajen varnostni mehanizem (pnevmatsko-mehanski vmesnik med O₂ in N₂O pretočnimi merilniki), ki prepreči nastanek hipoksične mešanice plinov (O₂ < 21% v dotoku svežih plinov), ne glede na ravnanje uporabnika ADP. Tudi pri tej varnostni komponenti lahko pride do odpovedi s posledično hipoksično mešanico plinov: napačen plin v kisikovi napeljavi, puščanje kisikove napeljave distalno od tega varnostnega sistema, dilucija vdihane koncentracije O₂ s strani hlapnega anestetika.



Aparat Dräger Fabius Tiro z elektronskimi pretočnimi merilniki ter rezervnim analognim merilcem pretoka svežih plinov

Hlapilnik

Hlapilnik je naprava, v katero vlijemo utekočinjeni hlapni anestetik in z ustrezno izbiro nastavitvenega gumba omogočimo dodajanje hlapov anestetika dihalnim plinom. Pri zračnem tlaku je vrelišče dietilnega etra 34,6°C, halotana 50,2°C, enflurana 56,5°C, izoflurana 49°C, sevoflurana 58,5°C in desflurana 22,8°C. Zaradi različnih temperatur vrelišča mora biti hlapilnik narejen tako, da upošteva specifično vrelišče vsakega utekočinjenega hlapnega anestetika. Če je hlapilnik pomotoma napolnjen z neustreznim tekočim hlapnim anestetikom je izstopna koncentracija anestetika drugačna od nastavljene.

Glede na vklučitev hlapilnikov v sistem razlikujemo:

- hlapilnike, vključene v ADS (“**vaporizers in circle**”, **VIC**, tudi “draw-over vaporizers”): plinska zmes, ki se bo obogatila s hlapi, se vsrka v hlapilnik med pacientovim vdihom. Upor v njih mora biti čim manjši, odstranjevanje in ponovno vstavljanje morata biti preprosta, prav tako pa tudi čiščenje in razkuževanje. Tovrstne hlapilnike se skoraj ne uporablja več.
- hlapilnike, vključene zunaj ADS, neposredno v dotok svežih plinov (“**vaporizers out of circle**”, **VOC**, tudi “plenum vaporizers”): plinska zmes, ki se bo obogatila s hlapi, se vpihne v hlapilnik zaradi pretoka svežih plinov. Tovrstne se uporablja pri večini sodobnih ADP.

Glede na princip delovanja razlikujemo hlapilnike, ki delujejo:

- s spreminjanjem tlaka na temelju Venturijeve cevi, kjer dušilni ventil ureja tlak v hlapilniku in s tem tudi množino hlapov, ki vstopajo v dovod svežih plinov;
- s spreminjanjem pretoka na temelju delitve svežih plinov v del, ki vstopa v hlapilnik, in del, ki ga obide (“variable flow-bypass”).

Glede na način dodajanja hlapnih anestetikov v zmes plinov delujejo hlapilniki:

- kot vplinjač - utekočinjeni hlapni anestetik vbrizgajo v zmes svežih dihalnih plinov, kjer takoj izhlapi;
- na osnovi obkroga pretoka (hlapilniki s spremenljivim pretokom), kjer del pretoka svežih plinov teče skozi hlapilnik in se obogati s hlapi tako, da:
 - teče nad kapljevino, pri čemer je gumb za odrejanje koncentracije vgrajen pred hlapilnikom ali za njim;

- teče skozi kapljevino, pri čemer se množina svežih plinov odreja s pretočnim merilnikom (npr. "copper kettle") ali s šobo.

Različna podjetja uporabljajo različne vrste hlapilnikov glede na princip delovanja in način dodajanja hlapnih anestetikov.

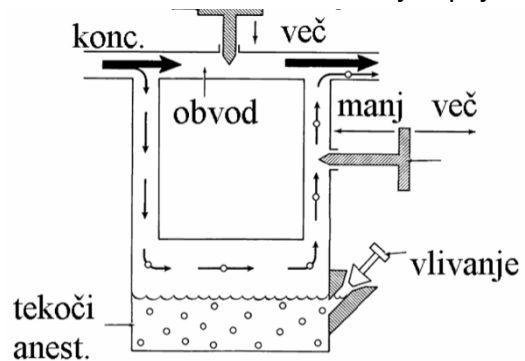
Poudariti velja, da hlapilniki s spremenljivim pretokom niso primerni za dajanje desflurana zaradi njegovih posebnih fizikalnih lastnosti: njegov parni tlak je 3-4-krat večji od parnega tlaka ostalih utekočinjenih hlapnih anestetikov, vrelišče ima pri 22,8^o C, kar je skoraj sobna temperatura, njegov MAC pa je 6-7 %. Zato mora biti hlapilnik za desfluran posebej prirejen: električno ogrevan in pod povečanim tlakom.

Vdihane in izdihane koncentracije anestetika opisujemo z volumskimi odstotki. Tukaj se pojavi pojem minimalne alveolarne koncentracije (MAC),

ki je tista koncentracija anestetika, pri kateri se polovica pacientov, anesteziranih s to učinkovino, ne premakne pri bolečinskem dražljaju, npr. pri prerezu kože. Odvisna je od starosti pacienta.

Koncentracija hlapnega anestetika v dihalni zmesi je premo sorazmerna z velikostjo nasičenega parnega tlaka, s temperaturo in s površino, na kateri poteka izhlapevanje, ter obratno sorazmerna s trajanjem uporabe (med izhlapevanjem se tekoči anestetik ohlaja in se pri enaki nastavitvi njegova koncentracija zmanjšuje, ker je množina hlapov odvisna od temperature), odvisna pa je tudi od razmerja med deležem pretoka, ki teče skozi hlapilnik, in deležem, ki ga obide (tim. razmerje cepitve, "splitting ratio") ter od zgradbe hlapilnika (nepopolno mešanje s hlapi zaradi nepravilnega toka skozi hlapilnik).

Moderni hlapilniki so narejeni tako, da čim bolj zmanjšajo naštete pomanjkljivosti: povečajo površino izhlapevanja in zmanjšajo nepravilni tok z dodajanjem spiralnih cevk, ovir ali stenja, po katerih mora teči plinska zmes v hlapilniku, zagotavljati pa morajo tudi stalnost temperature z uporabo materialov z veliko toplotno prevodnostjo.



Shematski prikaz pretoka dihalnih plinov v hlapilniku. Z nastavitvenim gumbom (zatičem) odpremo vhod v hlapilnik in omogočimo vstopanje dihalne zmesi v posodico s hlapnim utekočinjenim anestetikom, kjer se zmes obogati s hlapi in izstopa iz hlapilnika. Večji kot je delež plinske zmesi, ki teče skozi posodo hlapilnika, večja je koncentracija hlapnega anestetika v zmesi svežih plinov.

Stalnost temperature v hlapilniku se zagotavlja:

- z bimetalnim trakom, to je spojem dveh kovin z različnima koeficientoma dolžinskega raztezka, ki se pri spremembi temperature različno raztezata. Ker sta spojena, se pri spremembi temperature spoj ukrivi. S spremembo krivine se širi ali oži dotok svežih plinov v hlapilnik;
- z mehomo, ki se pri povišani temperaturi razteza, pri nižani pa krči in s tem spreminja odprtino vstopne šobe;
- s kovinsko palico, ki z raztezanjem in krčenjem spreminja velikost šobe;
- s hlapilnikom, narejenim iz kovine, ki ima veliko toplotno kapaciteto in je dober prevodnik toplote, s čemer zmanjšuje ohlajanje hlapilnika (navadno je to baker – hlapilniki imajo zato veliko maso);
- s tem, da anesteziolog ali tehnik spreminja koncentracijo po dodani skali glede na temperaturo v hlapilniku, ki jo odbere na termometru.

Anestezijski dihalni sistem (ADS)

Vloga ADS je dovod kisika pacientu in odstranjevanje ogljikovega dioksida.

Anestezijski dihalni sistem mora vsebovati: cev z nizko upornostjo za pretok plinov, rezervoar za pline, ki so potrebni za pacientove potrebe med vdihom in odvod oz. ventil za odvajanje odvečnega izdihanega zraka. Dihalne sisteme delimo glede na potrebo po CO₂ absorberju na krožne sisteme (najpogosteje uporabljeni) in linearne sisteme (Mapleson). Kljub pogosti uporabi krožnih sistemov se ponekod uporabljajo tudi linearni: občasno pri ventilaciji otrok, za ventilacijo in oksigenacijo med transportom pacienta, med sedacijo, ekstubacijo in preoksigenacijo pred oskrbo dihalne poti izven operacijske dvorane.

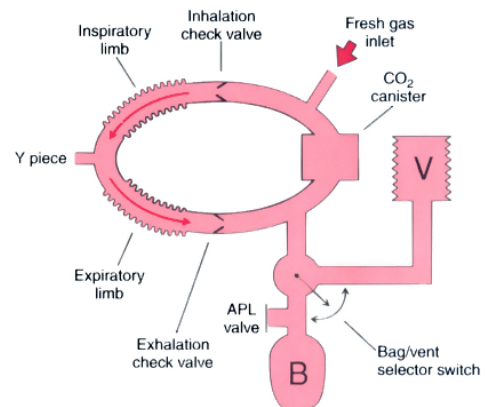
Najpogostejša tveganja povezana z uporabo dihalnih sistemov sta puščanje in obstrukcija. Večinoma jih lahko zaznamo med preverjanjem ADP pred uporabo.

Krožni dihalni sistemi

Krožni dihalni sistemi omogočajo krožni, enosmerni pretok plinov, ki ga usmerjajo enosmerne zaklopke. Prednosti tega sistema so: vzdrževanje relativno stabilnih koncentracij vdihanih plinov, ohranjanje dihalne vlage in toplote, odstranjevanje CO₂, ekonomska poraba hlapnih anestetikov zaradi ponovnega vdihovanja in preprečevanje onesnaževanja zraka v operacijski dvorani. Potrebuje pa krožni sistem možnost odstranjevanja CO₂, poleg tega je potreben sistem za odvodnjavanje mešanice dihalnih plinov, omogočati pa mora tako spontano dihanje, kot ročno predihavanje in predihavanje s pozitivnim tlakom.

Nujni sestavni deli krožnega dihalnega sistema so:

- *vir dotoka svežih plinov,*
- *inspiratorne in ekspiratorne enosmerne zaklopke:* narejene tako, da vlaga v ADS ne vpliva na njihovo delovanje. Kljub temu se občasno zataknejo, zato je potrebno njihovo delovanje preverjati ob rednih testih ADP;
- *inspiratorna in ekspiratorna valovita cev:* ima določene pomanjkljivosti – raztegljivost oz. podajnost, ki absorbira del prostornine zraka, ki naj bi ga med ventilacijo s pozitivnim tlakom dobil pacient;
- *Y-člen,* ki omogoči priklop na pacienta: povezuje inspiratorni in ekspiratorni krak ADS; ima distalni notranji premer 15mm za priklop tubusa ali laringealne maske in zunanji premer 22mm za priklop obrazne maske;
- *nastavljiv ventil za omejevanje najvišjega tlaka v dihalnem sistemu (adjustable pressure limiting – APL):* omogoča odstranjevanje prekomerne količine plinov in kontrolo tlaka v ADS med spontan in ročni način predihavanja. Ko tlak v dihalnem sistemu preseže nastavljenega na APL ventilu, se ventil odpre, s čimer se odvečni plini odstranijo iz ADS. Preklop ADP v način mehanske ventilacije izključi APL ventil iz sistema oz. ga zapre;
- *rezervoar ali dihalni balon:* služi kot rezervoar za izdihane pline in presežek svežih plinov, kot način izvajanja ročne ventilacije oz. pomoči pri spontanem dihanju, kot vizualni ali taktilni monitoring pacientovega spontanega



dihanja ter delno kot zaščita pacienta pred prekomernim tlakom v ADS ob odpovedi delovanja APL ventila. Pri večini ADP je med mehansko ventilacijo izključen iz ADS;

- *posoda s CO₂ absorbensom*;
- *monitor vdihane koncentracije kisika*: v inspiratornem delu ADS ali na Y-členu, vezan mora biti na alarm, ki se oglasi v 30s po padcu koncentracije O₂ pod nastavljeno mejo (meje ni možno nastaviti pod 18%). Gre za zadnjo obrambno črto, da pacient ne bi dobil hipoksične zmesi dihalnih plinov. Za merjenje koncentracije O₂ v inspiratornem kraku uporabljamo galvanske celice, ki jih je potrebno umeriti vsak dan, veliko pogosteje pa se uporabljajo analizatorji dihalnih plinov, ki odvzemajo vzorec na Y-členu, uporabljajo paramagnetni analizator in ne potrebujejo pogostih umerjanj;
- *senzorji pretoka*: ADP mora imeti monitor pacientovega izdihanega dihalnega volumna ali minutne ventilacije ali obeh, pogosto je senzor nameščen tudi v inspiratorni krak ADS;
- *senzorji tlaka v ADS*: obvezno je neprekinjeno merjenje tlaka v ADS, ki je vezano na alarm visokega tlaka in neprekinjenega pozitivnega tlaka za 15s ali več. Prav tako se mora oglasiti alarm, če je v ADS tlak pod 10 cm H₂O za 1s ali več ali pride do odklopa dela ADS;
- *filtri in izmenjevalci vlage in toplote*: nadomestijo vlažilno in ogrevalno vlogo zgornje dihalne poti, hkrati preprečujejo prenos mikrobov iz pacienta v ADP; nameščeni so med Y-člen in obrazno masko/endotrahealni tubus. Pri uporabi je treba biti pozoren na velikost filtra in izbrati ustrezno velikost, saj ima lahko filter veliko prostornino, ki prispeva k prostornini pacientovega mrtvega prostora.

Delovanje krožnega ADS: obseg ponovnega vdihavanja izdihanih plinov (rebreathing) je odvisen od pretoka svežih plinov: večji kot je pretok, manj je ponovnega vdihavanja in več je odpadnih plinov. Običajno jih uporabljamo kot polzaprte sisteme (nekaj odpadnega pretoka je ves čas prisotnega preko APL ventila), polodprti sistem pa označuje večje pretoke svežih plinov z minimalnim ponovnim vdihovanjem. Polzaprti način uporabe ADS ima prednost v varčevanju s hlapnim anestetikom, boljšim nadzorom nad temperaturo in vlažnostjo in manjšim onesnaževanjem okolja. Slabosti pa vključujejo težavno hitro prilagajanje globine anestezije in teoretično možnost nabiranja škodljivih plinov (ogljikovega monoksida, acetona, metana) ali razpadnih produktov interakcije hlapnega anestetika s CO₂ absorberjem (substanca A). Zaprt sistem bi pomenil, da dotok O₂ natančno ustreza metabolnim potrebam pacienta, prisotno je popolno ponovno vdihovanje izdihanih plinov in ne tvorijo se odpadni plini. Tehnična zahtevnost tovrstne uporabe pa je nepraktična za rutinsko uporabo in se ne uporablja.

Glavna slabost krožnega dihalnega sistema je kompleksnost. Zaradi številnih spojev so možni napačni priklopi, odklopi, obstrukcije in puščanje. Kar 39% sodnih obravnjav vezanih na dovod plinov pacientu je bilo posledica napačnih priklopov ali nenamernih odklopov znotraj ADS. Enosmerne zaklopke se lahko okvarijo in pride do ponovnega vdihavanja izdihane zmesi plinov ali do popolne zapore ADS. Ob zapori ekspiratorne zaklopke lahko pride do barotravme. Krožni dihalni sistem je velik, zaradi tega je tudi njegova skupna podajnost večja, kar zmanjša dihalni volumen med predihavanjem s pozitivnim tlakom. Zaradi uporabe CO₂ absorberja pa lahko pride tudi do razgradnje hlapnega anestetika.

Težave pri krožnem ADS:

- *puščanje in odklop*: običajna mesta puščanja so dihalne cevi, filtri, vsi spoji in posoda za CO₂ absorber. Čeprav lahko pride do puščanja med anestezijo, večino tovrstnih težav odkrijemo pri testiranju aparata. Lahko je puščanje minimalno in ga kompenziramo s povečanjem dotoka svežih plinov, kljub temu pa je potrebno vsako puščanje raziskati in odpraviti. Pri zaznavanju puščanja nam pomaga merjenje tlakov v ADS s posledičnimi alarmi: »Apnea pressure«, »Check breathing circuit« in »Low pressure« ter merjenje dihalnih volumnov z alarmi za nizko minutno ventilacijo in nizek izdihani dihalni volumen;
- *napačni priklopi komponent v ADS* se dogajajo kljub razlikam v obliki in velikosti priključkov, zato se je potrebno izogibati nestrokovnim prilagoditvam le-teh;
- *zapora ADS*: pretisnjenje tubusa, zapora cevi zaradi notranje obstrukcije ali zunanega pritiska, zamašeni izmenjevalci toplote in vlage, blokirane enosmerne zaklopke, lahko vodijo v nastanek tenzijskega pnevmotoraksa.

Za preprečevanja ponovnega vdihovanja CO₂ je potrebno pri sestavi krožnega ADS upoštevati 3 pravila: enosmerne zaklopke morajo biti nameščene med pacienta in rezervoar (balon) v inspiratornem in ekspiratornem kraku, dotok svežih plinov ne sme vstopati v ADS med ekspiratorno zaklopko in pacientom in APL ventil ne sme biti med pacientom in inspiratorno zaklopko.

CO₂ absorberji

Idealni CO₂ absorber ne bi reagiral s hlapnim anestetikom, ne bi bil toksičen, imel bi nizek upor pretoku zraka, minimalno nastajanje prašnih delcev, bil bi poceni in preprost za uporabo ter bi imel visoko učinkovitost absorpcije CO₂. Posoda za CO₂ absorber mora biti prozorna (da vidimo barvo absorberja), preprosta za odstranitev in zamenjavo, nosilni sistem mora omogočiti zaprtost ADS tudi ob odstranitvi posode in mora predstavljati minimalno tveganje za puščanje ali zaporo ADS. Pri menjavi absorberja je potrebna pozornost pri kontaminaciji tesnilnega roba s prahom – lahko je vzrok puščanja. Obstajajo že vnaprej napolnjene posode z absorberjem – pri nameščanju le-teh je potrebno odstraniti zaščitno folijo.

Pri absorpciji CO₂ pride do kemične reakcije. Večina absorberjev vsebuje kalcijev hidroksid (Ca(OH)₂), ki s CO₂ tvori kalcijev karbonat (CaCO₃). Zaradi počasnosti te reakcije za pospešitev absorberju dodajajo vodo in močnejše baze (NaOH in KOH). Težava ob uporabi KOH ali NaOH je reakcija teh snovi s hlapnim anestetikom (ga razgradi). Vsi absorberji s kalcijevim hidroksidom morajo vsebovati vsaj 12-19% vode.

Običajna reakcija (soda-lime):

1. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$
2. $\text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{NaOH (KOH)} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3 (\text{K}_2\text{CO}_3) + 2\text{H}_2\text{O} + \text{toplota}$
3. $\text{Na}_2\text{CO}_3 (\text{K}_2\text{CO}_3) + \text{Ca(OH)}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + 2\text{NaOH (KOH)} + \text{toplota}$

Zmožnost odstranjevanja CO₂ je odvisna od površine absorberja, ki ji je izpostavljen izdihani plin, intrinzične kapacitete absorberja in količine neuporabljenega absorberja. Manjša površina granul poveča površino absorberja, žal pa prispeva k večjemu upor za pretok dihalnih plinov.

Absorberji vsebujejo barvni indikator etil-vijolično, ki obarva absorber vijolično ob nizkem pH. Težava je razbarvanje absorberja ob dolgotrajni izpostavljenosti etil-vijolične fluorescentni svetlobi. Zato novejšim absorberjem dodajajo bolj obstojna barvila. Obstajajo celo absorberji z barvili, ki označujejo izsušenost le-tega.

Interakcije hlapnih anestetikov s CO₂ absorberjem

Reakcija hlapnih anestetikov z močnimi bazami (NaOH, KOH) privede do razgradnje hlapnih anestetikov. Pri tem nastajajo škodljive snovi, kot je substanca A, ki nastaja ob reakciji s sevofluranom in je nefrotoksična, klinične študije pa niso potrdile povečane incidence ledvične odpovedi ob uporabi sevoflurana. Novejši absorberji, ki ne vsebujejo NaOH in KOH, ne tvorijo substance A. Ob reakciji z desfluranom, enfluranom in izofluranom lahko nastaja ogljikov monoksid (CO), nastajata tudi formaldehid in metanol. Nastajanje škodljivih snovi je povečano ob uporabi anestezije z nizkim pretokom svežh plinov, višjih koncentracijah hlapnih anestetikov, višjih temperaturah CO₂ absorberja in ob uporabi svežega absorberja.

Absorberji, ki vsebujejo močne baze in so močno izsušeni (dolgotrajno preprihanje s kisikom, dolgotrajna neuporaba), lahko povzročijo razpad hlapnih anestetikov v klinično pomembne koncentracije CO s posledičnim nastajanjem karboksihemoglobina (do 35%) – smrt ponedeljkovega jutra. Več CO nastaja pri desfluranu, manj pri enfluranu, nato izofluranu in najmanj pri sevofluranu in halotanu. Odstranitev NaOH in KOH iz absorberja minimizira možnost nastanka CO.

Izjemno redka, a potencialno življenje-ogrožujoča komplikacija je močna eksotermna reakcija, ki lahko povzroči požar ali eksplozijo v ADS. Možnost nastanka je večja pri izsušenih absorberjih z močnimi bazami ob hkratni uporabi sevoflurana.

Za preprečevanje interakcij med CO₂ absorberjem in hlapnimi anestetiki se priporoča: zapiranje dotoka svežih plinov, kadar ADP ni v uporabi, redne menjave CO₂ absorberja, še posebej, ko se spremeni njegova barva ali ni podatka o zadnji menjavi ter uporaba absorberja brez vsebnosti močnih baz.

Maplesonovi dihalni sistemi

Že leta 1954 je Mapleson opisal in testiral 5 dihalnih sistemov (označujemo jih s črkami A-E) in jim po obliki pravimo linearni. Od krožnih se razlikujejo po pretoku plinov v obe smeri in po odsotnosti CO₂ absorberja, zato je pri njih za izločanje CO₂ potreben zadosten dotok svežih plinov. Leta 1975 je Willis k tem dodal še šestega – oznaka F. Vsi sistemi vsebujejo priklop za obrazno masko ali endotrahealni tubus, cevi, rezervoar, cev za dotok svežih plinov in ekspiratorni tlačni ventil. Vsi, razen oblike E kot rezervoar uporabljajo balon.

Obstajajo 3 funkcionalne skupine Maplesonovih sistemov:

A (Magillov sistem): ima tlačni ventil poleg obrazne maske, dotok svežih plinov pa na drugi strani pri balonu;

BC: tlačni ventil je pri obrazni maski, dotok svežih plinov pa pri pacientu. Cevi in dihalni balon služijo kot slepi del, kjer se zbirajo sveži plini, plini mrtvega prostora in alveolarni plini;

DEF (T-del): dotok svežih plinov je ob pacientu, odvečni plini pa se odvajajo na nasprotni strani sistema.

Sestava dihalnih sistemov je enostavna, delovanje pa malo manj. Količina ponovno vdihanega CO₂ je odvisna od pretoka svežih plinov, minutne ventilacije, načina ventilacije (spontana ali kontrolirana), dihalnega volumna, frekvence dihanja, razmerja med vdihom in izdihom, trajanja ekspiratorne pavze, najvišjega inspiratornega pretoka, volumna dihalnih cevi in balona, predihavanja preko obrazne maske/ endotrahealnega tubusa in mesta odvzema vzorca za analizo CO₂.

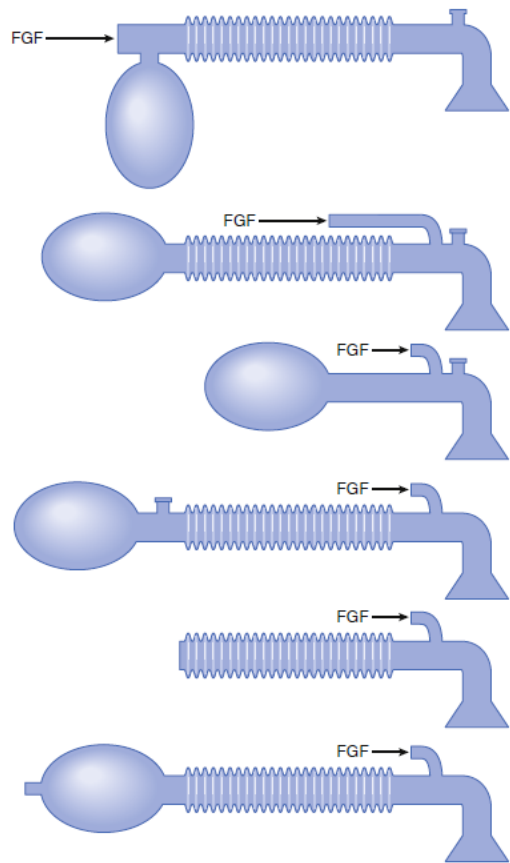
Med spontanim dihanjem je Mapleson A sistem najbolj učinkovit, saj potrebuje dotok svežih plinov, ki je enak minutni ventilaciji, za preprečevanje ponovnega vdihovanja CO₂. Hkrati pa je najmanj učinkovit med kontrolirano ventilacijo, saj potrebuje dotok plinov velikosti do 20L/min, da preprečimo ponovno vdihovanje CO₂.

Sistemi DEF so nekoliko bolj učinkoviti kot BC, potrebujejo namreč dotok svežih plinov velikosti 2,5x minutne ventilacije.

Učinkovitost sistemov med spontanim dihanjem: A > DFE > CB in med kontrolirano ventilacijo: DFE > BC > A.

Sedaj se sistemi A, B in C zelo redko uporabljajo, D, E in F pa pogosteje.

Maplesonovi sistemi imajo majhen upor pretoku plinov, so majhni, vsebujejo malo sestavnih delov, sprememba sestave svežih plinov pa se odrazi s hitro spremembo sestave v dihalnem sistemu, poleg tega ne more priti do razgradnje hlapnik anestetikov (ni CO₂ absorberja). Zaradi večjega pretoka svežih plinov je ohranjanje toplote in vlage manj učinkovito kot pri krožnem sistemu.



Tudi Slovenci imamo lasten linearni dihalni sistem, ki je modifikacija Mapleson B sistema in ga je izumila prof. Pečanova. Omogočal je dovajanje anestezijske plinske mešanice in umetno predihavanje od daleč (primeren je bil predvsem za operacije na glavi, v ustih, nosu in na očeh). Sistem je bil polodprt in ni onesnaževal zraka operacijske sobe. V uporabi je ostal vsaj 40 let.



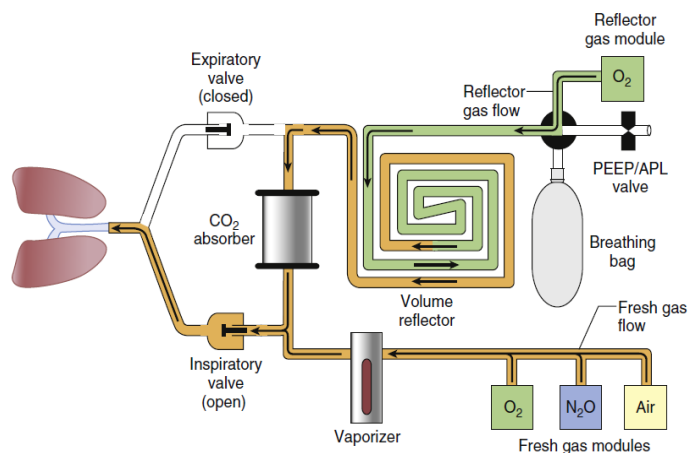
Anestezijski ventilator

Moderni anestezijski ventilatorji omogočajo predihavanje pacienta, ki je podobno ventilatorjem v intenzivnih terapijah – omogočajo proženje dihanja z pacientovimi poskusi dihanja in različne načine predihavanja. Med anestezijskim ventilatorjem in ventilatorjem v intenzivni terapiji pa obstajajo pomembne razlike, saj deluje anestezijski ventilator tudi kot rezervoar izdihanih plinov, ki jih ponovno dovede pacientu, zato vsebuje meh ali sistem podoben batu. Poleg tega mora delovati v polzaprtem okolju krožnega ADS in izločati odvečne dihalne pline (ventilatorji v intenzivni terapiji delujejo kot odprti sistem).

Klasifikacija glede na tip rezervoarja:

- *z mehom*: meh je zaprt v zračno neprodušni posodi in služi kot rezervoar za pacientove dihalne pline. Pod elektropnevmatsko kontolo v ohišje meha teče plin pod tlakom, ki stisne meh in s tem dihalne pline v pacienta. Pacientov izdih in dotok svežih plinov ponovno napolnijo meh med izdihom. Plin, ki stiska meh, je ločen od dihalnih plinov. Vir pogonskega plina je kisik ali stisnjen zrak, ki pride v anestezijski aparat po enaki poti kot za mešanico plinov v ADS. Če se kot pogonski plin uporablja kisik, je skupna poraba kisika v ADP enaka vsoti pretoka kisika na pretočnem merilcu (kot del svežih plinov) in pacientove minutne ventilacije. Glede na smer premika meha med ekspiratorno fazo poznamo ascendentni (pokončni) ali descendentni (viseči) meh. Bolj varna oblika je ascendentni, saj se ne napolni ali se le delno napolni, če pride do odklopa cevi ali puščanja ADS. Pri mehu lahko pride tudi do določenih težav: puščanje ohišja z uhajanjem pogonskega plina in neustrezno ventilacijo pacienta, puščanje meha z vstopom visoko-tlačnega pogonskega plina in posledično barotravmo, prekomerno odprt tlačni ventil, ki vodi v hipoventilacijo ali zaprt tlačni ventil, ki vodi v barotravmo;
- *z batom*: mehansko gnani uporabljajo električni motor, ki poganja bat, zato je poraba dihalnih plinov pomembno manjša. Računalniški nadzor gibanja bata omogoča številne napredne možnosti ventilacije in natančno odmerjanje dihalnih volumnov (podajnost bata je minimalna v primerjavi s podajnostjo meha). Batni ventilatorji so običajno skriti v ohišju ADP in imajo izjemno tiho delovanje. Nevarnosti pri uporabi batnih ventilatorjev so: bat se napolni tudi ob puščanju oz. odklopu dihalnih cevi, s čimer je mešanica plinov lahko hipoksična in znižano koncentracijo hlapnega anestetika.
- *z odbojnikom (reflektorjem) volumna*: pri tej vrsti ADP je rezervoar za izdihane pline zvita dolga plastična cev, ki je ves čas vključena v dihalni krog oz. ADS. Dihalne pline po sistemu med mehansko ventilacijo poganja reflektorski plinski modul, ki je vir pretoka kisika in potiska plin iz iz cevne rezervoarja. Pri tem morata delovati modul za dovod svžih plinov in reflektorski modul koordinirano za vzdrževanje ustreznega tlaka v ADS. Med spontanim ali ročnim predihavanjem je reflektorski modul izključen iz dihalnega kroga, takrat je v sistem vključen dihalni balon ter APL ventil.

Klasifikacija glede na pogonski mehanizem rezervoarja: pnevmatski in mehanski, pri čemer je večina ventilatorjev z mehomo pnevmatskih, večina z batom pa mehanskih.



Primer anestezijskega ventilatorja z z odbojnikom (reflektorjem) volumna: Maquet FLOWi

Klasifikacija glede na način možne ventilacije: starejši modeli so omogočali zgolj časovno prožen in časovno voden (kontrolirani) način ventilacije. Moderni aparati pa omogočajo sinhronizirano intermitentno mandatorno ventilacijo (SIMV), asistirano kontrolirano ventilacijo (A/C) in tlačno podporno ventilacijo (PSV) – s strani pacienta prožen in s strani pacienta določen dihalni cikel (nekontrolirano ventilacijo). Opis posameznih načinov predihavanja presega vsebino tega sestavka.

Kompenzacija dotoka svežih plinov

Pri večini starejših ADP je dotok svežih plinov v ADS konstanten in neodvisen od delovanja ventilatorja. Med inspiratorno fazo mehanske ventilacije je tlačni ventil zaprt, APL ventil pa izključen iz dihalnega sistema. Zato pacientov pljuča prejmejo dihalni volumen iz meha/bata in dodatni volumen iz dotoka svežih plinov. Zato je dihalni volumen, ki ga prejme pacient, odvisen od pretoka svežih plinov. V sodobne ADP so vgradili mehanizem, ki vzdržuje stabilni dihalni volumen. Običajno sistem izmeri dihalni volumen plinov med vdihom, ki prilagodi volumen plinov iz ventilatorja, s čimer kompenzira dotok svežih plinov in puščanje ADS. Nekateri aparati uporabljajo sistem odklapljanja dotoka svežih plinov, ki jih med vdihom preusmerijo v dihalni balon in sistem za odvod odvečnih plinov. Če med inspiratorno fazo pri aparatih brez odklapljanja dotoka svežih plinov pomotoma uporabimo »flush« gumb, pride do nenadnega porasta tlaka v ADS, ki lahko privede do barotrauma ali volotraume. Tovrstni zaplet preprečijo omejevalci največjega inspiratornega tlaka v ADS.

Sistem za odstranjevanje odvečnih plinov

Najpogostejši vzroki onesnaževanja zraka v operacijski dvorani so: pozabljen odprt dotok svežih plinov, ko ADS ni priključen na pacienta, uporaba obraznih mask, ki ne tesnijo, praznjenje ADS v prostor, polnjenje hlapilnika (še posebej ob polivanju), uporaba endotrahealnih tubusov brez mešička, uporaba linearnih dihalnih sistemov in puščanje v ADS. Vir onesnaženja je lahko tudi okvara na sistemu za odstranjevanje odvečnih plinov. Sistemi za odstranjevanje odvečnih plinov so običajno aktivni – uporabljajo centralni sesalni sistem. Odvečni plini izhajajo iz ADS preko APL ventila, preko tlačnega ventila v ventilatorju in iz analizatorja plinov (50-250 mL/min), pri nekaterih ADP se jim pridruži plin, ki poganja ventilator. Priključki na ceveh za odvajanje plinov imajo priključke velikosti 30 mm, kar se

razlikuje od 22 mm pri dihalnih ceveh. Odvečni plini potujejo preko vmesnika, ki zaščiti ADS in ventilator pred prevelikimi pozitivnimi ali negativnimi tlaki (normalno -0,5 do 3,5 cm H₂O). Težave s sistemom za odstranjevanje odvečnih plinov: obstrukcija (posledično previsok tlak v ADS z barotravmo), previsok negativni tlak (s posledičnim negativnim tlakom v ADS),

Preverjanje anestezijske delovne postaje

Celotno preverjanje anestezijskega aparata je potrebno vsak dan pred prvo uporabo, skrajšana verzija testa pa pred vsako anestezijo. Redno preverjanje ADP je dokazano povezano z zmanjšano obolevnostjo in umrljivostjo. Najpogostejši vzroki za težave z ADP so neizvajanje seznamov preverjanja, človeški dejavniki in slabo poznavanje ADP. Številni sodobni aparati izvajajo avtomatska samopreverjanja, na katera se ne smemo preveč zanašati, predvsem pa moramo vedeti, katere komponente ADS so bile testirane. Sezname preverjanja morajo biti prilagojeni na posamezno delovno okolje, pri čemer je potrebno upoštevati tudi navodila proizvajalca.

Preverjanja, ki jih je potrebno izvesti vsak dan:

1. Rezervna kisikova jeklenka je prisotna in ustrezno napolnjena (tlak v jeklenki mora biti vsaj 50 bar, ob testiranju tlak odčitamo na manometru na jeklenki ali pri sodobnih aparatih na elektronskem ali analognem manometru na sprednji strani anestezijskega aparata), prisoten je delujoč balon za predihovanje pacienta (Ambu); po preverjanju je potrebno kisikovo jeklenko zapreti.
2. Ustreznost aspiratorja za očiščenje dihalne poti.
3. Priklop ADP, ki mora biti vključena v vir električne napetosti (svetlobni indikator na sprednji strani ADP, kabel vključen v delujočo vtičnico), čeprav ADP deluje tudi s pomočjo baterije.
4. Preverjanje tlakov plinov v centralni napeljavi (okrog 5 bar).
5. Preverjanje puščanja med merilci pretoka in skupnim iztokom svežih plinov (nizkotlačni del), ki je distalno od vseh varnostnih mehanizmov, poleg tega je v tem območju tveganje za puščanje največje. Med testom je potrebno vključiti vsak hlapilnik posebej, s čimer se preveri morebitno puščanje na priključku hlapilnika na ADP ali znotraj hlapilnika. Pri nekaterih ADP je v test puščanja vključen tudi hlapilnik, pri večini pa ne (hlapilnik med testom ostane izključen). Slabo zatesnjen pokrov hlapilnika lahko privede do budnosti pacienta.
6. Preverjanje delovanja sistema za odvajanje odvečnih plinov: priključenost cevi v sistem in preverjanje ustreznosti nivoja vakuuma.
7. Kalibracija kisikovega senzorja in preverjanje alarma za nizko inspiratorno koncentracijo O₂. Veliko ADP opravi avtomatsko kalibracijo O₂ senzorja, kljub temu se priporoča preverjanje, da senzor na sobnem zraku prikazuje koncentracijo kisika 21%. Po kalibraciji ADS je potrebno ADS napolniti s 100% kisikom, ob tem bi moral senzor pokazati vrednosti >90%.

Preverjanja, ki jih je potrebno izvesti pred vsako uporabo:

1. Na voljo so ustrezni monitorji (manšeta za krvni tlak, elektrode za EKG, senzor za SpO₂), preverjanje delovanja monitorjev (predvsem SpO₂ senzorja in kapnografa), preverjanje nastavitve alarmov.
2. Napolnjenost hlapilnika in preverjanje zaprtosti pokrova sistema za polnjenje hlapilnika – puščanje pri hlapilniku se med testom puščanja avtomatsko ne izvede, če

je hlapilnik izključen (nastavljen na »0«). Preveriti tudi nastavitev varnostnega zatiča, ki onemogoča aktiviranje več kot 1 hlapilnika hkrati.

3. Preverjanje izrabljenosti CO₂ absorberja. Na izrabljenost poleg obarvanosti absorberja (ni vedno zanesljiva) nakazuje tudi inspiratorna koncentracija CO₂ (>0). Pozoren je treba biti tudi na izsušenost absorberja – nekateri novejši absorberji se obarvajo med izsušenostjo, drugače na to posumimo vizuelno/gleda na preteklo uporabo ADP.
4. Tlak v ADS in test puščanja. Potrebno ga je izvesti tudi, če zamenjamo katerokoli komponento ADS. Novejši aparati avtomatsko izmerijo puščanje in podajnost ADS, s tem prilagodijo volumen, ki ga dovaja ventilator. V kolikor test izvajamo ročno, je potrebno zapreti Y-konektor in nastaviti dotok svežih plinov na 0 ter popolnoma zapreti APL ventil. Nato s pomočjo »flush« gumba napolnimo ADS do tlaka 30 cm H₂O. V kolikor je sistem sposoben ohraniti konstantni tlak vsaj 10s, potem ADS tesni. Najpogostejše mesto puščanja je nepravilno nameščena posoda za CO₂ absorber. Po odprtju APL ventila, mora tlak hitro pasti na 0, sicer je APL ventil verjetno okvarjen.
5. Preverjanje pravilnega pretoka plinov skozi ADS med inspirirjem in ekspirirjem, predvsem je potrebno preveriti delovanje enosmernih zaklopk. Na Y-konekt se priključi testna pljuča ali še en balon in vizualno preveri tako mehanska kot ročna ventilacija.
6. Preverjanje nastavitve ventilatorja: Monitor deluje? Kapnogram priklopljen? SpO₂ izmerjena? Pretočni merilnik in ventilator pravilno nastavljen? Gumb manualno/ventilator nastavljen na manualno? Ustrezno napolnjen hlapilnik?

Ob koncu testa je potrebno rezultate testa zabeležiti na seznam preverjanja (preizkusni listi oz. »check-liste«).

Najnovejše tehnologije

Eden najpomembnejših napredkov v razvoju ADP je zmožnost natančnega dovajanja zelo nizkih dihalnih volumnov (20 ml), zato polodprti sistemi za ventilacijo dojenčkov oz. novorojenčkov niso več potrebni. To je bilo omogočeno z avtomatskim merjenjem podajnosti in puščanja ADS s posledično kompenzacijo, ki jo ventilator izvede avtomatsko, z uporabo batnih ventilatorjev in odklapljanjem dovajanja svežih plinov med vdihom.

Anestezija zaprtega kroga: gre za popolnoma avtomatiziran sistem, kjer anesteziolog nastavi tarčno koncentracijo hlapnega anestetika in kisika, aparat pa preračuna ustrezen in učinkovit način dovajanja plinov (porabo plinov zniža na minimalno). Sistem ves čas preverja in prilagaja vrednosti dotoka svežih plinov in koncentracijo anestetika.

TIVA: novejši aparati imajo vgrajene infuzijske črpalke povezane z računalniškim programom, ki avtomatsko nastavlja odmerke zdravil.

Avtomatski testi ADP: večina novejših aparatov izvede samodejni test, zazna napake in jih javi.

Monitorska postaja: večina monitorjev modernih ADP ima fleksibilne nastavitve zaslona, ki omogočajo prilagajanje prikaza uporabniku, monitorji pa omogočajo merjenje hemodinamike, respiracije, ventilacije, temperature, globine anestezije in mišične relaksacije. Številni monitorji se lahko povežejo z bolnišničnimi sistemi (radiologijo, laboratorijem, lekarno...).

Odvisnost od električne napetosti: ves čas je prikazan status baterije. V primeru izpada napetosti so vsi aparati zmožni dovajati kisik preko ločenega merilca pretoka in omogočajo ročno/spontano ventilacijo z nastavljanjem APL ventila. Aparati z elektronskim hlapilnikom ob izpadu elektrike ne dovajajo hlapnega anestetika.

Kaj še ostane za prihodnost? Napredek bo prinesel še bolj predidljivo, natančno, varno in ekonomsko dostavo dihalnih plinov. Na vidiku je tudi rutinska integracija aparata v bolnišnični informacijski sistem.

Čeprav so anestezijske delovne postaje vse bolj napredne, se mora anesteziolog ves čas zavedati njihovih omejitev in tveganj, vključno s človeškimi dejavniki, ki omejujejo njihovo optimalno uporabo.

Zaključki

Namesto zaključkov:

- Ob težavah s predihavanjem in/ali oksigenacijo pacienta brez poznanega vzroka takoj preklopi na ventilacijo s pomočjo Ambu-ja. Najprej ventiliramo in oksigeniramo, nato odkrivamo napake!
- V izogib težavam je potrebno dobro poznavanje anestezijske delovne postaje in anestezijskega dihalnega sistema.
- Vso opremo je potrebno redno preverjati in to zabeležiti na varnostne sezname.
- Vedno je potrebno imeti pripravljen rezervni načrt (Ambu).

Literatura:

1. Miller RD ed. Miller's Anesthesia, 8th Edition. San Diego: Churchill Livingstone, 2015.
2. Manohin A. Anestezijski aparat in hlapilnik. In: Paver-Eržen V, ed. Kontinuirano podiplomsko izobraževanje iz anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine – 14. tečaj F.E.E.A. Ljubljana: Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok, 2006:45–66.
3. Aitkenhead AR, Smith G eds. Smith & Aitkenhead's Textbook of Anaesthesia. 6th Edition. London: Churchill Livingstone, 2013.
4. Glenski TA, Diehl C, Clopton RG, Friesen RH. Breathing circuit compliance and accuracy of displayed tidal volume during pressure-controlled ventilation of infants: A quality improvement project. Paediatr Anaesth 2017;27(9):935-941.
5. Caplan RA, Vistica MF, Posner KL, Cheney FW. Adverse anesthetic outcomes arising from gas delivery equipment: A closed claims analysis. Anesthesiology. 1997;87:741–8.
6. Fasting S, Gisvold SE. Equipment problems during anaesthesia – Are they a quality problem? Br J Anaesth. 2002;89:825–31.
7. Cassidy CJ, Smith A, Arnot-Smith J. Critical incident reports concerning anaesthetic equipment: Analysis of the UK National Reporting and Learning System (NRLS) data from 2006-2008*. Anaesthesia. 2011;66:879–88.
8. Patil VP, Shetmahajan MG, Divatia JV. The modern integrated anaesthesia workstation. Indian J Anaesth 2013;57(5):446-54.
9. Goneppanavar U, Prabhu M. Anaesthesia machine: checklist, hazards, scavenging. Indian J Anaesth 2013;57(5):533-40.

PRIPRAVA BOLNIKA NA DIAGNOSTIČNI ALI OPERATIVNI POSEG V ANESTEZIJI

Maja Šoštarič

Uvod

Število bolnikov, ki potrebuje operativno zdravljenje se tako v svetu kot tudi v Sloveniji povečuje iz leta v leto. Poleg tega se spreminja starostna struktura operirancev, ki so starejši in zato je tveganje za perioperativne zaplete veliko. Pogosteje kot pred leti, se izvajajo diagnostični in interventni posegi v splošni anesteziji ali sedaciji in tudi za te posege morajo biti bolniki optimalno pripravljani.

Pri bolnikih so v perioperativnem obdobju najpogostejši zapleti s strani srčnožilnega sistema, dihal in osrednjega živčevja. Z ustrezno predoperativno pripravo bolnika in ustrezno anestezijsko tehniko lahko zmanjšamo pooperativne zaplete. Pri predoperativni pripravi je potrebno dobro sodelovanje družinskega zdravnika, kardiologa, pulmologa, anesteziologa in kirurga.

Na tveganje za pooperativne zaplete vpliva veliko dejavnikov: vrsta in nujnost operativnega posega, bolnikovo zdravstveno stanje in spremljajoče bolezni.

Predoperativna ocena tveganja za med in pooperativne srčne zaplete

Zapleti s strani srca so glavni vzrok obolevnosti in smrtnosti po nesrčnih operacijah. Sem sodijo miokardni infarkt, srčni zastoj, srčno popuščanje, nestabilna angina pectoris, motnje srčnega ritma in drugi. Umrljivost zaradi srčnega vzroka po velikih nesrčnih operacijah je 0,5 – 1,5%, srčnih zapletov v celoti pa 2-3,5%. Smrtnost po perioperativnem miokardnem infarktu je 40%. Populacija starostnikov s številnimi spremljajočimi boleznimi se hitro povečuje. Pojavnost bolezni obtočil se povečuje s starostjo. Starejši bolniki potrebujejo kirurški poseg štirikrat pogosteje kot ostalo prebivalstvo. Ocenjujejo, da se bo število bolnikov, ki bodo potrebovali kirurški poseg, do leta 2020 povečalo za 25 % in v istem času se bo število starejših povečalo za več kot 50 %.

Splošna in specifična ocena bolnika z obolenjem srca

V sklopu predoperativne priprave bolnika poskušamo:

- Oceniti trenutno stopnjo izraženosti njegove srčne bolezni.
- Oceniti tveganje za perioperativne zaplete s strani srca ob predvidenem operativnem posegu.
- Predvideti ukrepe, ki jih bomo izvedli v primeru poslabšanja srčne bolezni.

Eden izmed ciljev v predoperativni oceni je identifikacija bolnikov, pri katerih je nevarnost zapletov velika. Priporoča se stopenjsko odločanje, ki vodi v končno oceno sposobnosti srčnega bolnika za operacijo. Ta je odvisna od:

- stopnje izraženosti srčne bolezni
 - fizične sposobnosti bolnika
 - vrste načrtovane operacije.
1. Prvi korak je ocena **nujnosti predvidene operacije**. Pri nujnih operacijah se za dodatna testiranja ne odločimo zaradi pomanjkanja časa.
 2. Naslednji korak je iskanje **nestabilnih srčnih stanj**: nestabilna angina pectoris, akutno srčno popuščanje, hujše motnje srčnega ritma, simptomatske okvare zaklopk, nedavni infarkt srčne mišice (do 30 dni) in akutna ishemija srčne mišice. V primeru navedenih stanj je pred operacijo potrebna takojšnja ocena stanja in ustrezno zdravljenje v sodelovanju s kardiologom.
 3. Tretji korak je **razvrstitev kirurških posegov** glede na tveganje za zaplete s strani srčnožilnega sistema. Razdelimo jih v posege z nizkim tveganjem (<1% tveganje), posege s srednjim tveganjem (1-5% tveganje) in operacije z velikim tveganjem (>5% tveganje). Razvrstitev je razvidna v tabeli 1. V primeru priprave bolnika, ki ima glede na vrsto operacije nizko tveganje za zaplete, dodatne preiskave niso potrebne.

Tabela 1: Ocena kirurškega tveganja

Nizko tveganje < 1%	Srednje tveganje 1-5%	Veliko tveganje > 5%
Površinske operacije	Intraperitonealna	AA
Dojka	TEA ali KAS a. carotis	Periferno žilje
Zob	Periferno žilje-interventno	Dvanajstnik in pankreas
Ginekološka ¹	EV AAA	Resekcija jeter
Urološka ¹	Nevrološka	Požiralnik
Ortopetska ¹	Ortopetska ²	Nadledvičnica
Rekonstrukcijska	Ginekološka ²	Perforiran ulkus prebavil
Ščitnica	Torakalna	Cistektomia
TEA ali KAS a. carotis	Transplantacije ledvic	Pnevmonektomia
	Urološke ²	Transplantacija jeter in pjuč
	Glava vrat	

¹manjše operacije, ²večje operacije; EV - endovaskularno, AAA - anevrizma abdominalne aorte, TEA - trombarektomija, KAS -

4. Četrti korak je ocena **fizične sposobnosti** bolnika. Ta korak je eden najpomembnejših pri predoperativni oceni večine bolnikov. Enota fizične sposobnosti je metabolni ekvivalent (MET). Za posamezne fizične aktivnosti je MET izračunan iz metabolne porabe kisika v mirovanju. Za oceno fizične sposobnosti nam zadostuje že anamnestični podatek o bolnikovih vsakodnevnih aktivnostih. Fizična aktivnost ocenjena z 1 MET predstavlja metabolno porabo kisika v mirovanju pri 40-letnem moškem, ki tehta 70 kg. Hoja po stopnicah v 2. nadstropje ali tek na kratko razdaljo predstavlja fizično aktivnost 4 MET in 10 MET za večje športne aktivnosti. Slaba fizična sposobnost (< 4 MET) je npr. nezmožnost hoje v drugo nadstropje ali teka na kratko razdaljo. Takšni bolniki imajo večje tveganje za pooperativne srčne zaplete. Predoperativno pripravo pri njih načrtujemo z upoštevanjem števila dejavnikov tveganja s strani srca in vrste predvidene operacije. Bolniki z dobro

fizično sposobnostjo (≥ 4 MET) dodatnih predoperativnih preiskav srca ne potrebujejo. Posebno predoperativno kardiološko obravnavo potrebujejo bolniki z zmanjšano fizično sposobnost < 4 MET pred visoko in srednjerizično operacijo, ne pa tudi pred manjšo operacijo.

5. Peti korak je določanje **kliničnih dejavnikov tveganja** za srčne zaplete po operaciji. V želji po zmanjšanju pooperativnih zapletov, optimalni obravnavi bolnika pred operacijo, identifikaciji bolnikov s povečanim tveganjem za srčne zaplete, skrajšanju časa predoperativne priprave ter racionalizaciji predoperativnih preiskav, si strokovnjaki že vrsto let prizadevajo v prakso vpeljati različne indekse ter lestvice tveganja. Od leta 1977 je znan Goldmanov indeks tveganja, leta 1986 je indeks razvil Detsky in od leta 1999 je v uporabi Lee-jev indeks.

Za oceno tveganja za med in pooperativni miokardni infarkt ali srčni zastoj se sedaj veliko uporablja program, ki so ga razvili v ZDA in se imenuje National Surgical Quality Improvement Program (NSQIP). Z uporabo tega programa so ugotovili, da na tveganje vpliva vrsta operativnega posega, fizična sposobnost bolnika, koncentracija kreatinina v krvi (> 130 μmol/l), klasifikacija ameriške zveze anesteziologov ASA (American Society of Anesthesiologists) in starost. NSQIP oceni verjetnost za miokardni infarkt in srčni zastoj za posameznega bolnika. Lee-jev indeks pa dodatno omogoča oceno tudi perioperativnega pljučnega edema in bloka prevajanja impulza v srčni mišici.

Indeksa tveganja po Lee-ju ("Revised Cardiac Risk Index") vključuje 6 dejavnikov, ki so dokazano neodvisni napovedniki pooperativnih zapletov s strani srca (tabela 2); to so: stabilna ishemična bolezen srca, kompenzirano srčno popuščanje, možganskožilna bolezen, sladkorna bolezen na inzulinu, oslabiljeno delovanje ledvic s kreatininom >170 μmol/l in nesrčna operacija z visokim tveganjem.

Tabela 2. Lee-jev indeks tveganja za perioperativni kardialni dogodek

Dejavnik tveganja	Točke
Visoko tvegan operativni poseg	1
Ishemična bolezen srca	1
Srčno popuščanje	1
Možganskožilno obolenje	1
Insulinsko odvisna sladkorna bolezen	1
Ledvična odpoved	1

0 točk.....0.4% tveganje za srčni dogodek

1 točka.....0.9% tveganje za srčni dogodek

2 točki.....7% tveganje za srčni dogodek

Več kot 2 točki.....11% tveganje za srčni dogodek

Uporaba NSQIP in Lee-jevega indeksa je v pomoč anesteziologu in kirurgu pri predoperativni oceni in odločitvi glede kirurškega zdravljenja.

Anesteziologi seveda še vedno uporabljamo ASA lestvico (Tabela 3), ki temelji na oceni splošnega zdravstvenega stanja bolnikov pred operacijo in je sestavljena iz 5-ih razredov. Tveganje za perioperativne zaplete in smrtnost je pri bolnikih v razredih ASA I in II majhno, v višjih razredih pa hitro narašča.

Tabela 3. Klasifikacija kirurških bolnikov (ASA)

Razred 1	Zdrav bolnik brez spremljajočih bolezni
Razred 2	Bolnik z blago in urejenokronično boleznijo brez funkcionalnih posledic na tarčnih organih
Razred 3	Bolnik s kronično boleznijo, ki povzroča okvare tarčnih organov in njihovo blago do zmerno insuficienco
Razred 4	Bolnik s hudo kronično boleznijo, ki ogroža življenje
Razred 5	Moribunden bolnik, za katerega se pričakuje, da bo umrl v 24-ih urah z operacijo ali brez

Predoperativne preiskave

V tem prispevku se bom omejila le na specifične preiskave, ki jih naredimo pri bolnikih s povečanim tveganjem za zaplete s strani srčnožilnega sistema in jih naredimo pred nesrčno operacijo.

Pred načrtovano operacijo, ko od bolnika dobimo izčrpno anamnezo in naredimo klinični status se odločimo za preiskave. Poleg preiskav, ki so bile v Sloveniji določene v sodelovanju med anesteziologi in družinskimi zdravniki leta 2008, se glede na bolnikovo zdravstveno stanje, spremljajoče bolezni in vrsto operativnega posega odločimo še za dodatne preiskave. Vendar se moramo ob tem vprašati ali nam bo izvid dodatno naročenih specifičnih preiskav in diagnostičnih postopkov spremenil načrt operativnega zdravljenja ali anesteziološke tehnike in metode.

Srčna obolenja, ki vplivajo na predoperativno obravnavo bolnika, ki je predviden za nesrčno operacijo so:

- Nestabilni koronarni sindrom: nestabilna angina pektoris ali akutni miokardni infarkt
- Pred kratkim (< 30 dni) preboleli miokardni infarkt
- Akutno srčno popuščanje
- Simptomatska, hemodinamsko pomembna bolezen zaklopk
- Pomembne motnje srčnega ritma

Preiskave pri bolnikih z ishemično srčno boleznijo

Neinvazivne preiskave srca

Neinvazivne preiskave srca nam podajo informacijo o delovanju levega prekata (LP), ishemiji srčne mišice ter delovanju in morfologiji srčnih zaklopk. Čeprav je sedaj teh preiskav že veliko, se najpogosteje odločimo za ultrazvočno preiskavo srca, ki je hitra. Seveda je za diagnostiko ishemije srčne mišice pomemben tudi EKG in koncentracija troponinav serumu. Zavedati se moramo, da sta tako EKG kot koncentracija troponina lahko normalna kljub temu, da ima bolnik

ishemično bolezen srca. Regionalna motnja krčljivosti, ki jo ugotovimo z UZ srca nas opozori na to, da je bolnik že prebolel miokardni infarkt oz., da je prisotna ishemična bolezen srca. Če ugotovimo globalno slabo delovanje LP gre verjetno za srčno popuščanje in moramo iskati še druge znake srčnega popuščanja.

Za ugotavljanje resnosti oz. obsežnosti ishemične bolezni srca se odločimo za obremenitveno testiranje. Običajno je to vožnja sobnega kolesa, če pa je bolnik gibalno manj zmogljiv pa pride v poštev tudi obremenitveno testiranje z medikamenti kot so dobutamin, dipiridamol ali adenozin. Obremenitveno testiranje nam poda za anesteziologa pomembne podatke o fizični zmogljivosti, možnosti povišanja srčne frekvence in morebitni spremembi ST spojnice, ki bi nas opozorila na resnost zoženja venčnih arterij. Dodatne informacije dobimo s preiskavo, ki se je uveljavila v zadnjih letih, to je obremenitvena UZ preiskava srca. Bolniku med obremenitvijo kardiolog naredi UZ preiskavo srca in na ta način dobimo informacijo o delovanju prekatov med obremenitvijo in pojavu ishemije. Obremenitvena UZ preiskava srca ima visoko negativno in nizko pozitivno napovedno vrednost.

Neinvazivno predoperativno testiranje naj bo narejeno pri bolnikih, ki so predvideni za operacijo z velikim in srednjim tveganjem za srčne zaplete in je njihova fizična sposobnost < 4 MET. Zavedati se moramo, da dodatne preiskave lahko povzročijo odlog operativnega posega kar lahko dodatno poslabša zdravstveno stanje bolnika.

Invazivne preiskave srca

Indikacije za kontrastno slikane venčnih arterij (kronarografija) so enake kot pri bolnikih, ki niso predvideni za kirurško zdravljenje in se naredi le redko v predoperativnem obdobju. Predoperativna kronarografija je indicirana pri bolnikih z dokazano ishemijo srčne mišice (EKG, UZ, troponin) in nestabilni angini pectoris, ki so predvideni za nenujno nesrčno operacijo. O kronarografiji razmislimo tudi pri stabilnih bolnikih, brez znakov ishemije srčne mišice, ki so predvideni za nenujno operacijo karotidne arterije.

Pri bolnikih, pri katerih je bila opravljena **balonska angioplastika brez vstavitve žilne opornice**, se nesrčna operacija lahko opravi že 2 tedna po posegu na koronarni arteriji.

Pri bolnikih, ki imajo vstavljene žilne opornice morajo jemati antiagregacijska zdravila. Glede na vrsto žilne opornice morajo imeti dvotirno antiagregacijsko zdravljenje. Jemati morajo Aspirin in običajno še klopidogetrel prvi mesec po posegu, če prejmejo BMS oz. 12 mesecev, če imajo vstavljen DES. Aspirin morajo jemati doživeljsko. Nesrčno neurgentno operacijo naj se po vstavitvi BMS izvede 4. teden ali še bolje 3 mesece po vstavitvi. V primeru DES pa 1 leto po vstavitvi oz. pri novejših že po 6-ih mesecih, ko se lahko ukine klopidogetrel.

Učinek antiagregacijskih zdravil izzveni v 5 -7 dneh po prenehanju jemanja.

Če pri bolnikih, ki imajo vstavljeno opornico, z operacijo ni mogoče čakati do konca obdobja, v katerem je potrebno zdravljenje s kombinacijo klopidogetrela in aspirina, je priporočljiv posvet med interventnim kardiologom, anesteziologom in kirurgom. Na tem posvetu se individualno oceni verjetnost in posledice morebitne tromboze žilne opornice ob predčasni ukinitvi klopidogetrela in verjetnost pomembne perioperativne krvavitve ob neukinitvi. Na podlagi izida posveta se potem operativni poseg opravi bodisi ob neprekinjeni dvojni antitrombotični zaščiti ali 5 do 7 dni po ukinitvi klopidogetrela le ob aspirinu. Če bolniku ukineмо dolgodelujoča antiagregacijska zdravila Aspirin in klopidogetrel je smiselna **premostitev ali »bridging«** z glikoproteinskim blokatorjem trombocitnih receptorjev (npr. eptifibatidom), ki imajo kratek razpolovni čas.

Kirurška revaskularizacija miokarda

Indikacije za preventivno revaskularizacijo miokarda pred nesrčno operacijo so enake kot za nekirurške bolnike. Ni dokazov, da bi revaskularizacija izboljšala preživetje in zmanjšala incidenco perioperativnega miokardnega infarkta niti pri visoko rizičnih operacijah, v kolikor bolniki prejemajo optimalno terapijo z zaviralci receptorjev β . Pred nesrčno operacijo je revaskularizacija smiselna pri bolnikih s stenozo debela leve koronarne arterije, trižilno koronarno boleznijo in oslavljenim delovanjem LP ter bolnikih z dvožilno koronarno boleznijo in proksimalnimi zožitvami koronarnih arterij. Obe metodi – kirurška in perkutana – sta enako učinkoviti.

Perioperativno medikamentozno zdravljenje

Pred operacijo bolnika za nesrčno operacijo je potrebno izvesti določene ukrepe, s katerimi poskušamo znižati tveganje za zaplete. Eden izmed pomembnih ukrepov je optimalno medikamentozno zdravljenje pred operacijo. Zaradi srčnega obolenja in zaradi drugih spremljajočih bolezni, ki dodatno povečajo tveganje za zaplete v perioperativnem obdobju, že pred operacijo jemljejo bolniki vrsto zdravil. Če ima bolnik optimalno urejeno medikamentozno zdravljenje je incidenca pooperativnih srčnih zapletov manjša.

Zaviralci adrenergičnih receptorjev β

Vsak operativni poseg pomeni stres za organizem. Pri operativnem posegu pride ne glede na anesteziološko tehniko vedno do vzdraženja simpatičnega živčnega sistema. To povečano vzdraženje se nadaljuje v pooperativnem obdobju.

Posledica povečanega delovanja simpatičnega živčnega sistema se odraža na vseh organih in organskih sistemih, seveda pa bolnika najbolj ogroža vpliv simpatičnega živčnega sistema na srce in ožilje. V srčni mišici se spremeni razmerje med porabo in preskrbo s kisikom in to vodi do ishemije srčne mišice in do srčnega infarkta. Največje tveganje za perioperativni srčni infarkt je pri operacijah trebušne aorte, perifernih žil, večjih abdominalnih in uroloških operacijah. Uvajanje zdravil iz skupine zaviralcev adrenergičnih receptorjev β bolnikom pred operativnim posegom naj bi zmanjšalo porabo kisika v srčni mišici in tako zmanjšalo tveganje za ishemijo srčne mišice in srčni infarkt v perioperativnem obdobju.

Zaviralci adrenergičnih receptorjev β zmanjšajo hemodinamski odgovor do katerega pride zaradi aktivacije simpatičnega živčnega sistema med anestezijo in operacijo, oslabijo simpatični odgovor na hipoksemijo in hiperkapnijo ter tudi zmanjšujejo kompenzacijske reflekse pri hipovolemiji. Prav tako zmanjšajo porabo kisika v srčni mišici zaradi zmanjšanja srčne frekvence, podaljšanja diastole in zmanjšanja kontraktilnosti srčne mišice. Dokazano je, da se z zmanjšanjem srčne frekvence zmanjša tveganje za nastanek ishemije srčne mišice v perioperativnem obdobju.

Ko se odločamo za uvajanje zaviralcev receptorjev β v perioperativnem obdobju moramo razlikovati bolnike, ki imajo nizko, srednje in visoko tveganje za perioperativne zaplete ter vrsto operativnega posega.

Bolniki, ki pred operativnim posegom že prejemajo zaviralce adrenergičnih receptorjev β , naj z njimi nadaljujejo v perioperativnem obdobju.

Zaviralci adrenergičnih receptorjev β naj se pred operacijo uvedejo bolnikom:

1. ki imajo znano ishemično bolezen srca
2. pri katerih je bil pred operacijo narejena stresna obremenitev in je pokazala ishemijo srčne mišice
3. ki so predvideni za žilne operacije in imajo kronično srčno obolenje

Če želimo doseči želen učinek, se zdravljenje z zaviralci adrenergičnih receptorjev β prične 30 ali vsaj 7 dni pred predvidenim operativnim posegom. Odmerek se titrira dokler srčna frekvenca ne pade na 60-70/min oz. mora biti sistolični krvni tlak nad 100 mmHg.

O uvedbi zaviralcev adrenergičnih receptorjev β pred operacijo moramo razmisliti tudi pri bolnikih:

1. ki so predvideni za srednje velik poseg
2. ki so predvideni za manjši poseg in imajo prisotne dejavnike za pooperativno tveganje s strani srčnožilnega sistema

Uvedba zaviralcev adrenergičnih receptorjev β ni potrebna in je lahko celo škodljiva pri bolnikih, ki:

1. so predvideni za manjši poseg in nimajo dejavnikov tveganja za pooperativno tveganje s strani srčnožilnega sistema
2. pri bolnikih, pri katerih titriranje odmerkov ni mogoče oz. ni mogoč nadzor nad bolniki, ki so pričeli z zdravljenjem
3. pri katerih so prisotne kontraindikacije za zaviralce receptorjev β

Zdravila, ki delujejo na sistem renin-angiotenzin-aldosteron

Indikacije zdravljenja z zdravili, ki vplivajo na renin-angiotenzin-aldosteron (RAA) sistem so se v zadnjih letih razširile. Dokazano je, da delujejo protivnetno, ugodno na žilni endotel in zmanjšajo pogostost ishemije srčne mišice. Vendar pa pri bolnikih, ki jemljejo zdravila iz te skupine obstaja nevarnost, da takoj po uvodu v anestezijo pride do hude hipotenzije, ki je zaradi samega mehanizma delovanja teh zdravil odporna na običajno zdravljenje. Zato je priporočljivo, da se zdravilo iz te skupine ukine 24 ur pred predvideno operacijo v primeru, da jih bolnik prejema zaradi arterijske hipertenzije in če to ne bi bistveno poslabšalo njegovega zdravstvenega stanja. Če bolnik prejema zdravilo zaradi srčnega popuščanja in je njegovo trenutno stanje stabilno, se z zdravljenjem lahko nadaljuje.

Če uvedemo zdravilo iz te skupine, ga je potrebno začeti jemati vsaj 1 teden pred operacijo.

Zaviralci kalcijevih kanalov

Glede na način delovanja in indikacije za predpisovanje zdravil iz te skupine razlikujemo dihidropiridinsko skupino, ki nima vpliva na srčno frekvenco ter verapamil in diltiazem, ki znižujeta srčno frekvenco in bi lahko vplivala na zmanjšanje pooperativnih ishemičnih zapletov srca.

Bolniki, ki se že pred operacijo zdravijo z zdravili iz te skupine naj zdravila jemljejo tudi v perioperativnem obdobju. Zaviralce kalcijevih kanalov lahko uvedemo pred nesrčno operacijo bolnikom, ki imajo povečano tveganje za pooperativne zaplete, obenem pa obstaja kontraindikacija za zdravljenje z zaviralci receptorjev β .

Nitrati

Perioperativna uporaba nitrata lahko povzroči takšno zmanjšanje priliva k srcu, da lahko vodi v hipotenzijo in posledično tahikadijo. Zato uvajanje nitrata v perioperativnem obdobju za preprečitev srčne ishemije ni primerno. Bolniki, ki prejemajo te preparate zaradi angine pectoris naj dobijo zdravila tudi v perioperativnem obdobju in naj z zdravljenjem ne prekinejo.

Diuretiki

Zaradi velikih sprememb v tekočinskem stanju bolnika v perioperativnem obdobju je priporočljivo, da bolniki, ki prejemajo diuretike zaradi arterijske hipertenzije, le-te ne vzamejo na dan operativnega posega. V primeru srčnega popuščanja je priporočljivo, da se zdravljenje z diuretiki nadaljuje tudi v perioperativnem obdobju in ustrezno prilagodi odmerek. Tekočinsko stanje bolnika s srčnim opuščanjem je potrebno po operaciji skrbno nadzorovati in ustrezno ukrepati.

Glede na vrsto diuretika, ki ga bolnik prejema, pride lahko do motenj v elektrolitnem ravnotežju. Hipokalijemija in hipomagnezemija, ki sta posledica uporabe diuretikov, privedeta do motenj srčnega ritma in hemodinamske nestabilnosti. Pred operacijo normaliziramo elektrolitno ravnotežje.

Agonisti receptorjev α_2

Študiji sta pokazali, da je uporaba klonidina in mivazerola pri bolnikih po žilnih operacijah zmanjšala pogostost smrti in srčnih infarktov.

Statini

Tudi s statini lahko zmanjšamo perioperativne srčne zaplete, saj izboljšajo funkcijo endotelija žil, stabilizirajo aterosklerotične plake, zmanjšajo oksidativni stres in delujejo protivnetno. V smernicah priporočajo nadaljevati s statini, če jih bolnik že prejema tudi v perioperativnem obdobju. Na novo naj bi jih uvedli pred operacijami na arterijah, vsaj 2 tedna pred operacijo.

Zdravila, ki vplivajo na strjevanje krvi

Aspirin

Indikacije za jemanje Aspirina pred operacijo morajo biti jasne in zdravljenja ne prekinemo, če bi to povečalo tveganje za ishemijo srčne mišice. To je predvsem pri bolnikih, ki imajo vstavljene žilne opornice.

Če bolniki jemljejo dvotirno antiagregacijsko zdravljenje, je potrebno premisliti kdaj in če lahko ukinemo antiagregacijsko zdravilo.

Funkcija trombocitov se povrne po 5-ih dneh od zadnjega odmerka Aspirina, klopidogrela in tikagrelora ter 7-ih dnevih po zadnjem odmerku prasugrela.

Antikoagulantna zdravila

Varfarin

Varfarin je najbolj razširjeno antikoagulantno zdravilo, ki ga jemljejo bolniki najpogosteje zaradi motnje srčnega ritma in če imajo vstavljene umetne zaklopke. V zadnjih letih so se indikacije za varfarin nekoliko zožile predvsem zaradi novih antikoagulantnih zdravil (NAKZ). Varfarin ukinemo 3-5 dni pred predvideno operacijo. Učinek varfarina kontroliramo z INR in če je $< 1,5$ je nevarnost za pooperativno krvavitev majhna. Kadar je tveganje za tromboembolične zaplete po ukinitvi varfarina veliko, bolnik dobiva standardni heparin (SH) ali nizkomolekularni heparin (NMH). SH ukinemo 4 ure pred predvideno operacijo in zadnji odmerek NMH naj bo 12 ur pred predvideno operacijo.

V primeru nujne operacije učinek varfarina zmanjšamo z vitaminom K in/ali protrombinskim kompleksom.

Nova antikoagulantna zdravila

Dabigatran je neposredni inhibitor trombina, rivaroxaban, apixaban in endoxaban pa so neposredni inhibitorji faktorja Xa. Pred operativnim posegom jih je potrebno ukiniti glede na njihov razpolovni čas (Tabela 4). Običajno nadomestno zdravljenje s SH ali NMH ni potrebno, če je operacija v predvidenem časovnem okviru. Izločanje dabigatrana je odvisno od ledvične funkcije in je potrebno odmerjanje in prenehanje jemanja pred operacijo temu prilagoditi.

Tabela 4. Nova antikoagulantna zdravila

	dabigatran		apiksaban/endoksaban rivarosaban	
	nizko	visoko	nizko	visoko
CrCl oz. GF ≥ 80 ml/min	≥ 24 h	≥ 48 h	≥ 24 h	≥ 48 h
50-80 ml/min	≥ 36 h	≥ 72 h	≥ 24 h	≥ 48 h
30-50 ml/min	≥ 48 h	≥ 96 h	≥ 24 h	≥ 48 h

Pljučne bolezni

Pri bolnikih s pljučnim obolenjem je povečano tveganje za pooperativne zaplete s strani dihal. Incidenca pooperativnih pljučnih zapletov po večjih operacijah, ki niso v prsnem košu, je 20-30%. Zapleti so lahko blagi in tudi hujši, kot je: pljučnica, atelektaze, bronhospazem, hiopksemlija in zahtevajo podaljšano kontrolirano predihavanje.

Dejavniki tveganja, ki povečajo incidenco pljučnih pooperativnih zapletov so: operacija v trebuhu in prsnem košu, operacije daljše od treh ur, nujne operacije, kajenje, starost > 60 let, debelost, kronično motnjo dihanja med spanjem (sleep apnea), kronično pljučno obolenje, vnetje dihal in splošno slabo zdravstveno stanje.

Pomembna je natančna anamneza, da ugotovimo ali so prisotni znaki akutnega poslabšanja pljučne funkcije, ali ima bolnik kronično pljučno obolenje ter klinični pregled. Testov pljučne funkcije ne delamo rutinsko pred operacijo. Naredimo jih le, če diagnoza pljučnega obolenja ni dokazana in posumimo nanjo, ter da ugotovimo uspeh zdravljenja kroničnega pljučnega obolenja.

Kajenje predstavlja pomemben dejavnik, ki poveča tveganje za pooperativne pljučne zaplete. V dihalnih poteh kadilcev nastaja več sekreta, oslABLJENA je funkcija mukociliarnega dela sluznice dihalnih poti, ki so tudi prekomerno vzdražene. Kajenje je potrebno prekiniti vsaj 8 tednov pred operacijo, da se obnovi dihalna sluznica in se bistveno zniža tveganje za pljučne zaplete. Bolniki morajo prenehati kaditi vsaj zadnjih 12 ur pred operacijo. 12ur je potrebno, da izzveni stimulirajoči učinek nikotina na simpatični živčni sistem in s tem neželen učinek na venčne arterije.

Tako **kronično restriktivno kot obstruktivno pljučno obolenje** poveča tveganje za pooperativne zaplete in pred operacijo z zdravili skušamo izboljšati pljučno funkcijo. Pomembno je ugotoviti ali se stanje izboljša po dajanju bronhodilatatorjev. Včasih je potrebno preveriti ali bolnik retinira ogljikov dioksid, kar ugotovimo s plinsko analizo arterijske krvi. Pri bolnikih s KOPB-jem je pogosto opaziti utrujenost dihalnih mišic, splošno izčrpanost in podhranjenost. Pogosto se pljučnemu obolenju pridruži tudi srčno popuščanje.

Bolnik z **astmo** mora redno jemati predpisana zdravila. Zdravljenje je optimalno, če bolnik zmore fizičen napor, je brez slišnih piskov nad pljuči in ima izmerjen t.i. peak flow več kot 80%. Če posumimo, da pljučna funkcija ni optimalna oz., da bolezen ni obvladana bolnika pošljemo k pulmologu. Priporoča se tudi kratkotrajno dajanje kortikosteroidov npr. 60 mg prednizolona. Tudi po operaciji takoj pričnemo z zdravili. Bolnika pošljemo k respiratornemu terapevtu, ki ga nauči dihalnih vaj, izkašljevanja in vaje za krepitev dihalnih mišic.

Bolniki z znaki **akutnega respiratornega infekta** ne smemo operirati, če operacija ni nujna. Povečano tveganje za resne pooperativne pljučne zaplete imajo bolniki s **kronično motnjo v dihanju med spanjem**. Splošna anestezija še poveča tveganje in posebna pozornost je potrebna v dneh po operaciji. Za lajšanje pooperativne bolečine moramo izbrati metode in učinkovine, ki ne vplivajo na dihalni center. Za bolnike s pljučnim obolenjem je še posebno primerna področna anestezija.

Sladkorna bolezen

Pri bolnikih s sladkorno boleznijo so pooperativni zapeti pogostejši predvsem zaradi prizadetosti tarčnih organov, ki imajo zaradi dolgotrajne sladkorne bolezni oslABLJENO delovanje. Dolgoletna sladkorna bolezen prizadene predvsem venčne arterije, kar vodi v ishemično bolezen srca, ledvično delovanje, periferne arterije in zmanjšana odpornost proti okužbam. Zato so perioperativni miokardni infarkt, okužba in možganska kap pri sladkornih boleznih pogostejše. Posebno moramo biti pozorni na znake miokardnega infarkta, saj pri diabetikih bolečina pogosto ni vodilni znak. V predoperativni pripravi moramo iskati predvsem prizadetost tarčnih organov in se pogosto odločimo za dodatne preiskave.

V perioperativnem obdobju moramo skrbeti za natančno uravnavanje koncentracije glukoze v krvi. V primeru hiperglikemije se pojavi dehidracija, upočasnjeno je celjenje ran, oslABLJENO delovanje levkocitov ter poveča se nevarnost za trombembolične dogodke. Bolnikom pred operacijo ukinemo tablete, ki jih jemljejo zaradi sladkorne bolezni. V perioperativnem obdobju je krvni sladkor najbolje uravnavati z insulinom, ki ga dajemo v infuziji skupaj z mešanico

glukoze in kristaloidne raztopine. Splošno pravilo je, da 1IE/h insulina zniža koncentracijo glukoze za 1.5mmol/l pri 70 kg težkem moškem.

V perioperativnem obdobju je prav tako nevarna hipoglikemija do katere običajno pride zaradi dolgo delujočih zdravil ali inzulina, ki jih bolnik zaužije pred operacijo in zaradi teščosti. Zaradi sedativov in analgetikov, ki jih uporabimo v perioperativnem obdobju, je prepoznavna hipoglikemije zahtevna in lahko je tudi zapoznela. Pri diabetikih zaradi neuropatije avtonomnega živčnega sistema ni tipičnih adrenergičnih znakov hipoglikemije. Prvi znaki hipoglikemije so lahko zmedenost, vzdražljivost, glavobol vse do somnolence in druge oblike motenj zavesti.

Anemija

Predoperativna anemija je pogosta in je povezana s slabšim izhodom kirurškega zdravljenja. Če imajo bolniki znižano koncentracijo hemoglobina v krvi za moške < 130 g/l in ženske < 120g/l, je potrebno anemijo opredeliti z dodatnimi preiskavami. Največkrat je vzrok za anemijo pomanjkanje železa ali pa kronično vnetno obolenje. Prav tako moramo izključiti krvavitev v prebavni trakt. Pooperativna anemija lahko povzroči ishemijo srčne mišice in vodi v infarkt.

Zaključek

Ustrezna in skrbna predoperativna priprava je ključnega pomena za dober izhod kirurškega zdravljenja. To je še posebno pomembno pri starejših bolnikih in bolnikih z vrsto spremljajočih boleznih, ki so predvideni za večji operativni poseg. Vključevanje anesteziologa v predoperativno pripravo bolnika je zelo pomembno kot tudi timsko delo in dobro sodelovanje s kirurgom, kardiologom in pulmologom. V predoperativni pripravi se moramo racionalno odločati za dodatne preiskave, da s tem po nepotrebnim ne odložimo operacije kar tudi lahko vodi k poslabšanju zdravstvenega stanja.

Literatura

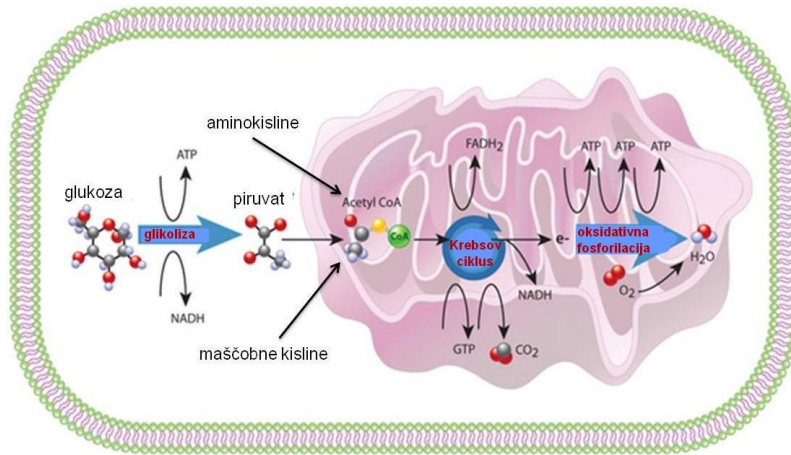
1. Kristensen SD, Knuuti J, Saraste A, Anker S, Bøtker HE, De Hert S, Ford I, Gonzalez Juanatey JR, Gorenek B, Heyndrickx GR, Hoefl A, Huber K, Jung B, Kjeldsen KP, Longrois D, Luescher TF, Pierard L, Pocock S, Price S, Roffi M, Sirnes PA, Uva MS, Voudris V, Funck-Brentano C; Authors/Task Force Members. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur J Anaesthesiol.* 2014 Oct;31(10):517-73.
2. King MS. Preoperative evaluation. *Am Fam Physician.* 2000 Jul 15;62(2):387-96.
3. Maddox TM¹. Preoperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery. *Mt Sinai J Med.* 2005 May;72(3):185-92.
4. Feely MA, Collins CS, Daniels PR, Kebede EB, Jatoi A, Mauck KF. Preoperative testing before noncardiac surgery: guidelines and recommendations. *Am Fam Physician.* 2013 Mar 15;87(6):414-8.
5. Bettelli G. Preoperative evaluation in geriatric surgery: comorbidity, functional status and pharmacological history. *Minerva Anesthesiol.* 2011 Jun;77(6):637-46.
6. Navodila za pripravo bolnika na primarnem nivoju za operativni poseg v anesteziji. *Strokovna priporočila.* ISIS 2001;7:89-90.

PRENOS IN NADZOR PRENOSA KISIKA IN OGLJIKOVEGA DIOKSIDA

Dušan Mekiš

1. Uvod

Končni produkt razgradnje ogljikovih hidratov, beljakovin in maščob s kisikom (O₂) v procesu celičnega metabolizma v mitohondrijih, je ogljikov dioksid (CO₂) (slika 1). Količina porabljenega O₂ in nastalega CO₂ je odvisna od stopnje metabolizma in od prehrane.



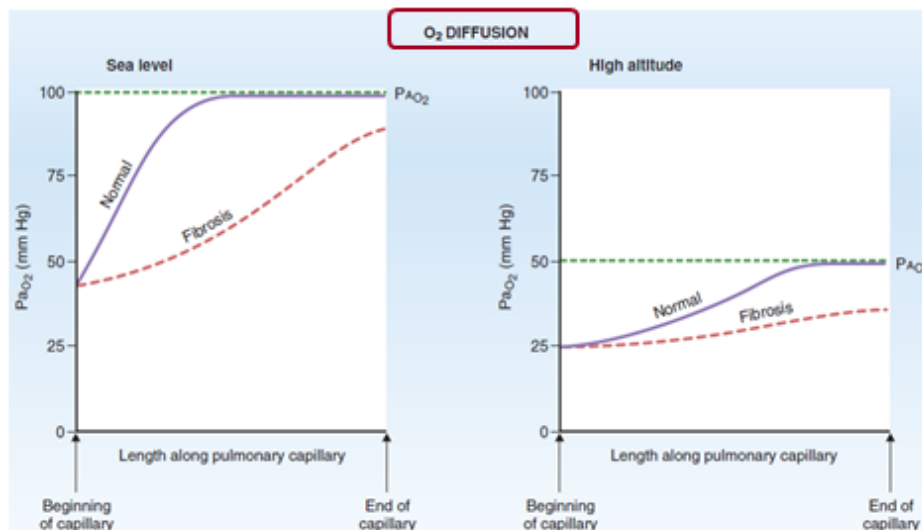
Slika 1. Presnova ogljikovih hidratov, maščobnih kislin in aminokislin v celici

Izmenjava O₂ in CO₂ med celicami in kapilaro ter med alveolom in kapilaro poteka z difuzijo, ki jo opisuje Fickov zakon: hitrost difuzije je premo sorazmerna z difuzijsko površino, topnostjo plina in razliko delnih tlakov ter obratno sorazmerna z dolžino difuzijske poti in kvadratnim korenem molekulske mase plina (slika 2). Difuzijska kapaciteta CO₂ je dvajsetkrat večja od difuzijske kapacitete O₂.

	$J = D \times \frac{S}{x} \times (p_1 - p_2)$ $D \cong \frac{\text{topnost}}{\sqrt{M}}$	<p>J = difuzijski tok p = delni tlak S = difuzijska površina x = difuzijska razdalja D = difuzijski koeficient M = molekulska masa</p>
--	---	---

Slika 2. Fickov zakon opisuje difuzijo plinov

Pri zdravih ljudeh je v mirovanju izmenjava kisika preko alveolo-kapilarne membrane omejena s hitrostjo pretoka krvi, medtem ko pri hudem telesnem naporu, veliki nadmorski višini in bolezenskih spremembah izmenjava kisika postane omejena s hitrostjo difuzije (slika 3).



Slika 3. Izmenjava kisika preko alveolo-kapilarne membrane

2. Prenos kisika in ogljikovega dioksida po krvi

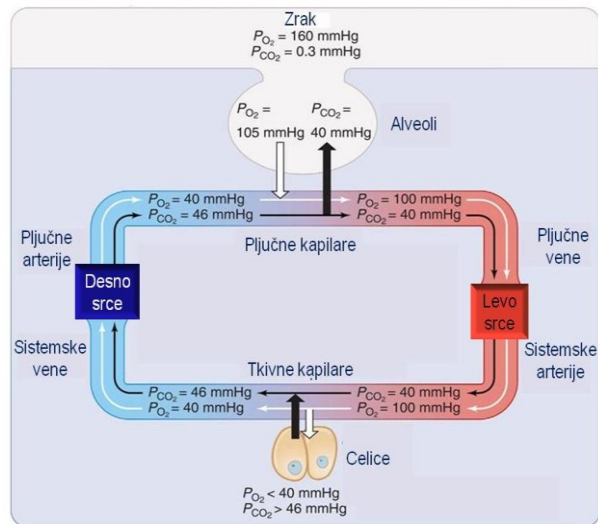
V krvi se O₂ in CO₂ prenašata raztopljeni v plazmi, vezana na hemoglobin in kot bikarbonatni ion:

2.1. Prenos raztopljenega kisika in ogljikovega dioksida v plazmi:

V plazmi se O₂ in CO₂ raztapljata v skladu s Henryjevim zakonom, ki pravi, da je topnost plina v kapljevini sorazmerna s pritiskom plina nad kapljevino:

$p = k_t \times c$	<p>p = parcialni pritisk</p> <p>K_t= topnostni koeficient</p> <p>C = koncentracija v plazmi</p>
--------------------	---

Pri 37°C je v arterijski krvi pri delnem pritisku kisika (p_{aO₂}) 13,33 kPa (100 mmHg) raztopljeno 0,3 ml O₂ na 100 ml arterijske krvi. Ker ima CO₂ 20-krat večji topnostni koeficient kot kisik, je v arterijski krvi pri delnem pritisku CO₂ (p_{aCO₂}) 5,33 kPa (40 mm Hg) raztopljeno 2,5 ml CO₂ na 100 ml arterijske krvi (slika 4).



Slika 4. Prenos raztopljenega kisika (O_2) in ogljikovega dioksida (CO_2) po krvi (1 kPa = 7,5 mm Hg; 1mm Hg = 133 Pa).

V venski krvi je tako pri delnem pritisku O_2 (p_{vO_2}) 5,33 kPa (40 mm Hg) raztopljeno 0,12 ml O_2 na 100 ml venske krvi ter pri delnem tlaku CO_2 (p_{vCO_2}) 6,13 kPa (46 mm Hg) 3 ml CO_2 na 100 ml venske krvi. To pomeni, da se je iz alveolov v tkiva preneslo 0,18 ml raztopljenega O_2 na 100 ml krvi, iz tkiv v alveole pa se je preneslo 0,5 ml raztopljenega CO_2 na 100 ml krvi (slika 4).

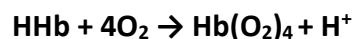
Raztopljeni CO_2 v plazmi vstopa v kemijsko reakcijo z vodo.



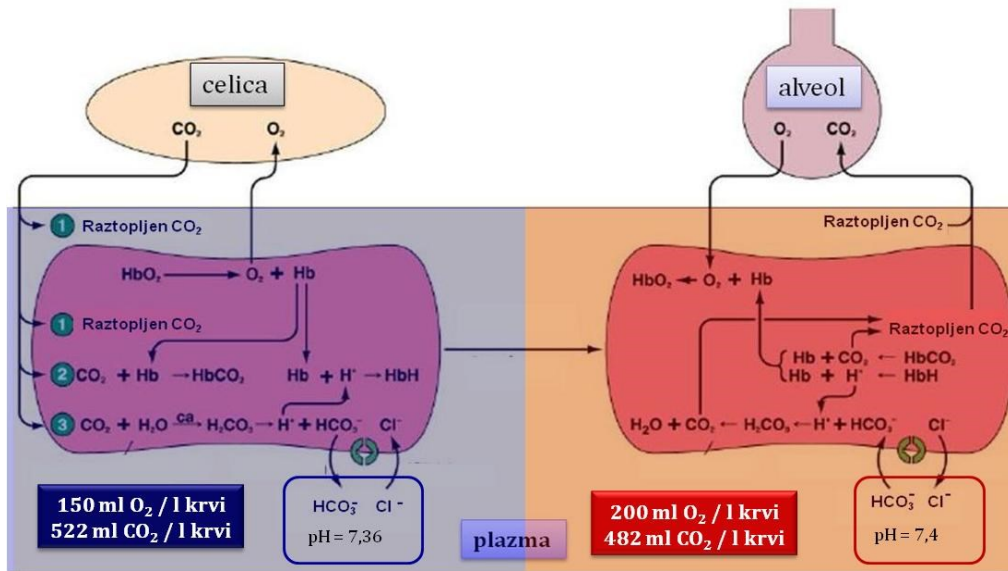
Kemijska reakcija poteka v plazmi počasi, ker je ne katalizira encim karboanhidraza, saj tega encima ni v plazmi in intersticijski tekočini.

2.2. Prenos kisika in ogljikovega dioksida vezana na hemoglobin

Vsak eritrocit vsebuje približno 280 milijonov molekul hemoglobina. Molekula hemoglobina je zgrajena iz dveh α in dveh β globulinov ter štirih hemske skupine z atomom železa v obliki Fe^{2+} . Iz plazme vstopata O_2 in CO_2 v eritrocit. V eritrocitu pljučne kapilare se O_2 reverzibilno poveže s hemoglobinom v oksihemoglobin ($Hb(O_2)_4$) (slika 5).

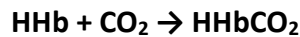


Vsak gram hemoglobina veže 1,34 ml O_2 . Nasičenost hemoglobina s kisikom v venski krvi pljučne arterije je 75%, v arterijski krvi pa 97% in zaradi fiziološkega desno-levega obkroga preko plevralnih, bronhialnih in Thebesijevih ven in alveolov z zmanjšanim ventilacijsko/perfuzijskim razmerjem. Fiziološki desno-levi obkrog znaša 3 – 5 %.



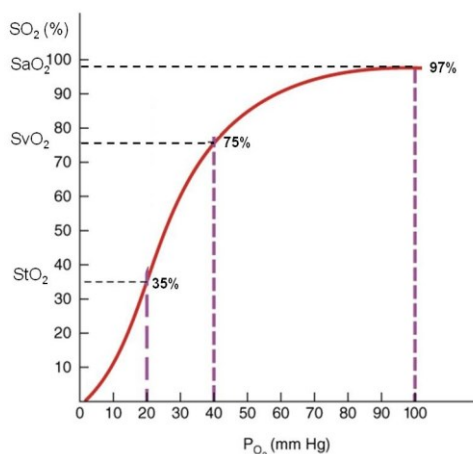
Slika 5. Prenos kisika in ogljikovega dioksida po krvi

CO₂ pa se v eritrocitu tkivne kapilare poveže s hemoglobinom v karbaminohemoglobin (HHbCO₂) (slika 5).

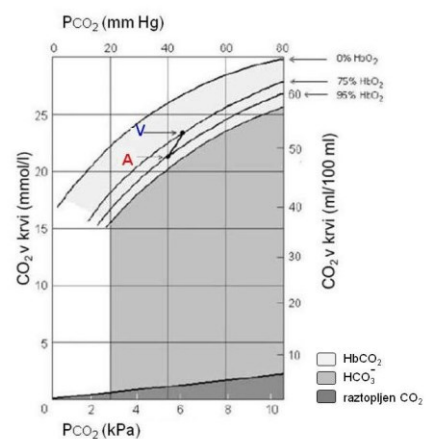


Disociacijska krivulja hemoglobina opisuje količino vezanega O₂ in CO₂ na hemoglobin pri različnih delnih tlakih obeh plinov v krvi (sliki 6A in 6B).

Disociacijska krivulja hemoglobina za vezavo z O₂ ima sigmoidno obliko, saj vezava prve molekule O₂ spremeni obliko molekule hemoglobina, kar poveča afiniteto hemoglobina za vezavo preostalih molekul O₂ (slika 6A).



A. O₂ disociacijska krivulja hemoglobina



B. CO₂ disociacijska krivulja hemoglobina

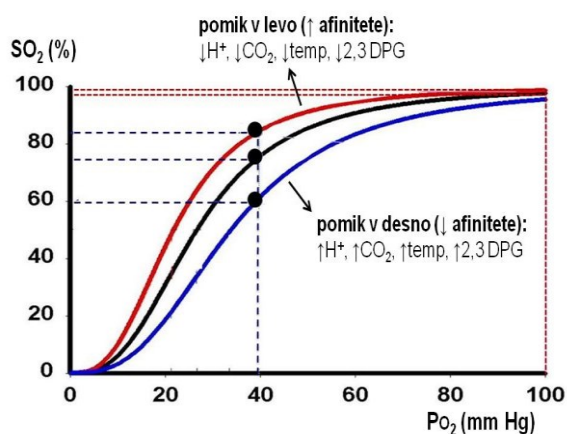
Legenda: 1 mm Hg = 133 Pa

Slika 6. Disociacijska krivulja hemoglobina za kisik (O₂) in ogljikov dioksid (CO₂)

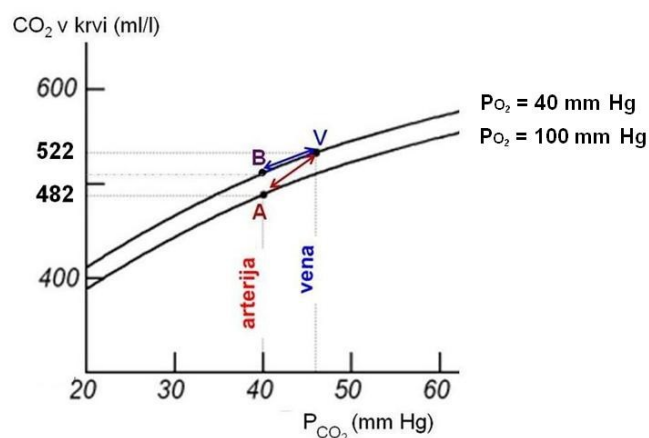
Bohrov učinek opisuje premik disociacijske krivulje hemoglobina za vezavo z O_2 v levo v alveolarni kapilari, zaradi $\downarrow H^+$, $\downarrow pCO_2$, \downarrow telesna temperatura, \downarrow difosfoglicerat, kar poveča afiniteto hemoglobina za vezavo z O_2 in količino vezanega O_2 na hemoglobin pri enakem pAO_2 (slika 7A). V tkivni kapilari se disociacijska krivulja hemoglobina za vezavo z O_2 premakne v desno, zaradi $\uparrow H^+$, $\uparrow pCO_2$, \uparrow telesna temperatura, \uparrow difosfoglicerat, kar zmanjša afiniteto hemoglobina za vezavo z O_2 in poveča sproščanje O_2 v tkivih (slika 7A).

Disociacijska krivulja fetalnega hemoglobina (HbF) novorojenčka je pomaknjena v levo in ima torej fetalni hemoglobin večjo sprejemljivost za vezavo z O_2 .

Prenos CO_2 v krvi povečuje sprememba disociacijske krivulje CO_2 pri različnih vrednostih delnega tlaka CO_2 v krvi (Haldanejev učinek, slika 6B in 7B). Sproščanje kisika iz vezavnega mesta za hemoglobin v tkivnih kapilarah poveča sprejemljivost hemoglobina za vezavo s CO_2 (slika 7B).



A. Bohrov učinek



B. Haldanejev učinek

Legenda: 1 mm Hg = 133 Pa

Slika 7. Spremembe disociacijske krivulje hemoglobina zaradi Bohrovega in Haldanejevega učinka.

V pljučnih kapilarah z vezavo kisika na hemoglobin nastaja oksihemoglobin, ki je močnejša kislina, kar poveča sproščanje CO₂ zato, ker:

- zmanjša sprejemljivost hemoglobina za CO₂, ki ga nadomesti kisik;
- poveča koncentracijo vodikovih ionov, ki reagirajo z bikarbonatnim ionom in tvorijo vodo ter CO₂, ki difundira v alveole preko alveolo-kapilarne membrane.

2.3. Prenos ogljikovega dioksida v obliki bikarbonatnega iona:

Večina CO₂ se v krvi prenaša kot bikarbonatni ion. Iz vode (H₂O) in CO₂ nastaja bikarbonatni ion (HCO₃⁻) v kemijski reakciji, ki jo v eritrocitu katalizira encim karboanhidraza (slika 5).



Iz eritrocita bikarbonatni ion z difuzijo prehaja v plazmo, zaradi vzdrževanja ionskega ravnovesja pa ga v eritrocitu zamenja klorov ionov, kar je v literaturi opisano kot Gibbs – Donanovo ravnovesje (slika 5). V plazmi venske krvi je zato manjša koncentracija klorovih ionov in večja koncentracija bikarbonatnih ionov (slika 5). Povečanje koncentracij ionov v eritrocitu venske krvi poveča ozmotski tlak, zato v eritrocit vstopa voda iz plazme, kar poveča volumen eritrocita in s tem hematokrit venske krvi za 3 %. Vodikovi ioni pa se vežejo na hemoglobin, ki predstavlja najpomembnejši beljakovinski pufer v eritrocitu, kljub temu se pH venske krvi zmanjša iz 7,4 na 7,36 (slika 5).

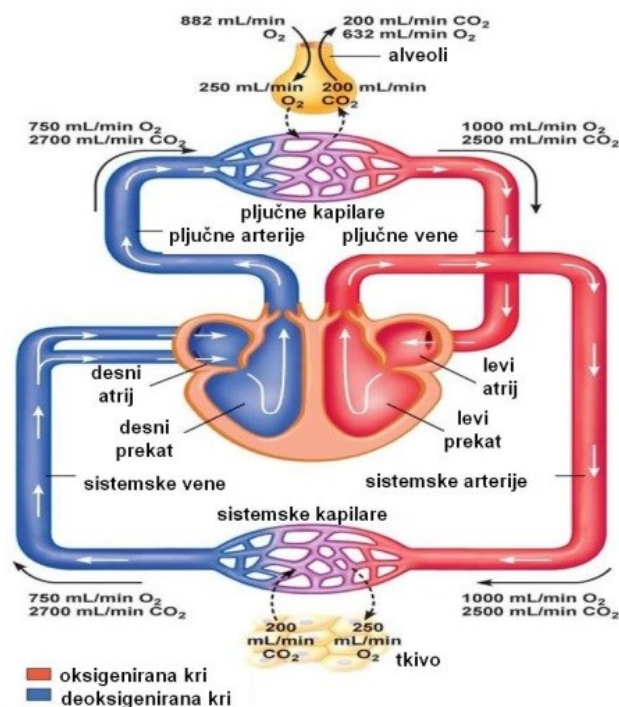
Vsako minuto celice potrebujejo 250 ml O₂, v presnovi pa v njih nastane 200 ml CO₂ (slika 8). Ob srčnem minutnem volumnu 5 l na minuto se v 1 litru krvi vsako minuto v alveole prenese 50 ml O₂, od tega je 97% vezanega na hemoglobin in 3 % raztopljenega v plazmi, in 40 ml CO₂, od tega je 7-10% raztopljenega v plazmi, 23-35% ga je vezanega na hemoglobin in 55-70% se ga prenese v obliki bikarbonatnega iona (slika 8).

Največja vsebnost kisika (CaO₂) v arterijski krvi znaša 20 ml kisika na 100 ml krvi.

$$\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times \alpha \times \text{S}_a\text{O}_2) + (\text{p}_a\text{O}_2 \times \text{K}_{\text{tO}_2})$$

$$\text{CaO}_2 = (15 \text{ gHb}/1 \text{ dl krvi} \times 1,34 \text{ ml O}_2/1\text{g krvi} \times 0,98) + (100 \text{ mm Hg} \times 0,003 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi/mm Hg})$$

$$\text{CaO}_2 = 19,7 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi} + 0,3 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi} = 20 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi}$$

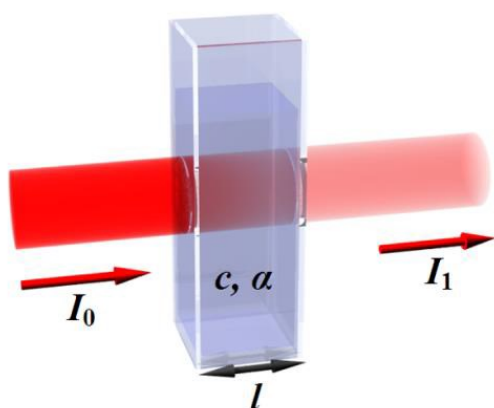


Slika 8. Prenos kisika v tkiva in ogljikovega dioksida v pljuča pri minutnem pretoku srca 5 l/minuto

V venski krvi se prenaša 522 ml CO₂ na liter krvi, medtem ko v arterijski krvi 482 ml na liter krvi, zato vsak liter krvi prenese 40 ml CO₂ v alveole (slika 8). Brez Haldanejevega učinka bi se na disociacijski krivulji pomaknili iz točke V v točko B, s Haldanejevim učinkom se pomaknemo v točko A, kar poveča količino prenesenega CO₂ po krvi za približno 50 % (slika 6B).

3. Oksimetrija

Oksimetrija je merilna tehnika, namenjena merjenju nasičenosti hemoglobina s kisikom. Merilna tehnika temelji na spektrofotometriji, ki jo opisuje Beer-Lambertov zakon (slika 9).



Beer – Lambertov zakon:

$$I_0 / I_1 = e^{-lca}$$

I_0 = vstopni svetlobni tok

I_1 = izstopni svetlobni tok

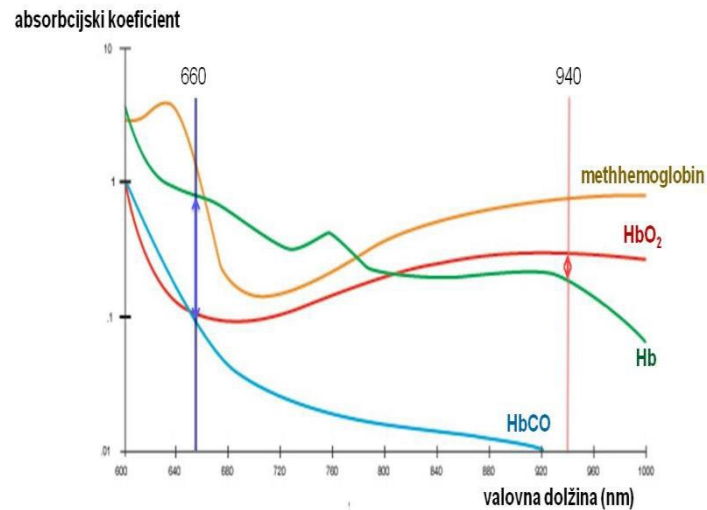
c = koncentracija snovi

l = dolžina

α = absorpcijski koeficient

Slika 9. Beer-Lambertov zakon

Oksimetrija meri absorpcijo svetlobe dveh valovnih dolžin, zato ker deoksihemoglobin (Hb) najbolje absorbira rdečo svetlobo z valovno dolžino 660 nm, medtem ko oksihemoglobin (HbO₂), najbolje absorbira infrardečo svetlobo z valovno dolžino 940 nm (slika 9 in 10) (2). Razmerje med absorpcijo obeh valovnih dolžin odraža nasičenost hemoglobina s kisikom (SO₂). Prva merjenja nasičenosti hemoglobina s kisikom je naredil Matthes leta 1935, vendar se je prvi klinično uporaben pulzni oksimeter Nellcor N-100 pojavil na tržišču šele leta 1982.

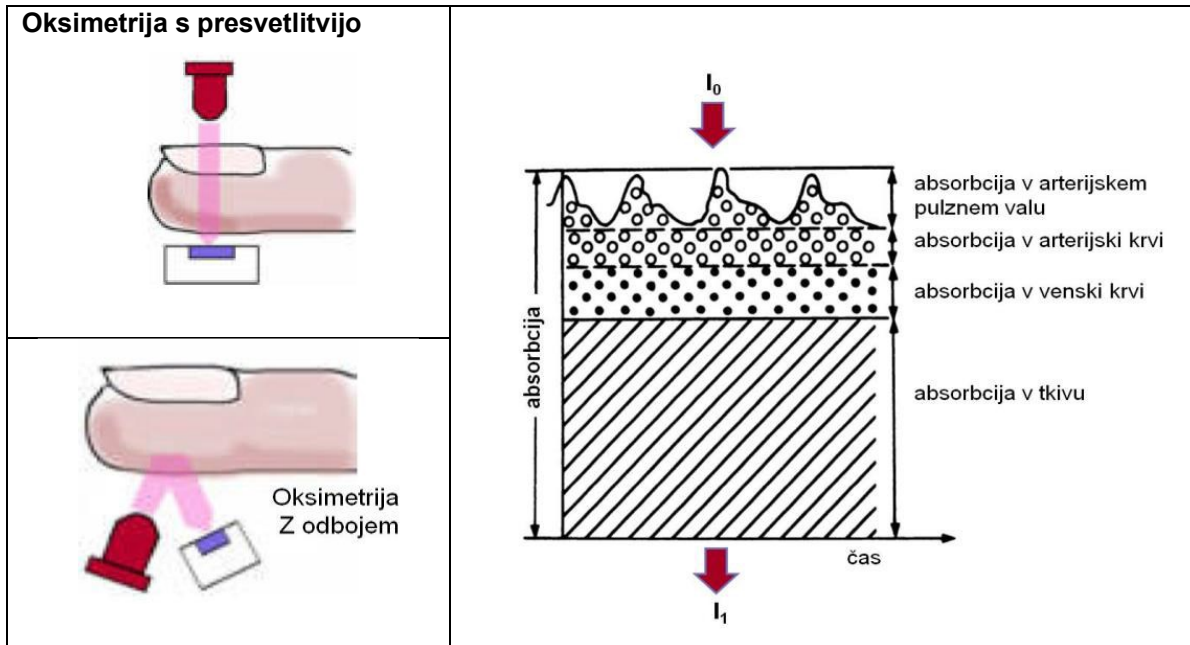


Slika 10. Absorpcijski spekter elektromagnetnega valovanja za različne oblike hemoglobina

Glede na položaj vira svetlobe in detektorja lahko merimo absorpcijo svetlobe s presvetlitvijo ali z odbojem (slika 11A). Na podlagi oksimetrije so bile razvite naslednje merilne tehnike:

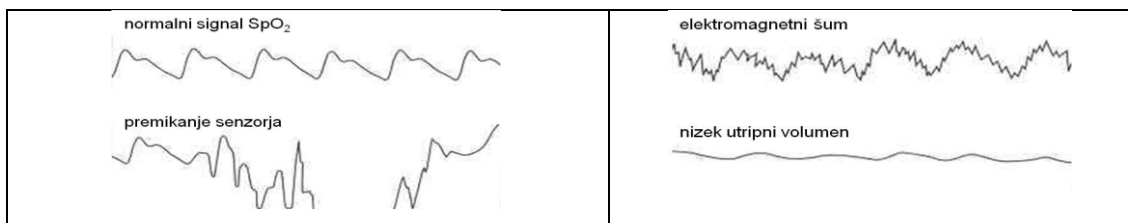
3.1. Pulzna oksimetrija v periferni krvi

S pulzno oksimetrijo izmerimo nasičenost hemoglobina s kisikom v periferni krvi (SpO₂) in frekvenco pulznega vala na podlagi sprememb absorpcije svetlobe povzročene s pulznim valom arterijske krvi (slika 11B). Meritev najpogosteje izvajamo na konici prsta ali na ušesni mečici. Na monitorju je prikazan povprečen rezultat meritev v časovnem obdobju 3-10 s. Krajši čas povprečenja rezultatov meritev pomeni boljšo občutljivost (senzitivnost) zaznavanja sprememb SpO₂, vendar tudi večji vpliv motenj na meritev (3).



Slika 11. Pulzna oksimetrija.

Meritev SpO_2 je v razponu od 70 % do 100 % natančna v primerjavi s SaO_2 s ± 5 % napako, pri nižjih vrednostih SpO_2 pa nenatančnost meritev narašča. Pulzna oksimetrija izmeri lažno nizke vrednosti pri zmanjšanju pulznega vala zaradi znižanja krvnega tlaka, minutnega volumna srca (MVS) in hipotermije. Nenatančnost meritev SpO_2 je lahko posledica drgetanja, pulzacij ven, nepravilne lege tipala, uporabe laka za nohte v črni, modri in zeleni barvi, gljivične bolezni nohtov, uporabe venskega metilenskega modrila in povečane pigmentacije kože. Do izgube signala lahko pride pri hudi hipotenziji, podhladitvi uda, tahiaritmičnih motnjah srčnega ritma, uporabi znotraj-aortne balonske črpalke, legi tipala na brazgotini ali oteklini, uporabi intenzivno obarvanih lakov za nohte, premočno osvetljenem tipalu, povečani pigmentaciji kože, premikanju tipala in pri prisotnosti elektromagnetnih šumov v operacijski dvorani (slika 12).



Slika 12. Oblika signala pulznega oksimetra (4).

Lažno povečane vrednosti izmerimo, kadar je v krvi prisoten karboksihemoglobin. V prisotnosti methemoglobina v krvi je izmerjena vrednost SpO₂ okoli 85 % ne glede na dejansko vrednost. Hiperbilirubinemija in anemija nimata večjega vpliva na natančnost meritve, razen kadar sta izjemno močno izraženi (5, 6).

Pulzni oksimetri višjega cenovnega razreda merijo absorpcijo svetlobe sedmih različnih valovnih dolžin, zato lahko na podlagi matematičnih algoritmov izračunajo tudi delež methemoglobina in karboksihemoglobina ter koncentracijo hemoglobina v krvi (SpHb) (7, 8). Izračunavajo tudi perfuzijski indeks (PI), ki je razmerje med pulzno absorpcijo in statično absorpcijo svetlobe v krvi perifernega tkiva, s katerim se lahko ocenjuje periferna prekrvljenost tkiv. Variabilnost PI izraža indeks variabilnosti pulznega vala (angl. pleth variability index - PVI), s katerim se lahko ocenjuje potreba po tekočinskem nadomeščanju ter optimizira nadomeščanje tekočin, polnitev srca in prenos O₂ v tkiva (9-11).

$$PVI = (PI_{maks} - PI_{min}) / PI_{maks} \times 100 \%$$

Pulzna oksimetrija je obvezni del osnovnega standardnega spremljanja med operativnim posegom in neposredno po njem, med diagnostičnim in terapevtskim postopkom v sedaciji ter pri kritično bolnih bolnikih ali poškodovancih v enotah za intenzivno zdravljenje (12-14). Natančnost meritev izboljšamo s pravilno namestitvijo tipal na ustreznih mestih, s prečno lego tipala in s prečno presvetlitvijo konice prsta, s čemer se lahko izognemo motnjam zaradi polakiranih nohtov, s preprečevanjem podhlajevanja bolnika ter z uporabo sodobnih pulznih oksimetrov, ki imajo vgrajene sodobne algoritme za analizo signala ter merijo absorpcijo svetlobe več valovnih dolžin (3).

3.2 Nasičenost hemoglobina s kisikom v arterijski krvi (SaO₂), venski krvi iz votle vene (SvcO₂) ali pljučne arterije (SvO₂)

Z laboratorijsko analizo vzorca arterijske ali venske krvi dobimo vrednosti SaO₂ in SvO₂ in koncentracijo hemoglobina v krvi (Hb). Iz dobljenih laboratorijskih vrednosti, koeficienta vezave kisika na hemoglobin (α) in topnostnega koeficienta O₂ pri 37 °C (K_tO₂), lahko izračunamo spremenljivke, s katerimi ovrednotimo prenos in porabo kisika:

- vsebnost kisika v arterijski krvi (CaO₂)

$$CaO_2 = (Hb \times \alpha \times SaO_2) + (paO_2 \times K_tO_2)$$

$$CaO_2 = (15 \text{ g Hb/1 dl krvi} \times 1,34 \text{ ml O}_2/1 \text{ g krvi} \times 0,98) + (100 \text{ mm Hg} \times 0,003 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi/mm Hg})$$

$$CaO_2 = 19,7 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi} + 0,3 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi} = 20 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi}$$

- vsebnost kisika v venski krvi (CvO₂)

$$CvO_2 = (Hb \times \alpha \times SvO_2) + (pvO_2 \times K_tO_2)$$

$$CvO_2 = (15 \text{ g Hb/1 dl krvi} \times 1,34 \text{ ml O}_2/1 \text{ g krvi} \times 0,75) + (46 \text{ mm Hg} \times 0,003 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi/mm Hg})$$

$$CvO_2 = 15,1 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi} + 0,14 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi} = 15,2 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml krvi}$$

- prenos kisika (DO_2)

$$DO_2 = MVS \times CaO_2$$

$$DO_2 = 5 \text{ l/min} \times 200 \text{ ml } O_2/1000 \text{ ml krvi} = 1000 \text{ ml/min}$$

- porabo kisika (VO_2)

$$VO_2 = MVS \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$$VO_2 = 5 \text{ l/min} \times 48 \text{ ml } O_2/1000 \text{ ml krvi} = 240 \text{ ml/min}$$

$$VO_2 = MVS \times (Hb \times \alpha \times (SaO_2 - SvO_2))$$

- odvzem kisika (O_2ER)

$$O_2ER = VO_2 / DO_2 = (CaO_2 - CvO_2) / CaO_2 = 0,22 - 0,3$$

$$O_2ER = 0,24$$

Vstavitev fiberoptičnega katetra v votlo veno (lat. vena cava) ali pljučno arterijo omogoča neprekinjeno merjenje $SvcO_2$ in SvO_2 , kar omogoča posredno oceno globalnega DO_2 in VO_2 . Vrednost SvO_2 je 68-77 %, znižanje pod 75 % nakazuje povečani odvzem O_2 , znižanje pod 50 % pomeni, da DO_2 ne zadovoljuje globalnih presnovnih potreb organov, kar vodi v laktoacidozo (15).

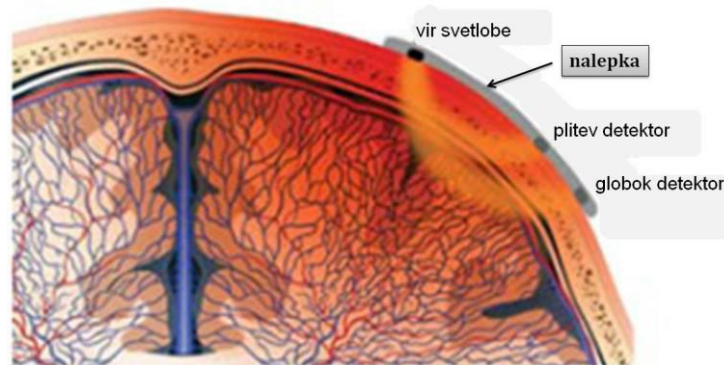
$SvcO_2$ omogoča posredno oceno področnega DO_2 in VO_2 in je približno 3 % nižja od SvO_2 . V stanju šoka pa je $SvcO_2$ za 5-18% večja od SvO_2 , zaradi večje O_2ER iz povirja spodnje votle vene. Tudi med splošno anestezijo je $SvcO_2$ za 7 % večja od SvO_2 zaradi večjega možganskega krvnega pretoka in zmanjšane O_2ER (16). Absolutna vrednost $SvcO_2$ ne more zamenjati merjenja SvO_2 pri globalni oceni DO_2 in VO_2 , vendar se trend in smer sprememb ujemata (17).

3.3 Nasičenost hemoglobina s kisikom v venski krvi notranje jugularne vene ($SjVO_2$)

Meritev temelji na fiberoptični oksimetriji, za kar je potrebno vstaviti fiberoptični kateter v notranjo jugularno veno (lat. vena jugularis interna). $SjVO_2$ je posredna meritev področne možganske oksigenacije. Na normalno vrednost $SjVO_2$ (55-75 %) vplivajo pretok krvi skozi možgane (angl. cerebral blood flow - CBF), vsebnost kisika v arterijski krvi (CaO_2) in presnova možganov ($CMRO_2$). Spremembe $SjVO_2$ slabo korelirajo s SvO_2 , saj pretok krvi skozi možgane predstavlja samo 15 % MVS (18).

3.4 Možganska oksimetrija

NIRS (angl. Near infra-red spectroscopy - NIRS) je merilna tehnika neinvazivnega merjenja področne oksigenacije možganskega tkiva (ScO_2) levega in desnega čelnega režnja. Na levo in desno stran čela se prilepi nalepka, ki ima vir svetlobe in dva detektorja svetlobe (slika 13). ScO_2 oceni možgansko oksigenacijo v globini 3-4 cm pod nalepkama. Normalna vrednost je v območju 60-80 % (19).



Slika 13. Možganska oksimetrija.

4. Kapnografija

Kapnografija je merilna tehnika, ki omogoča neprekinjen neinvaziven nadzor koncentracije CO_2 v dihalni zmesi, s katerim nadziramo bolnikovo presnovo ter delovanje obtočil in dihal, oziroma prenos CO_2 po krvi. Prvi aparat za kapnografijo je leta 1943 izdelal Karl Luft. Z njim je na podlagi infrardeče absorpcijske spektrografije meril koncentracijo ogljikovega dioksida (CO_2), ogljikovega monoksida, metana, etana, etanola, acetona, benzena, dušikovega oksida in dušikovega oksidula (20). Spoznanje o pomembnosti neprekinjenega nadzora CO_2 v dihalni zmesi ter tehnološki razvoj kapnografije, ki je omogočil neprekinjeno meritev CO_2 v dihalni zmesi v kliničnem okolju, sta najprej spodbudila evropske anesteziologe v poznih sedemdesetih letih in nato še ameriške anesteziologe v osemdesetih, da so kapnografijo vključili v standardni osnovni anesteziološki monitoring (12, 21).

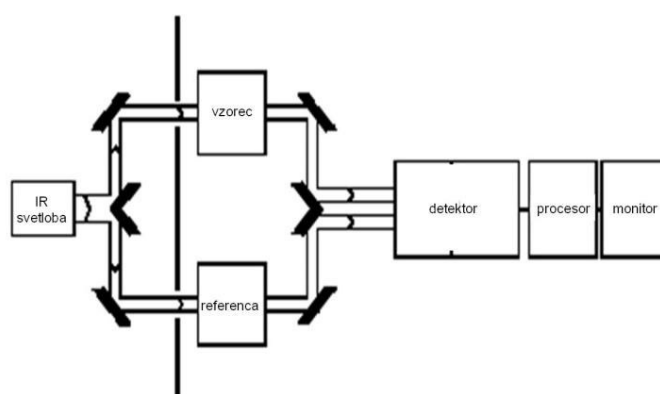
Kapnografske merilne tehnike se med seboj razlikujejo glede na uporabljeno fizikalno metodo merjenja koncentracije CO_2 v dihalni zmesi in glede na način odvzemanja vzorca (22). Izmerjena vrednost CO_2 v dihalni zmesi se izrazi kot delni tlak CO_2 v dihalni zmesi v mm Hg ali kPa (angl. en-tidal CO_2 – Et CO_2).

4.1 Fizikalne metode merjena koncentracije CO₂ v dihalni zmesi

Koncentracijo CO₂ v vzorcu lahko izmerimo s pomočjo merilnih tehnik, ki uporabljajo različne fizikalne metode merjenja. Najpogosteje se pri kliničnem delu uporabljata infrardeča absorpcijska spektroskopija in molekularna korelacijska spektroskopija.

4.1.1. Infrardeča absorpcijska spektroskopija

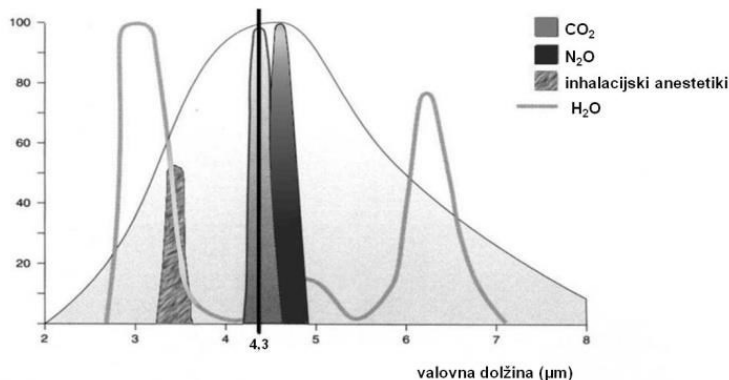
CO₂ absorbira infrardečo svetlobo z valovno dolžino okoli 4,3 μm. Infrardeča absorpcijska spektroskopija uporablja konstantni infrardeči svetlobni tok, ki teče iz izvora preko vzorca, oziroma preko referenčne spojine. Ker je količina absorbirane svetlobe sorazmerna s koncentracijo molekul, ki absorbirajo svetlobo, se iz razlike v absorbirani svetlobi izračuna koncentracija CO₂ v vzorcu, oziroma delni tlak CO₂ (slika 14 in 15). Infrardeča absorpcijska spektroskopija je najbolj razširjena merilna tehnika merjenja koncentracije CO₂ v dihalni zmesi (6). Za umerjanje se uporablja sobni zrak ali pa dihalna zmes v vdihu, vendar je pri slednjem možno napačno umerjanje, če je v dihalnem sistemu iztrošen absorber CO₂.



Slika 14. Shema merjenja koncentracije ogljikovega dioksida s pomočjo infrardeče absorpcijske spektroskopije.

4.1.2 Molekularna korelacijska spektrografija

Za merjenje koncentracije CO₂ uporablja enak fizikalni princip kot infrardeča absorpcijska spektrografija.



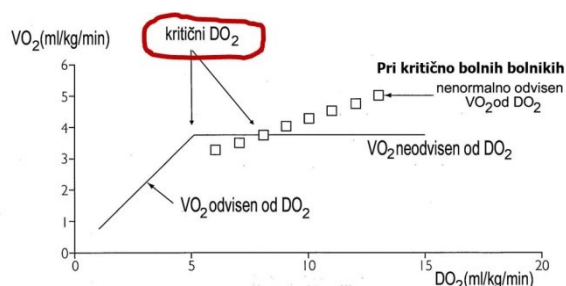
Slika 15. Spektar infrardeče svetlobe, ki jo absorbirajo ogljikov dioksid in anestezijski plini.

Razlikujeta se v viru infrardeče svetlobe, kjer molekulska korelacijska spektrografija uporablja lasersko infrardečo svetlobo z valovno dolžino 4,2 - 4,35 μm, kar ustreza valovni dolžini infrardeče svetlobe, ki jo molekula CO₂ najboljše absorbira (slika 15).

Uporaba tako ozkega spektra infrardeče svetlobe omogoča zmanjšanje potrebnega vzorca za neprekinjeno analizo iz 150 ml/min na 30-50 ml/min (23). Odvzem majhnega toka vzorca dihalnega volumna za merjenje koncentracije CO₂ zmanjša izgubo enkratnega dihalnega volumna in zmanjša onesnaževanje merilnega instrumenta z vlago in kondenzirano vodno paro, kar izboljša natančnost merilne tehnike. Nekateri kapnografi vračajo odvzeti vzorec dihalnega volumna ter s tem preprečujejo izgubo dihalnega volumna, kar je še posebej pomembno pri mehničnem predihavanju novorojenčkov in dojenčkov (24).

4. Prenos in poraba kisika

Nadzor nad globalnim DO_2 in VO_2 in hitro terapevtsko ukrepanje za normalizacijo vrednosti prepreči nastanek tkivne hipoksije, metabolne laktoacidoze in več organske odpovedi pri kritično bolnih in poškodovanih. DO_2 in je potrebno dvigniti nad kritično vrednost, pri kateri VO_2 in s tem celični metabolizem postaneta odvisna od DO_2 (slika 16).

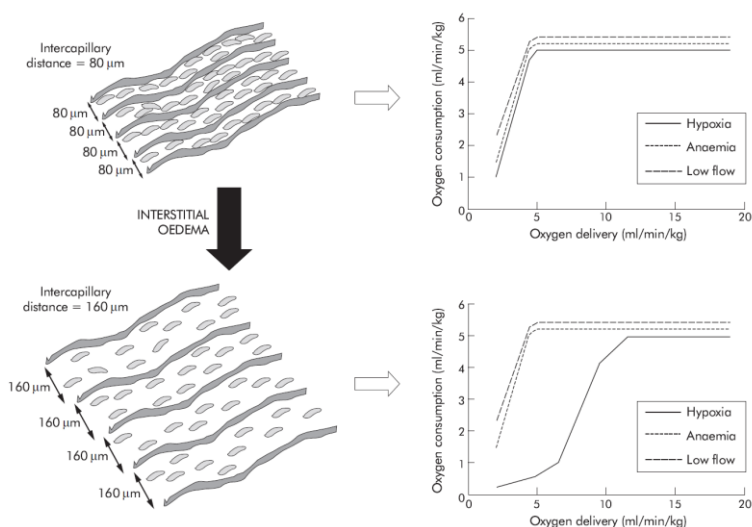


Slika 16. Razmerje med VO_2 in DO_2 in (28).

Globalni DO_2 ni enak regionalnemu DO_2 , ki je odvisen od regionalnega pretoka krvi skozi tkiva in organe ter metabolnih potreb teh tkiv in organov. DO_2 od kapilar do celic je odvisen od:

- DO_2 do kapilar,
- hitrosti difuzije,
- točke delovanja na disociacijski krivulji hemoglobina
- regionalnega celičnega metabolizma

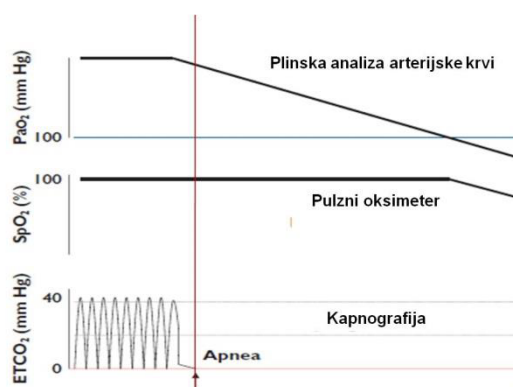
Edem tkiv močno poveča difuzijsko razdaljo in zmanjša hitrost difuzije kisika, kar zmanjša regionalni DO_2 , še posebej v klinični situaciji globalne hipoksije (29, slika 17).



Slika 17. Vpliv tkivnega edema na regionalni transport kisika (29).

5. Zaključek

Neprekinjeno spremljanje in razumevanje prenosa O_2 in CO_2 v tkiva omogoča hitro prepoznavanje bolezenskih stanj in med operativnih zapletov ter spremljanje učinkov zdravljenja. Nadzor prenosa O_2 in CO_2 omogoča hitro terapevtsko ukrepanje za čim hitrejšo normalizacijo prenosa O_2 in CO_2 po krvi. Pri nadzoru dihanja in umetnega predihavanja ima kapnografija v primerjavi s pulzno oksimetrijo pomembno časovno prednost, saj spremembe zaznava že v časovnem okviru enega dihalnega cikla (slika 17) (25).



Slika 17. Prednost kapnografije pri nadzoru dihanja in umetnega predihavanja

6. Literatura

1. Berne RM, Lev y MN. Physiology, 4th ed. St. Louis: Mosby, 1998: 561-71.
2. Szocik Jf, Barker SJ, Tremper KK. Fundamental principles of monitoring instrumentation In: Miller RD ed. Anesthesia Vol I. 6th ed. New York: Churchill Livingstone, 2005: 1191-225.
3. Giuliano KK, Higgins TL. New-generation pulse oximetry in the care of critically ill patients. Am J Crit Care 2005; 14: 26-37.
4. Jubran A. Pulse oximetry. In: Tobin MJ ed. Principles and practice of intensive care monitoring. New York: McGraw Hill, 1998: 261-87.
5. Jubran A. Pulse oximetry. Intens Care Med 2004; 30: 2017-20.
6. Moon RE, Camporesi EM. Respiratory monitoring In: Miller RD ed. Anesthesia Vol I. 6th ed. New York: Churchill Livingstone, 2005: 1437 -81.
7. Barker SJ, Badal JJ. The measurement of dyshemoglobins and total hemoglobin by pulse oximetry. Curr Opin Anaesthesiol 2008; 21: 805-10.
8. Feiner JR, Bickler PE. Improved accuracy of methemoglobin detection by pulse CO-oximetry during hypoxia. Anesth Analg 2010; 111: 1160-7.
9. Cannesson M, Desebbe O, Rosamel P et al. Pleth variability index to monitor the respiratory variations in the pulse oximeter plethysmographic waveform amplitude and predict fluid responsiveness in the operating theatre. Br J Anaesth 2008; 101: 200-6.
10. Hager H, Reddy D, Kurz A. Perfusion index-a valuable tool to assess changes in peripheral perfusion caused by sevoflurane? Anesthesiology 2003; 99: A593.

11. McMorrow RC, Mythen MG. Pulse oximetry. *Curr Opin Crit Care* 2006; 12: 269-71.
12. American Society of Anesthesiologists. Standards for basic anesthetic monitoring. Park Ridge, IL; 2005 Oct 25.
<http://www.asahq.org/publicationsAndServices/standards/02.pdf>. Accessed Januar 2012.
13. American Society of Anesthesiologists. Standards for postanesthesia care. Park Ridge, IL; 2004 Oct 27. [http://www.asahq.org/publicationsAnd Services/standards/36.pdf](http://www.asahq.org/publicationsAndServices/standards/36.pdf). Accessed Januar 2012.
14. Society of Critical Care Medicine, Technology Assessment Task Force. A model for technology assessment applied to pulse oximetry. *Crit Care Med* 1993; 21: 615-24.
15. Vincent JL, De Backer D. Oxygen transport the oxygen delivery controversy. *Intensive Care Med* 2004; 30: 1990-6.
16. Žaja J. Venous oximetry. *Signa Vitae* 2007; 2: 6 – 10.
17. Dueck M, Klimek M, Appenrodt S, Weigand C, Boerner U. Trends but not individual values of central venous oxygen saturation agree with mixed venous oxygen saturation during varying hemodynamic conditions. *Anesthesiology* 2005; 103:249-57.
18. Schell RM, Cole DJ. Cerebral monitoring: jugular venous oximetry. *Anesth Analg* 2000; 90: 559-66.
19. Orihashi K, Sueda T, Okada K, Imai K. Near-infrared spectroscopy for monitoring cerebral ischemia during selective cerebral perfusion. *Eur J Cardiothor Surg* 2004; 26: 907-11.
20. Luft K. Über eine neue Methode der registrierenden Gasanalyse mit Hilfe der Absorption ultraroter Strahlen ohne spektrale Zerlegung. *Z Techn Phys* 1943; 24: 97-104.
21. Saidman LJ, Smith NT. *Monitoring in anesthesia*, ed 3. Woburn, UK, Butterworth-Heinemann, 1993.
22. Bhavani Shankar K, Moseley H, Kumar AY, Delph Y. Capnometry and anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992; 39: 517-32.
23. Colman Y, Krauss B. Microstream capnography technology: a new approach to an old problem. *J Clin Monit* 1999; 15: 403-9.
24. Hagerty JJ, Kleinman ME, Zurakowski D, Lyons AC, Krauss B. Accuracy of a new low-flow sidestream capnography technology in newborns: a pilot study. *J Perinatol* 2002; 22: 219-25.
25. Poirier MP, Gonzalez Del Rey JA, McAneney CM et al. Utility of monitoring capnography, pulse oximetry and vital signs in detection of airway mishaps: a hyperoxemic animal model. *Am J Emerg Med* 1998; 16: 350-2.
26. Hall JE, Guyton AC. *Textbook of medical physiology*. 12th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2011.
27. Costanzo LS. *Physiology*. 5th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2014.
28. Treacher DF, Leach RM. Oxygen transport-1. Basic principles. *BMJ*. 1998; 317: 1302-6.
29. Leach RM, Treacher DF. Oxygen transport-2. Tissue hypoxia. *BMJ*. 1998; 317: 1370-3.
30. J-OC Dunn et al. Physiology of oxygen transport, *BJA Education*. 2016; 16, 341–348. Dosegljivo na: <https://doi.org/10.1093/bjaed/mkw012>.
31. Leiner T, Tánčzos K, Molnar Z. Avoiding perioperative oxygen debt. *J Emerg Crit Care Med* 2020; 4: 6.

NADZOROVANJE TRANSPORTA OGLJIKOVEGA DIOKSIDA

Vesna Novak Jankovič

UVOD

Kapnografija je postala rutinski del anesteziološke prakse v 70. letih v Evropi in v 80. letih v ZDA. Royal College of Anaesthetists and Difficult Airway Society so v letih 2008-2009 izvedli National Audit Project 4 (NAP 4) o zapletih pri obravnavi dihalne poti. Študija je pokazala alarmantne izsledke, ki so bili povezani s smrtjo bolnikov in bi se lahko preprečili z uporabo kapnografije (Tabela 1)(1).

Tabela 1. National Audit project 4.

	Anestezija	Intenzivna terapija	Urgentni oddelek
Smrtni izid	16	18	4
Smrtni izid + možganska okvara	18	22	1
Pojavnost smrtnosti	1:180.000	1:2.700	1:5.000

European Board of Anaesthesiology (EBA) je leta 2011 izdal priporočila za uporabo kapnografije v operacijskih sobah, v enotah intenzivne terapije, v enotah za pooperativno okrevanje in nadiagnostično-terapevtskih deloviščih (2,3).

Fiziologija

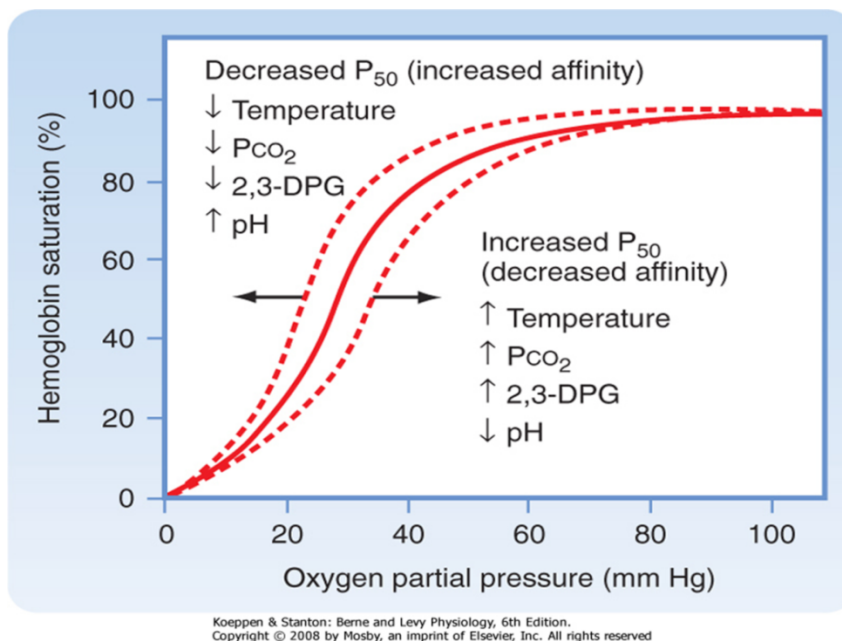
CO₂ je končni produkt metabolizma. V celicah se glukoza razgrajuje z glikolizo in Krebsovim ciklusom in končni produkti so CO₂, H₂O in energija ($C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + \text{energija}$).

CO₂ se v krvi nahaja v :

1. raztopljeni obliki, izražen kot parcialni tlak (pCO₂),
2. v karbamino spojinah (vezan na hemoglobin in beljakovine plazme) in kot
3. bikarbonatni pufer ($CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$).

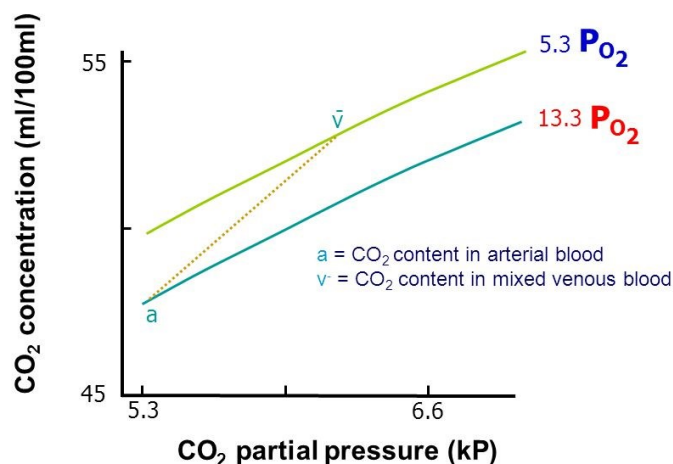
Porast telesne temperature za 1 °C poviša produkcijo CO₂ za 12%. Prav tako vnos velikih količin ogljikovih hidratov zveča produkcijo CO₂ zaradi porasta respiratornega količnika (RQ = izločen CO₂ / porabljen O₂). Normalne vrednosti CO₂ so v arterijski krvi od 4,9-5,9 kPa (od 35-45 mm Hg). Porast pCO₂ stimulira respiratorni center na dihanje. Velik porast pCO₂ povzroči motnje zavesti, komo in smrt. Vzroki za hiperkapnijo so npr. nezadostna ventilacija, nezadostna perfuzija, ventilacijsko perfuzijske motnje v pljučih, zvečan delež povratnega dihanja, zvišan metabolizem, nepravilno delovanje anestezijskih aparatov in ventilatorjev... Ker je CO₂ dvajsetkrat bolj topen v lipidnih membranah kot O₂ difuzijske motnje niso ovira za izločanje

CO₂. Zmanjšane vrednosti CO₂ so rezultat zvečane ventilacije (hiperventilacija zaradi psihičnih vzrokov, nastavitve ventilatorja...). Hiperventilacija povzroča vazokonstrikcijo, zmanjšan pretok krvi skozi možgane, hipokalcemijo in tetanične spazme. PCO₂ vpliva tudi na vezavo kisika na hemoglobin. Disociacijska krivulja hemoglobina se premika v desno pri visokem pCO₂, pri visoki temperaturi, nizkem pH in visokih vrednostih 2,3 DPG. Pri premiku v desno se zmanjša afiniteta hemoglobina za kisik. Pri nizkih vrednostih pCO₂ pa se disociacijska krivulja hemoglobina premika v levo, s tem se zveča afiniteta hemoglobina za vezavo kisika (Bohrov učinek). Obratno Haldanejev učinek opisuje kako koncentracija kisika spreminja afiniteto hemoglobina za CO₂. Visoka koncentracija kisika pospešuje sproščanje CO₂ iz hemoglobina in obratno hemoglobin z nizko koncentracijo kisika pospešuje vezanje CO₂ na hemoglobin (slika 1, 2).



Slika 1. Disociacijska krivulja hemoglobina

CO₂ Dissociation Curve



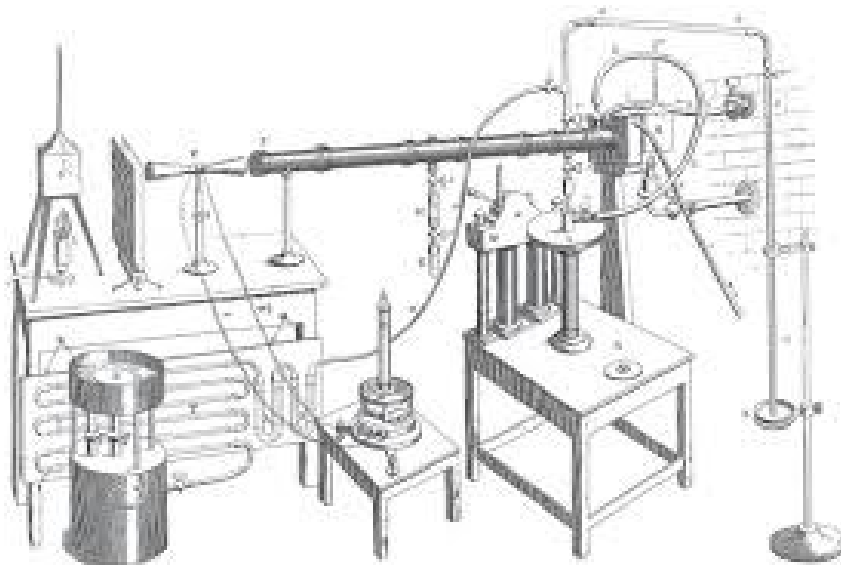
Slika 2. Disociacijska krivulja CO₂

Hipokapnija povzroča vazokonstrikcijo cerebralnega ožilja, zmanjšuje pretok krvi skozi možgane in zmanjša oddajanje kisika možganom. Zaradi tega je izjemno pomembno, da med anestezijo, analgosedacijo in v enotah intenzivne terapije vzdržujemo CO₂ v normalnih mejah.

Kapnografija

Izraz kapnografija se nanaša na neinvazivno merjenje parcialnega tlaka ogljikovega dioksida v izdihanem zraku. Kapnografija nam daje informacije o metaboličnem stanju bolnika, o produkciji CO₂, pljučni perfuziji, alveolarni ventilaciji, mehanski ventilaciji in o odstranjevanju CO₂ iz anestzijskega dihalnega sistema in ventilatorja.

Kapnograf je instrument, ki neprekinjeno beleži koncentracijo CO₂ v bolnikovi dihalni zmesi. V praksi se najpogosteje uporabljajo analizatorji, ki delujejo na principu infrardeče svetlobe. Molekula CO₂ absorbira infrardeče žarke in z merjenjem deleža absorbiranih infrardečih žarkov v plinski mešanici se lahko določi pCO₂. Prvi infrardeči analizator je uporabil John Tyndall leta 1864 (Slika 3).

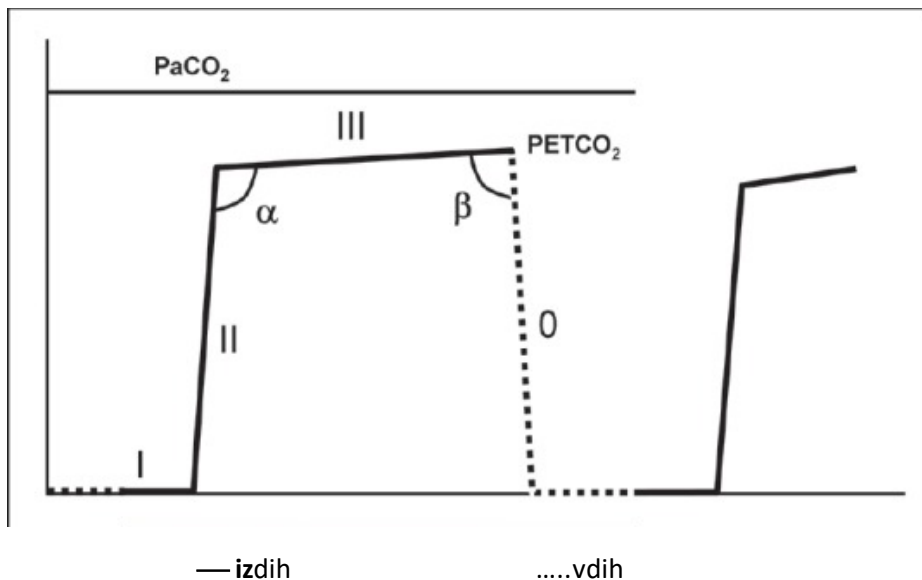


Slika 3. Tyndallov kapnograf

Razen infrardečih analizatorjev se v praksi uporabljajo tudi kapnografi, ki delujejo na principu plinske kromatografije in masne spektrometrije. Med anestezijo, v enotah intenzivne terapije in v času analgosedacije nam kapnografija daje neprecenljive informacije o življenjsko ogrožujočih stanjih (intubacija v požiralnik, respiratorna odpoved, napaka v delovanju ventilatorja in anestzijskega aparata, pljučna embolija, obstrukcija dihalne poti...).

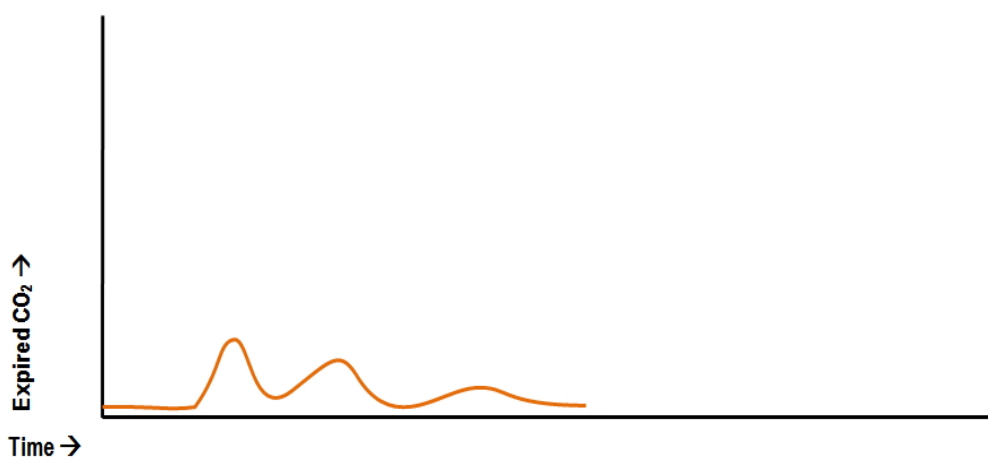
Med analizo kapnograma moramo biti pozorni na:

- obliko krivulje, ki je ponavadi pravokotne oblike (slika 4)
- vrednosti $etCO_2$
- frekvenco dihanja
- trend krivulje.

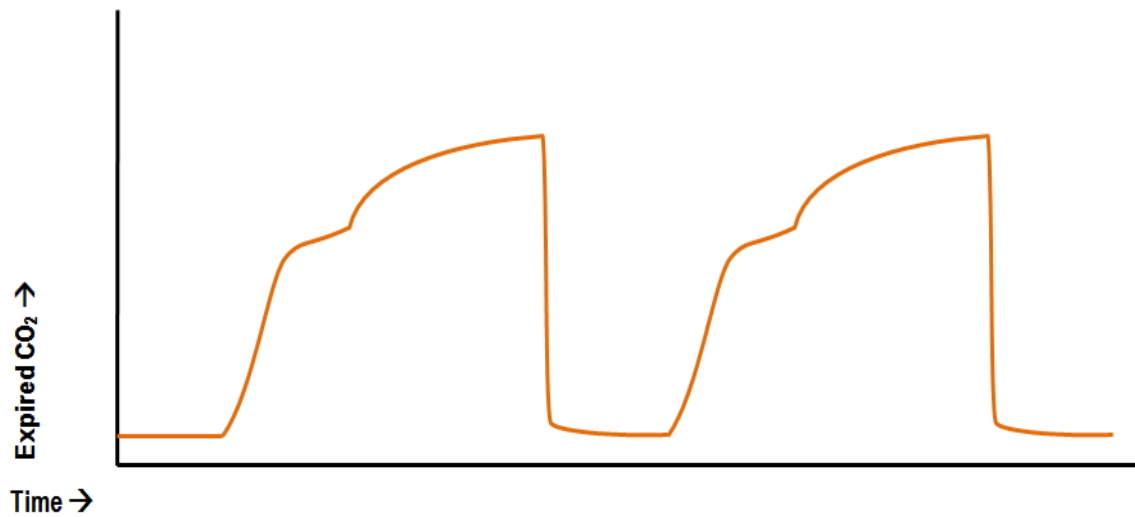


Slika 4. Normalni kapnogram

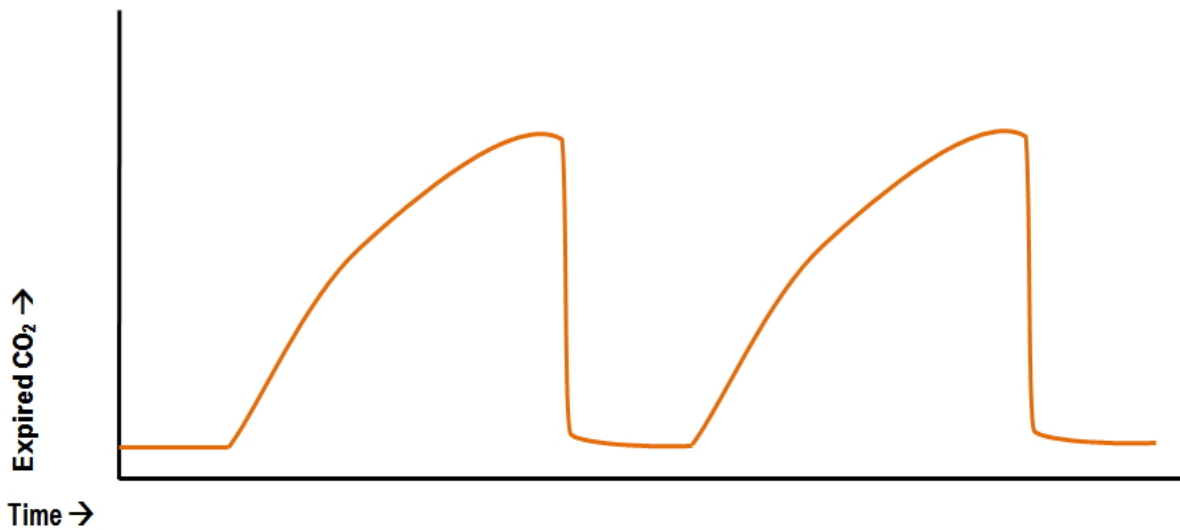
Faza I - mrtvi prostor; Faza II - mrtvi prostor in zrak iz alveol; Faza III –alveolarni plato; α -kot nastane zaradi različnih časovnih konstant in je indikator ventilacijsko perfuzijskega neujemanja; β -kot na koncu izdihne se povečuje pri povečanju povratnega dihanja. Na koncu alveolarnega platoja (faza III) se meri $etCO_2$



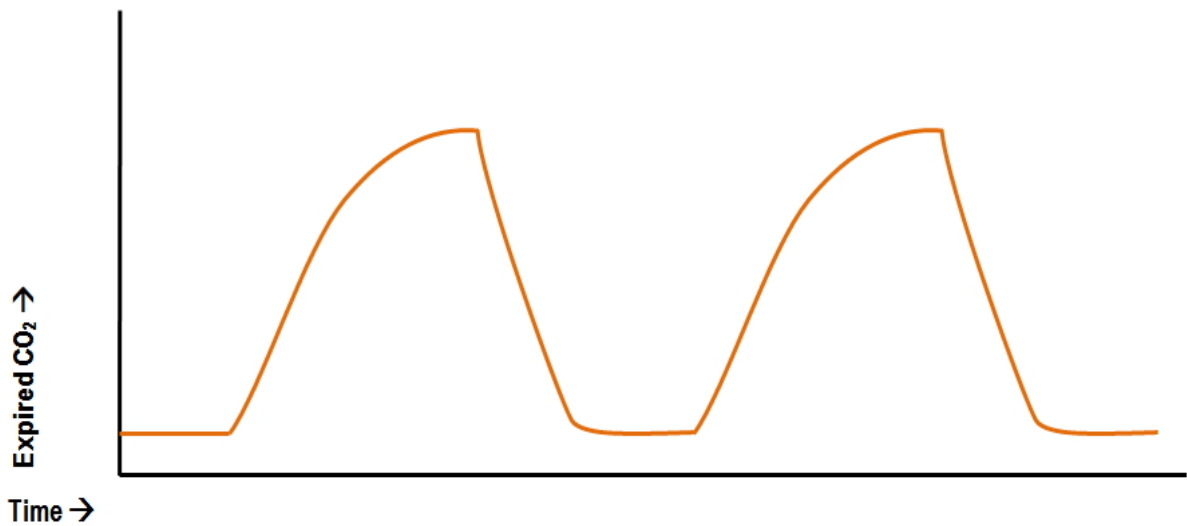
Slika 5. Intubacija v požiralnik, ekstubacija, srčni zastoj, obstrukcija tubusa, obstrukcija v dihalnem sistemu, motnje v delovanju ventilatorja, anestezijskega aparata, kapnografa...



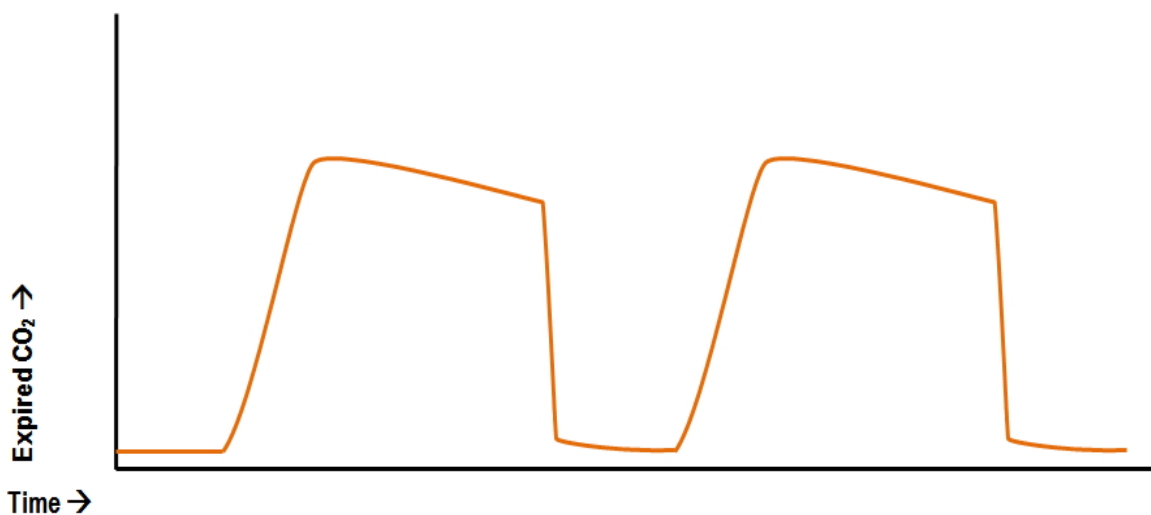
Slika 6. Krivulja prikazuje ločeno ventilacijo pljučnih kril zaradi intubacije v desni bronh. Prvi del krivulje predstavlja CO₂ iz desnih pljuč in drugi del krivulje CO₂, ki izhaja iz levih pljuč.



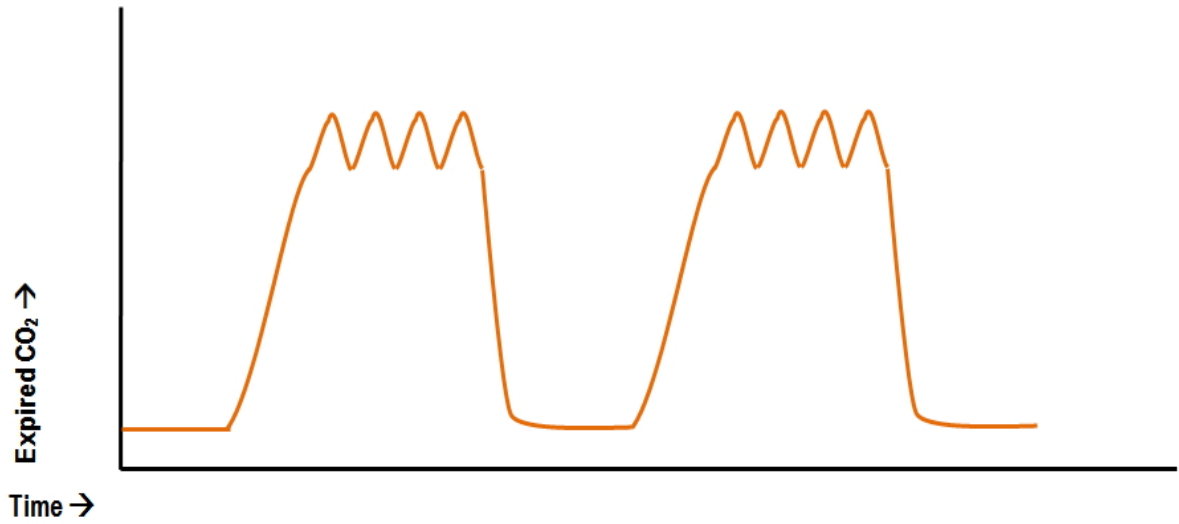
Slika 7. Krivulja v obliki žaginega zoba se pojavlja pri zvišanemu uporju v dihalnih poteh, ponavadi pri astmatičnih bolnikih. Pri tej obliki ni α kota.



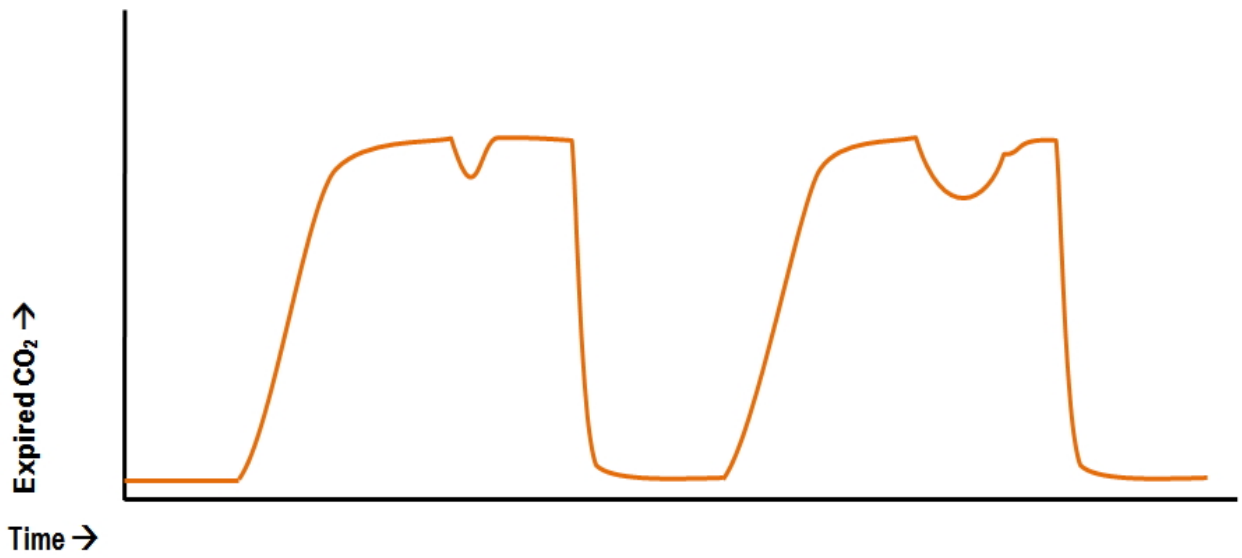
Slika 8. Predstavlja mehansko obstrukcijo v dihalnih poteh, zaporo tubusa ali velikega tumorja v traheji. Pri tej obliki sta spremenjena ekspiratorni in inspiratorni del krivulje.



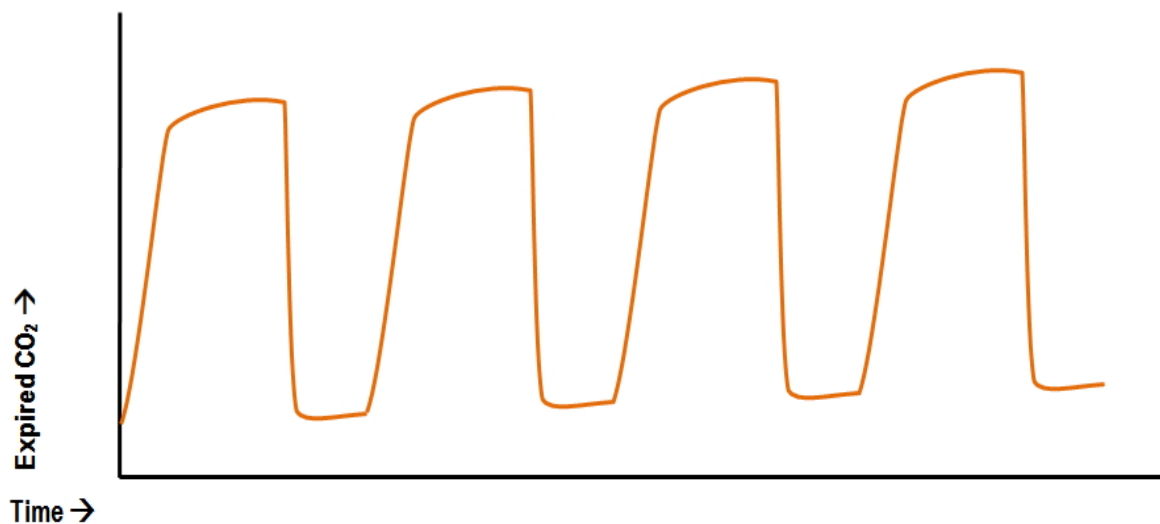
Slika 9. Pri tej obliki je plato krivulje spremenjen in to je oblika, pri kateri je podajnost pljuč zvečana in se alveolarna izmenjava plinov dogaja zelo hitro. Ta vzorec najdemo pri pljučnem emfizemu, bronhopleuralnih fistulah, pnevmotoraksu....



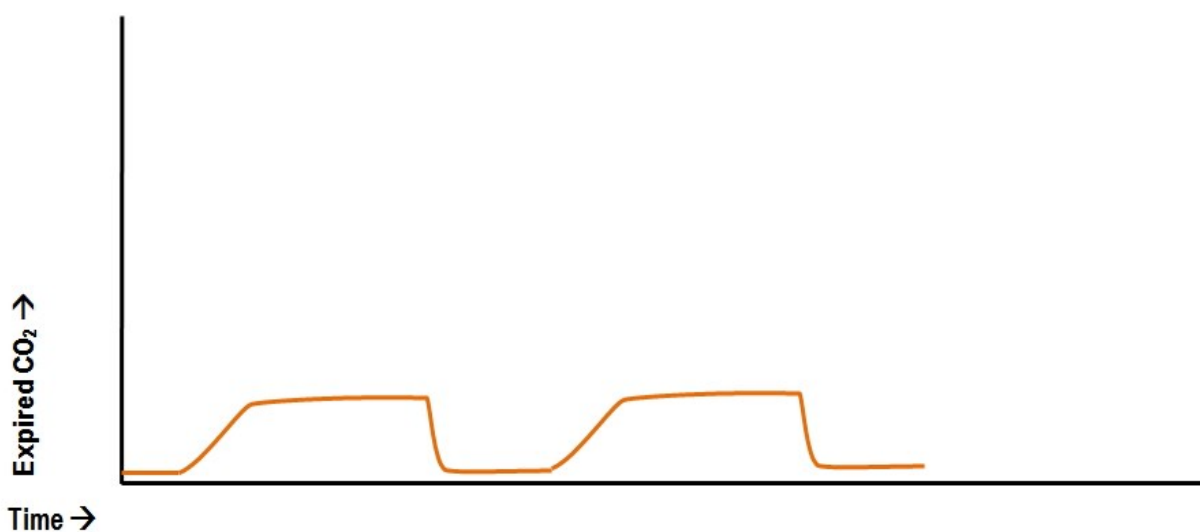
Slika 10. Predstavlja prenašanje pulzacij pri kardiomegaliji.



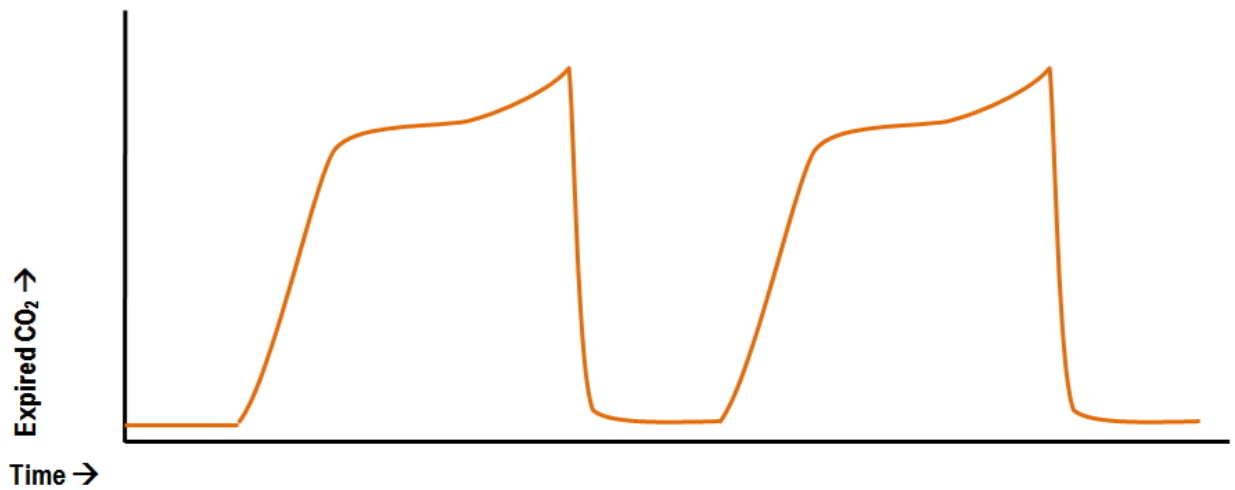
Slika 11. Poskusi spontanega dihanja pri popuščanju delovanja mišičnega relaksanta.



Slika 12. Trend naraščanja vrednosti etCO₂ pri izrabi absorberja.



Slika 13. Nizka krivulja pri slabi perfuziji pljuč zaradi majhnega minutnega volumna srca, hipotermije, zelo globoke anestezije....



Slika 14. Vzorec kapnograma pri zmanjšani pljučni podajnosti pri debelih, nosečnicah, pljučni fibrozi...

Kapnografija je tudi zelo koristna pri postopkih oživljanja. V smernicah Evropskega sveta za reanimacijo je tudi obvezna metoda. Kapnografija nam kaže pravilno lego tubusa, zadovoljivo srčno masažo in povrnitev spontane cirkulacije (ROSC)(Slika 15).



Slika 15. ROSC - Krivulja etCO₂ pri povrnitvi spontane cirkulacije med oživljanjem.

Kapnografija pri sedaciji in analgeziji za diagnostično terapevtske posege

Nedavna metaanaliza podpira uporabo kapnografije, ki je prepoznavanje respiratornih zapletov v primerjavi s standardnim monitoringom povečala za 17,6-krat (4). EBA je vključil kapnografijo v svoje smernice in naj bi se uporabljala pri vseh bolnikih, pri katerih se izvaja sedacija in analgezija za diagnostično terapevtske posege (5). Kapnografija veliko prej opozori na prenehanje dihanja v primerjavi s pulzno oksimetrijo (6,7).

Kapnografija v enotah pooperativnega okrevanja

NAP 4 študija je pokazala, da se ena tretjina zapletov v zvezi z dihalno potjo pri zburanju iz anestezije in v enotah pooperativnega okrevanja (EPO) lahko prepreči z uporabo kapnografije (1). The Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland in EBA priporočata kapnografijo kot minimalni standard v EPO, ker je padec saturacije pozni znak zapletov s strani dihalne poti (8).

Kapnografija v enotah intenzivne nege in na oddelkih

Kapnografija je lahko zelo koristna v preprečevanju in pravočasnem odkrivanju kardiocirkulatornih in respiratornih zapletov na kirurških oddelkih in v enotah intenzivne nege in s tem zmanjšuje smrtnost kirurških bolnikov te izboljša izid kirurškega zdravljenja (9,10).

Zaključek

Vzdrževanje homeostaze pri naših bolnikih je ena od osnovnih nalog. Produkcija in izločanje CO₂ sta pogojena s številnimi dejavniki in spremenjene vrednosti imajo številne vplive na organizem. Anesteziolog mora biti seznanjen s fiziologijo, načinom nadzovanja, interpretacijo izvida in uravnavanja vrednosti CO₂.

Literatura

1. Cook TM, Woodall N, Frerk C. Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia. *Br J Anaesth* 2011;106:617-631.
2. European board of Anaesthesiology recommendation for the use of capnography. UEMS Anaesthesiology Section and European Board of Anaesthesiology 2011.
3. European Board of Anaesthesiology (EBA) recommendations for minimal monitoring during Anaesthesia and Recovery, 2015.
4. Waugh JB, Epps CA, Khodneva YA. Capnography enhances surveillance of respiratory events during procedural sedation: a meta-analysis. *J Clin Anesth* 2011;23:189-196.
5. Hinkelbein J, Lamperti M, Akesson J, Santos J, Costa J, DeRobertis E, Longrois D, Novak Jankovič V, Petrini F, Struys M, Veyckemans F, Fuchs-Buder T, Fitzgerald R. European Society of Anaesthesiology and European Board of Anaesthesiology guidelines for procedural sedation and analgesia in adults. *Eur J Anaesthesiol* 2017;34:1-19.

6. Arakawa H, Kaise M, Sumiyama K, et al. Does pulse oxymetry accurately monitor a patient's ventilation during sedated endoscopy under oxygen supplementation? *Singapore Med J* 2013;54:212-215.
7. Vargo JJ Jr, Zuccaro G; Dumot JA, et al. Automated graphic assessment of respiratory activity is superior to pulse oximetry and visual assessment for the detection of early respiratory depression during therapeutic upper endoscopy. *Gastrointest Endosc*, 2002;55:826-831.
8. Whitaker DK, Benson JP. Capnography standards for outside the operating room. *Curr Opin Anesthesiol* 2016;29.
9. Gallagher SF, Haines KL, Osterlund LG, et al. Postoperative hypoxemia: common, undetected and unsuspected after bariatric surgery. *The Journal of surgical research*, 2010;159:622-626.
10. Blake DW, Chia PH, Donnan G, Williams DL. Preoperative assessment for obstructive sleep apnoea and the prediction of postoperative respiratory obstruction and hypoxaemia. *Anaesthesia and Intensive Care* 2008;36:379-384.

MONITORING – EKG IN KRVNI TLAK

Alenka Spindler Vesel, Matej Jenko

Srce odraslega v mirovanju vsako minuto prečrpa skozi celotno sistemsko kapilarno mrežo približno 5 litrov krvi. S tem zagotavlja zadosten pretok krvi skozi kapilare. Če se metabolne zahteve različnih tkiv spremenijo, se spremeni tudi razmerje deležev pretoka skozi posamezne telesne regije. To pojasnjuje osnovna enačba pretoka:

$$Q = \Delta P / R$$

Q je pretok, ΔP razlika v tlakih na obeh koncih žile in R žilni upor toku.

Enačba velja tako za celotno telo, kjer žile lahko predstavimo kot sistem vzporedno in zaporedno vezanih cevi (uporov), kot za posamezen organ.

Krvni obtok je sklenjen, zato je hitrost toka krvi vzdolž krvnih obtočil obratno sorazmerna skupnemu preseku skozi iste segmente. Hitrost je najvišja v arterijskem sistemu in najnižja v kapilarah (skupni presek je skoraj dva tisočkrat večji kot aortni).

Pretok skozi katerikoli organ se lahko spremeni na dva načina: s spremembo razlike v tlakih ali s spremembo žilnega upora, ki je posledica trenja premikajoče se krvi ob mirujočo žilno steno. Odvisen je od reoloških lastnosti krvi in od lastnosti žilne svetline, kar opisuje enačba:

$$R = 8 \times L \times \mu / \pi \times r^4$$

R je upor, L dolžina žile, μ dinamična viskoznost krvi in r polmer žile.

Iz združitve obeh enačb sledi Poiseuilleov zakon pretoka:

$$Q = \Delta P \times 8 \times L \times \mu / \pi \times r^4$$

Že majhne spremembe premera svetline žile povzročijo izrazite spremembe upora (npr. razpolovitev žilne svetline povzroči 16x večji upor). Zakon velja le za toge cevi, tekočine s stalno viskoznostjo (newtonske) in stacionarne razmere laminarnega toka (velike žile kot je aorta). V ostalih žilah je potrebna korekcija z upoštevanjem še nekaterih drugih parametrov, kot je elastičnost žilne stene.

1. SRCE

Črpanje krvi skozi sistemski in pljučni krvni obtok omogočajo ritmične sinhronizirane kontrakcije in relaksacije srčne mišice. Enosmeren tok krvi omogoča sistem srčnih zaklopk.

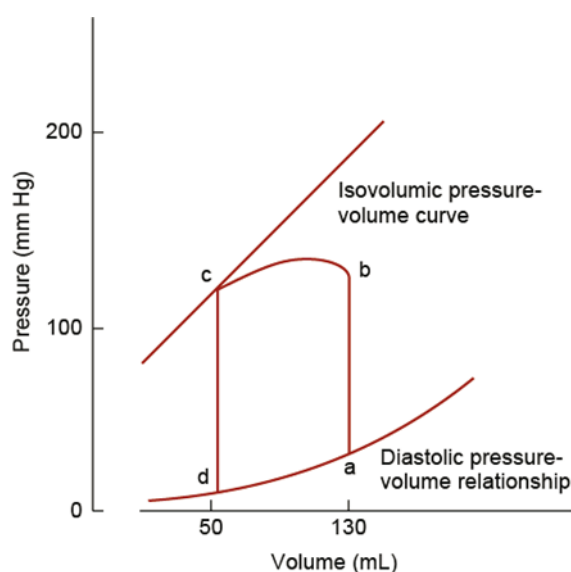
Srčni cikel je definiran kot zaporedje ene popolne srčne kontrakcije in relaksacije. Delimo ga na dve dobi: sistolo in diastolo, ki sta sinhronizirani, zaklopke obeh strani pa se v normalnih razmerah odpirajo in zapirajo sočasno. Srce ustvarja tlak v prekatu (in posledično v arterijskem sistemu) s krčenjem stene prekata. Napetost, ki se pri tem razvije v steni, je moč izračunati po Laplaceovem zakonu:

$$T = p \times R / d$$

T je napetost v steni prekata, P tlak v prekatu, r polmer svetline prekata in d debelina stene prekata.

Večja debelina stene prekata zmanjša napetost. Največja energija, ki jo stena prekata lahko proizvede ob iztisu, je odvisna od začetne dolžine srčnih mišičnih vlaken, kar opisuje Frank-Starlingov zakon.

Dolžina srčnih mišičnih vlaken je proporcionalna končnemu diastolnem volumnu, ki je odvisen od polnitve (angl. preload-a). Pri večjem končnem diastolnem volumnu bo srce lahko proizvedlo večji maksimalni tlak v prekatu, ob tem pa mora zaradi Laplacevega zakona premagati tudi večjo napetost v steni prekata. Ko ob koncu diastole tlak v prekatu preseže tlak v aorti, se aortna zaklopka odpre (obremenitev, angl. afterload). Iztis traja, dokler tlak v prekatu ne postane manjši od tlaka v aorti in se zapre aortna zaklopka. V tistem trenutku doseže ventrikel končni sistolni volumen, ob čemer proizvede maksimalni izovolumski tlak (se približa krivulji izovolumske maksime) (Slika 1).



Source: Barrett KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL:
Ganong's Review of Medical Physiology: www.accessmedicine.com
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Slika 1. Aktivna in pasivna krivulja tlak-volumen.

Črpanje srca se prilagaja, da se vzdržuje arterijski tlak za primeren pretok skozi tkiva. Količina iztisnjene krvi na časovno enoto se lahko spremeni s spremembo srčne frekvenca, utripnega volumna ali obojega:

$$MV = UV \times fr$$

$$MV = (KDV - KSV) \times fr$$

MV je minutni volumen srca, UV utripni volumen, fr srčna frekvenca, KDV končni diastolni volumen in KSV končni sistolni volumen.

Utripni volumen in frekvenca med seboj nista neodvisna. Povečana frekvenca povzroči skrajševanje diastole veliko bolj kot sistole, kar pri zelo hitrem utripu lahko povzroči slabšo polnitev prekatov. Sprememba utripnega volumna povzroči aktivacijo nadzornih mehanizmov, ki hitro prilagodijo srčno frekvenco.

Srčni utrip izvira iz specializiranega prevodnega sistema srca (sinusni vozle, internodalne atrijske poti, atrioventrikularni (AV) vozle, Hisov snop in njegove veje, Purkinjev sistem).

Na celični membrani obstaja razlika električne napetosti (mirovni potencial), kar vzdržujejo kanalčki, ki so prevodni za različne ione (K^+ , Na^+ in Ca^{2+}). Za to je potrebna energija. V normalnih razmerah je notranost celice negativno naelektrena proti medceličnemu prostoru, vrednost mirovnega skozimembranskega potenciala je zato negativna in je -90 mV. Če se zmanjša pod določeno vrednost (npr. -60 mV), pride do vdora pozitivnih ionov v celico, ki se depolarizira (postane pozitivno naelektrena). Ta sprememba napetosti v celici povzroči sproščanje Ca^{2+} iz sarkoplazemskega retikuluma in součinkovanje med aktinskimi in miozinskimi vlakni mioglobina ter krčenje celic in mišičnih vlaken. To imenujemo elektromehanska povezava in omogoča delovanje srca kot črpalke.

Akcijski potenciali miocitov in specializiranih prevodnih celic se razlikujejo. V fizioloških razmerah v miocitih ne prihaja do spontane spremembe mirovnega potenciala. Za depolarizacijo miocitov je potreben dražljaj, ki povzroči spremembo mirovnega potenciala.

Lastnost celic prevodnega sistema srca (specializirane celice v sinusnem vozlu, AV vozlu in Purkinjejevem nitju prevodnega sistema prekatov) je, da akcijski potencial v njih nastaja spontano zaradi prisotnosti počasne spontane depolarizacije v mirovanju, kar imenujemo samodejnost (avtomatizem). To povzroča širjenje depolarizacije na okolišnje celice, s tem nastane val depolarizacije. Ker se najhitreje depolarizirajo celice v sinusnem (SA-sinoatrialnem) vozlu, je počasna spontana depolarizacija v mirovanju navadno prisotna le v SA in AV vozlu. V normalnih razmerah te celice določajo število depolarizacij srčnih mišic in s tem število skrčenj, oziroma srčno frekvenco. Drugi deli prevodnega sistema se aktivirajo, kadar pride do inhibicije SA in AV vozla ali kadar je prevajanje do njiju blokirano.

Za normalno delovanje srca in čim boljše hemodinamsko učinkovitost srčne mišice je ključno, da se vse celice srca ne skrčijo v istem trenutku. Prav celice prevodnega sistema zagotovijo, da se depolarizacija razširi iz preddvorov do prekatov, po prevodnem sistemu prekatov hitro do vrha srca (apeksa) obeh prekatov in nato od tam navzgor proti bazi prekatov. Na ta način je omogočeno krčenje prekata od vrha proti iztočnemu traktu, kar povzroči učinkovit iztis krvi.

Vzdražne in kontraktilne lastnosti miokarda so pod vplivom avtonomnega živčevja, in sicer je učinek lahko kronotropni (na srčno frekvenco), dromotropni (na hitrost prevajanja), batmotropni (na vzdražnostni prag), inotropni (na moč kontrakcije) ali lusitropni (na hitrost relaksacije). Simpatična vlakna izvirajo iz stelatnega ganglija. Na srčno frekvenco vplivata zlasti desni vagus in desni simpatik, na kontraktilnost (levega prekata) pa zlasti veje levega simpatika. V mirovanju je prevladujoč tonični vpliv parasimpatika. Močna vagalna stimulacija lahko povsem ustavi spontano proženje.

Aktivnost avtonomnega živčnega sistema je refleksna. Kardiovaskularni refleksni center se nahaja v podaljšani hrbtenjači in je sestavljen iz več nevronskega jeter.

Aferentni vplivi pridejo iz centralnih (medialni prefrontalni korteks in hipotalamus) in perifernih živčnih struktur. Eferentna vlakna izvirajo iz kardiovaskularnega sistema (*baroreceptorski refleksi* - znižanje srčne frekvence ob povišanju arterijskega tlaka; *Bainbridgeov refleksi* - povečanje srčne frekvence ob povišanem volumnu v desnem atriju; *Bezold-Jarischov refleksi* - receptorji v steni levega ventrikla ob aktivaciji povzročijo bradikardijo, vazodilatacijo in zmanjšanje arterijskega krvnega tlaka; *kemoreceptivni refleksi* - imajo kardioinhibitorni in prevladujoč kardiostimulatorni učinek; *refleksi draženja visceralnih organov* - ob aktivaciji bolečinskih receptorjev, zmerna bolečina povzroči tahikardijo in dvig arterijskega tlaka, močna bolečina pa ima nasprotni učinek).

Normalen fiziološki srčni utrip je sinusni, ki se pri mlajših lahko izmenjuje z nodalnim. Frekvenca sinusnega utripa je pri budni, mirujoči osebi v ležečem položaju od 60 utripov/min do 100 utripov/min (v večini primerov med 60 utripov/min in 80 utripov/min). Aritmija pa je nefiziološki srčni utrip, ne glede na to, če je ta ritmičen ali neritmičen, pospešen ali upočasnen. Vsak srčni ritem s frekvenco 100 utripov/min ali več je tahikardija; pri tem ni pomembno, ali je tahikardija fiziološka ali je posledica bolezni ali pa gre za tahikardno aritmijo - tahiaritmijo. Sinusno tahikardijo prepoznamo po normalni obliki zobcev P in kratki dobi P-Q v elektrokardiogramu. Skoraj vedno je simptom kake druge bolezni ali stanja in je v mirovanju redko nad 120 utripov/min. Bradikardija je srčni ritem s frekvenco pod 60 utripov/min, ne glede na vzrok počasnega utripa. Bradikardno aritmijo imenujemo tudi bradiaritmija. Sinusna bradikardija je pogosto fiziološka (ob izraženi vagotoniji). Pri treniranih športnikih je pogosta sinusna bradikardija do 40 utripov/min.

1.1. Elektrokardiografija

Z izbiro elektrokardiografskega (EKG) odvoda vplivamo na diagnostično senzitivnost EKG. Z namestitvijo prekordialnih odvodov in odvodov na okončine zagotovimo prikaz različnih perspektiv električnih potencialov, ki nastanejo v srcu. Val P nastane ob depolarizaciji atrijev na koncu diastole, kar časovno odgovarja iztisu atrijev. Sledi kompleks QRS, ki nastane ob depolarizaciji prekatov in časovno ustreza iztisu prekatov. Interval PQ je odraz zakasnitve prevajanja v AV vozlu (120 – 200 ms). Kompleks QRS je običajno dolg 120 ms, podaljšan je pri bolnikih s kardiomiopatijami in srčnim popuščanjem. Val T je odraz repolarizacije prekatov. Podaljšanje intervala QT (genetsko, elektrolitsko neravnotežje, zdravila) lahko vodi do nastanka življenjsko nevarne motnje ritma (« les torsades de pointes »).

V II odvodu je električna os 60° in ima smer od desne rame proti levi nogi. Je paralelna z električno osjo atrijev, zato imamo v tem odvodu največje voltaže valov P. To olajša diagnostiko aritmij in zaznavo ishemije spodnje srčne stene. Odvod V_5 leži v petem interkostalnem prostoru v sprednji pazdušni liniji. Omogoča zaznavo ishemije sprednje in stranske stene srca. Za pravi odvod V_5 bi potrebovali EKG monitor s petimi žicami za odvode. Običajno zato v operacijski dvorani spremljamo modificiran V_5 odvod, za kar

rabimo standardne tri odvode na okončinah. Idealno je, če lahko na monitorju sočasno spremljamo odvoda II in V₅. Drugače se odločimo za odvod glede na predhodne aritmije ali ishemijo srčne stene.

Gel na elektrodah izboljša električno prevodnost kože. Dodatno jo lahko izboljšamo še s predhodnim čiščenjem kože z alkoholom.

S pomočjo EKG zaznavamo električni potencial, ki nastaja v miocitih. Omogoča nam zaznavanje aritmij, ishemije miokarda, motenj prevajanja, elektrolitskih motenj in motenj v delovanju srčnega vzpodbujevalnika. Zaradi majhnih izmerjenih napetostnih potencialov, so pogosti artefakti (premikanje elektrode/žice EKG, uporaba električnega noža, interferenca z električnimi napravami v neposredni bližini). Filtri vgrajeni v ojačevalec signala sicer zmanjšajo pojav artefaktov, je pa zato popačen segment ST, kar lahko ovira postavitev diagnoze ishemije srčne mišice. Z digitalnim zajemanjem podatkov lahko dobimo napačen podatek o srčni frekvenci, saj so lahko artefakti ali visoki valovi T (pogosto pri otrocih) prepoznani kot kompleksi QRS. Na monitorju lahko izberemo, kateri frekvenčni spekter bo aparat spremljal. Način Diagnostic mode pomeni, da aparat spremlja frekvenčni spekter 0,05Hz do 150 (v nekaterih primerih 250)Hz. Način monitoring mode pomeni spremljanje frekvenčnega razpona do 40Hz. V praksi to pomeni, da bomo verjetno zaznali spremembo ST spojnice ob ishemiji, mnogo drugih podatkov (atrijska undulacija, supraventrikularna tahikardija), pa bodo slabše zaznavni oz. možni podrobnejše diagnostike. Zaradi višje srčne frekvence je omenjeno lahko problem pri otrocih.

Idealno je, če lahko na monitorju shranimo posnetek začetnega srčnega ritma za morebitno kasnejšo primerjavo medoperativnih motenj ritma ali sprememb v spojnici ST. Novejši monitorji omogočajo kontinuirano analizo spojnice ST in zgodnjo zaznavo ishemije srčne mišice. Nekateri avtomatično analizirajo spojnico ST, kar še poveča senzitivnost zaznavanja ishemije srčne mišice.

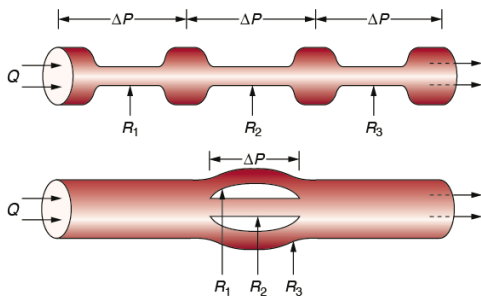
Ishemija srčne mišice na nivoju celične membrane pomeni izgubo znotrajceličnega kalija. Zaradi izgubljenega membranskega potenciala je na zajemu EKG signala drugačen seštevek, ki je sedaj pozitiven, kar v izrisu pomeni dvig ST spojnice.

2. ŽILE

2.1. Arterije

Aorta, velike pljučne arterije in njihove večje veje so elastične. Njihova raztegljivost omogoča, da je srčno delo med sistolo manjše (v rigidnih ceveh bi pritisk in s tem afterload močno narasel) in da je tok krvi relativno stalen tudi v srčni diastoli (med sistolo se razširijo, med diastolo pa skrčijo).

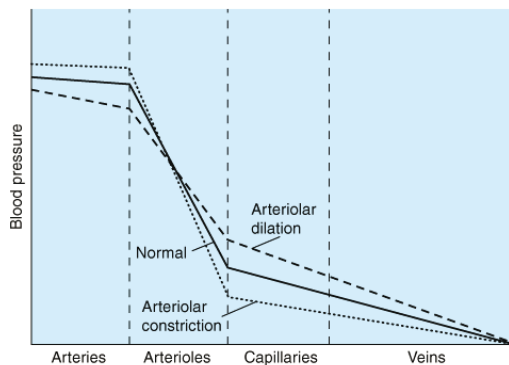
Upori toku krvi so v žilnem sistemu vezani vzporedno ($R_t = R_1 + R_2 + R_3$) in zaporedno ($1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$) (Slika 2).



Source: Fuster V, Walsh RA, Harrington RA: *Hurst's The Heart*, 13th Edition: www.accessmedicine.com
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Slika 2. Zaporedna in vzporedna vezava uporovnih žil. R_t – skupni upor.

Posamezni organi so v žilni sistem vezani vzporedno, zato je skupni periferni upor telesa manjši kot upor posameznega organa. Upor posameznega organa je sestavljen iz uporov zaporedno vezanih žilnih struktur: arterije, arteriole, kapilare, venule, vene. Arteriole imajo močno mišično plast žilne stene, ki omogoča precejšnje spremembe njihovega premera in s tem žilnega upora. Njihov upor je v žilnem sistemu daleč največji. Konstrikcija arteriol povzroči zmanjšanje tlaka v kapilarah in venah ter hkrati poveča arterijski tlak (Slika 3).



Source: Mohrman DE, Heller LJ: *Cardiovascular Physiology*, 7th Edition: <http://www.accessmedicine.com>
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Slika 3. Padeč krvnega tlaka vzdolž žil in vpliv sprememb premera arteriol.

2.2. Vene

Vene so največji telesni rezervoar krvi in vsebujejo do 70% celotne krvi. Zaradi njihove velike podajnosti majhne spremembe perifernega venskega upora povzročijo znatne spremembe venskega volumna. Venske zaklopke preprečujejo vračanje krvi iz centra proti periferiji.

3. ARTERIJSKI TLAK

Najvišji arterijski tlak med sistolo prekatov (če ni aortne stenoze) je sistolni krvni tlak. Najnižji arterijski tlak med relaksacijo prekatov v diastoli pa je diastolni krvni tlak. Srednji arterijski tlak je povprečni efektivni tlak, ki poganja kri skozi organe. Normalen srednji arterijski tlak znaša okoli 100 mmHg. Povezavo med srednjim arterijskim tlakom, minutnim volumnom srca in skupnim perifernim uporom podaja naslednja enačba:

$$P_A = MVS \times TPU$$

P_A je srednji arterijski tlak, MVS minutni volumen srca in TPU skupni periferni upor.

Srednji arterijski tlak lahko izračunamo z matematičnim povprečenjem krivulje arterijskega tlaka v enem ali več popolnih srčnih ciklih. Poenostavljeno ga izračunamo s pomočjo vrednosti najvišjega sistolnega in končnega diastolnega tlaka:

$$P_A = P_D + 1/3 (P_S - P_D)$$

P_A je srednji arterijski tlak, P_S najvišji sistolni tlak in P_D končni diastolni tlak.

Stanje kardiovaskularnega sistema nam pomaga ocenjevati pulzni tlak, ki je definiran kot:

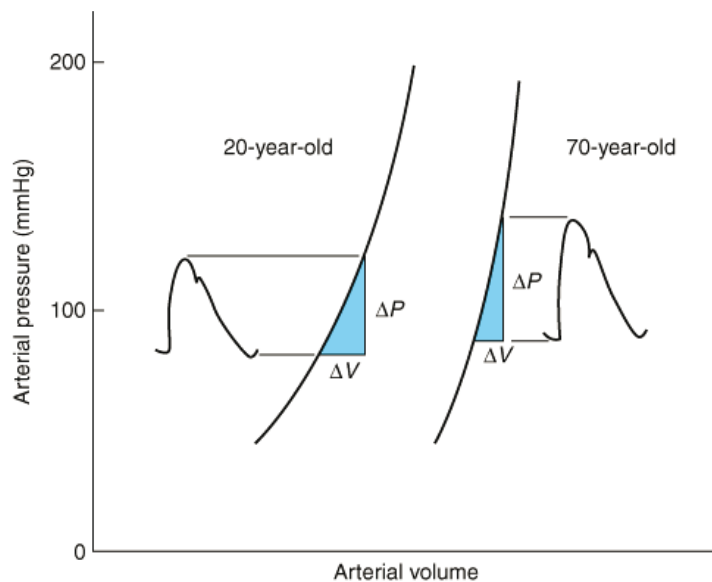
$$P_P = P_S - P_D$$

Pulzni tlak je odvisen od utripnega volumna srca in podajnosti žil:

$$P_P = UV / C_A$$

P_P je pulzni tlak, UV utripni volumen in C_A podajnost arterij.

Pulzni tlak se poveča v starosti zaradi zmanjšanja podajnosti arterij (arterije »otrdijo«). Arterijska podajnost se zmanjša tudi s povečevanjem srednjega arterijskega tlaka zaradi pomika po krivulji volumen-tlak (Slika 4).



Source: Mohrman DE, Heller LJ: *Cardiovascular Physiology, 7th Edition*:
<http://www.accessmedicine.com>
 Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Slika 4. Vpliv starosti na podajnost arterij.

Spremembe skupnega perifernega upora nimajo izrazitega vpliva na pulzni tlak, saj povzročijo vzporedne spremembe sistolnega in diastolnega tlaka. Na drugi strani je srednji arterijski tlak močno odvisen od skupnega perifernega upora.

Na sistolni in diastolni vplivajo utripni volumen srca, srčna frekvenca, skupni periferni upor in podajnost žil, vendar v različni meri, kar kažeta naslednji enačbi:

$$P_S = UV \times fr \times TPU = \frac{2}{3} UV/C_A$$

$$P_D = UV \times fr \times TPU - \frac{1}{3} UV/C_A$$

S potovanjem stolpca krvi na periferijo, se zaradi odboja popači oblika tlačne krivulje, zato se sistolni in pulzni tlak ojačita. Tako je sistolni tlak v radialni arteriji običajno večji kot v aorti.

3.1. Nadzor arterijskega krvnega tlaka

Najpomembnejši kratkoročni mehanizem za nadzor arterijskega tlaka je baroreceptorski refleks. Povečana aktivnost baroreceptorjev ima v refleksnem centru v podaljšani hrbtenjači inhibitorni vpliv na simpatični živčni sistem in ekscitatorni vpliv na parasimpatičega. Eferentni krak refleksa vpliva na srce in žile. Padec arterijskega tlaka zato povzroči povečanje utripnega volumna srca, srčne frekvence, skupnega perifernega upora in podajnost ven. Aktivnost baroreceptorjev je odvisna od velikosti spremembe tlaka in od hitrosti te spremembe. Po nekaj dneh se aktivnost baroreceptorjev postopoma vrne na normalno, kar imenujemo adaptacija.

Srednjeročna regulacija krvnega tlaka začne delovati po nekaj minutah, ko znižanje krvnega tlaka skupaj s povečano aktivnostjo simpatika povzroči aktivacijo sistema renin-angiotenzin-aldosteron, poveča sekrecijo vazopresina (antidiuretičnega hormona) in spremeni dinamiko kapilarne tekočinske izmenjave. Učinek je povečanje znotrajžilnega volumna tekočine (poveča se preload srca) in totalnega perifernega upora (neposredno se poveča arterijski tlak).

Dolgoročna regulacija krvnega tlaka nastopi po nekaj urah hipotenzije, ko postanejo bolj izraziti ledvični mehanizmi. Ledvica povečajo totalno količino telesnega natrija in vode in s tem vplivajo predvsem na srčni preload.

3.2. Neinvazivno merjenje krvnega tlaka

Uporaba kakršnegakoli anestetika je indikacija za merjenje arterijskega krvnega tlaka. Način in pogostost merjenja sta odvisna od bolnikovih pridruženih bolezni in od tipa operacije. Največkrat zadostuje merjenje krvnega tlaka na 3-5 minut z oscilometrično metodo. Te metode ne izvajamo na okončinah z žilnimi abnormalnostmi (npr. dializni shunt), na opečeni koži na mestu merjenja, po možnosti tudi ne na roki, kjer je vstavljen intravenski kateter.

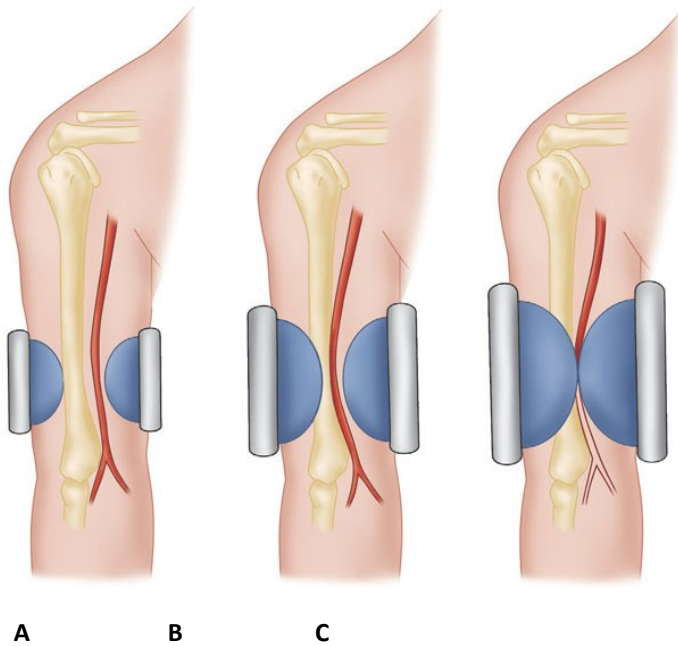
Klasično merjenje tlaka poteka z avskultacijo arterije pod mestom stisnjenja arterije z manšeto. Ko spuščamo napihnjeno manšeto, se v prej kolabirani arteriji najprej pojavi turbulenten tok krvi, kar slišimo kot Korotkoff-ove šume (sistolni krvni tlak). Ko se arterija v celoti napolni s krvjo, šumi izginejo (diastolni krvni tlak). Pri hipotenzivnih bolnikih ali pri izraziti periferni vazokonstrikciji je težko slišati Korotkoff-ove šume.

Med anestezijo merimo krvni tlak z oscilometrijo. Arterijske pulzacije se zaznajo kot oscilacije med napihovanjem manšete. Ko je tlak v manšeti višji od sistolnega krvnega tlaka, so te oscilacije majhne. Ko pa tlak v manšeti pade pod sistolni krvni tlak, se pulzacije prenesejo na celotno manšeto, kar ojači oscilacije. Maksimalne oscilacije se pojavijo pri MAP, nato zopet oslabijo.

Predvidevamo, da bomo z zagotavljanjem zadosti visokega krvnega tlaka zagotovili tudi zadosten pretok krvi skozi posamezne organe. Ker pa je pretok obratno sorazmeren z uporom, bo ob povečanem perifernem žilnem uporu kljub visokemu krvnemu tlaku pretok skozi organe majhen. Arterijski krvni tlak je lahko kazalec, ne pa merilo za pretok krvi skozi organe.

Zanesljivost metode z neinvazivnim načinom merjenja krvnega tlaka je odvisna tudi od pravilne izbire velikosti manšete (Slika 5). Dolžina mora biti daljša od obsega roke na mestu merjenja vsaj za polovico obsega roke, širina pa mora biti za 20-50% večja od premera roke na mestu merjenja.

Če je avtomatsko merjenje krvnega tlaka prepogosto ali nepravilno, lahko nastopijo tudi zapleti, kot je paraliza živca ali ektravazacija intravensko dane tekočine.



Slika 5. Vpliv izbire različnih velikosti manšete na izmerjen krvni tlak. Vse tri manšete so napihnjene do enakega tlaka. Pri najožji manšeti (A) bi bil potreben višji tlak in pri najširši (C) nižji tlak za zaporo brahialne arterije in določitev sistolnega krvnega tlaka. Tako je pri preozki manšeti izmerjen tlak previsok in pri široki manšeti prenizek. Napaka pri meritvi je večja pri preozki kot pri preširoki manšeti.

3.3. Invazivno merjenje krvnega tlaka

Za invazivno merjenje krvnega tlaka se odločimo pri obstoječi ali pričakovani hipotenziji, pri velikih izgubah ali premikih tekočin, pri polimorbidnih bolnikih, pri pogostih odvzemih vzorcev arterijske krvi za analizo.

Arterijskega katetra ne vstavljamo v ozke periferne arterije z nezadostnim kolateralnim obtokom oz. v okončine z že prisotno nezadostno prekrvavitvijo.

Najpogosteje za vstavitvev katetra izberemo radialno arterijo, ker leži pod površino in ima običajno zadosten kolateralni obtok (povezava z večjo ulnarno arterijo preko palmarnega loka). Pri 5% ljudi je palmarni lok nezadostno razvit, zato je pred vstavitvijo katetra priporočljivo narediti Allenov test (ki pa ni vedno zanesljiv). Lahko pa z okluzijo radialne arterije ugotovljamo prisotnost pretoka krvi distalno od okluzije (s palpacijo, Dopplerjem, pulzno oksimetrijo).

Običajno se ne odločimo za vstavitvev katetra v ulnarno arterijo, saj ta leži bolj globoko in je dominantna arterija za dlan. Redkeje se odločimo za arterijo dorsalis pedis ali tibialis posterior, za brahialno ali aksilarno arterijo, nekoliko bolj pogosto za femoralno arterijo, kjer pa so pogostejši zapleti (nastanek ateroma ali pseudoaneurizme na mestu vstavitve katetra, več je okužb in tromboz, lahko se pojavi, a zelo redko, aseptična nekroza glavice femurja).

Zapleti ob vstavljanju arterijskega katetra so lahko hematoma na mestu vboda, krvavitev, vazospazem, arterijska tromboza, embolizacija zračnih mehurčkov ali trombov, pseudoaneurizma, nekroza kože, poškodba živca, okužba, gangrena okončine ali prstov, nehoteno vbrizganje zdravil v arterijo. Zapleti so bolj pogosti pri dalje časa vstavljenem arterijskem katetru, pri večkratnih poskusih vstavitve katetra, pri hiperlipidemiji, pri ženskah, pri zunajtelesnem krvnem obtoku, pri vstavitvi širših katetrov v arterije z ozkim lumnom, pri uporabi vazopresorjev. Zato je pri vstavitvi potrebno upoštevati načela asepsa, izbrati kateter s čim manjšim lumnom, kateter pa stalno prebrizgavati s hitrostjo 2-3 ml/h.

Za pravilno merjenje arterijskega krvnega tlaka je pomembna pravilna kalibracija pretvornika, ki mora biti v nivoju srednje aksilarne linije oz v višini desnega atrija. Pri vsakem dvigovanju ali spuščanju operacijske mize, je potrebno pretvornik premakniti na ustrezno višino in ponoviti kalibracijo. Temu se lahko izognemo tako, da pretvornik namestimo na operacijsko mizo. Pri operacijah v sedečem položaju je precejšnja razlika v arterijskem tlaku med možgani in levim prekatom, zato postavimo pretvornik v višino ušesa. Tako umerimo možganski krvni tlak, ki ustreza tlaku v Willisovem krogu.

Glede na obliko arterijske krivulje lahko ocenimo tudi hemodinamske parametre. Hitrost dviga krivulje kaže na kontraktilnost, hitrost spuščanja pa na periferni žilni upor. Velika nihanja v velikosti krivulje lahko pomenijo, da je prisotna hipovolemija.

Literatura:

1. Cardiovascular monitoring. In: Butterworth IV JF, Mackey DC, Wasnick JD, eds. Morgan and Mikhail's Clinical Anaesthesiology. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2013: 87-122.
2. Scott S. Clinical measurement and monitoring. In: Aitkenhead AR, Moppett IK, Thompson JP, eds. Smith and Aitkenhead's Textbook of Anaesthesia. Churchill Livingstone Elsevier, 2013:312-356.
3. Pernat A. Elektrofiziologija srčne mišice. In: Paver-Eržen V, ed. Kontinuirano podiplomsko izobraževanje iz anesteziologije, 15. tečaj CEEA. Ljubljana: FOTA-COP d.o.o., 2007:1-5.
4. Šinkovec M. Motnje srčnega ritma - aritmije. In: Paver-Eržen V, ed. Kontinuirano podiplomsko izobraževanje iz anesteziologije, 15. tečaj CEEA. Ljubljana: FOTA-COP d.o.o., 2007:6-18.
5. Fabjan A. Fiziologija obtočil. In: Paver-Eržen V, ed. Kontinuirano podiplomsko izobraževanje iz anesteziologije, 21. tečaj CEEA. Ljubljana: FOTA-COP d.o.o., 2013:1-21.
6. Berne RM, Levy MN eds. Electrical activity of the heart. In: Cardiovascular physiology 6th edition. Mosby Year Book, 1992:5-53.
7. Barrett KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL. Section V. Cardiovascular Physiology. In: Barrett KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL, eds. Ganong's Review of Medical Physiology. 24th ed. New York: McGraw-Hill; 2012.
8. Hoit BD, Walsh RA. Chapter 5. Normal Physiology of the Cardiovascular System. In: Fuster V, Walsh RA, Harrington RA, eds. Hurst's The Heart. 13th ed. New York: McGraw-Hill; 2011.
9. Libby P, Epstein J, Loscalzo J. Chapter 224. Basic Biology of the Cardiovascular System. In: Longo DL, Fauci AS, Kasper DL, Hauser SL, Jameson JL, Loscalzo J, eds. Harrison's Principles of Internal Medicine. 18th ed. New York: McGraw-Hill; 2012.
10. Mohrman DE, Heller LJ, eds. Cardiovascular Physiology. 7th ed. New York: McGraw-Hill; 2010.
11. Pappano AJ. Section IV. The Cardiovascular System. In: Koeppen BM, Stanton BA, eds. Berne & Levy Physiology. 6th ed. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2008.

MEHANSKO PREDIHAVANJE MED SPLOŠNO ANESTEZIJO TER NADZOR MEHANSKEGA PREDIHAVANJA

Andreja Möller Petrun

Uvod

Možnost mehanskega predihavanja (ventilacije) je temeljni pogoj za varno izvajanje splošne anestezije. Zdravila, ki jih uporabljamo za uvod ter vzdrževanje anestezije, večinoma povzročajo depresijo dihalnega centra, uporaba mišičnih relaksantov pa paralizo dihalnih mišic. Tehnološki razvoj ventilatornih enot anestezijskih aparatov je doživel razcvet predvsem v zadnjih letih. Na podlagi spoznanj o učinkih mehanskega predihavanja v enotah intenzivne terapije (EIT) se znanje vedno bolj prenaša tudi v operacijske dvorane. Pri tem ne smemo pozabiti, da imajo bolniki v operacijski dvorani v primerjavi s kritično bolnimi večinoma zdrava pljuča. V prispevku so na kratko opisane osnove fizioloških sprememb, ki jih povzročita preoksigenacija ter mehansko predihavanje. Opisani so tudi posamezni načini mehanskega predihavanja ter pasti prehoda iz mehanskega predihavanja na spontano dihanje.

Preoksigenacija

Preoksigenacija je vdihovanje 80-100% kisika pred uvodom v anestezijo (1,2). Njen glavni namen je izplavljanje dušika iz pljuč v zameno za kisik. Pri zdravih odraslih bolnikih s preoksigenacijo podaljšamo čas apneje, v katerem še ne pride do hipoksije (SpO_2 92% ali manj). Novejše raziskave kažejo na to, da preoksigenacija nima le ugodnih učinkov za bolnika (3). Vsi anestetiki (z izjemo ketamina) povzročajo zmanjšanje mišičnega tonusa, kar ima za posledico zmanjšanje funkcionalne rezidualne kapacitete (FRC). V primeru uporabe mišičnega relaksanta je ta učinek še večji (3). Dodatno se FRC zmanjša zaradi ležečega položaja na hrbtu, v katerem pri bolniku običajno izvajamo uvod v anestezijo. Oboje povzroči zmanjšanje FRC do te mere, da je FRC blizu rezidualnega volumna (volumen, ki ostane v pljučih po maksimalnem izdihu) (4). V teh pogojih pride do zapiranja alveolov (zapiralni volumen – angl. »closing volume«) v odvisnih delih pljuč (angl. »dependent lung«), ki so v ležečem položaju posteriorno (5). Dušik, ki predstavlja največji delež plinov v zraku (79%), namreč v normalnih pogojih v alveolah preprečuje nastanek atelektaz (3). S preoksigenacijo dušik v alveolah nadomestimo s kisikom, ki se v nekaj minutah resorbira. Nastanejo resorpcijske atelektaze in šant, oboje pa vztraja ne le celoten čas trajanja anestezije, ampak lahko celo več dni po operaciji (3,6).

Preoksigenacija je sicer ključen ukrep, ki poveča varnost bolnika med uvodom v anestezijo. Ker vseh težav z oskrbo dihalne poti in predihavanjem po nastopu apneje ne moremo predvideti, je preoksigenacija zaželen ukrep pri vseh bolnikih, ki potrebujejo splošno anestezijo (1). Zaradi pojava atelektaz in šanta ob vdihovanju visokoodstotnega kisika, ki nenazadnje tudi zmanjšujejo učinkovito izmenjavo plinov v pljučih, je potrebno pri vsakem posameznem bolniku pretehtati, s kakšnim odstotkom kisika ga bomo preoksigenirali (80-100%) (1,3).

Cilj preoksigenacije je odstotek $O_2 > 80\%$ (90%) v izdihanem zraku (1).

Med preoksigenacijo:

- mora biti pretok svežih plinov vsaj 5 l/min (pri nosečnicah vsaj 10 l/min),
- obrazna maska mora dobro tesniti,
- bolnik naj mirno in globoko diha,
- preoksigenacija naj traja 3-4 minute,
- pri starejših preoksigenacija traja dlje (5 min), ker se alveoli počasneje polnijo s kisikom (1,3),
- v nujnih primerih zadostuje že 8 globokih vdihov pri pretoku kisika vsaj 10 l/min.

S preoksigenacijo smo manj uspešni pri bolnikih, ki imajo že predhodno zmanjšano pljučno rezervo. Pri njih je čas, ko se med apnejo pojavi hipoksija, bistveno skrajšan. V to skupino spadajo otroci (manjši kot je otrok, nižja je FRC, večje so presnovne potrebe po kisiku), nosečnice, bolniki z boleznimi pljuč, bolniki s kroničnim srčnim popuščanjem, kritično bolni ter debeli (5,7). Pri debelih že v budnem stanju pride do kolapsa dihalnih poti med izdihom, ta pojav zmanjšamo s podlaganjem pod ramena pred uvodom v anestezijo in dvigom zgornjega dela telesa oziroma anti-Trendelenburgovim položajem (1). Dvig zgornjega dela telesa se priporoča tudi pri sicer dihalno bolj ogroženih bolnikih, ob zavedanju, da ima ta položaj pri hipovolemičnih bolnikih lahko pomemben negativni hemodinamski učinek (6).

Apnoična oksigenacija (peroksigenacija)

Apnoična oksigenacija je dovajanje kisika med apnejo. Prvi poskusi so stari že več kot 70 let, v zadnjem času pa je zaradi uporabe visokopretočnih sistemov za dovajanje kisika metoda doživela renesanso (1,8). Učinkovitost apnoične oksigenacije je odvisna od učinkovite preoksigenacije, prehodnosti dihalne poti med apnejo ter FRC (večja FRC omogoča bolj učinkovito apnoično oksigenacijo) (1). Apnoično oksigenacijo lahko izvajamo s katerim koli pripomočkom za dovajanje kisika: obrazna maska, binazalna kanila, supraglotični pripomoček, dihalna cevka, rigidni bronhoskop, kanal za oksigenacijo na laringoskopu ali videolaringskop (8). Najbolj učinkovito je dovajanje kisika z visokopretočnim sistemom (angl. – »high flow oxygenation«), kjer lahko nastavimo pretoke dihalne zmesi tudi do 60 l/min. Prednost visokopretočnega sistema je tudi, da se poleg oksigenacije delno odstranjuje tudi CO_2 . Prav tako se z večjim pretokom ustvarja večji PEEP (učinek je prisoten predvsem pri zaprtih ustih), ki prispeva k večji FRC (8).

Neinvazivno predihovanje s pozitivnim tlakom (NIV – neinvazivna ventilacija)

NIV se uspešno uporablja pri preoksigenaciji kritično bolnih z akutno hipoksično respiratorno odpovedjo (9). Lahko uporabimo CPAP (kontinuirani pritisk na koncu izdiha = PEEP), ali pa NIV v pravem pomenu besede, ko CPAP-u dodamo tlačno podporo posameznega vdiha. Pogoj je, da se maska tesno prilega obrazu, kar je za bolnika lahko neprijetno. Prednost je manjša možnost zapiranja malih dihalnih poti, posledičnega nastanka atelektaz in šanta ter manjša možnost hipoksije (9,10). Ker je za samo vstavitvev dihalne cevke potrebno masko odmakniti, se med laringoskopijo ter intubacijo omenjeni učinki delno ali v celoti izničijo, sploh če postopek traja dalj časa (težki pogoji oskrbe dihalne poti). Zato se priporoča pri rizičnih bolnikih hkrati izvajati tudi apnoično oksigenacijo z visokopretočnim sistemom (10). Pri bolnikih s poškodbami obraznega dela in neteščih bolnikih je treba individualno pretehtati prednosti NIV pred morebitnimi neželenimi učinki (dodatne poškodbe, napihovanje želodca in zatekanje želodčne vsebine) (6).

V operacijski dvorani se NIV pred in med uvodom v anestezijo priporoča predvsem pri bolnikih z visokim tveganjem za hipoksijo: pri debelih, bolnikih z zmanjšano dihalno rezervo, kritično bolnih ter bolnikih, kjer pričakujemo težko oskrbo dihalne poti (11,12). Običajno izberemo PEEP 5-7 cm H₂O ter tlačno podporo do 8 cm H₂O. Vsota obeh tlakov naj ne preseže 15 cm H₂O, saj se pri višjem tlaku poveča nevarnost prenapihnenja želodca (10).

NIV se lahko pri rizičnih bolnikih uporabi tudi po ekstubaciji za preprečevanje hipoventilacije in nastanka atelektaz. Priporoča se pri debelih, bolnikih z OSAS (angl. »obstructive sleep apnea syndrome«), bolnikih po večjih torakoabdominalnih posegih (6).

Mehansko predihavanje med splošno anestezijo

Mehansko predihavanje je postopek, s katerim bolniku, ki ni sposoben zadostnega spontanega dihanja, s pomočjo ročnega balona ali aparata nudimo podporo pri dihanju ali pa dihanje v celoti nadomestimo (13). Osnovni namen je bolniku zagotoviti zadostni minutni dihalni volumen in optimalno izmenjavo plinov.

Mehansko predihavanje razdelimo na kontrolirane, asistirane in podporne oblike predihavanja (13,14). Asistirane in podporne oblike predihavanja lahko izvajamo tudi pri NIV. Pri kontroliranem vdihu (angl. »controlled breath«) aparat ne glede na bolnikove dihalne napore bolniku vpihne vnaprej določen dihalni volumen z vnaprej določeno frekvenco. Najbolj pogosto med splošno anestezijo izberemo enega od kontroliranih načinov predihavanja. Pri asistiranem vdihu (angl. »assisted breath«) aparat zazna bolnikov poskus vdiha (bolnik mora doseči vnaprej določen negativni pritisk ali pretok, to je sprožilec ali angl. »trigger«, seveda ob tem ne sme biti relaksiran) in mu nato vpihne vnaprej določen dihalni volumen. Bolnik tako samo sproži vdih, ki ga nato popolnoma izvede aparat. Pri podprtem vdihu (angl. »supported breath«) bolnik sproži vdih enako kot pri asistiranem vdihu, aparat

pa bolniku nato z vnaprej določenim tlakom podpre vdih. Osnovne značilnosti kontroliranih načinov mehanskega predihavanja so prikazane v Tabeli 1.

Tabela 1: Osnovne značilnosti načinov mehanskega predihavanja (13)

Način predihavanja	Ciljni parameter	Pretok dihalne zmesi (praviloma)	Učinek spremembe podajnosti in upornosti dihalnega sistema
<i>VCV</i>	dihalni volumen	stalen	inspiratorni pritisk
<i>PCV</i>	inspiratorni pritisk	pojemač	dihalni volumen
<i>PRVC</i>	dihalni volumen	pojemač	inspiratorni pritisk

Osnovni načini, ki jih omogoča vsak anestezijski aparat, so:

- ročno predihavanje z dihalnim balonom
- možnost bolnikovega spontanega dihanja z/brez tlačne podpore (asistirani način predihavanja)
- kontrolirano mehansko predihavanje:
 - tlačno nadzorovano predihavanje (angl. »pressure control ventilation« - PCV)
 - volumsko nadzorovano predihavanje (angl. »volume control ventilation« - VCV)
 - tlačno nadzorovano predihavanje s konstantnim volumnom (angl. »pressure regulated volume controlled« - PRVC)
- nastavitve PEEP pri vseh načinih predihavanja

Pri vsakem kontroliranem načinu predihavanja nastavimo **koncentracijo kisika v vdihani dihalni zmesi (FiO₂), frekvenco dihanja, razmerje vdih:izdih (I:E je pri bolnikih brez pljučne bolezni 1:2) ter pozitivni tlak na koncu izdiha (PEEP) (13)**. Trenutno v literaturi ni jasnih prednosti kateregakoli od možnih načinov mehanskega predihavanja (6).

Volumsko nadzorovano predihavanje

Na anestezijskem aparatu poleg zgoraj omenjenih osnovnih parametrov nastavimo želeni dihalni volumen, ki je konstanten. Pritisk v dihalnih poteh se spreminja v odvisnosti od podajnosti pljuč in upora v dihalnih poteh. Ob napenjanju ali kašljanju bolnika se tako lahko močno povečajo tlaki v dihalih, s čimer pljuča izpostavimo nevarnosti barotravme. Za preprečevanje barotravme je priporočljivo nastaviti maksimalni delovni tlak na ventilatorju (P_{max}). Tako aparat ne bo dostavil nastavljenega volumna, če bo med vpihovanjem dosegel P_{max}, hkrati pa nas bo na to opozoril z alarmom. P_{max} je priporočljivo pri vseh načinih

nastaviti med 30 in 35 cm H₂O. Aparat nam vedno izmeri največji tlak, ki je potreben za doseganje želenega dihalnega volumna (angl. PIP – »peak inspiratory pressure«). PIP je seštevek tlaka, ki je potreben za premagovanje upora v dihalnih poteh ter tlaka, ki je potreben za odprtje malih dihalnih poti ter pljučnih mešičkov (premagovanje elastičnih sil pljuč in prsnega koša). Je dinamični tlak. Za preprečevanje poškodbe pljuč je bolj pomembno poznavanje plato tlaka (angl. »plato pressure«), ki ga izmerimo s posebnim manevrom tako, da na koncu vdihava aparat naredi 0,5-1 s pavzo (angl. »end- inspiratory hold maneuver«). Plato tlak je statični tlak, ki je potreben za premagovanje elastičnih sil pljuč in prsnega koša. Je odraz podajnosti pljuč. Pri manjši podajnosti je plato tlak večji. Razlika med PIP in plato tlakom je v normalnih pogojih < 5 cm H₂O. Če sta zvečana tako PIP kot plato tlak, gre za zmanjšano podajnost pljuč, če je zvečan samo PIP, plato tlak pa ne, gre za povečano upornost v dihalnih poteh ali dihalnem sistemu.

Tlačno nadzorovano predihavanje

Na aparatu poleg osnovnih parametrov nastavimo želeni inspiratorni pritisk, ki je hkrati PIP. PIP aparat doseže praktično takoj in ga vzdržuje dokler traja vdih. Inspiratorni pretok plina je pojemajoč, s čimer naj bi prišlo do bolj homogene razporeditve vpihanega plina. Pojemajoč pretok plina je bolj fiziološki, saj je pri normalnem spontanem dihanju na začetku vdihava pretok zraka zelo velik, nato pa se hitro zmanjšuje. Dihalni volumen se spreminja v odvisnosti od podajnosti pljuč in prsnega koša in upora v dihalnih poteh. Tako ob spremembi upornosti ali podajnosti ni zagotovljen stalni dihalni volumen (nevarnost hipo- ali hiperventilacije) . Pri tem načinu je zelo pomembno, da nastavimo ozke meje za sprožitev alarma v primeru nedoseganja ustreznega dihalnega in minutnega volumna.

Tlačno nadzorovano predihavanje s konstantnim volumenom

Na aparatu poleg osnovnih nastavitvev nastavimo dihalni volumen, ki ga aparat doseže s pojemajočim pretokom dihalne zmesi (tlačno nadzorovan način). Aparat sam izračuna podajnost pljuč in vpihne dihalni volumen z najmanjšim možnim tlakom. Pri spremembi podajnosti ali upora v dihalnih poteh ostane dihalni volumen stalen, spreminja se inspiratorni tlak, ki je lahko od vdihava do vdihava različen. Tudi pri tem načinu je potrebno nastaviti P_{max}. Zaradi pojemajočega pretoka dihalne zmesi med vdihom naj bi bil tak način pri večini bolnikov bolj primeren kot drugi načini.

Asistirani načini predihavanja

Pri številnih kirurških ali drugih posegih mišična relaksacija ni nujno potrebna, zato imajo bolniki pogosto spontane vdihe. Za boljšo sinhronizacijo jim ob ustrezni analgosedaciji lahko nastavimo enega od asistiranih načinov predihavanja. Nekateri anestezijski aparati imajo možnost nastavitve tlačne podpore (ang. »pressure support«). Nastavimo takšno tlačno podporo, da bodo bolnikovi dihalni volumni in minutni volumen dihanja ustrezni. Tlačno podporo je tekom anestezije pogosto potrebno prilagajati bolnikovim potrebam. Nekateri aparati pa imajo tudi možnost sinhronizirane intermitentne mandatorne ventilacije (SIMV), ki je sicer kontroliran način mehanskega predihavanja, vendar dopušča tudi vmesne bolnikove spontane vdihe, ki jim po potrebi dodamo ustrezno tlačno podporo.

Nastavitve odstotka kisika, dihalnega volumna ter PEEP

Pri kritično bolnih so številne raziskave dokazale povezavo med hiperoksijo ter predihovanjem s prevelikimi dihalnimi volumni, in/ali previsokimi tlaki platoja in dodatno poškodbo pljuč (15). Prav tako ima nepravilno izbrana vrednost PEEP povezavo z atelekttravmo (prenizek PEEP) ali prenapihnenostjo pljuč in negativnimi hemodinamskimi učinki (previsok PEEP) (15). Mehanizmi in možne z ventilatorjem povzročene poškodbe pljuč (angl. »ventilator-induced lung injury« - VILI) so podrobno opisane v preglednem članku Katira (15).

Tudi med splošno anestezijo se priporoča uporaba tako imenovane protektivne ventilacije, pri kateri uporabljamo nizke dihalne volumne (6-8 ml/kg idealne telesne teže), PEEP ter najnižji odstotek kisika, ki še dopušča zadovoljivo oksigenacijo bolnika (16). Protektivna ventilacija brez uporabe ustrezne vrednosti PEEP verjetno celo poveča možnost atelektotravme zaradi cikličnega derekrutiranja pljuč (6). Največji ugodni učinek ima po dosedanjih podatkih uporaba nizkih dihalnih volumnov ter izogibanje hiperoksiji. Hkrati pa uporaba PEEP lahko odpre atelektatična področja, ki nastanejo med uvodom v anestezijo, ter preprečuje zapiranje in odpiranje malih dihalnih poti med mehanskim predihavanjem. Neželeni učinki nepravilno izbrane vrednosti PEEP so hemodinamska nestabilnost ter prenapihnenost pljuč. Zaenkrat ni čisto jasno, katera vrednost PEEP je optimalna. V raziskavi PROBESE niso mogli dokazati, da bi višje vrednosti PEEP ter manevri odpiranja pljuč (rekrutment manevri) zmanjšali možnost za pooperativne zaplete pri debelih (17). Rezultati mednarodne raziskave PROTHOR, kjer preučujejo predihavanje enega pljučnega krila z manjšimi/ večjimi vrednostmi PEEP in rekrutment manevri pa še niso bili objavljeni (18). Tako se pri bolnikih s sicer zdravimi pljuči priporoča vrednost PEEP 5 cm H₂O (6,16). Pri debelih in bolnikih med laparaskopskimi posegi in posegi v Trendelenburgovem položaju pa je potrebno PEEP individualno prilagoditi ter pri tem upoštevati neželene hemodinamske učinke (6).

Uporaba visokega odstotka kisika sicer zmanjša pooperativno slabost in bruhanje ter ima ugoden učinek na celjenje operativne rane, vendar hkrati povzroča nastanek resorpcijskih

atelektaz ter biotravmo (ne le v pljučih) zaradi nastanka prostih kisikovih radikalov (4,15,16). Pri kritično bolnih hiperoksija celo poveča umrljivost (19).

Odpiralni (rekrutment) manevri pljuč

Namen odpiralnih manevrov (OM) je odpiranje atelektaz, ki nastanejo med uvodom v anestezijo ter mehanskim predihavanjem. OM se po zadnjih priporočilih ne uporabljajo rutinsko, ampak le pri težavah z oksigenacijo ($SpO_2 < 94\%$) (6). Obstaja ročni način, kjer z dihalnim balonom vpihnemo dihalno zmes v pljuča do željenega tlaka. Ker med preklopom nazaj na mehansko ventilacijo pride do izgube pozitivnega tlaka v dihalnih poti in s tem do ponovne možnosti nastanka atelektaz, se bolj priporoča OM s pomočjo ventilatorja. Obstajajo tri možnosti: OM z vitalno kapaciteto, tlačno nadzorovani in volumsko nadzorovani OM. Pri OM z vitalno kapaciteto za 7-8 sekund zvišamo inspiratorni tlak na 40 cm H₂O (angl. »inspiratory hold«) (3,6). Pri bolniki z indeksom telesne mase >35 pa je verjetno bolj primeren inspiratorni tlak 50 cm H₂O (6). Pri tlačno nadzorovanem OM z enakim inspiratornim tlakom kot pri OM z vitalno kapaciteto naredimo 10 vdihov. Pri volumsko nadzorovanem OM začnemo z dihalnimi volumni 6-8 ml/kg idealne telesne teže ter razmerjem I:E 1:1. Nato zvišujemo dihalni volumen za 4 ml/kg idealne telesne teže vsakih 3-6 vdihov, dokler ne dosežemo tlaka platoja 30-40 cm H₂O, na tem nivoju naredimo dodatnih 3-6 vdihov. Nato se postopno vrnemo na izhodiščni dihalni volumen (6). Po OM je potrebno prilagoditi PEEP, da preprečimo ponovni nastanek atelektaz. OM izvajamo z najnižjim možnim odstotkom kisika. Priporočljivo je spremljanje podajnosti dihalnega sistema in delta P (PIP-PEEP ali inspiratorni tlak) med OM. Neželjeni učinek OM je hemodinamska nestabilnost ter hipoksemija (6).

Nadzor med mehanskim predihavanjem

Vsak anestezijski aparat mora imeti vgrajene senzorje za pretok zraka, meritev tlaka v dihalnih poteh in meritev koncentracije plinov v vdihanem in izdihanem zraku (O₂, CO₂, N₂O in inhalacijski anestetik) (20).

Prav tako mora biti omogočeno neprekinjeno spremljanje dihalnega volumna, frekvence dihanja, minutnega volumna, največjega tlaka v dihalih med vdihom, tlak inspiratornega platoja in pozitivni tlak ob koncu izdiha. Praviloma nam je omogočeno tudi grafično spremljanje sprememb tlaka v dihalnih poteh v času, sprememb dihalnega volumna v času in sprememb pretoka zraka v času. Nekateri aparati omogočajo tudi grafično spremljanje pretoka zraka v odvisnosti od dihalnega volumna (»flow-volume loop«) in spremljanje tlaka v odvisnosti dihalnega volumne (»pressure – volume loop«).

Med vsakim mehanskim predihavanjem je potrebno spremljati mehanske lastnosti dihalnega sistema (13). Tako spremljamo podajnost dihalnega sistema, delta p, in tlaka platoja. Za čim manjše neželene učinke mehanskega predihavanja je potrebno nastaviti parametre tako, da

je minutni volumen dihanja zagotovljen s čim manjšim delta P. Pomembna je tudi ustrezna nastavitev vrednosti PEEP.

Zbujanje iz anestezije

Med zbujanjem iz anestezije moramo paziti, da z napačnimi ukrepi ne izničimo vsega truda, s katerim smo med mehanskim predihavanjem preprečevali nastanek atelektaz. Kot med uvodom v anestezijo se tudi med zbujanjem priporoča dvig zgornjega dela telesa. Pri prehodu na spontano dihanje se odsvetuje, da bi s hiperkanpijo zaradi apneje vzpodbudili spontano dihanje, saj s poskusom prehoda na spontano dihanje med apnejo izničimo pozitivni tlak v dihalnih poteh in s tem povzročimo kolaps malih dihalnih poti. Pomembno je torej izbrati pravi trenutek prehoda na spontano dihanje, ko je le-to že prisotno. Idealno je, da tudi med spontanim dihanjem pri bolniku na ventilatorju izvajamo PEEP. Tik pred ekstubacijo se izogibamo sukaciji iz dihalne cevke ter napenjanju bolnika. Prav tako se med zbujanjem ne priporoča dvigniti koncentracije kisika v dihalni zmesi nad 80%, saj s tem zelo povečamo možnost nastanka atelektaz. V idealnih pogojih med zbujanjem bolniku ne dovajamo več kot 40% kisik, če to bolnikovo stanje seveda dopušča (6).

Literatura:

1. Nimmagadda U, Salem MR, Crystal GJ. Preoxygenation: Physiologic Basis, Benefits, and Potential Risks. *Anesth Analg*. Februar 2017;124(2):507–17.
2. Edmark L, Auner U, Enlund M, Ostberg E, Hedenstierna G. Oxygen concentration and characteristics of progressive atelectasis formation during anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand*. Januar 2011;55(1):75–81.
3. Hedenstierna G. Effects of anaesthesia on ventilation/perfusion matching. *Eur J Anaesthesiol EJA*. September 2014;31(9):447.
4. Bigatello L, Pesenti A. Respiratory Physiology for the Anesthesiologist. *Anesthesiology*. 1. Juni 2019;130(6):1064–77.
5. Milic-Emili J, Torchio R, D'Angelo E. Closing volume: a reappraisal (1967-2007). *Eur J Appl Physiol*. April 2007;99(6):567–83.
6. Young CC, Harris EM, Vacchiano C, Bodnar S, Bukowy B, Elliott RRD, u. a. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *Br J Anaesth*. Dezember 2019;123(6):898–913.
7. Mansell A, Bryan C, Levison H. Airway closure in children. *J Appl Physiol*. Dezember 1972;33(6):711–4.
8. Lyons C, Callaghan M. Uses and mechanisms of apnoeic oxygenation: a narrative review. *Anaesthesia*. April 2019;74(4):497–507.
9. De Jong A, Jung B, Jaber S. Intubation in the ICU: we could improve our practice. *Crit Care*. 18. März 2014;18(2):209.
10. Jaber S, Molinari N, De Jong A. New method of preoxygenation for orotracheal intubation in patients with hypoxaemic acute respiratory failure in the intensive care unit, non-invasive

- ventilation combined with apnoeic oxygenation by high flow nasal oxygen: the randomised OPTINIV study protocol. *BMJ Open*. 12. August 2016;6(8):e011298.
11. Chiang TL, Tam KW, Chen JT, Wong CS, Yeh CT, Huang TY, u. a. Non-invasive ventilation for preoxygenation before general anesthesia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Anesthesiol*. 30. September 2022;22(1):306.
 12. Harbut P, Gozdzik W, Stjernfält E, Marsk R, Hesselvik JF. Continuous positive airway pressure/pressure support pre-oxygenation of morbidly obese patients. *Acta Anaesthesiol Scand*. Juli 2014;58(6):675–80.
 13. MOLLER PETRUN, Andreja. Mehansko predihavanje. V: MEKIŠ, Dušan (ur.). *Dihalna pot 2019*. Maribor: Univerzitetni klinični center, 2019. Str. 20-26. ISBN 978-961-7039-48-1.
https://www.ukc-mb.si/media/files/uploads/zborniki/ZBORNIK_Dihalna_pot_2019_1.pdf.
 14. Chatburn RL, El-Khatib M, Mireles-Cabodevila E. A Taxonomy for Mechanical Ventilation: 10 Fundamental Maxims. *Respir Care*. 1. November 2014;59(11):1747–63.
 15. Katira BH. Ventilator-Induced Lung Injury: Classic and Novel Concepts. *Respir Care*. 1. Juni 2019;64(6):629–37.
 16. Serpa Neto A, Schultz MJ, Slutsky AS. Current concepts of protective ventilation during general anaesthesia. *Swiss Med Wkly*. 2015;145:w14211.
 17. Writing Committee for the PROBESE Collaborative Group of the PROtective VEntilation Network (PROVEnet) for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology. Effect of Intraoperative High Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) With Recruitment Maneuvers vs Low PEEP on Postoperative Pulmonary Complications in Obese Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 18. Juni 2019;321(23):2292–305.
 18. Kiss T, Wittenstein J, Becker C, Birr K, Cinnella G, Cohen E, u. a. Protective ventilation with high versus low positive end-expiratory pressure during one-lung ventilation for thoracic surgery (PROTHOR): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 11. April 2019;20(1):213.
 19. Damiani E, Adrario E, Girardis M, Romano R, Pelaia P, Singer M, u. a. Arterial hyperoxia and mortality in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2014;18(6):711.
 20. KAMENIK, Mirt. Umetno predihovanje in nadzor predihovanja med splošno anestezijo. V: NOVAK-JANKOVIČ, Vesna (ur.). *Šola anesteziologije, reanimatologije in perioperativne intenzivne medicine. Modul 1, Splošna anestezija 1 : učbenik*. Ljubljana: Klinični oddelek za anesteziologijo in intenzivno terapijo operativnih strok, Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center; Maribor: Oddelek za anesteziologijo, intenzivno terapijo in terapijo bolečin, Univerzitetni klinični center, 2018. Str. 89-92. ISBN 978-961-6707-24-4.