

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/281243650>

Oksigenoterapija

Chapter · February 2013

DOI: 10.13140/RG.2.1.1161.3924

CITATIONS

0

READS

20,522

6 authors, including:



Sladjana Trpkovic
University of Pristina

45 PUBLICATIONS 85 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Nebojsa Ladjevic
University of Belgrade

83 PUBLICATIONS 903 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Dragana Unic-Stojanovic
Dedinje Cardiovascular Institute

49 PUBLICATIONS 228 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Tjaša Ivošević
Klinički centar Srbije

7 PUBLICATIONS 4 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Biomarkers in cardiac risk stratification [View project](#)



Lung injury induced by mechanical ventilation [View project](#)

2. OKSIGENOTERAPIJA

*Slađana Trpković, Nevena Kalezić, Nebojša Lađević,
Dragana Unić-Stojanović, Tjaša Ivošević, Radmilo Janković*

UVOD

Oksigenoterapija je lečenje kiseonikom. To je metoda koja se zasniva na primeni medicinskog kiseonika u cilju otklanjanja smanjene koncentracije kiseonika u alveolama ili ćelijama i tkivima. Svrha oksigenoterapije je popravljavanje stanja, ili omogućavanje organizmu da premosti fazu akutne opasnosti po život dok se ne otkloni uzrok koji je doveo do hipoksije ili hipoksemije.

U cilju razumevanja suštine oksigenoterapije, od značaja je poznavanje osnovnih svojstava kiseonika i hipoksije, kako bi se pravilno primenili principi oksigenoterapije.

KISEONIK

Kiseonik (O₂) je neophodan za aerobni metabolizam, tokom koga se stvaraju ugljen-dioksid (CO₂) i energija neophodna za život i funkcionisanje ćelija. Razmena respiratornih gasova, kiseonika (O₂) i ugljen-dioksida (CO₂), između atmosferskog vazduha i krvi obavlja se u plućima. Zato je zadovoljavajuća plućna funkcija prvi uslov za održanje homeostaze ovih gasova.

Kiseonik se u smeši gasova atmosferskog vazduha nalazi u količini od 21%, pod parcijalnim pritiskom od 159 mmHg. Vazduh ulazi u pluća zahvaljujući strujanju iz spoljašnje sredine u alveole i obrnuto.

Ovaj proces naziva se *ventilacija* i omogućen je gradijentom pritiska koji postoji između atmosferskog vazduha i alveola. Udahnuti vazduh se u alveolama razređuje, tako da se parcijalni pritisak kiseonika (PO_2) sa 159 mmHg (u atmosferskom vazduhu) smanjuje na 104 mmHg u alveolarnom vazduhu (P_AO_2).

Iz alveola kiseonik prelazi kroz respiratornu membranu u krv i obrnuto, zahvaljujući razlici u pritiscima sa obe strane membrane. Ovaj proces označen je kao *difuzija*. Tako dolazi do daljeg smanjenja pritiska kiseonika, zbog mešanja krvi oksigenisane u plućima sa venskom primesom krvi. Parcijalni pritisak kiseonika u arterijskoj krvi (PaO_2) iznosi 90-110 mmHg i ne menja se sve do ćelija. Oštećenja alveolarno-kapilarne membrane mogu biti uzrok ograničenog transfera kiseonika iz pluća u krvne sudove (azbestoza, fibrozirajući alveolitis, karcinom alveolarnih ćelija, idiopatska intersticijalna fibroza).

Kiseonik koji je iz alveola difundovao u krv dalje se do ćelija prenosi na dva načina: vezan za hemoglobin (97%) i fizički rastvoren u plazmi (3%). Ovaj proces naziva se *transport*.

Zbir količine kiseonika koji je rastvoren u plazmi i količine kiseonika vezanog za hemoglobin označen je kao sadržaj kiseonika u krvi (CaO_2). Kako je rastvorljivost kiseonika u krvi veoma mala, tako su vrednosti sadržaja kiseonika u krvi (CaO_2) uglavnom određene količinom kiseonika koji je vezan za hemoglobin.

Po Henrijevom (Henry) zakonu, količina kiseonika rastvorenog u plazmi je proporcionalna njegovom parcijalnom pritisku (PaO_2). Stvarne količine kiseonika koji je rastvoren u plazmi nisu velike,

obzirom da ni koeficijent rastvorljivosti kiseonika u plazmi nije veliki. On iznosi 0,003 ml/dl, pri pritisku od 1 mmHg. Kapacitet hemoglobina za kiseonik (kada je hemoglobin potpuno zasićen) iznosi 1,34 ml, tj. 1 gram hemoglobina može maksimalno da prenese 1,34 ml kiseonika (Hifnerov činilac). Ukoliko su poznati: koncentracija hemoglobina u krvi (Hb), parcijalni pritisak kiseonika u arterijskoj krvi (PaO_2) i saturacija hemoglobina kiseonikom (SaO_2), može se izračunati sadržaj kiseonika u arterijskoj krvi (CaO_2):

$$CaO_2 = [1,34 \times Hb \times (SaO_2/100)] + 0,003 \times PaO_2$$

U idealnim uslovima, pri parcijalnom pritisku kiseonika u arterijskoj krvi od 100 mmHg ($PaO_2=100$ mmHg), saturaciji hemoglobina kiseonikom (SaO_2) od 98-100% i koncentraciji hemoglobina od 15 g/dl ova vrednost je oko 20 ml/100 ml krvi ili 200 ml/1000 ml krvi (200 ml/L krvi). Ukoliko se sadržaj kiseonika (CaO_2) pomnoži minutnim volumenom krvi (CO) dobiće se ukupna količinu kiseonika koja se isporučuje tkivima (DO_2).

$$DO_2 = CO \times CaO_2$$

$$DO_2 = 5 \text{ L/min} \times 200 \text{ ml/L} = 1000 \text{ ml.}$$

Dakle, ukoliko je minutni volumen srca 5 L/min onda se putem krvi prenosi ukupno 1000 ml kiseonika.

Međutim, pritisak kiseonika u mešanoj venskoj krvi (PvO_2) je između 40 i 52 mmHg, zasićenje hemoglobina kiseonikom (SvO_2) je 75% tako da je sadržaj kiseonika u venskoj krvi (CvO_2) oko 15 ml/100 ml krvi (150 ml/1000 ml krvi, tj. 150 ml/L krvi).

$$CvO_2 = [1,34 \times Hb \times (SvO_2/100)] + 0,003 \times PvO_2$$
$$CvO_2 = 15 \text{ ml/100ml krvi.}$$

Razlika sadržaja kiseonika u arterijskoj krvi ($CaO_2 = 20$ ml/100 ml krvi) i venskoj krvi ($CvO_2 = 15$ ml/100 ml krvi) ukazuje da tkiva preuzimaju oko 5 ml kiseonika na 100 ml krvi (50 ml/1000 ml krvi). Ako se uzme da minutni volumen srca iznosi 5 L/min ($CO = 5$ L/min), potrošnja kiseonika u tkivima (VO_2) iznosi 250 ml/min. To znači da se tkivima isporučuje (DO_2) značajno veća količina kiseonika (1000 ml) u odnosu na njihovu potrošnju (VO_2) koja iznosi 250 ml/min.

Potrošnja kiseonika u organizmu koja je u bazalnim uslovima 250 ml/min se, pod određenim uslovima, može značajno povećati (drhtavica, hipertermija, konvulzije, hipertireoza) ili smanjiti (hipotermija, hipotireoza).

Promena koncentracije hemoglobina u krvi takođe bitno utiče na količinu kiseonika koja se putem krvi prenosi. Kada je bolesnik anemičan, sadržaj kiseonika u krvi pada, sa policitemijom, on raste. U oba slučaja, SaO_2 može biti 97-100%, ali pri tome postoji razlika u količini kiseonika koja se prenosi vezana za hemoglobin.

Dospevši do ćelija, kiseonik se iskorišćava u mitohondrijama, gde bi pritisak kiseonika trebalo da bude iznad kritičnog nivoa za odvijanje aerobnog metabolizma. Ovaj ni-

vo označen je kao Pasterova tačka i iznosi 1-2 mmHg.

Postupno smanjenje pritiska kiseonika od atmosferskog vazduha do ćelija naziva se *kiseonična kaskada*. (**Tabela 2-1**)

Stepen oksigenacije može se pratiti pomoću pulsnog oksimetra (**Slika 2-1**), tj. merenjem zasićenosti hemoglobina kiseonikom (O_2). Međutim, najbolji i najpouzdaniji način za procenu oksigenacije je merenje parcijalnog pritiska kiseonika u arterijskoj krvi (PaO_2) pomoću gasnog analizatora. (**Slika 2-2**)

Fiziološki, pri udisanju atmosferskog vazduha ($FiO_2 = 0,21$) kod odraslih (u drugoj i trećoj deceniji života), normalne vrednosti parcijalnog pritiska kiseonika u arterijskoj krvi (PaO_2) su 90-110 mmHg, a zasićenje kiseonikom (SaO_2) je 98%. Kod dece, parcijalni pritisak kiseonika u arterijskoj krvi (PaO_2) je 80-100 mmHg, a zasićenost hemoglobina kiseonikom (SaO_2) je 95-97%. Kod neonatusa (prematurosa i terminskih beba) PaO_2 je 50-80 mmHg, a SaO_2 88-92%. Kod dece sa cijanogenim srčanim manama SaO_2 je još niži, ali > 60%.

Sa starenjem, vrednost PaO_2 se smanjuje za 3-4 mmHg sa svakom decenijom života, pa se kod osoba u sedmoj deceniji života mogu

Tabela 2-1. Kiseonična kaskada

| | kPa | mmHg |
|-------------------------|-----------|----------|
| atmosferski gas | 21,2 | 159 |
| alveolarni gas | 13,73 | 104 |
| arterijska krv | 12-14,67 | 90-110 |
| intersticijalna tečnost | 5,33-6,93 | 40-52 |
| ćelije (mitohondrije) | 0,5-3 | 3,8-22,5 |
| venska krv | 5,33-6,93 | 40-52 |

kao fiziološke naći vrednosti arterijskog pritiska kiseonika (PaO_2) od 68 mmHg.

U venskoj krvi, parcijalni pritisak kiseonika (PvO_2) je 40 mmHg, a saturacija kiseonikom (SaO_2) je 75%.

Pri padu parcijalnog pritiska kiseonika u arterijskoj krvi (PaO_2) na 60 mmHg saturacija hemoglobina kiseonikom (SaO_2) pada na 89%, dok pri porastu parcijalnog pritiska kiseonika u arterijskoj krvi (PaO_2) iznad 104 mmHg zasićenje hemoglobina kiseonikom (SaO_2) ne može da poraste preko 100%.

Malim povećanjem koncentracije udahnutog kiseonika (tzv. inspiratorna frakcija kiseonika, FiO_2) parcijalni pritisak kiseonika u alveolarnom gasu (P_AO_2) značajno se povećava. Na primer, pri povećanju FiO_2 sa 0,21 na 0,3, vrednost P_AO_2 raste za 64 mmHg.

Optimalna vrednost hematokrita za prenos kiseonika je 30-35%, mada je za održavanje tkivne oksigenacije značajno i obezbeđenje odgovarajućeg volumena cirkulišuće tečnosti.

HIPOKSIJA

Mogućnosti za deponovanje kiseonika u organizmu su male. Pri udisanju atmosferskog vazduha ($\text{FiO}_2 = 0,21$) u organizmu se nalazi oko 1500 ml rastvorenog kiseonika, a pri udisanju čistog kiseonika ($\text{FiO}_2 = 1,0$) oko 4000 ml. Mogućnost stvaranja male rezerve kiseonika udisanjem čistog kiseonika omogućuje izvođenje različitih postupaka u uslovima apneje (kada bolesnik ne diše). Naime, dovoljno duga

(3-5 minuta) „preoksigenacija“ (udisanje 100% kiseonika pre primene mišićnog relaksanta), omogućuje bezbedan period apneje (nakon primene mišićnog relaksanta) u trajanju od čak 3-8 minuta, kada se može izvesti (otežana) endotrahealna intubacija, a da ne dođe do smanjenja vrednosti parcijalnog pritiska arterijskog kiseonika (PaO_2) ispod fiziološke vrednosti od 100 mmHg.

Hipoksija predstavlja stanje u organizmu koje nastaje usled smanjenih vrednosti kiseonika u tkivima, a *hipoksemija* je stanje smanjenja koncentracije O_2 u krvi. Laboratorijske karakteristike hipoksije (i hipoksemije su): vrednost parcijalnog pritiska kiseonika arterijske krvi (PaO_2) je niža od 60 mmHg i saturacija hemoglobina kiseonikom (SaO_2) je manja od 90%.

Nakon registrovanja hipoksije, potrebno je efikasno i sistematsko istraživanje njenog uzroka, jer od toga zavise terapijski postupci i mogućnost korekcije hipoksije.

Hipoksija se može podeliti na:

1. hipoksičnu,
2. anemičnu,
3. stagnantnu i
4. histotoksičnu.

Hipoksična hipoksija nastaje zbog nedostatka kiseonika u alveolarnom vazduhu. Do ove vrste hipoksije dolazi: pri udisanju razređenog vazduha na velikim visinama, boravku u zatvorenim, (neventiliranim) prostorijama, u toku anestezije (zbog nedovoljne količine kiseonika u inspiratornoj smeši gasova) itd. Međutim, ova vrsta hipoksije postoji i ukoliko je količina kiseonika u atmosferskom vazduhu dovoljna, ali je smanjena

količina kiseonika u alveolama. To se dešava u nekim patološkim stanjima, kao što su: depresija respiratornog centra, poremećaji respiracije zbog oboljenja zida grudnog koša i poremećaji difuzije gasova na nivou alveolo-kapilarne membrane. Ova vrsta hipoksije je najvažnija indikacija za oksigenoterapiju.

Anemična hipoksija nastaje zbog smanjenja kiseoničnog kapaciteta krvi, usled smanjenja količine hemoglobina ili poremećaja sposobnosti hemoglobina da prenosi kiseonik (kod anemije, abnormalnih formi hemoglobina i trovanja ugljenmonoksidom). Lečenje kiseonikom se ovde primenjuje kao palijativna terapija, a lečenje hiperbarnim kiseonikom daje bolje rezultate.

Stagnantna hipoksija nastaje zbog lokalnog ili opšteg smanjenja cirkulacije krvi kroz tkiva. Cirkulatorni deficit nastaje bilo zbog smanjenja minutnog volumena srca ili perifernog protoka (u šoku, zbog iskrvarenja ili traume). Primena kiseonika kod ove vrste hipoksije ima mali efekat i zasniva se na povećanju količine kiseonika rastvorenog u plazmi. Osnovni terapijski postupci treba da budu usmereni ka oporavku funkcije kardiovaskularnog sistema (potpora cirkulacije) i respiratorne funkcije.

Histotoksična hipoksija nastaje kod trovanja materijama koje blokiraju enzime bez kojih se ne može odvijati aerobni metabolizam. Ovaj tip hipoksije nastaje usled trovanja cijanidima, alkoholom i kod predoziranja anestheticima. Lečenje kiseonikom je ovde urgentna terapija do primene antidota.

Simptomi hipoksije

Opšti znaci hipoksije - Kod hipoksičnih osoba upadljivo je plitko i ubrzano disanje, često sa otvorenim ustima, a kod dece hipoksija je praćena lepršanjem nozdruva. Odnos između inspirijuma i ekspirijuma je neregularan. Bolesnik se može nalaziti u prinudnom položaju (ortopneja). Čujni su traheobronhijalni krkori, a kašalj nije produktivan. Postoji cijanoza usana i jezika (centralnog tipa), dok su lice i telo obloženi znojem. **(Slika 2-3)** Cijanoza je kardinalni znak hipoksije. To je plavičasta prebojenost sluzokoža (jezika) i kože (vidljiva na jagodicama prstiju i delovima sa istanjenom kožom). Nastaje kada je redukovano najmanje 50 g/L hemoglobina, a saturacija kiseonikom (SaO₂) je 80%. Cijanoza centralnog tipa postoji kod obolelih od respiratornih bolesti, dok je cijanoza perifernog tipa uglavnom posledica smanjenog minutnog volumena srca. Hipoksija može da postoji i bez prapratne cijanoze (kod teške anemije).

Nervni sistem – Prisutni su različiti poremećaji stanja svesti (uznemirenost, agitacija, konfuzija, somnolencija i sopor), u zavisnosti od težine hipoksije. U stanju teške hipoksije nastaje koma. Nekada se javljaju konvulzije, češće u stanjima naglog prekida cirkulacije. One ukazuju na težak poremećaj oksigenacije nervnog sistema. Pri akutnom prekidu cirkulacije nervnog sistema, cerebralna funkcija prestaje u roku od 30 sekundi, a oporavak obično nije moguć ukoliko ovakvo stanje potraje duže od 5 minuta. Protok krvi kroz nervni sistem je povećan zbog vazodilatatornog dejstva hipoksije.

Kardiovaskularni sistem – Poremećaji vrednosti krvnog pritiska (hipo ili hipertenzija) i poremećaji srčanog ritma (npr. tahikardija, prelazak sinusnog ritma u apsolutnu aritmiju ili pojava ventrikularnih ekstrasistola) su česti u hipoksičnim stanjima. Hipoksija je praćena vazodilatacijom i smanjenjem sistemske vaskularne rezistencije. Usled pojačanog lučenja kateholamina, minutni volumen srca u početku se povećava, a kasnije smanjuje. Posle prekida krvotoka kroz koronarne krvne sudove gubi se sposobnost kontraktilnosti miokarda u regionu koji ti krvni sudovi ishranjuju, a ubrzo potom se razvija i infarkt (budući da su koronarni krvni sudovi terminalni).

Respiratorni sistem – Pored hiperventilacije usled stimulacije hemoreceptora (aortnih i karotidnih), u respiratornom sistemu se javljaju i drugi poremećaji. Traheobronhijalna sekrecija se pojačava, čime se hipoksija pogoršava. Tonus plućnih krvnih sudova se povećava i raste plućna vaskularna rezistenca što takođe pogoršava hipoksiju.

Bubrezi – Nefroni mogu preživeti potpunu hipoksiju, ali samo ako je trajala manje od 10 minuta. Duža hipoksija vodi u akutnu tubularnu nekrozu. Kod obolelih od plućih bolesti kod kojih postoji hronična hipoksija javlja se povećana produkcija eritropoetina i usled toga policitemija.

Jetra – Rani znak hipoksije je centrolobularna nekroza, dok se kasnije javlja periferna nekroza hepatocita.

PRINCIPI PRIMENE OKSIGENOTERAPIJE

Lečenje kiseonikom može biti primenjeno u bolnici, u vanbolničkim ili kućnim uslovima, kako kod hroničnih bolesnika tako i u hitnim situacijama.

Indikacije za oksigenoterapiju su:

1. evidentna hipoksija bolesnika (na osnovu kliničke slike, anamneze, laboratorijskih-gasnih analiza)
2. poremećaj ventilacije (bolesti respiratornog sistema, otežano disanje)
3. poremećaj stanja svesti
4. poremećaj cirkulacije (hipotenzija, šok, bolesti kardiovaskularnog sistema).

Apsolutna indikacija za primenu kiseonika je vrednost PaO_2 manja od 60 mmHg (8 kPa) kod prethodno zdravih, mladih osoba. Pri tako niskoj vrednosti PaO_2 iscrpljuje se kompenzacijska moć bubrega.

Oksigenoterapija kod bolesnika sa hroničnim bolestima

U stanjima hronične hipoksije i hiperkapnije smanjena je osetljivost respiratornog centra na ugljen-dioksid, pa njegov naj snažniji stimulus postaje hipoksija. U ovoj situaciji ne treba uklanjati hipoksični stimulus respiracije dovođenjem PaO_2 na normalne vrednosti. Potrebno je svakako podići PaO_2 i ublažiti stepen hipoksije povećanjem zasićenosti hemoglobina kiseonikom, ali do nivoa koji je još uvek dovoljno nizak da bi predstavljao stimulus za respiratorni centar. Optimalna vrednost PaO_2 je nešto ispod 60 mmHg, jer je hipoksična stimulacija respiratornog centra pri tolikom PaO_2 najveća.

Kod bolesnika sa hroničnom opstruktivnom bolešću pluća (HOBP), u slučaju privremenog pogoršanja njihovog stanja, primena oksigenoterapije je indikovana ukoliko je $\text{PaO}_2 \leq 55$ mmHg, a $\text{SaO}_2 \leq 88-92\%$. Pokazalo se da to značajno produžuje životni vek ovih bolesnika.

Oksigenoterapiju treba započeti manjim koncentracijama kiseonika u inspiratornoj mešavini (oko 24%), pa ih postepeno, po potrebi, povećavati. Oksigenoterapija treba da bude kontinuirana, a zbog mogućnosti povećanja PaCO_2 koji nije eliminisan, jer osnovna bolest nije izlečena, potrebno je stalno praćenje bolesnika.

Oksigenoterapija je indikovana kod novorođenčeta u slučaju asfiksije, posle prethodne aspiracije i čišćenja disajnih puteva, i u respiratornom distres sindromu, uz stalnu kontrolu PaO_2 . Koncentracija datog O_2 ne bi trebalo da bude veća od 40%.

Oksigenoterapija u akutnim stanjima

Kiseonik ima široku primenu u urgentnoj medicini, kako hospitalnim uslovima, tako i u toku hitne medicinske pomoći.

U prehospitalnim uslovima visoke koncentracije kiseonika su indikovane u toku reanimacionih postupaka, kod traume glave i pluća, politraume, anafilakse, masivne hemoragije, šoka, akutnih konvulzija i hipotermije.

Različita oboljenja i stanja mogu biti uzroci akutnih respiratornih poremećaja koji dovode do hipoksije i kod kojih se preporučuje primena oksigenoterapije. (**Tabela 2-2**)

Nakon postavljanja indikacije za oksigenoterapiju u urgentnim stanjima, primenu kiseonika treba otpočeti u maksimalnim koncentracijama. Udisanjem 100% O_2

Tabela 2-2. Uzroci akutnih respiratornih poremećaja, kod kojih je indikovana oksigenoterapija

| Poremećaj | Uzrok |
|------------------------------------|--|
| Poremećaj ventilacije | <i>Depresija disajnog centra:</i> medikamentozna (izazvana lekovima, kao što su anestetici, sedativi itd.), moždani udar (infarkt mozga), povrede mozga <i>Neuro-mišićne bolesti:</i> mijastenija gravis, Guillain-Barre sindrom, povrede kičmene moždine, dečja paraliza, porfirija, botulizam <i>Opstrukcija disajnih puteva:</i> hronična opstruktivna bolest pluća, akutni oblik astme <i>Restriktivni poremećaji:</i> kifoskolioza, ankilozirajući spondilitis, obostrana paraliza dijafragme, teška gojaznost |
| Difuzioni poremećaj razmene gasova | <ul style="list-style-type: none"> • Edem pluća • Akutni respiratorni distres sindrom • Plućna tromboembolija • Fibroza pluća |
| Perfuzioni poremećaj ventilacije | <ul style="list-style-type: none"> • Hronična opstruktivna bolest pluća • Plućna fibroza • Akutni respiratorni distres sindrom • Plućna tromboembolija |

($FiO_2 = 1,0$) u alveole dospeva pet puta više kiseonika nego udisanjem atmosferskog vazduha. Upotreba 100% kiseonika je neophodna i bezbedna tokom prvih 6 sati reanimacije. Parcijalni pritisak kiseonika trebalo bi održavati najmanje na 80 mmHg, a pokazatelj dobre ventilacije je vrednost $PaCO_2$ od 35-40 mmHg. Nakon 6 časova, ukoliko stanje bolesnika dozvoljava, koncentraciju kiseonika trebalo bi smanjiti ispod 50% ($FiO_2 = 0,5$), kako bi se izbeglo toksično dejstvo kiseonika. Održavanje PaO_2 iznad 60 mmHg obezbeđuje SaO_2 na oko 90%.

U toku akutnih plućnih bolesti, kao što su embolija pluća, upala pluća, pneumotoraks, težak astmatični napad i edem pluća, ili srčani udar, primenjuje se lečenje većim koncentracijama kiseonika. Slično je i kod fibroze pluća, gde ne postoji porast koncentracije ugljen-dioksida, tako da primenjena visoka doza kiseonika ne uzrokuje hipoventilaciju.

Efekti oksigenoterapije

Kiseonične rezerve organizma pri udisanju atmosferskog vazduha su male i nedovoljne da održe život duže od nekoliko minuta. Udisanje čistog kiseonika podiže parcijalni pritisak kiseonika u alveolarnom vazduhu (P_AO_2) na 673 mmHg, a parcijalni pritisak kiseonika u krvi (PaO_2) na 640 mmHg, saturacija hemoglobina kiseonikom (SaO_2) je 100%.

Kod zdravih osoba udisanje čistog kiseonika već posle prvih nekoliko minuta dovodi do smanjenja minutnog volumena disanja i povećanja minutnog volumena respiracije za oko 10%. Dejstvom kiseonika na vazomotorni centar, dolazi do smanjenja minutnog volumena srca. Srčana frekvencija

se usporava za više od 10 udara/minuti, što je jedan od značajnih pokazatelja uspešne oksigenoterapije. Kiseonik dovodi do vazokonstrikcije perifernih krvnih sudova, a zbog vazokonstrikcije u CNS-u protok krvi kroz mozak se smanjuje za 10%. Zahvaljujući svom vazokonstriktivnom efektu, visoke koncentracije kiseonika se koriste u kućnim uslovima, za ličnu upotrebu, za prekidanje napada jake (cluster) glavobolje.

Način primene kiseonika

Pri primeni oksigenoterapije potrebno je obezbediti izvor kiseonika, način na koji će se on davati i ovlaživač. Neophodno je odrediti veličinu protoka kiseonika/minuti, njegov procenat u inspiratornom vazduhu (FiO_2), kao i vreme za koje će biti primenjivan.

Načini skladištenja kiseonika

Tečni O_2 skladišti se u rashlađenim tankerima do momenta korišćenja, a zatim se zagreva do temperature od $-182,96^\circ C$ (90,188 K), da bi se kiseonik oslobodio kao gas. Ovo je najčešći način skladištenja u bolnicama, jer se tu troše velike količine kiseonika. ***(Slika 2-4)***

Komprimovani kiseonik se nalazi u gasnim cilindrima (bocama), za čije čuvanje nisu potrebni posebni uslovi tj. nije potrebno hlađenje (kao za čuvanje tečnog kiseonika). ***(Slika 2-5)***

Instant upotreba kiseonika podrazumeva korišćenje kiseonika dobijenog iz koncentratora na električni pogon, ili iz jedinice za hemijsku proizvodnju. Na ovaj način može se proizvesti dovoljna količina kise-

onika za kućnu upotrebu i omogućeno je kontinuirano snabdevanje, bez potrebe za nabavljanjem boca koje je teško nositi i zauzimaju mnogo prostora. (*Slika 2-6*)

Kiseonični cilindri

Kiseonik se čuva u cilindrima (*Slika 2-5*) pod visokim pritiskom od oko 150 atmosfera (120-200). Postoje cilindri od 40 litara (koji sadrže 6000 litara O₂), 10 litara (koji sadrže 1500 litara O₂) i od 2 litra (sa 300 litara O₂). Na svakoj boci (cilindru) nalazi se manometar koji pokazuje pritisak pod kojim se kiseonik nalazi u boci. (Napomena: Pritisak kiseonika u cevima kod centralnog snabdevanja je 5 atmosfera). Zaprimina kiseonika u boci izražava se u litrima, a izračunava se tako što se zaprimina boce u litrima (utisnuto na boci) pomnoži sa pritiskom kiseonika u atmosferama (očitava se na manometru), prema formuli:

zaprimina boce (L) x pritisak (atm.) = ukupna količina O₂ u boci (L).

Tako, na primer, boca od 2 L koja je pod pritiskom od 150 atmosfera sadrži 300 litara kiseonika. Na osnovu toga se može proceniti vreme trajanja boce, pri određenom protoku. Npr. ako se bolesniku daje 6 litara O₂/minuti, vreme trajanja boce je 50 minuta.

Medicinski kiseonik je dostupan u čeličnim bocama, gotovo potpuno čist, sa svega 0,5% primesa, i to uglavnom azota. Cilindri sa kiseonikom su obojeni svetlo plavo, za razliku od cilindara sa drugim gasovima, koji su obojeni drugim bojama, zavisno od gasa koji sadrže.

Kako je, uprkos različitom bojenju cilindara, ipak moguća greška, preduzete su

još neke mere sigurnosti, kako ne bi došlo do primene nekog drugog gasa, umesto kiseonika (što može biti fatalno). Te mere su sledeće:

- prečnik navoja na cilindru različit je za svaki gas, što onemogućava da se cilindar sa jednim gasom priključi na mesto drugog gasa;
- kod cilindra sa četvrtastom glavom uveden je tzv. „Pin Index System“ (*Slika 2-7*), koji se sastoji u sledećem: na mestu gde se priključuje redukcioni ventil, postavljena su dva šiljka koji ulaze u dva odgovarajuća otvora na ventilu cilindra. Svaki gas ima određen raspored otvora (rupa) na cilindru, čime je onemogućeno povezivanje pogrešnog cilindra na mesto predviđeno za drugi gas.

Redukcioni ventili kiseoničnog cilindra omogućavaju da pokazatelj merača protoka (flow-metra) ostane stalno na vrednosti na koju je namešten i da nema velikih varijacija u protoku gasa.

Kiseonik, koji se nalazi pod vrlo visokim pritiskom u cilindru, ističe iz cilindra preko redukcionih ventila (*Slika 2-8*), koji smanjuju pritisak na niske, ali konstantne vrednosti, bez obzira na protok. Oni najčešće smanjuju pritisak na 5 atmosfera. Kiseonik se nikada ne sme dati pod pritiskom koji se nalazi u boci, otvaranjem samo glavnog ventila, zato što mogu nastati teška oštećenja, naročito ako je reč o zatvorenom sistemu.

Rotametar (flow-metar) je merač protoka gasa. (*Slika 2-9*) Sastoji se od vertikalne staklene cevi. U cevi se nalazi plovak od veoma lake legure koji se kreće nošen strujom gasa, dozvoljavajući gasu da ističe između plovka i zida cevi. Ukoliko je protok veći, plovak će se podići na veću visinu, i

omogućiti većoj količini gasa da istekne. Na gornjem, širem, kraju plovka urezani su kosi žljebovi koji izazivaju obrtanje plovka oko svoje osovine. Na taj način je sprečena mogućnost da plovak dodiruje zidove cevi, čime je izbegnuto trenje. Uslov za tačnost ovih merača je da se postave u apsolutno vertikalni položaj.

Ovlaživači su vezani za merač protoka gasa i imaju zadatak da ovlaže (inače suv) kiseonik iz boce. Kiseonik je u boci potpuno oslobođen vodene pare. Ovlaživači se pune destilovanom vodom kojoj se ponekad mogu dodati i neki medikamenti (adrenalin, bronhodilatatori, kortikosteroidi). U urgentnim stanjima, obzirom na kratko vreme primene kiseonika, nema potrebe za ovlaživanjem.

Ovlaživače bi trebalo svakodnevno oprati, dezinfikovati i promeniti tečnost za vlaženje (destilovana voda), inače oni postaju dobra podloga za razvoj bakterija i potencijalni izvor infekcije.

Duže udisanje kiseonika, isto kao i duže udisanje suvog vazduha, suši sluznicu nosa, usne šupljine, ždrela i gornjih disajnih puteva. Ubrzo prestaje rad treplji i fiziološko čišćenje respiratornih puteva. Zbog toga, prilikom dužeg davanja, kiseonik mora biti ovlažen i ugrijan na temperaturu tela.

Preporuke za čuvanje cilindara i rukovanje

Boce sa kiseonikom se moraju čuvati daleko od izvora toplote i zapaljivih materija u suvim i dobro ventiliranim prostorijama. Da bi se obezbedila maksimalna sigurnost prilikom rukovanja bocom sa kiseonikom treba se pridržavati sledećih pravila:

- Boce treba držati u hladnim i dobro ventiliranim prostorijama i ne treba ih

direktno izlagati sunčevim zracima ili nekom drugom izvoru toplote. Prostorija mora biti osigurana od požara i u njoj se ne sme pušiti.

- Boce moraju biti osigurane od pada. One treba da budu u uspravnom položaju, pričvršćene za zid ili stalak, metalnim ili kožnim držačima. Pad boce i lomljenje glavnog ventila pretvara bocu u mlazni projektil ogromne snage.

- Prilikom rada sa bocom, posebno pri montiranju ventila, ruke treba da budu čiste i suve. Hvatanje ventila masnim rukama ili čišćenje zamašćenim krpama predstavlja latentnu opasnost od eksplozije. Kiseonik se neće zapaliti, ni eksplodirati sam od sebe, ali treba sprečiti svaki kontakt sa organskim materijama, zato što tada nastaju lako zapaljive eksplozivne smese. Toplota se prenosi na bocu, pritisak u boci raste i dolazi do eksplozije.

- Kada se otvara glavni ventil, treba ga otvoriti do kraja, a zatim vratiti do polovine. Ako ventil ostane otvoren do kraja, to može dovesti u zabludu da je ventil zatvoren, a svaki pokušaj da se forsiranjem otvori, može dovesti do oštećenja ventila. Pre upotrebe, proveriti da li su ventili dobro zategnuti i da kiseonik slučajno negde „ne curi“.

Aktiviranje boce za kiseonik

Aktiviranje boce sa kiseonikom (*Slika 2-10*) odvija se u sledećim etapama (kao što je prikazano na slici):

Otvoriti glavni ventil na boci do kraja (1) i zatim vratiti do polovine. Manometar na boci (2) pokazuje pritisak kiseonika u atmosferama. Okretanjem regulatora (3) na rotametu podesiti protok (broj isporučenih litara O₂ u minuti), što se očitava na

skali podizanja plovka na rotametri (4). Poželjno je (ako je dovoljno vremena na raspolaganju) napuniti ovlaživač (5) do određeneog nivoa destilovanom vodom.

Kiseonik se iz boce distribuira bolesniku ili binazalnim kateterom koji dopire u prednji deo nosa bolesnika ili preko plastične maske, koja se gumenom poveskom fiksira za glavu bolesnika i koja se stavlja preko usta i nosa bolesnika.

Dopremanje kiseonika

Kiseonik se može dopremiti iz stacionarnih i prenosnih rezervoara. Cevi koje dovode kiseonik završavaju se u bolesničkim sobama ili drugim bolničkim prostorima na regulatorima protoka i priključnim mestima za kiseonična creva i kiseonične maske. *(Slika 2-11)*

Sistemi za sprovođenje oksigenoterapije - podela prema koncentraciji kiseonika koju aplikuju

Sistemi za sprovođenje oksigenoterapije u zavisnosti od koncentracije kiseonika koju aplikuju klasifikuju se u tri grupe:

1. sistemi za aplikaciju niske koncentracije kiseonika
2. sistemi za aplikaciju srednje koncentracije kiseonika i
3. sistemi za aplikaciju visoke koncentracije kiseonika.

Sistemi za aplikaciju

niske koncentracije kiseonika

U grupu pomagala za aplikaciju niske koncentracije kiseonika ubrajaju se nazalni kateter i standardna (jednostavna) masku za kiseonik.

Nazalni kateter

Nazalni kateter *(Slika 2-12)* je fleksibilna plastična cev sa dva kratka nastavka (dužine 1-2 cm) koji ulaze u oba spoljna nosna otvora. Bolesnik udiše kiseonik koji dolazi preko katetera i atmosferski vazduh preko usta i nosa. Dopremanje ovlaženog i zagrejanog vazduha sa visokom koncentracijom kiseonika preko nazalnog katetera omogućava bolesniku da govori, jede i pije za vreme primene terapije. Prednost nazalnog katetera je u tome što omogućava dobar komfor bolesniku. Nedostatak je nemogućnost aplikovanja visoke koncentracije kiseonika, jer kiseonik aplikovan na ovaj način ulazi direktno u nosni otvor u blizini sluznice i otuda ide u pluća. Blizina sluznice na mestu izlaska kiseonika iz cevčica ograničava protok na maksimalno 6 L/min. Duža aplikacija kiseonika u koncentraciji većoj od 4 L/min može kod osetljivijeg bolesnika da iritira nazofarinks, što se manifestuje kijanjem i laganim kašljem. Nazalni kateter se ne može koristiti kod bolesnika koji imaju kompletnu nazalnu opstrukciju.

Koncentracija kiseonika u udahnutom vazduhu zavisi i od odnosa intenziteta disanja na usta i nos. Ako bolesnik ima manju frekvencu disanja, a diše plitko, između izdaha i sledećeg udara proći će duže vreme i više kiseonika će se sakupiti u nosnoj šupljini. Ako bolesnik udiše pretežno na nos, mešanje će biti manje, a koncentracija kiseonika veća. Istovremeno će veća frekvenca disanja i dublje disanje na usta, a neznatno disanje na nos, smanjiti koncentraciju udahnutog kiseonika.

Prema potrebi se primenjuje protok od 1 do 6 L/min. Približna koncentracija određuje se prema formuli:

$$\text{Konc. O}_2 = \text{protok O}_2 (\text{L/min}) \times 4 + 20$$

To znači da se protokom od 6 L/min dobija približna koncentracija kiseonika u udahnutom vazduhu od 45%. Ukoliko se protok kiseonika poveća za 1 L/min, FiO₂ će biti povećan za 0,04, tj. procenat kiseonika u udisajnoj smeši gasova će biti povećan za 4%. (**Tabela 2-3**)

Tabela 2-3. Procenat isporučenog kiseonika pri različitim protocima O₂

| PROTOK (L/min) | % isporučenog kiseonika |
|----------------|-------------------------|
| 1 | 25 |
| 2 | 29 |
| 3 | 33 |
| 4 | 37 |
| 5 | 41 |
| 6 | 45 |

U dečjem uzrastu, pri upotrebi nazalnog katetera primenjuju se protoci od minimalno 0,125 L/min do maksimalno 4 L/min.

Standardna maska za kiseonik

Standardna (jednostavna) maska ima široku primenu ne samo u medicini, već i u putničkim avionima, u alpinizmu itd. Ona je je male težine, lako se nosi i postavlja. Fiksira se za lice platnenom ili gumenom trakom oko glave. Prilikom nameštanja maske, mora se paziti da maska bude dobro priljubljena uz lice i da pokriva nos i bradu.

Pravi se od plastike ili silikona i obično je transparentna (providna) kako bi se na vreme uočio sadržaj u usnoj duplji (povraćane mase, krv, sekret ili strano telo) ili cijanoza usana i lica. (**Slika 2-13**) Kiseonik kontinuirano dolazi preko konektora koji je plastičnom cevi povezan sa bocom za kiseonik i pri udisanju se meša sa vazduhom koji ulazi kroz otvore na bočnim stranama maske.

Prednost maske u odnosu na nazalni kateter je u tome što ona omogućava aplikaciju nešto veće koncentracije kiseonika i što ne suši sluznicu, jer se kiseonik meša sa vazduhom koji ulazi kroz otvore. Nedostatak je taj što je bolesnici teže podnose, pogotovu u akutnim fazama, jer im daje osećaj da ne mogu da dišu.

Najmanji preporučeni protok kiseonika koji se aplikuje preko standardne maske za O₂ je 5 L/min. Tim protokom postiže se koncentracija od 35-40% kiseonika u udisajnoj smeši gasova. Najveća koncentracija kiseonika koja se može postići ovom maskom je oko 50%, što je moguće pri protoku od 8 L/min. Problem je u tome što bolesnik diše u masku tako da protok mora biti toliki da istisne dovoljnu količinu izdanutog vazduha iz maske pre sledećeg udaha.

Koncentracija isporučenog O₂ preko maske može biti niža od očekivane. Mogući uzroci ove pojave su:

- oslabljeno disanje
- nedovoljno prijanjanje maske uz lice;
- nedovoljni dotok kiseonika.

Sistemi za aplikaciju srednje koncentracije kiseonika

U grupu pomagala za aplikaciju srednje koncentracije kiseonika ubrajamo „venturi“ masku i masku sa rezervoarom bez nepovratnih ventila.

Venturi maska

Venturi maska (engl. **HAFOE mask-High Air Flow Oxygen Enrichment**) je dobro poznata u bolnicama. (**Slika 2-14**) Koristi se za postizanje različitih koncentracija kiseonika zavisno od vrste (boje) nastavka (ventila). (**Slika 2-15**) Kako različiti

proizvođači prave ventile različitih boja, pre upotrebe maske obavezno treba proveriti koncentraciju kiseonika koja se ventilom te boje dozira, kao i protok kiseonika koji treba podesiti da bi se postigao željeni FiO_2 .

Funkcionisanje ovih maski zasniva se na Venturi modifikaciji Bernulijevog principa dinamike fluida. Ventili deluju tako da kiseonik dolazi kroz klasičnu cev do uskog grla ventila, što ubrza protok kiseonika i stvara podpritisak koji usisava okolni vazduh, tako da u masku ulazi mešavina sa tačnom koncentracijom kiseonika.

Ovom maskom može se postići koncentracija od 24% do 60% pri protoku od 2-15 L/min. Kod venturi sistema važi pravilo da što je manji port (mesto kroz koje ambijentalni vazduh ulazi), to je veći FiO_2 i obrnuto.

Ova maska ne isušuje sluznicu disajnih puteva i uz nju nije neophodno koristiti ovlaživač. Nije pogodna za dužu primenu oksigenoterapije. Može izazvati iritaciju kože.

Maska sa rezervoarom
bez nepovratnih ventila

Ovom maskom (*Slika 2-16*) postiže se koncentracija od 35-60% pri protoku od 6-10 L/min kiseonika, što su vrednosti kao kod obične maske. Nedostatak ove maske je što u toku ekspirijuma (izdaha), određena količina izdahnutog vazduha ide u rezervoar i tamo se meša sa kiseonikom. Zbog toga što bolesnik može udisati izdahnuti ugljen-dioksid, ova maska je označena kao maska sa delimičnim rebretingom (engl. partial re-breather mask). Ako je rezervoar u izdisaju dovoljno napunjen kiseonikom (napet), većina izdahnutog vazduha se odstranjuje kroz otvore na bočnim stranama, što ne

dovodi do značajnog punjenja rezervoara izdahnutim vazduhom. Smatra se da zato ovu masku treba koristiti sa većim protokom kiseonika (10-15 L/min), jer se na taj način može postići koncentracija od 80% kiseonika u udisajnoj smeši vazduha. U tom slučaju, kiseonik bolje ispunjava rezervoar maske, manje je mešanje izdahnutog vazduha sa kiseonikom u rezervoaru, i veća je koncentracija kiseonika u udahnutom vazduhu.

U praksi se pokazalo da primena ove maske nema prednosti u odnosu na standardnu, običnu masku. Kod težih slučajeva, gde bolesnik vidno puni i prazni rezervoar maske, stanje bolesnika se ne poboljšava, preporučuje se da se ova maska zameni običnom maskom ili da se rezervoar savije i prilepi na masku, ispod dovoda kiseonika.

*Sistemi za aplikaciju visoke
koncentracije kiseonika*

U grupu pomagala za aplikaciju visoke koncentracije kiseonika spadaju maska sa rezervoarom i nepovratnim ventilima i kiseonični šator.

Maska sa rezervoarom i
nepovratnim ventilima

Maska sa rezervoarom i nepovratnim ventilima (engl. OHIO mask), za razliku od ostalih maski za terapiju kiseonikom, omogućava aplikaciju 95% kiseonika u udahnutom vazduhu. (*Slika 2-17*)

Ova maska ima nepovratne ventile, a noviji modeli imaju cevčice sa lopaticom koje služe kao indikatori disanja bolesnika. Ventili se nalaze u paru (na levoj i desnoj strani maske) i puštaju da izdahnuti vazduh

izađe iz maske. Istovremeno, donji ventil zatvara ulaz u rezervoar kiseonika i tako onemogućava da izdahnuti vazduh uđe u rezervoar.

Kako bolesnik ne udiše izdahnuti ugljen-dioksid ova maska nosi i naziv maska bez rebritinga (engl. non-re-breather mask).

Pri udahu se parni ventili na bočnim zidovima maske priljubljuju uz masku i tako ne dopuštaju spoljašnjem vazduhu ulazak u masku. Donji ventil popusti i bolesnik udiše mešavinu bogatu kiseonikom, koja iz rezervoara ulazi u masku.

Način primene. Kod ove maske specifičan je način primene i nameštanja maske. Bolesniku se namesti maska na lice, ali pre zatezanja i konačnog nameštanja maske, na ventil iznad rezervoara se položi prst, tako da se rezervoar napuni. Tek kada je rezervoar pun, maska se konačno fiksira. Količina kiseonika mora biti tolika da je rezervoar stalno pun i da „ne diše sa bolesnikom“. Po uputstvima proizvođača, to se dešava pri protoku od 8 L/min.

Ako nije podešen adekvatan dotok kiseonika, pri udahu će balon gubiti oblik, a zatim se ponovo polako puniti. U praksi se pokazalo da, ako je bolesnik sa plitkom

tahipnejom, rezervoar se dobro puni pri protoku od 6 L/min i disanje ne utiče na njega. Ali, ako bolesnik duboko diše, onda je i 8 L/min premalo, pa se dotok kiseonika mora povećati, tako da se na balonu ne primećuje disanje bolesnika. Zato je važno pratiti napunjenost rezervoara koja je jedina smernica za određivanje protoka kiseonika. Kod ove maske merilo za koncentraciju kiseonika u udisajnoj smeši vazduha je ispunjenost rezervoara.

Ako je dobro adaptirana, pri protoku od 10 L/min ona obezbeđuje udisajnu koncentraciju kiseonika od preko 80%, a pri protoku od 15 L/min i preko 90%.

Problemi u vezi sa korišćenjem kiseonične maske

Korišćenje kiseonične maske može biti praćeno izvesnim subjektivnim i kliničkim tegobama. (**Tabela 2-4**)

Kiseonični šator

Kiseonični šator (**Slika 2-18**) je medicinski uređaj, u obliku polulopte ili pravougone kupole (haube), koji se postavlja iznad glave i ramena ili preko celog tela bolesnika. Primenom kiseoničnog šatora stvara se okruženje u kome je koncentracija

Tabela 2-4. Problemi u eksploataciji kiseonične maske

| subjektivne tegobe | kliničke tegobe |
|---|--|
| osećaj peckanja po koži lica i brade | prolazno crvenilo kože lica nakon upotrebe maske |
| osećaj stezanja i bola na mestu dodira maske sa licem | prolazna urtikarija kože lica |
| osećaj žarenja na mestu dodira maske sa licem | jače izraženo crvenilo kože nosa |
| osećaj bola na korenu nosa | infekcija kože lica i brade |
| otežano disanje (posebno izdisanje) | crvenilo vežnjače oka |
| glavobolja nakon upotrebe maske | krvarenje u vežnjači (konjuktivi) oka |

kiseonika za 1,5 do 4 puta veća od normalne.

Kiseonični šator se postavlja iznad bolničkog kreveta i svojim donjim delom se podvlači ispod dušeka, kako bi se obezbedila veća hermetičnost kupole. Napravljen je od providne plastične mase, čime je obezbeđen stalni vizuelni kontakt sa bolesnikom. Na sebi poseduje priključke za dovod kiseonika, odvod ugljen-dioksida i priključke za uređaje za klimatizaciju. Koncentracija kiseonika, ugljen-dioksida, vlažnost i temperatura vazduha u šatoru, kontrolišu se pomoću specijalne merne opreme povezane sa šatorom. Na šatoru postoji i poseban otvor za pristup bolesniku koji se zatvara rajsferšlusom.

Šator predstavlja neku vrstu izolovane atmosfere, koja se permanentno obogaćuje kiseonikom, protokom od 10–15 L/min, čime se postiže koncentracija kiseonika u inspiratornom vazduhu od 80–90%. Kiseonični šator se danas uglavnom koristi u neonatologiji ili kod veće dece za lečenje krupa (velikog kašlja). Krup se najčešće javlja u uzrastu od tri meseca do tri godine. Za razliku od kiseonične maske, koja umnogome ograničava kretanje deteta, upotreba kiseoničnog šatora omogućava slobodno udisanje kiseonika, uz mogućnost okretanja deteta u krevetiću. U ređim slučajevima, primenjuje se i kod odraslih bolesnika koji ne tolerišu masku ili nazalni kateter.

Veoma je važno održati nivo kiseonika u šatoru na konstantnim vrednostima. Njegova koncentracija se smanjuje svaki put kad se šator otvori, a često postoje i mesta na kojima on može da „curi“. Zato treba proveravati da li je šator dobro zaptiven („ušuškan“ ispod dušeka). Takođe,

prilikom nege deteta, ne treba podizati čitav šator, nego koristiti rajsferšluse koji su tome namenjeni. Potrebno je stalno proveravati koncentraciju kiseonika ispod šatora, a povremeno treba raditi gasne analize arterijske krvi bolesnika, kako bi se videlo da li šator obavlja svoju funkciju.

Ukoliko se, usled ovlaživanja vazduha, nakupe kapljice vlage sa utrašnje strane šatora, treba ih obrisati, kako bi zidovi šatora ostali prozirni. Vlaženje vazduha je neophodno, ali može smanjiti temperaturu vazduha ispod šatora. Zbog toga je potrebno da dete (bolesnik) bude adekvatno odeveno da bi se sprečio gubitak toplote. Takođe, dete treba češće presvlačiti.

Ukoliko se šator primenjuje u kućnim uslovima, uvek treba imati na umu da kiseonik može eksplodirati, ako se ne koristi ispravno. Zato je zabranjeno pušenje u blizini izvora kiseonika ili blizu kiseoničnog šatora. I varnica može biti dovoljna da izazove požar, tako da ne treba sušiti kosu fenom ili koristiti električni aparat za brijanje blizu kiseoničnog šatora. Nikad se ne treba udaljiti od krevetića bebe dok se ne podigne ogradica. Ova mera opreza se često previdi, zato što postoji privid (zabluda) da je u šatoru dete bezbedno od pada.

Postoji opasnost od ugušenja bolesnika, ako plastični zidovi šatora pritisnu usta i nos deteta. Zato stalno treba nadgledati dete i umirivati ga, kako ono ne bi pokšalo da samo napusti šator, jer se tako može uplesti u njegove plastične delove.

Dete mora biti hranjeno i pojeno dok je u šatoru. To zahteva dodatnu potrošnju kiseonika. Roditelji moraju biti obučeni

kako da pristupe detetu i da ga hrane, a da se spreči izlazak kiseonika iz šatora. Posle određenog vremena, može biti dozvoljeno hranjenje deteta van šatora. Ponekad se za to vreme koristi nazalni kateter.

Radi lakšeg pamćenja, na **Tabeli 2-5** prikazano su koncentracije kiseonika u udisajnoj smeši vazduha u zavisnosti od sredstva aplikacije (različite vrste maski) i protoka kiseonika (L/min).

Tabela 2-5. Koncentracije O₂ u udisajnoj smeši vazduha u zavisnosti od sredstva aplikacije i protoka O₂

| protok O ₂ L/min | nazalni kat. %O ₂ | obična maska %O ₂ | venturi maska %O ₂ | maska sa nepovratnom valulom %O ₂ |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | 24 | / | / | / |
| 2 | 29 | / | 24 | / |
| 3 | 33 | / | / | / |
| 4 | 37 | / | 28 | / |
| 5 | 41 | 35 | / | / |
| 6 | 45 | 40 | 31 | / |
| 8 | / | 50 | 35 | >95 |
| 10 | / | / | 40 | >95 |
| 15 | / | / | 50 | >95 |

Sistemi za isporuku kiseonika - podela prema protoku

Sistemi za isporuku kiseonika se prema protoku mogu podeliti na dve grupe:

- sisteme sa niskim protokom (low-flow) i
 - sisteme sa visokim protokom (high-flow).
- (Tabela 2-6)**

Protok se titrira flow-metrom i izražava se u litrima u minutu (L/min).

Treba imati na umu da visok protok kiseonika i visoka inspiratorna koncentracija kiseonika (FiO₂) nisu sinonimi, već dva potpuno različita pojma. Neki sistemi sa malim protokom mogu obezbediti visoku inspiratornu koncentraciju kiseonika i obrnuto.

Sistemi sa niskim protokom (low-flow)

Sistemi sa niskim protokom definišu se kao sistemi koji ne obezbeđuju u potpunosti ventilatorne potrebe bolesnika. Maksimalni protok kiseonika koji se njima postiže je 15 L/min. Upotreba ovih sistema se preporučuje:

Tabela 2-6. Sredstva za isporuku kiseonika sa niskim i visokim protokom.

| sistemi sa niskim protokom (low-flow) | sistemi sa visokim protokom (high-flow) |
|---|---|
| nazalna kanila | venturi maska |
| nazalni kateter | T- nastavak sa venturi sistemom |
| standardna (jednostavna) kiseonična maska | maska za lice i traheostomska maska sa venturi sistemom |
| maska sa delimičnim rebritingom | sistem za džet-ventilaciju |
| maska bez rebritinga | ventilatori - CPAP/BiPAP uređaji – maska sa rebritingom |
| traheostomska maska | |
| kiseonični šator | |
| T-nastavak | |
| transtrahealni kateter | |

- kod bolesnika sa stabilnim vitalnim parametrima (npr. postoperativno kada postoji samo blagi pad zasićenosti hemoglobina kiseonikom),
- kod bolesnika kod kojih je potrebna dugotrajna primena oksigenoterapije (posebno u kućnim uslovima),
- kod bolesnika kod kojih je potrebno obezbediti visoku inspiratornu koncentraciju kiseonika (FiO_2), a nije neophodno tačno kontrolisati njegovu dozu (teška astma, akutna slabost leve komore, edem ili embolija pluća, trauma, pneumonija ili teška sepsa).

Pored čistog (100%) kiseonika, u ove sisteme ulazi i sobni vazduh, ali je ulazak sobnog vazduha nekontrolisan i zavisi od načina disanja bolesnika. Zato je pomoću ovih sistema veoma teško isporučiti preciznu inspiratornu koncentraciju kiseonika (FiO_2) i ona će varirati u zavisnosti od:

- disajne frekvence i ritma disanja,
- protoka gasa iz odgovarajuće opreme i
- veličine rezervoara sistema za isporuku kiseonika.

Pri konstantnom protoku kiseonika, veći tidal volumen dovodi do toga da je inspiratorna koncentracija kiseonika manja i obrnuto.

Ukoliko je disanje pravilno tj. ukoliko je disajni volumen između 300 i 700 ml/min, a broj respiracija manji od 25/min sistemi sa niskim protokom mogu obezbediti dovoljnu i prilično stabilnu inspiratornu koncentraciju kiseonika (FiO_2).

Upotreba ovih sistema se ne preporučuje kod bolesnika sa retencijom ugljen-dioksida (akutni napad kod HOBP).

Sredstva koja se ubrajaju u sisteme sa niskim protokom nabrojana su u Tabeli 2-6. U daljem tekstu biće opisani nazalna kanila, traheostomska maska i transtrahealni kateter, dok su ostali sistemi sa niskim protokom u prethodnom tekstu već objašnjeni.

Nazalna kanila

Nazalna kanila (**Slika 2-19**) se ređe koristi. Pogodna je za direktnu administraciju kiseonika nazofaringealnim putem. Mekani i glatki otvoreni distalni kraj dozvoljava netraumatsko plasiranje. Na distalnom kraju nalazi se više bočnih otvora koji obezbeđuju bolju disperziju kiseonika. Na proksimalnom kraju nalazi se obojeni levkasti konektor, koji omogućava lako povezivanje sa izvorom kiseonika. Veličina konektora se izražava u FG (*french gauge*), s tim što je 1 mm = 3 FG. Dostupne veličine su: 6 (svetlo zeleni), 8 (plavi), 10 (crni), 12 (beli), 14 (zeleni) i 16 (narandžasti).

Traheostomska maska

Traheostomska maska (**Slika 2-20**) je idealna u akutnim stanjima, kada je potrebna veća inspiratorna koncentracija kiseonika (FiO_2), efikasnije ovlaživanje ili isporuka medikamenata u obliku aerosola. Kliničke prednosti upotrebe ove maske su: FiO_2 od 24-80%, protok od 1-15 L/min i mogućnost viskog stepena ovlaživanja. Traheostomska maska se uglavnom koristi za oksigenoterapiju kod osoba koje imaju trajnu traheostomu (posle povrede, bolesti ili operacije). Ona se postavlja preko traheostomskog otvora ili traheostomske kanile i fiksira se vrpcom oko vrata. Konektuje se na izvor kiseonika i podese se željena koncentracija kiseonika (koju

bolesnik treba da dobije). Ako maska ima rezervoar, onda se prvo on napuni kiseonikom.

Uz trahealnu masku mora da se koristi ovlaživač i vazduh mora biti zagrejan. Ovo iz razloga što se zaobilazi gornji deo disajnog puta, koji inače obavlja funkcije vlaženja i zagrevanja vazduha.

Transtrahealni kateter

Transtrahealni kateter (*Slika 2-21*) se retko viđa u bolničkim uslovima, uglavnom je namenjen za kućnu upotrebu. Kateter se plasira kroz hirurški napravljen otvor između drugog i trećeg trahealnog prstena. Transtrahealno se direktno u dušnik (traheju) aplikuje kiseonik sa protokom do od 0,25-4 L/min, čime se postiže FiO_2 od 0,22-0,45. Namenjen je uglavnom bolesnicima kod kojih upotreba nazalnog katetera nije dala zadovoljavajuće rezultate.

Ima podataka da je potrošnja kiseonika za 37-58% manja ako se za oksigenoterapiju koristi transtrahealni kateter umesto nazalnog katetera.

Pogodan je za dugotrajnu primenu kiseonika. Upotreba transtrahealnog katetera dozvoljava veću mobilnost i komfor bolesnicima u odnosu na primenu nazalnog katetera. Bolesnici imaju bolji osećaj mirisa, ukusa i bolji apetit u odnosu na upotrebu ostalih sredstava za oksigenoterapiju.

Uz transtrahealni kateter (iz istih razloga kao i kod trahealne maske) moraju se koristiti uređaji za vlaženje i zagrevanje vazduha.

Sistemi sa visokim protokom (high-flow)

Sistemi sa visokim protokom podržavaju isporuku celokupnih ventilatornih potreba bolesnika. Disajna frekvencija i tidal volumen nemaju uticaja na FiO_2 , pa se upotreba ovih sistema preporučuje kod bolesnika sa promenljivim brojem respiracija i poremećenim ritmom disanja. Ukupan protok se može prilagoditi potrebama bolesnika.

U ovu grupu sistema ubrajamo venturi sistem (koji je danas postao sinonim za sisteme sa visokim protokom), sistem za "jet ventilaciju" i masku sa rebretingom. (Tabela 2-6)

Venturi maske su već opisane kao sredstva za doziranje srednje koncentracije kiseonika. One isporučuju preciznu koncentraciju kiseonika bez obzira na protok (minimalni protok kiseonika koji se preporučuje je označen na svakoj venturi masci). Dostupne veličine i protok kiseonika koji treba podesiti pri upotrebi određene veličine su prikazani u *Tabeli 2-7*. Koncentracija kiseonika koji ulazi u sistem ostaje konstantna zahvaljujući venturi principu. Kiseonik koji ulazi u masku razređen je okolnim vazduhom, koji takođe prodire u sistem. Količina vazduha koji ulazi u sistem odgovara protoku kiseonika. Što je veći protok kiseonika to će više vazduha biti "usisano" u sistem. Odnos kiseonika i vazduha koji ulaze u masku ostaje isti tako da venturi maske isporučuju preciznu koncentraciju kiseonika bez obzira na povećanje protoka kiseonika. Kao što se može videti iz *Tabele 2-7*, ukoliko se koristi npr. 28% venturi masku, prema uputstvu proizvođača treba koristiti protok kiseonika od 4, 6 ili 8

Tabela 2-7. Ukupan protok gasa (L/min) iz venturi maske na različitim protocima kiseonika

| Protok O ₂ (L/min) | Veličina venturi maske | | | | |
|----------------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 24% kiseonika | 28% kiseonika | 35% kiseonika | 40% kiseonika | 60% kiseonika |
| 15 | | | 84 | 82 | 30 |
| 12 | | | 67 | 50 | 24 |
| 10 | | | 56 | 41 | |
| 8 | | 89 | 46 | | |
| 6 | | 67 | | | |
| 4 | 102 | 44 | | | |
| 2 | 51 | | | | |

L. Tada će ukupan protok (u zavisnosti od protoka kiseonika) biti 44, 67 ili 89 L. Bez obzira na povećanje protoka kiseonika FiO₂ ostaje konstantan (određen veličinom ventila na masci). Zato ove sisteme treba koristiti kod bolesnika kod kojih je potrebno isporučiti preciznu koncentraciju kiseonika. 24% i 28% venturi maske su posebno pogodne za bolesnike kod kojih postoji retencija ugljen-dioksida (npr. bolesnici sa HOBP).

Odnos mešanja kiseonika i vazduha može se izračunati po sledećoj formuli:

$$\text{Mešanje O}_2/\text{vazduh} = \frac{100 - \text{FiO}_2}{\text{FiO}_2 - 21}$$

Dakle, ukoliko se koristi npr. 40% venturi masku, odnos mešanja kiseonika i vazduha biće:

$$\text{Mešanje O}_2/\text{vazduh} = \frac{100 - 40}{40 - 21}$$

$$\text{Mešanje O}_2/\text{vazduh} = 3,1:1$$

Dakle, uz svaki litar isporučenog kiseonika, 3,1 L sobnog vazduha ulazi u sistem.

Na ovaj način se može izračunati koliki je odnos mešanja kiseonika i vazduha pri upotrebi različitih veličina venturi maski. Dobijene vrednosti prikazane su u **Tabeli 2-8**.

Tabela 2-8. Odnos mešanja O₂/vazduh pri upotrebi venturi sistema različitih veličina

| Željeni FiO ₂ | Odnos mešanja O ₂ /vazduh |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 0,24 | 1:25 |
| 0,28 | 1:10 |
| 0,31 | 1:7 |
| 0,35 | 1:5 |
| 0,40 | 1:3 |
| 0,50 | 1:1,7 |
| 0,60 | 1:1 |

Ukoliko je odnos mešanja poznat, može se izračunati ukupan protok koji se ostvaruje pri upotrebi venturi maske određene veličine i pri određenom protoku kiseonika. Npr. ako je potrebno da se isporuči 40% kiseonika, treba upotrebiti 40% venturi masku i prema uputstvu proizvođača podesiti minimalni protok kiseonika za datu masku, a to je 10 L/min. (Tabela 2-7)

Ukupan protok se izračunava po formuli:

Ukupan protok = protok O₂ + (protok O₂ x odnos mešanja O₂/vazduh)

Ukupan protok = 10 L/min + (10 L/min x 3,1)
= 10 L/min + 31 L/min
= 41 L/min.

Ukupan protok pri upotrebi venturi sistema različitih veličina i pri protocima kiseonika koje preporučuje proizvođač, dati su u Tabeli 2-7.

Pored toga što ovi sistemi doziraju precizne koncentracije kiseonika, njihova prednost je i to što ukupan protok koji se ovim maskama ostvaruje najčešće prevazilazi ukupne ventilatorne potrebe bolesnika. Ipak, ima studija koje su pokazale da ukoliko bolesnik ima > 30 udaha/min, onda je potrebno obezbediti veći protok od minimalnog koji je naznačen na pakovanju određene venturi maske. Zato se kod bolesnika sa velikom disajnom frekvencom (>30 udaha/min) preporučuje da protok bude nešto veći od minimalnog označenog na masci (povećanje protoka ne povećava koncentraciju kiseonika koja se isporučuje venturi maskom). Preciznost isporuke kiseonika znatno je manja ukoliko maska nije adekvatno podešena uz lice bolesnika.

Kod upotrebe venturi maske nije neophodno koristiti ovlaživač, ali ukoliko se venturi sistem poveže sa traheostomskom maskom, traheostomskom kanilom ili T-nastavkom onda je neophodno koristiti i ovlaživač (zaobilazi se gornji deo disajnog puta koji obavlja funkciju ovalaživanja i zagrevanja vazduha).

Iz Tabele 2-7 takođe možemo videti da pri upotrebi 60% venturi maske protok kiseonika mora biti 12-15 L/min što zahteva veliku potrošnju čistog kiseonika. Zato se u tim slučajevima preporučuje upotreba maske bez rebritinga koja će nam omogućiti da manjim protokom kiseonika postignemo zadovoljavajući FiO₂.

Pre nego što se odluči da li će se primeniti sistem sa malim ili velikim protokom, treba odrediti odnos između minutnog volumena disanja, protoka kiseonika i inspiratorne koncentracije kiseonika (FiO₂). **(Tabela 2-9)** U respiratornom distresu ventilatorne potrebe bolesnika su čak četiri puta veće (30 L/min), nego pri mirnom disanju (7,5 L/min). Pri istom protoku kiseonika (2 L/min) u zavisnosti od ukupnog protoka (kiseonik + vazduh) FiO₂ se značajno razlikuje. U respiratornom distresu, pri ukupnom protoku od 30 L/min bolesnik udiše 26% kiseonika, a nakon respiratornog distresa kada je ukupan protok 7,5 L/min, bolesnik udiše 42% kiseonika. Dakle, u respiratornom distresu prednost treba dati sistemima sa visokim protokom zato što oni mogu da odgovore celokupnim ventilatornim potrebama bolesnika. Ovi sistemi će omogućiti i precizno doziranje inspiratorne koncentracije kiseonika.

Tabela 2-9. Odnos između minutnog volumena disanja, protoka kiseonika i inspiratorne koncentracije kiseonika (FiO_2)

| | U respiratornom distresu | Posle respiratornog distresa |
|---|---|--|
| Minutni volumen disanja (frekvencija disanja x tidal volumen) | 30 L/min (40 udaha/min x 750 ml/udahu) | 7,5 L/min (15 udaha/min x 500 ml/udahu) |
| Protok kiseonika | 2 L/min | 2 L/min |
| Izračunavanje koncentracije O_2 u udahnutom vazduhu (FiO_2) | 2 L/min 100% O_2 + 28 L/min vazduha koji ulazi u masku (21% O_2) = 30 L/min minutne ventilacije Dakle, $FiO_2 = \frac{(1,0 \times 2) + 0,21 \times 28}{30}$ =0,26 (26%) | 2 L/min 100% O_2 + 5,5 L/min vazduha koji ulazi u masku (21% O_2) = 7,5 L/min minutne ventilacije Dakle, $FiO_2 = \frac{(1,0 \times 2) + 0,21 \times 5,5}{7,5}$ = 0,42 (42%) |

Ventilacija mlazom (džet)

Oprema za ventilaciju mlazom ili džet-ventilaciju (engl. jet) se sastoji od kanile i katetera. (**Slika 2-22**) Džet ventilacija podrazumeva intermitentnu isporuku kiseonika preko traheostomske kanile. Za savlađivanje otpora sistema, potreban je visok protok kiseonika (veći od 30 L/min). Što je manji mlaz gasa koji ulazi preko džet - sistema, to je manji FiO_2 .

Prednost ovog sistema je ta što je moguće isporučiti prilično preciznu koncentraciju kiseonika (od 24-50%), pri čemu disajna frekvencija i tidal volumen nemaju uticaja na FiO_2 . Nedostaci su to što je na ovaj način teško isporučiti više od 50% kiseonika, što dovodi do retencije ugljen-dioksida i što je ovaj sistem prilično nekomforan za bolesnika. Moguća komplikacija (koja je životno-ugrožavajuća) jeste insuflacija (uduvavanje) kiseonika (pod pritiskom)

u intersticijalne prostore i opasnost od nastanka ruptуре pluća.

Maska sa rebritingom

Maska sa rebritingom (**Slika 2-23**) se koristi u okviru zatvorenog kružnog sistema sa umetnutim apsorbersom za ugljen-dioksid. Ove maske se koriste u anesteziološkoj praksi. Napravljene su od silikonske gume sa duplim sistemom rebrastih creva preko kojih su povezane sa aparatom za anesteziju. Kroz jedno (dovodno) crevo u masku se dovodi smeša gasova (kiseonik i anestetik), a kroz drugo (odvodno) crevo izdahnuti smeša gasova se vraća u aparat za anesteziju, u čijem kružnom sistemu specijalan apsorbers (soda-lajm) vezuje za sebe ugljen-dioksid. Na ovaj način izdahnuti vazduh, oslobođen ugljen dioksida, ponovo se vraća u kružni sistem, meša se sa svežim gasom i doprema bolesniku.

Druga sredstva za isporuku kiseonika

Nazalna maska

Stomatološka nazalna maska (*Slika 2-24*) napravljena je za jednokratnu upotrebu i služi za isporuku mešavine azot-oksidula i kiseonika u toku intervencija u stomatologiji. Ona znatno smanjuje „curenje“ gasa u spoljašnju sredinu u odnosu na ranije korišćene maske, koje su bile sastavljene od više komponenti (koje se često nisu uklapale jedna u drugu). Specijalno dizajniran sistem usmerava azot-oksidul i kiseonik tačno tamo gde je potrebno, a odstranjuje sve preostale količine gasa koje bolesnik ne udahne. To je od ogromnog značaja kako za bolesnika, tako i za osoblje.

Podesiva i lagana maska je jednostavna za upotrebu, bolesnik se oseća bezbedno, opušteno i može da posmatra šta se oko njega dešava. Maska dobro prijanja na lice i bolesnik može okretati glavu na jednu ili drugu stranu, bez opasnosti da promeni položaj maske ili da izazove „curenje“ azot-oksidula ili opstrukciju creva. To omogućava i lekaru komfor u radu (da ima lakši i sigurniji pristup svom radnom prostoru). Zubi i okolna anatomija su lako dostupni, a maska je dizajnirana tako da ne smeta rukama lekara. Maska je za jednokratnu upotrebu, ne dovodi do kontaminacije creva, tako da je moguće brzo pospremanje ordinacije i priprema za prijem sledećeg bolesnika. Prema podacima iz literature, oko 15% bolesnika odbija stomatološku intervenciju zbog anksioznosti. Upotreba kiseonika i azot-oksidula preko nazalne maske omogućava uspešnu sedaciju bolesnika, a samim tim i napredak stomatološke prakse.

Nazalna kanila sa rezervoarom

Nazalna kanila sa rezervoarom (*Slika 2-25*) originalno je dizajnirana za sprovođenje oksigenoterapije u kućnim uslovima. Međutim, ona je u sve većoj upotrebi u hitnim situacijama, kada je dopremanje kiseonika preko nazalnog katetera ili preko maske za lice, otežano. Nazalna kanila sa rezervoarom može biti od koristi za sprečavanje reintubacije bolesnika koji imaju hronične plućne bolesti, može biti podrška oksigenacije kod bolesnika koji se oporavljaju od akutnog respiratornog distres sindroma, kod bolesnika koji imaju kongestivnu srčanu insuficijenciju, kao i kod onih koji postanu uznemireni pri primeni kiseonične maske za lice.

Nazalna kanila sa rezervoarom je povezana sa izvorom 100% kiseonika na isti način kao i standardni nazalni kateter. Razređivanje okolnim vazduhom određeno je faktorima kao što su: disanje na usta, respiratorna frekvencija i ritam disanja, inspiratorni protok, minutna ventilacija i nadmorska visina. Dizajnirana je tako da sačuva u rezervoaru visoke koncentracije kiseonika, čime se smanjuje efekat razblaživanja ulaskom ambijentalnog (sobnog) vazduha pri normalnom broju respiracija. Rezervoar sadrži tanku membranu koja biva potisnuta napred na početku ekspirijuma, formirajući komoru za skladištenje kiseonika između membrane i zadnjeg zida rezervoara. Za vreme trajanja ekspirijuma, kiseonik se nakuplja u komori. U toku inspirijuma membrana kolabira i uskladišteni kiseonik se udiše uz kiseonik koji se doprema kontinuiranim protokom.

Ovlaživanje vazduha nije porebno ni kod upotrebe nazalnog katetera ni kod upotrebe nazalne kanile sa rezervoarom pri

protocima od 1-4 L/min. Nazalna kanila sa rezervoarom sakuplja izdahnutu vodenu paru i vraća je tokom udisaja. Izdahnutu vodena para ima temperaturu približnu telesnoj temperaturi. Samim tim, i bez dodatnog ovlaživanja, nazalna kanila sa rezervoarom obezbeđuje veću relativnu vlažnost nego nazalni kateter. Neki kliničari koriste dodatno ovlaživanje, ukoliko je protok u nazalnoj kanili sa rezervoarom od 6-10 L/min. Uprkos ranijim strahovima, ne dolazi do kondenzacije ili lepljenja membrane unutar rezervoara, ako se koristi dodatno ovlaživanje.

Gas koji se akumulira u nazalnoj kanili sa rezervoarom ima oko 80% kiseonika pri protoku od 0,5 L/min i skoro 100% kiseonika pri protoku od 1 L/min. Studije su pokazale da kanila sa rezervoarom pri protoku od 0,5, 1 i 2 L/min doprema nivo kiseonika ekvivalentan protoku od 2, 3 i 4 L/min, pri upotrebi standardnog nazalnog katetera. To znači da je bolesnicima potrebna jedna polovina do jedne četvrtine protoka koji se koristi kod standardnog nazalnog katetera da bi se postigla ekvivalentna saturacija kiseonikom (SaO_2). Iz tog razloga bolesnici, koji dobijaju oksigenoterapiju u kućnim uslovima, mogu da nose manje, portabilnije kontejnere sa kiseonikom i da provedu duže vreme van kuće.

Trenutno nema dovoljno podataka koji bi omogućili tačno predviđanje inspiratorne koncentracije kiseonika pri upotrebi nazalne kanile sa rezervoarom i visokog protoka. Neka klinička istraživanja su pokazala da je kod 9 od 10 bolesnika, kanila sa rezervoarom pri protoku od 6-8 L/min obezbedila saturaciju kiseonikom ekvivalentnu onoj koju obezbeđuje kiseonična maska sa FiO_2 0,5-0,65.

Kiseonične maske sa filterom

Kiseonične maske sa filterom (**Slika 2-26**) dizajnirane su tako da ne dozvoljavaju izbacivanje štetnih (potencijalno infektivnih) čestica u okolinu. To znači da je u zatvorenom sistemu minimalno „curenje“ vazduha oko maske. Udisanje sobnog vazduha je kontrolisano nizom jednosmernih valvula. Filtriranje izdahnutog vazduha se postiže postavljanjem filtera na ekspiratorni put ili je filter sastavni deo same maske.

Ove maske su primenjivane za vreme epidemije ptičjeg gripa (SARS-a), kada je utvrđeno da konvencionalna oprema za oksigenoterapiju nije napravljena tako da spreči prodor infektivnih čestica u okolinu. Referisana su dobra iskustva sa ovim maskama, naročito u Torontu, 2003. godine. Upotreba kiseoničnih maski sa filterom na ekspiratornoj strani postepeno postaje praksa i preporučuje se u slučaju pandemije.

Obzirom da su maske sa filterima dizajnirane kao zatvoreni sistem koji minimizira (ili čak potpuno eliminiše) izloženost sobnom vazduhu, koncentracija kiseonika koja se doprema bolesniku je veća nego kod konvencionalnih maski bez rebritinga. Može iznositi čak 99%, uz odgovarajući protok kiseonika. Kako se sve čestice koje bolesnik izdiše nalaze unutar maske, lekovi koji se doziraju preko raspršivača (nebulajzera), takođe, ne dospevaju u atmosferu. Zahvaljujući tome, smanjena je profesionalna izloženost zdravstvenih radnika (kao i bolesnika ili drugih osoba koje se nalaze u okruženju) dejstvu ovih lekova.

Nebulajzer maska

Neki lekovi (salbutamol, adrenalin i dr.) mogu biti dopremljeni u pluća zajedno sa kiseonikom, a preko posebnog raspršivača (nebulajzera) koji lekove iz tečnog stanja pretvara u paru. Nebulajzer maska (**Slika 2-27**) ima velike otvore na bočnim stranama. Preko nje se ne isporučuje samo kiseonik, već i lek u obliku aerosola, tj. kiseonik je ovde samo nosilac leka koji se inhalacijom aplikuje.

Primena hiperbarnog kiseonika

Udisanje 100% kiseonika (pri punoj zasićenosti hemoglobina) povećava količinu kiseonika rastvorenog u plazmi, linearno prema porastu pritiska kiseonika. Pri udisanju kiseonika pod pritiskom od jedne atmosfere, količina kiseonika rastvorenog u plazmi je 2 ml/100 ml krvi, pod pritiskom od 2 atmosfere je 4,4 ml/100 ml krvi, pod pritiskom od 3 atmosfere je 6,2 ml, a pod pritiskom od 4 atmosfere, čak 8,8 ml/100 ml krvi. (**Tabela 2-10**)

Tabela 2-10. Promene O_2 rastvorenog u plazmi zavisno od promena pritiska udisanja O_2

| Količina rastvorenog kiseonika (vol%) u krvnoj plazmi pri udisanju 21% i 100% kiseonika, sa porastom pritiska | | |
|---|---------------------|----------------------|
| Pritisak (bar-a) | 21% kiseonik (vol%) | 100% kiseonik (vol%) |
| 1 | 0,32 | 2,09 |
| 1,5 | 0,61 | 3,26 |
| 2 | 0,81 | 4,44 |
| 2,5 | 1,06 | 5,62 |
| 3 | 1,31 | 6,20 |

Indikacije za primenu hiperbarnog kiseonika su sledeće:

1. održavanje života kada u organizmu nema eritrocita;
2. dopremanje kiseonika u delove tela koji su postali ishemični (zbog vaskularne okluzije, kongenitalne malformacije sa velikim arterio-venskim šantovima);
3. u kombinaciji sa hipotermijom može se koristiti za izvođenje hirurških intervencija u uslovima cirkulatornog aresta;
4. za potpomaganje efikasnosti radioterapije kod tumora;
5. za lečenje anaerobnih tipova infekcije;
6. kod trovanja ugljen-monoksidom.

Postoje dva načina primene hiperbarnog kiseonika:

- komora za terapiju jednog bolesnika (**Slika 2-28**),
- hiperbarična komora za primenu hiperbarnog kiseonika kod više bolesnika istovremeno (**Slika 2-29**) - velika komora (soba) u kojoj su mogući i operativni zahvati.

Hiperbarične kiseonične maske

Hiperbarične kiseonične maske (**Slika 2-30**) po svojoj konstrukciji mogu biti dvojake: zatvorenog i otvorenog kruga disanja.

Kiseonične maske zatvorenog kruga disanja su pomoću dva rebrasta creva povezane sa uređajima barokomore. Jedno crevo služi za dovod kiseonika, a drugo za odvod izdahnutog vazduha van komore.

Kiseonične maske otvorenog kruga disanja imaju jednosmerni ventil. Vazduh se dovodi u masku rebrastim crevom povezanim sa barokomorom, a izdahnuti vazduh, preko ventila, se ispušta u atmosferu barokomore. Ovaj tip maske se sve ređe primenjuje.

Hiperbarična kiseonična hauba

Hiperbarična kiseonična hauba (**Slika 2-31**) napravljena je u vidu valjka od providne plastične mase i ona po svojoj strukturi igra ulogu maske. Hauba se navlači preko glave i fiksira se oko vrata specijalnom manžetnom od silikonske gume. Manžetna oko vrata hermetizuje haubu i sprečava izlazak gasa iz nje. I ova hauba radi po principu zatvorenog kruga disanja jer je sa uređajima barokomore povezana jednim dovodnim i jednim odvodnim rebrastim crevom.

Ekstakorporalna membranska oksigenacija (ECMO)

Ovo je tehnika kojom se neoksigenirana venska ili arterijska krv bolesnika obogaćuje kiseonikom preko vantelesnog oksigenatora, a potom vraća u arterijski ili venski krvni sud. (**Slika 2-32**) Zbog brojnih komplikacija, trebalo bi se striktno pridržavati indikacija za primenu ECMO.

TOKSIČNOST KISEONIKA

Trovanje kiseonikom je neželjeno-štetno dejstvo kiseonika, koje može nastati u ćelijama i tkivima živih bića. Toksično dejstvo kiseonika uočio je 1899. fiziolog Smit (Smith). On je zaključio da udisanje kiseonika deluje nadražajno na pluća i izaziva inflamaciju i kongestiju.

Kiseonik je neophodan za funkcionisanje ćelija i održavanje života, ali je, sa druge strane, i univerzalni otrov koji inhibira enzimske grupe značajne za metabolizam. Najosetljiviji su enzimi koji poseduju SH-grupe i flavoproteini. Za oštećenje ćelija, međutim, nisu odgovorni molekuli

kiseonika, već brojni kiseonični radikali ili peroksidi, koji nastaju u toku ubrzanih metaboličkih procesa u periodu hiperoksije. Oni dovode do oštećenja ćelijske membrane, inaktivacije enzima, genetskih oštećenja, pa čak i smrti ćelija.

Teško je precizno odrediti koje doze kiseonika su toksične za organizam. To zavisi od uzrasta bolesnika, uhranjenosti, endokrinološkog statusa, od odbrambenih, antioksidativnih mehanizama organizma, kao i od udisajnih koncentracija kiseonika i dužine primene oksigenoterapije.

Danas je poznato da kod osoba sa zdravim plućima nastaje oštećenje respiratornog sistema pri udisanju visokih koncentracija kiseonika ($FiO_2 > 0,5$). Pri udisanju 100% kiseonika ($FiO_2 = 1,0$) štetni efekti nastaju posle 6-12 časova, pa se ovakva koncentracija kiseonika koristi samo kratkotrajno (npr. za transport bolesnika između operacione sale i jedinice intenzivnog lečenja). Pri $FiO_2 = 0,8$ (80%) oštećenje se događa posle 24 časa, a pri 0,6 (60%) posle 36 sati.

Promene koje nastaju u organizmu usled toksičnog dejstva kiseonika mogu se podeliti u tri grupe:

1. Toksično dejstvo na *centralni nervni sistem (Bertov efekat)* manifestuje se: zujanjem u ušima i pojavom konvulzija, nakon kojih može doći do gubitka svesti. Ovaj efekat se najčešće javlja prilikom primene kiseonika pod povišenim pritiskom.

2. Toksično dejstvo na *pluća i disajnu funkciju (Smitov efekat)* ogleda se u tome što pri udisanju 100% kiseonika dolazi do smanjenja, a onda i do prestanka disanja, zato što se uklanja hipoksični stimulus

na disajni centar. Zatim se javlja bol u grudima koji je praćen kašljem. Vitalni kapacitet se smanjuje za 500-800 ml već nakon 24 sata. Histološko oštećenje pluća se karakteriše smanjenjem surfaktanta, kapilarnom kongestijom, eksudacijom u alveole i nekardijalnim edemom pluća, što je prisutno i kod ARDS-a.

3. Kod novorođenčadi, udisanje 100% kiseonika u inkubatoru, dovodi do toksičnog dejstva *u očima*, u vidu retroentalne fibroplazije i slepila zbog vazokonstrikcije izazvane visokim koncentracijama kiseonika.

Dijagnoza trovanja kiseonikom

Klinički se trovanje kiseonikom može ispoljiti u dva oblika:

1) Akutno trovanje kiseonikom, kod koga su dominantne promene na centralnom nervnom sistemu, i

2) Hronično trovanje kiseonikom, kod koga su dominantne promene na plućima. Kod bolesnika sa HOBP, koji su dugotrajno lečeni kiseonikom, na obdukciji je utvrđeno

da postoje proliferativne fibrozne promene (zadebljanje alveolarne membrane), koje nastaju kao neka vrsta odbrane organizma od prodora viška kiseonika iz alveola u kapilare pluća.

Prilikom donošenja odluke o primeni kiseonika treba voditi računa o opštem stanju bolesnika i bolestima koje bi mogle da doprinesu toksičnom dejstvu kiseonika (hipertireoidizam, hiperpireksija, radijaciona terapija itd.).

Zahvaljujući dobro izučanim osobinama kiseonika, brojnim protokolima za pravilnu upotrebu i usavršenim uređajima za praćenje vitalnih parametara bolesnika, trovanja kiseonikom su izuzetno retka kod primene manjih pritisaka i u kraćim vremenskim intervalima 24-48 časova.

Uvek treba poštovati *pravilo* da se *kiseonik koristi u najmanjoj mogućoj koncentraciji i najkraćem mogućem vremenu* potrebnom da se postigne željeni efekat. Bez obzira na neželjene efekte, ni jednom bolesniku se u toku reanimacije ne sme uskratiti davanje kiseonika.

OKSIGENOTERAPIJA - slike

Slika 2-1. Pulsni oksimetar



Slika 2-2. Gasni analizator



Slika 2-3. Simptomi hipoksije

Prinudan položaj
Lepršanje nozdrva
Korišćenje pomoćne
disajne muskulature



Ubrzano površno
disanje
Ponekad čujno
disanje
Cijanoza

Slika 2-4. Tečni kiseonik skladišti se u rashlađenim tankerima i ovo je najčešći način skladištenja u bolnicama sa centralnim dovodom gasova



Slika 2-5. Komprimovani kiseonik se nalazi u gasnim cilindrima (bocama)



Slika 2-6. Koncentrator za dobijanje kiseonika pogodan za upotrebu u kućnim uslovima



Slika 2-7. Cilindar sa četvrtastom glavom i tzv. „Pin Index System-om“



Slika 2-8. Redukcioni ventil



Slika 2-9. Rotametar (flow-metar) sa ovlaživačem



Slika 2-10. Aktiviranje boce za kiseonik:
1- glavni ventil, 2-manometar, 3-regulator na rotametu, 4-plovak na rotametu, 5-ovlaživač



Slika 2-11. Dopremanje kiseonika sistemom dovodnih cevi



Slika 2-12. Nazalni kateter



Slika 2-13. Standardna (jednostavna) maska za kiseonik



Slika 2-14. Venturi maske



Slika 2-16. Maska sa rezervoarom bez nepovratnih ventila



Slika 2-15. Isporuka određene koncentracije kiseonika se kod venturi maske vrši zavisno od vrste (boje) nastavka

| | |
|-------------|-----|
| plavi | 24% |
| žuti | 28% |
| beli | 31% |
| zeleni | 35% |
| crveni | 40% |
| narandžasti | 50% |

Slika 2-17. Maska sa rezervoarom i nepovratnim ventilima (engl. OHIO mask)



Slika 2-18. Kiseonični šator



Slika 2-19. Nazalna kanila



Slika 2-20. Traheostomska maska



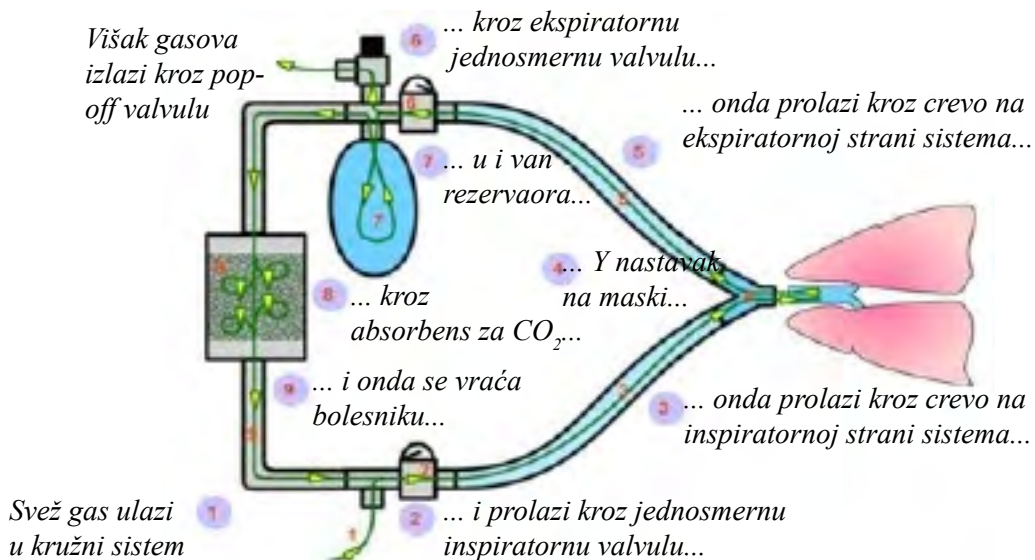
Slika 2-21. Transtrahealni kateter



Slika 2-22. Oprema za "jet" ventilaciju



Slika 2-23. Maska sa rebritingom



Slika 2-24. Nazalna maska



Slika 2-25. Nazalna kanila sa rezervoarom



Slika 2-26. Kiseonična maska sa filterom



Slika 2-27. Nebulajzer maska



Slika 2-28. Hiperbarična komora za terapiju jednog bolesnika



Slika 2-29. Višemesna hiperbarična komora



Slika 2-30. Hiperbarična maska

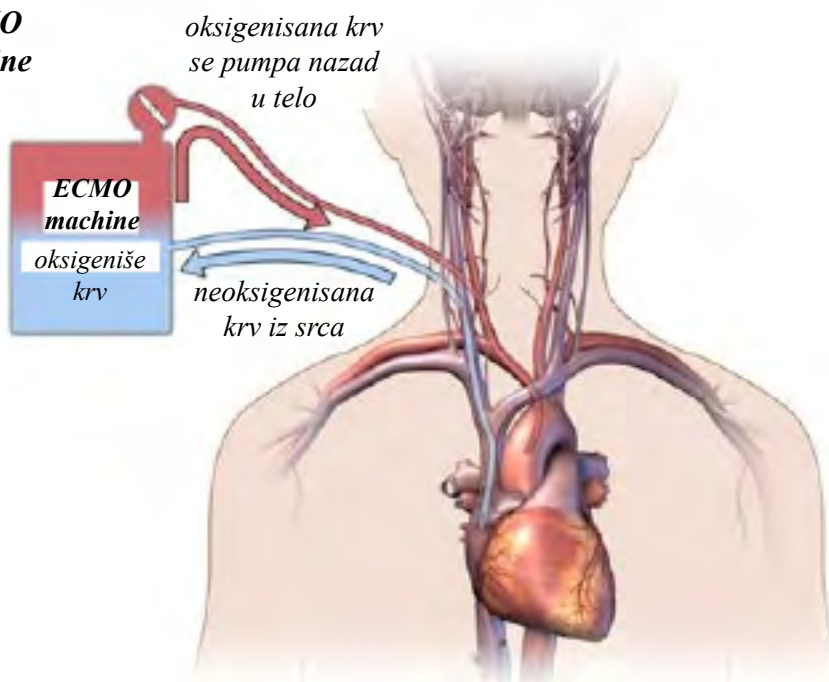


Slika 2-31. Hiperbarična hauba



Slika 2-32. Šematski prikaz ekstrakorporalne membranske oksigenacije (ECMO)

**ECMO
machine**



LITERATURA

1. *Advanced Life Support Group (2003) Advanced Paediatric Life Support 3rd Ed. London, BMJ Books.*
2. *Beall CM. Andean, Tibetan and Ethiopian patterns of adaptation to high-altitude hypoxia. Integr Comp Biol 2006;46:18–24.*
3. *Blom H, Mulder M, Verweij W. Arterial oxygen tension and saturation in hospital patients: effect of age and activity. BMJ 1988;297:720–1.*
4. *Boumphrey SM, Morris EA, Kinsella SM. 100% inspired oxygen from a Hudson mask: a realistic goal? Resuscitation 2003;57:69–72.*
5. *Bryan CL, Jenkinson SG. Oxygen toxicity. Clin Chest Med 1988;9:141–52.*
6. *Downs JB. Has oxygen administration delayed appropriate respiratory care? Fallacies regarding oxygen therapy. Respir Care 2003;48:611–20.*
7. *Guideline for emergency oxygen use in adult patients. Thorax 2008; Vol 63, Suppl. VI.*
8. *Hardie JA, Vollmer WM, Buist AS, et al. Reference values for arterial blood gases in the elderly. Chest 2004;125:2053–60.*
9. *Kelly AM, Kyle E, McAlpine R. Venous pCO₂ and pH can be used to screen for significant hypercarbia in emergency patients with acute respiratory disease. Emerg Med J 2002;22:15–9.*
10. *Kelly AM, Kyle E, McAlpine R. Venous pCO₂ and pH can be used to screen for significant hypercarbia in emergency patients with acute respiratory disease. J Emerg Med 2002;22:15–9.*
11. *Kuisma M, Boyd J, Voipio V, et al. Comparison of 30 and the 100% inspired oxygen concentrations during early post-resuscitation period: a randomised controlled pilot study. Resuscitation 2006;69:199–206.*
12. *Murphy R, Driscoll P, O'Driscoll R. Emergency oxygen therapy for the COPD patient. Emerg Med J 2001;18:333–9.*
13. *Murphy R, Mackway-Jones K, Sammy I, et al. Emergency oxygen therapy for the breathless patient. Guidelines prepared by North West Oxygen Group. Emerg Med J 2001;18:421–3.*
14. *Pavlović A. Kardiopulmonalno cerebralna reanimacija, Obeležja, Beograd, 2011.*
15. *Pavlović A. Prva pomoć, Obeležja, Beograd, 2007.*
16. *Thomas A, Rutherford K. Essentials of Oxygenation, Jones and Bartlett Publishers, Boston, London, 1993.*
17. *Thomson AJ, Webb DJ, Maxwell SR, et al. Oxygen therapy in acute medical care. BMJ 2002;324:1406–7.*
18. *Trpković S. Uspesh kardiopulmonalno cerebralne reanimacije u odnosu na prehospitalni i hospitalni tretman, doktorska disertacija, Medicinski fakultet, Kosovska Mitrovica 2009.*
19. *Vučović D, Pavlović A. Urgentna medicina u stomatološkoj praksi, DON VAS, Beograd, 2011.*

