

# Pogostost zračne embolije in zapleti po operaciji pri nevrokirurških posegih v sedečem položaju

Incidence of venous air embolism and postoperative complications in neurosurgery in sitting position

Alenka Spindler Vesel, Nina Pirc, Božidar Visočnik, Jasmina Markovič–Božič

KO za anesteziologijo in intenzivno terapijo kirurških strok, Univerzitetni klinični center Ljubljana

## Korespondenca/ Correspondence:

Jasmina Markovič - Božič  
e: jasmina.markovic1@kclj.si

## Ključne besede:

zračna embolija; sedeči položaj; nevrokirurški poseg; pogostost zračne embolije; zapleti zračne embolije

## Key words:

air embolism; sitting position; neurosurgical procedure; incidence of VAE; complications of VAE

## Citirajte kot/Cite as:

Zdrav Vestn 2015;  
84: 599–608

Prispelo: 2. okt. 2014,  
Sprejeto: 7. maj. 2015

## Izvleček

**Izhodišče:** Pri posegih v zadnji lobanjski kotanji ali na vratni hrbtenici v sedečem položaju obstaja tveganje za nastanek venske zračne embolije (VZE). Večinoma so zračni emboli majhni in ne povzročajo simptomov, vendar pa vdor večje količine zraka v krvni obtok povzroča simptome in je lahko smrten. Za zaznavo zraka v srcu je najbolj občutljiva metoda transezofagealni ehokardiogram, sledijo ji prekordialni dopplerski ultrazvok, spremljanje ogljikovega dioksida na koncu izdiha (etCO<sub>2</sub>) in druge metode.

**Metode:** V štirinajstletni retrospektivni raziskavi smo ocenili pojavnost VZE in pogostnost pooperativnih zapletov pri bolnikih, operiranih v zadnji lobanjski kotanji ali na vratni hrbtenici v sedečem položaju. VZE smo prepoznali s prekordialno doplersko sondo in/ali z nenadnim padcem etCO<sub>2</sub>. Ob pojavu VZE smo aspirirali zrak po centralnem venskem katetru iz zgornje votle vene z namenom preprečiti oz. zmanjšati pojav pljučne embolije, kirurga pa smo opozorili na dogodek. VZE smo zdravili podporno.

**Rezultati:** VZE je bila prepoznana pri 74 bolnikih. Dva bolnika po operaciji glave in štirje bolniki po operaciji vratne hrbtenice so po operaciji potrebovali zdravljenje v enoti za intenzivno terapijo in kontrolirano mehansko predihavanje. Pri šestih bolnikih po operaciji glave in pri štirih po operaciji vratne hrbtenice so bili po posegu prisotni novi nevrološki izpadi. Dva bolnika po operaciji glave sta umrla zaradi zapletov, povezanih z obsežno VZE.

**Zaključki:** VZE je redek, a lahko hud zaplet nevrokirurških operacij v sedečem položaju. Preventiva, zgodnja prepoznavna VZE, podporno zdravljenje in zdravljenje srčno-žilnih zapletov so ključni za preživetje bolnikov z VZE.

## Abstract

**Background:** Posterior fossa surgery and cervical spine surgery are associated with risk for venous air embolism (VAE) occurrence. Mostly air emboli are small and asymptomatic, but invasion of a large quantity of air in the circulation is symptomatic and potentially lethal. Transesophageal echocardiography is the most sensitive method for the detection of air emboli in the heart, followed by the precordial Doppler probe, end tidal carbon dioxide monitoring (etCO<sub>2</sub>) and others.

**Methods:** In our 14-year retrospective review we evaluated the incidence of VAE and postoperative complications in patients with posterior fossa surgery or cervical spine surgery. VAE was recognized by using Doppler probe and/or drop of etCO<sub>2</sub>. If VAE occurred, aspiration of air through the central venous catheter was used to prevent or to minimize VAE occurrence, and the surgeon was warned about the incident. VAE treatment was supportive.

**Results:** VAE was recognized in 74 patients. Two patients after head surgery and four patients after neck surgery needed postoperative treatment in an intensive care unit and controlled mechanical ventilation. Six patients after head surgery and four patients after neck surgery presented with new neurological symptoms. Two patients after head surgery died due to complications of massive VAE.

**Conclusions:** VAE is a rare though serious complication of neurosurgery in sitting position. Preventive treatment, early detection of VAE, supportive treatment and treatment of cardiovascular complications are necessary for the survival of patients with VAE.

## Uvod

Posegi v zadnji lobanjski kotanji ali na vratni hrbtenici v sedečem položaju so za bolnika tvegani zaradi možnosti nastanka venske zračne embolije (VZE).<sup>1,2</sup> Do VZE lahko pride, kadar koli je mesto kirurškega posega vsaj 5 centimetrov nad višino desnega preddvora. Takrat je venski krvni tlak v glavi negativen glede na atmosferski tlak in zrak lahko vdre v odprte vene. Ob klinično pomembni VZE poraste krvni tlak v pljučni arteriji, ogljikov dioksid na koncu izdiha (etCO<sub>2</sub>) pade, zmanjša se srčni iztis, poraste centralni venski tlak in pade krvni tlak.<sup>3</sup> Glede na vrsto nadzora med operacijo je pri nevrokirurških posegih v sedečem položaju pogostost VZE lahko tudi do 76 %, če uporabimo transezofagealni ehokardiogram (TEE).<sup>4</sup> Po nekaterih raziskavah pa je pojavnost VZE skoraj 100 %.<sup>5</sup> Za zaznavo zraka v srcu je najbolj občutljiva metoda TEE, sledijo ji prekordialni dopplerski ultrazvok (UZ), spremljanje etCO<sub>2</sub> in druge metode.<sup>3</sup> Neposredni dokaz za VZE je aspiriranje zraka ali spenjene krvi iz centralnega venskega kanala (CVK).<sup>6</sup> Zdravljenje VZE je samo podporno, vendar mora biti hitro. Kirurško zdravljenje zajema kavterizacijo, lepljenje krvnih žil in nanos voska na kost. Večinoma so zračni emboli majhni in ne povzročajo simptomov, vendar pa vdor večje količine zraka v krvni obtok sproži simptome in je lahko smrten.

V zadnjih 20 letih so bili v Univerzitetnem kliničnem centru Ljubljana bolniki operirani v sedečem položaju pri posegih v četrtem ventriklu, v vermisu, na kranio-cervikalnem prehodu ali na vratni hrbtenici; ostali posegi v zadnji lobanjski kotanji so bili izvedeni v bočnem ali v trebušnem položaju.

V naši retrospektivni raziskavi, ki je zajela štirinajstletno obdobje, smo želeli oceniti pojavnost VZE in pogostost zapletov po operaciji pri bolnikih, operiranih v zadnji lobanjski kotanji ali na vratni hrbtenici v sedečem položaju.

## Metode

Za štirinajstletno obdobje (od leta 1999 do 2013) smo retrospektivno pregledali dokumentacijo bolnikov, ki so bili operirani v sedečem položaju v zadnji lobanjski kotanji ali na vratni hrbtenici. Beležili smo starost bolnikov, telesno težo, fizikalni status bolnikov, ki je bil ocenjen po lestvici ameriškega združenja za anestezijo (American Society of Anaesthesiologists physical status score, ASA), vrsto anestezije, pred operacijo opravljen TEE za izključitev odprtega ovalnega okenca oz. medprekatne pregrade. Ocenili smo pojavnost VZE (zabeleženo na anestezijskem listu oz. v popisu ali če je nanjo kazal znaten padec zasičenosti krvi s kisikom (SpO<sub>2</sub>) in etCO<sub>2</sub> (> 4 mmHg oz. > 0,7 kPa), lahko tudi padec tlaka).<sup>7,8</sup> Beležili smo še slikanje glave z računalniško tomografijo (CT) po operaciji, čas bivanja v enoti za intenzivno terapijo (CIT) oz. nego (EIN) in čas bivanja v bolnišnici ter zaplete VZE (respiracijske, nevrološke, smrt).

Vsem bolnikom smo vstavili centralni venski kanal (CVK) v zgornjo votlo veno na oddelku ali pred operacijo. Zelena lega konice katetra na vhodu v desni preddvor je bila potrjena z rentgenskim slikanjem prsnega koša. Po prihodu v operacijsko dvorano smo bolnikom nastavili vensko pot na roko in jih pomirili z midazolamom. Za uvod v anestezijo smo uporabili anestetik (propofol, etomidat, tiopental), analgetik (remifentanil, fentanil) in mišični relaksant (vekuronij, rokuronij). Po intubiranju smo bolnikom nastavili dodatno vensko pot na nogo, urinski kateter in arterijski kateter za neprekinjeno merjenje krvnega tlaka ter jemanje vzorcev krvi. Med operacijo smo uporabljali razširjen anesteziološki nadzor bolnika: srčni utrip, invazivno merjenje krvnega tlaka, elektrokardiogram v enem odvodu, merjenje centralnega venskega tlaka, SpO<sub>2</sub> in etCO<sub>2</sub>, in urne diureze. Nekaterim bolnikom smo nastavili dopplersko sondo, položeno parasternalno v drugem do četrtem medrebrnem prostoru ob prsnici desno. Pravilno lego sonde nad desnim preddvorom smo preverili s hitrim vbrizgavanjem 10 ml hladne fiziološke raztopine preko CVK. Turbulenca krvi zaradi mešanja po

temperaturi različnih tekočin lahko povzroči brbotajoči zvok, enak kot pri mešanju zraka in vode. Anestezijo smo vzdrževali bodisi samo intravensko (propofol in remifentanil) ali inhalacijsko (sevofluran, izofluran, fentanil). Dodatna mišična relaksacija običajno ni bila potrebna. Med posegom smo vzdrževali normokapnijo oz. blago hipokapnijo.

Morebitno VZE smo prepoznali z doplersko sondo z značilnim zvokom mlinskega kolesa in/ali z nenadnim padcem  $etCO_2$ . Ob pojavu VZE smo s pomočjo 10 ml brizge vlekli zrak iz CVK iz zgornje votle vene, da bi preprečili oz. zmanjšali obseg pljučne zračne embolije, kirurga pa mo opozorili na dogodek. VZE smo zdravili podporno, hipotenzijo s tekočinami in z vazoaktivnimi zdravili.

Bolniki, ki so utrpeli VZE brez zapletov ali le z blagimi zapleti, so po operaciji ostali v zbujevalnici, nato so bili sprejeti v EIN na nevrokirurškem oddelku. Pri zelo hudih zapletih, če so bolniki potrebovali po operaciji podporo dihanja in/ali vazoaktivno podporo, se je zdravljenje nadaljevalo v enoti CIT. Pri vsakem bolniku se je dnevno preverjal nevrološki status, po potrebi so ponovili računalniško tomografijo (CT).

Podatke smo statistično obdelali s programom Excell for Windows.

## Rezultati

V obdobju od 1999 do 2013 je bilo na nevrokirurškem oddelku v UKC Ljubljana operiranih 16.332 bolnikov (8.656 operacij glave in 7.676 vratne hrbtenice), od tega je bilo 389 posegov (2,4 %) v sedečem položaju (269 (3 %) operacij glave in 120 (1,6 %) operacij vratne hrbtenice).

Demografski podatki bolnikov in podatki glede operacije so prikazani v Tabelah 1 in 2.

V obdobju od 1999 do 2013 je bila VZE prepoznana pri 74 od 390 bolnikov, operiranih v sedečem položaju (19 %). Od tega se je VZE pojavila pri 58 bolnikih, operiranih v zadnji lobanjski kotanji, in pri 16 bolnikih, operiranih na vratni hrbtenici. Noben od teh bolnikov ni pred operacijo opravil ultrazvoka srca oz. ni bilo iz anamneze poznano, da imajo odprto ovalno okence ali medpredverno pregrado.

V Tabeli 3 so prikazani dnevi hospitalizacije in intenzivnega zdravljenja pri bolnikih z VZE ter število bolnikov z zapleti po operaciji (potreba po kontroliranem mehanskem predihavanju z zdravljenjem v enoti CIT, novi nevrološki izpadi, smrt bolnika).

## Razpravljanje

V zadnjih 15 letih je bilo v UKCL 2,4 % nevrokirurških bolnikov s posegi v zadnji lobanjski kotanji ali na vratni hrbtenici operiranih v sedečem položaju. Najbolj je bila uporaba tehnike sedečega položaja popularna v 60. in 70. letih minulega stoletja, kasneje je v številnih nevrokirurških centrih število operacij v sedečem položaju upadalo.<sup>9-14</sup>

## Sedeči položaj in zapleti

V nevrokirurgiji se lega bolnika v sedečem položaju uporablja pri operacijah v zadnji lobanjski kotanji ali pri operacijah na vratni hrbtenici. V tem položaju je preglednost operacijskega polja boljše, učinkovito je dreniranje cerebrospinalnega likvorja in krvi, zato je otekanje možganov manjše,

**Tabela 1:** Demografski podatki. Podatki so prikazani kot mediana oz. kot odstotek (%).

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
spol (% M)	54	61	52	52	50	63	69	46	64	59	43	48	72	50	40
starost (leta)	36	49	48	56	49	48	52	50	46	45	49	61	53	56	66
telesna masa (kg)	66	78	77	75	75	70	73	72	71	74	71	74	76	64	70
ASA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3

ASA – fizikalni status bolnikov, ocenjen po lestvici ameriškega združenja za anestezijo (American Society of Anaesthesiologists physical status score, ASA)

zmanjša se tudi znotrajlobanjski tlak, izboljša se predihavanje bolnika, dostop do dihalne poti je boljši kot pri položaju na trebuhu, tudi izguba krvi je verjetno manjša. Kirurg lahko hitreje in bolj učinkovito odgovori na vdor zraka v venski sistem. S tem položajem so povezani tudi zapleti, kot so VZE z možnostjo nastanka masivne pljučne embolije (PE) ali paradokсне zračne embolije ob odprtem ovalnem okencu, cirkulacijska nestabilnost, pnevmocefalus, kompresijske poškodbe perifernih živcev, kvadriplegija in ostale.<sup>1,15,16</sup> Pojav VZE ni omejen le na sedeči položaj, ampak se lahko pojavi tudi v bočnem, trebušnem in hrbtnem položaju bolnika.<sup>16,17</sup> Vendar prvi poveča tveganje za nastanek VZE za 25-krat v primerjavi z ostalimi položaji.<sup>18</sup> Vdor zraka v venski sistem omogočajo odprte vene v operativnem polju, gravitacijski učinek nizkega centralnega

venskega tlaka in relativno negativni venski tlak glede na atmosferski tlak. Tudi določena stanja oz. bolezni povečujejo tveganje za nastanek zapletov pri operacijah v sedečem položaju ter ob morebitni VZE. Tako je absolutna kontraindikacija za kraniotomijo v sedečem položaju prisotnost odprtega ovalnega okenca ali odprte medpreddvorne pregrade. Pri bolnikih, ki so že preboleli možgansko ishemijo zaradi srčnožilnih ali možganskožilnih bolezni, je povečano tveganje, da zaradi anestezije in sedečega položaja možganska prekrvitev ne bo zadostna. Relativne kontraindikacije so tudi zelo visoka starost, neurejen krvni tlak in kronična obstruktivna pljučna bolezen.<sup>1</sup>

Poleg VZE je nezadostna prekrvitev možganov pri bolniku v sedečem položaju znan dejavnik tveganja za nastanek ishemije možganov med operacijo. Možganski krvni

**Tabela 2:** Anestezije in operacije. Podatki so prikazani kot mediana, odstotek (%) oz. kot število.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Vrsta anestezije - TIVA (%)	62	75	69	97	92	97	86	82	85	100	90	86	94	100	100
Vrsta anestezije - inhalacijska (%)	38	25	31	3	8	3	14	18	15	0	10	14	6	0	0
Uporaba dopplerja (%)	39	22	10	3	3	3	0	0	0	14	20	5	33	0	40
Čas operacije (min)	178	168	160	148	151	156	156	153	116	138	128	119	160	173	215
Število vseh operacij	939	976	940	945	1001	1122	1010	1262	1165	1201	1185	1180	1194	1168	1044
Število operacij v sedečem položaju	26	36	29	29	38	30	29	39	33	22	30	21	18	5	5
Delež operacij v sedečem položaju (%)	2,8	3,7	3,1	3,1	3,8	2,7	2,9	3,1	2,8	1,8	2,5	1,8	1,5	0,43	0,5
Število VZE	8	6	5	6	6	5	6	8	5	5	6	3	5	0	0
Delež VZE pri operacijah v sedečem položaju (%)	31	17	17	21	16	17	21	21	15	23	20	14	28	0	0

TIVA – totalna intravenska anestezija

VZE – venska zračna embolija

pretok se v območju srednjega arterijskega tlaka od 50 do 150 mmHg vzdržuje z avto-regulacijo, tj. je s spreminjanjem upornosti žilja. Nad in pod tega vrednostma postane možganski krvni pretok linearno odvisen od možganskega perfuzijskega tlaka. Spremembe v metabolizmu možganov (*angl.* cerebral metabolic rate for oxygen,  $CMR_{O_2}$ ), delni tlak kisika in ogljikovega dioksida v arterijski krvi vplivajo na možganski krvni pretok. Ob odprtju dure znotrajlobanjski tlak pade na nič in srednji arterijski tlak postane glavna determinanta možganskega perfuzijskega tlaka. Kirurški dražljaj lahko lokalno poveča znotrajlobanjski tlak. Zaradi znižanja arterijskega tlaka lahko tako nastane možganska ishemija. Ker je pri sedečem položaju višina glave nad višino srca, se zaradi gravitacije zmanjšata tako arterijski kot venski tlak. Arterijski tlak se zmanjša za 0,77 mmHg za vsak centimeter nad višino srca. Simptomi in znaki ishemije možganov se pojavijo pri zmanjšanju možganskega krvnega pretoka za 42 %. Splošna anestezija in inducirana hipokapnija zmanjšata možganski pretok za 34 %; sedeči položaj ga zmanjša še za 14 %. Zato se lahko zmanjša  $CMR_{O_2}$ , zniža se prag za ishemijo v povezavi s splošno anestezijo. Kirurški dražljaj še dodatno prispeva k zmanjšanemu pretoku krvi v možganih in v notranji karotidni arteriji.<sup>1</sup>

Pri vdoru zraka v epiduralni ali duralni prostor lahko nastane tenzijski pnevmocelalus. Bolniki so po operaciji najpogosteje letargični, zmedeni, imajo glavobol, krče, nevrološke izpade oz. motnje zavesti. Pri vdoru večje količine zraka lahko pride do smrti

zaradi herniacije možganov.<sup>1,19</sup> Incidenca pnevmocelalusa med operacijo je visoka, vendar se večina zraka absorbira spontano.<sup>19,20</sup> Hervias poroča le o 3 % klinično pomembnih pnevmocelaluso.<sup>21</sup>

### Nadzor bolnika med anestezijo v sedečem položaju in zaznavanje VZE

Pojavnost VZE med operacijami v sedečem položaju je med 7–50 % pri odraslih in 9 % pri otrocih, če se za zaznavo VZE uporabi prekordialni dopplerski UZ, oz. 15–35 %, če se spremlja  $etCO_2$ .<sup>15,22–24</sup> Večji delež zaznanih VZE so imeli v raziskavah, pri katerih so uporabljali TEE, saj so lahko zaznali že 0,02 ml/kg TT v veno vbrizganega zraka.

TEE v kombinaciji s  $etCO_2$  pa je dokazano najbolj občutljiv kazalec VZE.<sup>15,19,22,25</sup>

Prekordialni dopplerski UZ je bolj občutljiv kot  $etCO_2$ , a ga lahko preglasijo ostale naprave v operacijski sobi.<sup>15,25</sup> Zaznava odboje ultrazvočnega signala (zvok frekvence 2 do 5 mHz) premikajočih se struktur v prsnem košu (stene prsnega koša in srčnih zaklopk). Je neinvazivna metoda in pri pravilni namestitvi omogoča zaznavo od 0,25 do 1 ml zraka, ki vstopi v desni preddvor. Zaznava VZE je pri tem nadzoru subjektivna, saj je količino zraka, ki je vdrl v venski sistem, nemogoče izmeriti. Če je vdor zraka v venski sistem počasen, lahko naprava ne bo oddala zvočnega signala.<sup>17,25</sup>

S spremljanjem  $etCO_2$  (sprememba za 2 mmHg) zaznamo zmerno pa tudi manjšo količino zraka ob VZE.<sup>15,25</sup> Do pomembnega padca  $etCO_2$  pride pri hitrem vdoru vsaj

**Tabela 3:** Hospitalizacija, intenzivno zdravljenje in zapleti pri bolnikih z vensko zračno embolijo. Podatki so prikazani kot mediana oz. kot število.

	Operacije glave	Operacije vratne hrbtenice
Hospitalizacija (dnevi)	10	7
Intenzivno zdravljenje (dnevi)	4	2
Nevrološki izpadi	6	4
Respiratorni zapleti	2	4
Smrt	2	0

15 do 25 ml zraka v pljučni obtok, ker se predihavajo neprekrvljeni deli pljuč in se poveča fiziološki mrtvi prostor. V primerjavi s prekordialnim dopplerskim UZ s to metodo težje določimo začetek in konec VZE. EtCO<sub>2</sub> se ne normalizira, dokler se zrak ne izloči iz pljučnega obtoka, kar je običajno v 15 do 20 minutah. Metoda ni zelo specifična in postane nezanesljiva ob nizkem sistemskem tlaku in obstrukciji zgornjih dihal.<sup>17,25</sup> Zato se priporoča sočasna uporaba obeh načinov nadzora.<sup>15</sup>

Koncentracija dušika v izdihanem zraku (ET<sub>N<sub>2</sub></sub>) je sicer najbolj občutljiva metoda za zaznavo VZE, vendar ni del rutinskega nadzora med anestezijo. Porast ET<sub>N<sub>2</sub></sub> za 0,04 % pomeni prisotnost VZE, spremembe v ET<sub>N<sub>2</sub></sub> pa se pojavijo že 30–90 sekund pred spremembami v ET<sub>CO<sub>2</sub></sub>. Za zaznavo paradokсне zračne embolije (PZE) je najbolj zanesljiva metoda TEE.<sup>1</sup> Slabo specifični metodi za zaznavo VZE sta ezofagealni stetoskop in spremembe v EKG (spremembe ST spojnice, nadprekatne in prekatne tahiaritmije).<sup>25</sup>

Hervias s sodelavci je prospektivno spremljal 136 operacij v sedečem položaju s sočasno uporabo prekordialnega dopplerskega UZ in etCO<sub>2</sub>. V 16,2 % je bila diagnosticirana VZE, v večjem odstotku pri kraniotomijah kot pri posegih na vratni hrbtenici.<sup>21</sup> V 16-letni retrospektivni študiji Ganslandta pri 600 bolnikih je bila skupna incidenca VZE ob uporabi prekordialnega dopplerskega UZ, etCO<sub>2</sub> ali TEE 19 %, vendar so se hujši zapleti (padec pO<sub>2</sub> ali krvnega tlaka) pojavili le v 3,3 %.<sup>7</sup> Pri naših bolnikih je bil delež zaznanih VZE podoben (17 %). Za nadzor smo največkrat uporabljali etCO<sub>2</sub>, uporaba prekordialnega dopplerskega UZ je variirala po posameznih letih (od 0 do 50 % bolnikov na leto).

### Patološka fiziologija nastanka VZE in paradokсне zračne embolije (PZE)

Odprto ovalno okence in transpulmonalni obvod lahko predstavljata pot za prehod zraka iz venskega v arterijski sistem ter nastanek PZE.<sup>15,26</sup> V patofiziologiji PZE je ključna tlačna razlika med preddvoroma. Stanja, ki relativno povečajo tlačno razliko

med desnim in levim preddvorom, povečajo tveganje za nastanek PZE ob nastanku VZE.

Med anestezijo se v sedečem položaju pomembno zmanjša pljučni kapilarni zagozditveni tlak. Tlak v desnem preddvoru se ob tem ne spremeni in lahko preseže pljučni kapilarni zagozditveni tlak. V tem primeru se lahko že prisotna tlačna razlika med levim in desnim preddvorom obrne. Tudi nastavitev predihavanja s pozitivnim tlakom na koncu izdiha lahko poveča tlak v desnem preddvoru, da ta preseže pljučni kapilarni zagozditveni tlak.<sup>1</sup>

Zračni mehurčki pa lahko vstopijo v levo srce tudi, če ni znotrarsrčnega prehoda. Tako nastane paradokсна zračna embolija ob prehodu večje količine zraka preko pljučnega obtoka v sistemskega, ker zraka pljuča kot fiziološki filter ne zmorejo odstraniti v celoti.<sup>15,26,27</sup> To se zgodi pri količini zraka, ki vdre hitreje kot 0,35 oz. 0,4 ml/kg/min.<sup>17,25</sup> V tem primeru lahko, kot pri odprtem ovalnem okencu, zračni emboli pridejo v venčno in možgansko žilje.<sup>15</sup>

### Sistemiški vnetni odziv ob VZE

Na živalskih modelih je bilo dokazano, da se ob VZE sproži sistemiški vnetni odziv (SIRS), ki lahko vodi do povečane prepustnosti kapilar. Embolizacija desnega prekata vodi v nastanek pljučne hipertenzije in sproščanja endotelina-1 iz pljučnega žilja. Pri PZE venski zrak vstopi v sistemiški obtok, nastanejo mikroskopsko majhni zračni mehurčki, ki ovirajo pretok v mikrocirkulaciji, kar vodi v agregacijo trombocitov in sproščanje plazminogen-aktivator-inhibitorja. Ta mehanizem verjetno sproži citokinsko kaskado in nastanek SIRS-a.<sup>25,28,29</sup>

### Klinična slika VZE

Do padca etCO<sub>2</sub> pride ob vsaki epizodi pomembne VZE. Zrak znotraj pljučnega obtoka zmanjša pljučno prekrvavitev, zaradi česar se poveča fiziološki mrtvi prostor. Zmanjša se zasičenost arterijske krvi s kisikom in pride do padca saturacije krvi. Padec krvnega tlaka ob padcu etCO<sub>2</sub> kaže na vdor večje količine zraka.<sup>22,25</sup> Za klinično pomembnost VZE je pomembna količina zraka in hitrost, s katero ta vstopi v venski sistem. Zrak, ujet znotraj žil, se izloča preko stika med pljučnimi kapilarami in površino

alveolov. Počasen vdor zraka (manj kot 0,1 do 0,15 ml/kg/min) bolniki dobro prenašajo, saj pljuča lahko izločijo ves zrak iz pljučnih kapilar. Zgodnji klinični znaki (hipotenzija) lahko nastanejo pri hitrem vstopu približno 1 ml/kg zraka (50–60 ml zraka). Večji vdor zraka 3 do 5 ml/kg (200–300 ml) oz. hitrejši kot 1.8 ml/kg/min pa je smrten, saj pride zaradi obstrukcije in nezmožnosti iztisa krvi iz desnega prekata do akutne desnostranske odpovedi srca in srčnožilnega kolapsa.<sup>17,25</sup>

Klinično se spremembe v srčnožilnem sistemu kažejo pozno s padcem krvnega tlaka, porastom centralnega venskega tlaka zaradi desnostranske odpovedi srca in s spremembami v elektrokardiogramu (tahiaritmije, obremenitev desnega prekata, spremembe ST spojnice, ishemija miokarda). VZE ob nadzorovanem predihavanju lahko povzroči vazokonstrikcijo pljučnega žilja, pride do sproščanja vnetnih mediatorjev, porasta tlaka v dihalih zaradi bronhokonstrikcije, poveča se ventilacijsko-perfuzijsko nesorazmerje in zmanjša se pljučna complianca. Zapora koronarne ali možganske arterije vodi v srčno in možgansko ishemijo.<sup>1,25</sup> Količina in hitrost vdora zraka v arterijski sistem ne napovesta nevroloških posledic po operaciji. Do neposredne zračne embolije v možganih pride pri vstopu zraka v arterijski sistem (npr. preko odprtega ovalnega okenca). Do poškodbe možganov lahko pride tudi zaradi nezadostne prekrvitve možganov ob zmanjšanem utripnem volumnu srca. To se v blagi obliki kaže s spremenjenim mentalnim statusom, lahko pa zaradi hipermije možganov in edema nastanejo fokalni deficiti, tudi koma.<sup>15,25</sup> Zato je pomembno, da po operaciji čimprej ocenimo nevrološki status bolnika. Pri hitrem zbujanju bolnikov ima intravenska anestezija prednost pred inhalacijsko. V zadnjih letih se pri nas uporablja pretežno intravenska anestezija.

Umrljivost zaradi zračne embolije pri operacijah v sedečem položaju ni velika, je pa povezana z nastankom akutnega respiratornega distresnega sindroma oz. je posledica hudih nevroloških okvar zaradi paradoksnih zračnih embolij.<sup>30</sup> Od 58 naših bolnikov, ki so utrpeli VZE, sta dva (2,7 %) umrla zaradi zapletov povezanih z masivno VZE. Šest bolnikov (8 %) je po operaciji po-

trebovalo kontrolirano mehansko predihavanje, pri desetih bolnikih (13,5 %) se je po posegu pojavil nov nevrološki izpad.

#### Ukrepi ob VZE

Pred nevrokirurškimi posegi v sedečem položaju je priporočljivo opraviti TEE za izključitev odprtega ovalnega okenca ali desno-leve medpreddvorne odprtine. Pri bolnikih s pozitivnim TEE se nevrokirurški poseg v sedečem položaju odsvetuje oz. se neposredno pred posegom opravi perkutano zaprtje odprtega ovalnega okenca ali desno-leve medpreddvorne odprtine.<sup>17,26,31–33</sup> Kar pri 25 % populacije je ovalno okenca stalno odprto. Do ponovnega odprtja ovalnega okenca pa lahko pride ob povečanem tlaku v desnem prekату, npr. pri obsežni VZE.<sup>19,32</sup> Perioperativni TEE za izključitev odprtega ovalnega okenca ali desno-leve medpreddvorne odprtine ni rutinski postopek v vseh nevrokirurških centrih.<sup>15</sup> Tudi pri nas se TEE ni opravljal pred posegi v sedečem položaju.

Prisotnost odprtega ovalnega okenca lahko pred operacijo izključimo tudi s transkranialnim dopplerskim ultrazvokom.<sup>25</sup>

Ko se pojavi VZE, je glavni cilj zmanjšati dodatno vdiranje zraka v venski sistem, zmanjšati volumen zraka, ki je že vstopil v obtok in zagotoviti hemodinamsko podporo. Ob dogodku takoj opozorimo kirurga, da pokrije kirurško mesto z mokrimi zloženci ter skuša najti mesto vdora zraka. Bolnika predihavamo s 100-odstotnim kisikom, zrak aspiriramo iz centralnega venskega katetra (CVK).<sup>15,25</sup> Pri približno 60 % zaznanih VZE je zrak mogoče aspirirati iz CVK.<sup>21</sup> Z dvigom nog lahko skušamo zmanjšati negativni gradient tlaka med odprtimi venami in tlakom v desnem preddvoru.<sup>25</sup> Obojestranski pritisk na jugularno veno poveča tlak v možganskih venah in olajša odkriti mesto vdora zraka v odprtih duralnih sinusih, poveča pa tudi distalni venski tlak, kar zmanjša vdor zraka v prsno votlino in desni preddvor. Posledica tega manevra je zvišan znotrajlobanjski tlak in zmanjšana perfuzija možganov. Sočasno lahko pretisnemo karotidno arterijo in tako zmanjšamo možganski pretok, lahko pride do premika morebitnega ateromastega plaka, nastanka možganskega

edema zaradi venske staze in hude bradikardije ob stimuliranju karotidnega sinusa.

Ne glede na ukrepanje se VZE lahko med operacijo ponavlja.<sup>15,25</sup> Včasih je potrebno poseg zaključiti zaradi neobvladljive VZE.<sup>7</sup>

Tudi kirurška tehnika vpliva na hitrost in količino vdiranja zraka. Najpogosteje pride do VZE ob začetni izpostavitvi zadnje lobanjske kotanje atmosferskemu zraku, ko zrak vdre preko diploičnih in emisarnih ven, sinusov dure. Robove kosti je potrebno povoskati, saj so lahko mesto vdora zraka, poškodovane sinuse pa zašiti oz zapreti z želatinsko peno ter prekriti z mišicami ali fascijo.<sup>1,19</sup> Pri bolnikih, pri katerih je med posegom prišlo do VZE, se ta lahko ponovi ob znižanju pozitivnega tlaka na koncu izdiha (PEEP) ali ob spremembi položaja iz sedečega v vodoravni ob koncu operacije, verjetno zaradi mobilizacije prej ujetega zraka v možganskih venah in v venah prsnega koša.<sup>31,34</sup>

Zdravljenje VZE je možno tudi z uporabo hiperbarične komore, posebno ob prisotnosti zračnih embolusov v možganskih arterijah. Porast pritiska v komori za več kot 1 atm povzroči zmanjšanje zračnih mehurčkov zaradi pospešene resorpcije dušika in povečane vsebnosti kisika v krvi.<sup>25</sup>

#### Preprečevanje VZE

Dobra hidracija zmanjša tveganje za nastanek VZE, saj nizek centralni venski tlak poveča negativni tlačni gradient v rani glede na desni atrij (DA). Optimalno je vzdrževanje tlaka v DA med 10 in 15 cm H<sub>2</sub>O. Uporaba antišokovnih hlač poveča tlak v DA (tlak v hlačah 50 cm H<sub>2</sub>O zagotovi tlak, večji od atmosferskega tlaka v DA). Vendar lahko uporaba antišokovnih hlač zmanjša vitalno kapaciteto pljuč, povzroči nezadostno perfuzijo trebušnih organov; razvije se lahko utesnitveni sindrom. Uporaba pozitivnega tlaka na koncu izdiha se ne priporoča, ker poveča tveganje za VZE in PZE. Prav tako se ne priporoča uporaba dušikovega oksida, ker je 34-krat bolj topen v krvi kot dušik in

lahko dramatično poveča volumen zraka, ki je vdrl v venski sistem.<sup>25</sup> Jadik s sodelavci je opisal zmanjšanje pojava VZE na 0,5 % vseh operacij v sedečem položaju ob doslednem upoštevanju protokola njihove klinike (uporaba TEE pred in med operacijo za izključitev odprtega ovalnega okenca, izogibanje hiperventilaciji, tekočinska optimizacija bolnika in položaj bolnika z nogami, dvignjenimi do višine transverzalnega sinusa, za zagotavljanje pozitivnega venskega tlaka v transverzalnem in sigmoidnem sinusu, medoperativni nadzor somatosenzornih in motoričnih evociranih potencialov, rutinsko voskanje robov kosti ob kraniotomiji, intermitentni tlak na jugularno veno, opozorilo anesteziologa ob krvavitvi iz emisarnih ven ali sinusa).<sup>19</sup>

V UKC Ljubljana za preprečevanje VZE med anestezijo ne uporabljamo dušikovega oksidula in PEEP-a. Kirurg med posegom poliva polje operacije s fiziološko raztopino. V zadnjem letu bolnikom, pri katerih je načrtovan nevrokirurški poseg v sedečem položaju, naredimo predoperativni ultrazvok srca za izključitev odprtega ovalnega okenca ali desno-leve medpredvorne odprtine.

#### Zaključki

Pri posegih v zadnji lobanjski kotanji in na vratni hrbtenici v sedečem položaju se poveča tveganje za nastanek VZE in PZE. VZE lahko zaznamo z nadzorom etCO<sub>2</sub>. Uporaba prekordialnega dopplerskega UZ je priporočljiva pri povečanem tveganju za nastanek VZE, bodisi s strani bolnika ali zaradi samega posega. Uporaba bolj invazivnega nadzora (TEE in CVK) se priporoča pri bolnikih s spremljajočimi boleznimi.

Poleg dobrega nadzora in zgodnjega prepoznavanja VZE pa so za izid po nastanku VZE pomembni tudi preventiva (hidracija, položaj), podporno zdravljenje (tekočinsko, pozitivna inotropna zdravila) ter zdravljenje srčno-žilnih zapletov.



## Literatura

- Porter JM, Pidgeon C, Cunningham AJ. The sitting position in neurosurgery: a critical appraisal. *Br J Anaesth* 1999; 82: 117–28.
- Aleksić V, Radulović D, Milaković B, Nagulić M, Vucović D, Antunović V, Djordjević M. A retrospective analysis of anesthesiologic complications in pediatric neurosurgery. *Pediatr Anaesth* 2009; 19: 879–86.
- Adhikary GS, Massey SR. Massive air embolism: A case report. *J Clin Anesth* 1998; 10: 70–2.
- Papadopoulos G, Kuhly P, Brock M, et al. Venous and paradoxical air embolism in neurosurgical patients in the sitting position: detection by transesophageal echocardiography. *Acta Neurochir* 1994; 126: 140–3.
- Faberowski LW, Black S, Mickle JP. Incidence of venous air embolism during craniotomy for craniostomosis repair. *Anesthesiology* 2000; 92: 20–3.
- Ely EW, Wite RD, Baker AM, Johnson MM. Venous air embolism from central venous catheterisation: A need for increased physician awareness? *Crit Care Med* 1999; 27: 2113–7.
- Ganslandt O, Merkel A, Schmitt H, Tzabazis A, Buchfelder M, Eyupoglu I, Muenster T. The sitting position in neurosurgery: indications, complications and results a single institution experience of 600 cases. *Acta Neurochir* 2013; 155: 1887–93.
- Dilmen OK, Akcil EF, Tureci E, Tunali Y, Bahar M, Tanriverdi T, Aydin S, Yentur E. Neurosurgery in the sitting position: retrospective analysis of 692 adult and pediatric cases. *Turk Neurosurg* 2011; 21: 634–40.
- Black S, Ockert DB, Oliver WC, Cucchiara RK. Outcome following posterior fossa craniectomy in patients in the sitting or horizontal positions. *Anesthesiology* 1988; 69: 49–56.
- Campkin TV. Posture and ventilation during posterior fossa and cervical operations. *Br J Anaesth* 1981; 53: 881–3.
- Elton RJ, Howell SC. The sitting position in neurosurgical anaesthesia: a survey of British practice in 1991. *Br J Anaesth* 1994; 73: 247–8.
- Martin JT. Neuroanesthetic adjuncts for surgery in the sitting position: I. Introduction and basic equipment. *Anesth Analg* 1970; 49: 588.
- Martin TJ. Neuroanesthetic adjuncts for surgery in the sitting position: III. Intravascular electrocardiography. *Anesth Analg* 1970; 49: 793–808.
- Martin JT. Neuroanesthetic adjuncts for surgery in the sitting position: II. The antigravity suit. *Anesth Analg* 1979; 49: 588–93.
- Mammoto T, Hayashi Y, Ohnishi Y, Kuro M. Incidence of venous and paradoxical air embolism in neurosurgical patients in the sitting position: Detection by transesophageal echocardiography. *Acta Anaesthesiol Scand* 1998; 42: 643–7.
- Rath GP, Bithal PK, Chaturvedi A, Dash HH. Complications related to positioning in posterior fossa craniectomy. *J Clin Neurosci* 2007; 14: 520–5.
- Capan LM, Miller SM. Monitoring for suspected pulmonary embolism. *Anesthesiology Clinics of North America* 2001; 19: 673–703.
- Israelian LA, Shimanskiĭ VN, Otamanov DA, Poshataev VK, Lubnin Alu. Patient positioning on the operating table in neurosurgery: sitting or lying. *Anesteziol Reanimatol* 2013; 4: 18–26.
- Jadik S, Wissing H, Friedrich K, Beck J, Seifert V, Raabe A. A standardized protocol for the prevention of clinically relevant venous air embolism during neurosurgical interventions in the semisitting position. *Neurosurgery* 2009; 64: 533–9.
- Di Lorenzo N, Caruso R, Floris R, Guerrisi V, Bozza L, Fortuna A. Pneumocephalus and tension pneumocephalus after posterior fossa surgery in the sitting position: a prospective study. *Acta Neurochir* 1986; 83: 112–5.
- Hervías A, Valero R, Hurtado P, Gracia I, Perelló L, Tercero FJ, González JJ, Fàbregas N. Detection of venous air embolism and patent foramen ovale in neurosurgery patients in sitting position. *Neurocirurgia* 2014; 25: 108–15.
- Harrison EA, Mackersie A, McEwan A, Facer E. The sitting position for neurosurgery in children: a review of 16 years, experience. *Br J Anaesth* 2002; 88: 12–7.
- Chang EF, Cheng JS, Richardson RM, Lee C, Starr PA, Larson PS. Incidence and management of venous air embolisms during awake deep brain stimulation surgery in a large clinical series. *Stereotact Funct Neurosurg* 2011; 89: 76–82.
- Dilmen OK, Akcil EF, Tureci E, Tunali Y, Bahar M, Tanriverdi T, Aydin S, Yentur E. Neurosurgery in the sitting position: retrospective analysis of 692 adult and pediatric cases. *Turk Neurosurg* 2011; 21: 634–40.
- Mirski MA, Lele AV, Fitzsimmons L, Toung TJK. Diagnosis and treatment of vascular air embolism. *Anesthesiology* 2007; 106: 164–77.
- Tommasino C, Rizzardi R, Baretta L, Venturino M, Piccoli S. Cerebral ischemia after venous air embolism in the absence of intracardiac septal defects. *J Neurosurg Anesthesiol* 1996; 8: 30–4.
- Bedell EA, Berge KH, Losasso TJ. Paradoxical air embolism during venous air embolism: transesophageal echocardiographic evidence of transpulmonary air passage. *Anesthesiology* 1994; 80: 947–50.
- Tarun K, Guillermo G. Air embolism as a cause of the systemic inflammatory response syndrome: A case report. *Crit Care* 2003; 7: 98–100.
- Lynch JJ, Schuchard GH, Gross CM, Wann LS. Prevalence of right-to-left-atrial shunting in a healthy population: detection by Valsalva manoeuvre contrast echocardiography. *Am J Cardiol* 1984; 53: 1478–80.
- VonGoseln HH, Samii M, Suhr D, Bini W. The lounging position for posterior fossa surgery: anesthesiological considerations regarding air embolism. *Childs Nerv Syst* 1991; 7: 368–74.
- Schmitt HJ, Hemmerling TM. Venous air emboli occur during release of positive end-expiratory pressure and repositioning after sitting position surgery. *Anesth Analg* 2002; 94: 400–3.
- Fritz GA. Hair splitting, air embolism, and transesophageal echocardiography. *Anesthesiology* 2007; 107: 852.

33. Laban JT, Rasul FT, Brecker SJ, Marsh HT, Martin AJ. Patent foramen ovale closure prior to surgery in the sitting position. *Br J Neurosurg* 2014; 28: 421–2.
34. Schlundt J, Tzanova I, Werner C. A case of intrapulmonary transmission of air while transitioning a patient from a sitting to a supine position after venous air embolism during a craniotomy. *Can J Anaesth* 2012; 59: 478–82.