

玻璃体切割手术致眼静脉空气栓塞的研究现状及进展

余 川, 万光明

引用: 余川, 万光明. 玻璃体切割手术致眼静脉空气栓塞的研究现状及进展. 国际眼科杂志 2022;22(9):1473-1477

作者单位: (450052) 中国河南省郑州市, 郑州大学第一附属医院眼科

作者简介: 余川, 在读博士研究生, 研究方向: 玻璃体视网膜病变。

通讯作者: 万光明, 主任医师, 教授, 研究方向: 玻璃体视网膜病变. wgm6608@163.com

收稿日期: 2021-11-22 修回日期: 2022-08-04

摘要

眼静脉空气栓塞(OVAE)是玻璃体切割手术中一种罕见的致命并发症。因手术部位靠近心脏且位于心脏上方, OVAE可能是所有手术中引起静脉空气栓塞(VAE)最严重的。随着玻璃体切割手术的发展, 免缝合状态的灌注套管可出现向外滑动, 使得灌注气体进入脉络膜上腔, 导致涡静脉撕裂。玻璃体腔气体灌注时, 外伤及脉络膜黑色素瘤手术导致的脉络膜血管伤口暴露于气体中, 这使得加压气体可能通过撕裂的涡静脉或异常的脉络膜静脉开口进入循环系统导致 OVAE。目前 OVAE 的定义、发病机制、临床表现及防治措施在不断完善, 但多数玻璃体视网膜外科学医生和麻醉医师仍不了解该医源性并发症。提高对 OVAE 的认识将有助于早期发现该并发症, 进而做出及时处理, 同时制定有效的预防策略。通过临床和实验室研究相结合, 可不断优化 OVAE 防治原则。充分认识 OVAE 的发病机理和临床特点, 关注 OVAE 继发性病变的特征以及重视多学科间的合作有助于 OVAE 应急处理和预防措施的建立和完善。

关键词: 眼静脉空气栓塞; 玻璃体切割手术; 气体灌注; 并发症; 涡静脉撕裂; 脉络膜损伤

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.9.11

Progress and research status of ocular venous air embolism caused by vitrectomy

Chuan Yu, Guang-Ming Wan

Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, Henan Province, China

Correspondence to: Guang - Ming Wan. Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, Henan Province, China. wgm6608@163.com

Received: 2021-11-22 Accepted: 2022-08-04

Abstract

• Ocular venous air embolism (OVAE) is a rare and fatal complication in vitrectomy. Due to the proximity of the surgical site to the heart and its level above the heart, OVAE may be the most severe complication in the venous air embolism (VAE) caused by surgery. With the development of vitrectomy, perfusion cannulas in the suture-free state may slide outward, and the perfused gas can enter the suprachoroidal space, which results in tearing of the vortex veins. Choroidal vascular wounds resulting from trauma and endoresection of choroidal melanoma can expose directly in the perfused gas during vitreous cavity gas-liquid exchange. This makes it possible that the pressurized gas enters the circulatory system through the torn vortex veins or the anomalous choroidal venous openings, which leads to OVAE. Nowadays, the definition, pathogenesis, clinical presentation and prevention of OVAE are being refined. However, most vitreoretinal surgeons and anesthesiologists are still unaware of this iatrogenic complication. It will be helpful to detect this complication early and make emergency management in time by increasing the awareness of OVAE and develop effective prevention strategies. The prevention and control principles of OVAE can be continuously optimized by the combination of clinical and laboratory studies. It will be conducive to the establishment and improvement of emergency treatment and preventive measures of OVAE to fully understand the pathogenesis and clinical characteristics of OVAE, to pay attention to the characteristics of secondary lesions of OVAE, and to attach importance to multi-disciplinary cooperation.

• **KEYWORDS:** ocular venous air embolism; vitrectomy; gas infusion; complications; vortex vein tear; choroidal injury

Citation: Yu C, Wan GM. Progress and research status of ocular venous air embolism caused by vitrectomy. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(9):1473-1477

0 引言

静脉空气栓塞(VAE)是指空气进入静脉血管, 随循环血流到达肺部甚至大脑, 积累足够容量时, 引起致命性血管栓塞, 其可发生于神经外科手术、剖宫产手术、中心静脉导管放置或取出以及宫腔镜诊治等过程^[1-5]。眼静脉

空气栓塞(OVAE)是玻璃体切割手术中发生的VAE相关并发症^[6-7]。脉络膜黑色素瘤切除术、眼后段创伤或脉络膜切开术后大的脉络膜伤口是OVAE的高危因素^[6]。随着对OVAE观察和研究的深入,其定义、发病机制、临床表现及防治措施在不断完善,但多数玻璃体视网膜外科医生仍不了解该并发症及其与气液交换的关系。2012年,随机调查的24名美国玻璃体视网膜外科医生中,仅有2名医生知道气液交换与VAE的潜在关系,欧洲眼科医生中也有类似结果^[8]。2017年,一项随机调查结果表明,只有20%美国视网膜专家学会(ASRS)的玻璃体视网膜专家知道OVAE^[9]。近年来,学者们再次强调了关注玻璃体切割手术中可能发生OVAE的重要性^[10-11]。然而,OVAE至今没有被玻璃体视网膜外科医生及麻醉医师重视,其突然发生且未被及时识别和处理可能造成致命性后果。目前国内未见OVAE的相关报道,现就玻璃体切割手术导致OVAE的研究现状及进展作一综述,以期提高对该医源性并发症的认识和警惕性。

1 OVAE 定义

2005年,麻醉师Ledowski等^[12]首次报道玻璃体切割手术中可能出现VAE。随后,玻璃体切割手术的VAE病例报道相继发表于麻醉学文献中^[13-14]。2010年,眼科医生Lim等^[15]回顾分析这些病例资料,推测玻璃体切割手术气液交换过程可能导致VAE,特别是在眼部严重创伤时。但VAE与气液交换的相关性并未得到证实^[16]。现有临床报道和实验研究表明,玻璃体切割手术行气液交换的患者存在呼气末CO₂分压(ETCO₂)急剧下降、低血压、血氧饱和度降低等VAE表现^[8-9,17]。为制定明确的OVAE临床定义,探索有效防治策略,Morris等^[18]分析其报道的5例OVAE患者和已往发生或可疑OVAE患者的发病特征,将OVAE定义为通常发生于玻璃体切割手术气液交换过程,多伴有脉络膜脱离或脉络膜伤口,气体灌注时ETCO₂急剧下降,随即出现或已经发生的心血管功能衰竭征象。该定义有利于OVAE的早期识别,为及时应急处理创造了条件。然而,目前OVAE确切的发病机制尚不清楚,其定义也未达成共识。OVAE作为一种罕见、致命的玻璃体切割手术并发症,目前受到的关注较少。

2 OVAE 发病机制

玻璃体切割手术中可疑OVAE患者眼眶组织内发现气泡存在,推测可能是空气进入脉络膜静脉引起^[12]。研究表明,玻璃体切割手术的发展使得灌注套管免于缝合到巩膜壁,而处于未固定状态,在玻璃体切割手术时间较长、联合巩膜扣带术时频繁或较大幅度运动眼球^[8,19]以及巩膜外顶压操作中,灌注套管可出现向外滑动。对于常见视网膜疾病,如视网膜脱离、黄斑裂孔等,术中灌注套管意外滑动导致空气注入脉络膜上腔,造成气相脉络膜脱离。Morris等^[8]利用供体人眼球进行玻璃体切割手术的体外实验,术中有意移出部分灌注套管以模仿套管意外滑动的临床情形,发现持续空气灌注引起脉络膜脱离,脉络膜上腔的空气从涡静脉排出。为验证上述过程,Gayer等^[17]在

活体猪模型玻璃体切割手术中将灌注套管尖端插入脉络膜上腔,同样造成脉络膜脱离,观察到持续灌注的空气进入循环系统,并伴有OVAE表现,尸检发现猪静脉系统存在气泡,右心室可见空气逸出。这说明OVAE的发生与未缝合灌注套管相关。该研究未对实验眼球进行组织病理学检查,仅依据观察结果推测涡静脉可能存在撕裂口,使得空气进入静脉循环,但仍无法明确涡静脉撕裂为OVAE的发生机制。结合已报道的OVAE临床病例^[12,15],上述两项研究可证实,气液交换过程中意外的脉络膜上腔空气灌注可使撕裂的涡静脉在压力作用下扩张,空气向下流入静脉系统,引起致命的OVAE。

外伤性玻璃体切割手术或脉络膜黑色素瘤切除术中,气液交换所灌注空气通过脉络膜伤口进入完整涡静脉时,也可能发生OVAE,但这些情况相对少见。眼内异物创伤导致脉络膜血管异常,术中为减少出血及保持视野清晰,常进行持续空气灌注,空气可经异常脉络膜血管进入静脉循环,导致OVAE^[13-14]。若患者存在卵圆孔未闭合、间隔缺损或肺内动静脉短路,空气栓子可进入动脉循环引起反常性栓塞,导致严重的心脏和脑损害,进一步加重OVAE的致命性^[14,20-21]。脉络膜黑色素瘤切除术中,为避免复发,常将肿瘤区域脉络膜组织切除至巩膜层,脉络膜切口处血管暴露于灌注空气中,空气可经脉络膜或涡静脉形成的异常静脉通路进入循环系统,引起OVAE^[18,22-25]。研究发现,脉络膜黑色素瘤切除术中持续高眼压时,眼内重水可通过涡静脉断端进入血液循环^[24]。这为气液交换过程持续灌注的空气进入静脉循环提供了可靠证据。

此外,玻璃体切割手术惰性气体填充过程,如C₃F₈或SF₆灌注,也可能因意外滑动的灌注套管使气体注入脉络膜上腔导致涡静脉撕裂,或外伤及脉络膜黑色素瘤术导致的脉络膜血管伤口暴露于惰性气体中。虽然未见玻璃体切割手术中惰性气体灌注相关的OVAE报道,但笔者认为,该过程加压的惰性气体也可经撕裂的涡静脉或异常的脉络膜静脉进入循环系统导致OVAE。

3 OVAE 临床特点

由于手术部位靠近心脏且位于心脏上方,玻璃体切割手术导致的OVAE可能是所有手术中引起VAE最严重的。但少量气体或气体进入静脉速率缓慢时,通过扩散作用,气体经肺血管床排出,患者可无明显症状。OVAE患者临床症状的严重程度主要取决于空气量和空气积累速率^[17]。成人空气致死量约为200~300mL(3~5mL/kg)^[26],同等量空气对儿童的影响更为严重^[13],但有研究显示0.02mL/kg的空气量就可产生严重危害^[11]。25mmHg灌注压下,测量的空气流量约为350mL/min^[8]。在使用20G灌注管和40mmHg灌注压下,空气能够以1600mL/min的速率进入脉络膜循环^[12],这在短时间内即可出现致命的OVAE。

OVAE常发生于术中气液交换和气体填充过程,排除其他引起心肺衰竭原因,气体灌注为其共同特征。Meraz Gutiérrez等^[25]报道1例脉络膜黑色素瘤术中发生OVAE

的患者,局部阻滞麻醉下行眼内气液交换,20min 后出现胸痛、呼吸困难等症状。孔源性视网膜脱离患者经玻璃体切割联合巩膜扣带术治疗中,因气液交换中发现脉络膜脱离,术者增加气体灌注压,达到最大灌注压力 120mmHg 后约 1min,患者出现心脏骤停,颈部以上持续性紫绀,尸检证实无冠状动脉阻塞和血栓栓塞,考虑为大的空气栓子使静脉回流障碍所致^[18]。空气栓子到达肺循环,积累足够容量时,可形成气锁,引起右心室流出道梗阻,导致心输出量减少、右心衰竭及血压降低。若出现反常性栓塞,空气进入动脉循环,阻塞冠状动脉和脑动脉,导致心肌缺血和脑卒中^[14,20-21]。此时,即使少量空气积聚,也可出现严重症状。目前已报道 OVAE 患者中多数出现 ETCO₂急剧下降(11/14)^[9,25]。ETCO₂可检测小于 0.5mL/kg 的栓塞空气量,为肺通气和肺血流减少的重要临床指标,其急剧降低是早期 VAE 征象^[20,27]。心脏内积累空气量大于 1mL/kg 时,心前区听诊为“磨轮样”杂音,即由心脏内空气和血液搅动产生^[28]。大容量和快速空气栓塞往往导致机体发生剧烈变化,而微循环中气泡可诱发血管内皮损伤、细胞因子释放以及微血栓形成,导致组织缺血性改变^[29]。Dermigny 等^[14]报道的 OVAE 患者心电图提示心外膜下心肌缺血,尸检发现左冠状动脉栓塞和心前壁梗死。然而,只有空气快速进入静脉循环,才能在 VAE 早期观察到心电图异常,如出现大的 P 波、快速室性心律失常甚至 ST-T 改变^[12-13,23]。文献报道, OVAE 患者术中发生室性和室上性心动过速、ST-T 改变,并进展为心室颤动,出现心脏骤停,但冠状动脉造影显示无任何栓塞,该患者有短期记忆障碍、四肢瘫痪等神经损伤症状,磁共振成像(MRI)扫描发现脑部多发性梗死灶和可疑气泡^[23]。而在病情严重时,患者可出现意识障碍或昏迷^[25]。

OVAE 患者临床症状因栓塞空气量、空气积累速率、发生部位及心脏结构和功能状态差异而不同。经食管超声心动图(TEE)是检测 VAE 最敏感的诊断方法^[20],玻璃体切割手术气液交换中,实时 TEE 为 OVAE 诊治提供依据,但因具有侵入性、操作需求和费用高等特点,其临床适用性受限。心前多普勒超声和经颅多普勒超声在非侵入性监测 VAE 中具有高度敏感性,可发现早期低至 0.25mL 的空气量^[20]。然而,目前大部分玻璃体切割手术在局部麻醉下即可完成,术中不能捕获患者呼出的气体,ETCO₂的急剧下降就不易被察觉,因此很难及时发现 OVAE。

4 OVAE 应急处理及预后

玻璃体切割手术气液交换中发生 OVAE 的病例已被报道^[9,18,25],14 例发生或可疑 OVAE 患者中,10 例发生心脏骤停,9 例死亡,其中 8 例发生于手术日,1 例经心肺复苏(CPR)抢救成功后于术后第 4wk 死亡;3 例术中存在脉络膜脱离的患者因不恰当操作——增加玻璃体内空气灌注压,导致严重的 OVAE^[18,30-31]。上述 OVAE 均发生于术中,且在气液交换开始后短时间内出现。最近有文献报道,患者在脉络膜黑色素瘤切除术后出现空气栓塞^[32],但

空气进入循环系统时间及栓塞发生机制尚不清楚。

OVAE 的突发性和复杂性增加了该并发症的处理难度。玻璃体切割手术气体灌注时,一旦怀疑 OVAE 危及心血管功能,应立即采取有效措施^[8]。玻璃体视网膜外科医生应积极联合麻醉、呼吸、心血管等相关科室人员协同诊治,尽早诊断,及时干预,挽救患者生命。综合以往报道文献^[8-9,18,20-21,33-34],对 OVAE 应急处理措施归纳如下:(1)立即停止空气或其他气体眼内灌注,防止栓塞进一步加重;(2)立即予以高压氧治疗,促进氮气扩散,减少栓塞气体体积,同时增加组织氧合和减少缺血再灌注损伤;(3)立即将患者置于左侧卧位和 Trendelenburg 位,促进右心室气体移动,解除气锁,缓解肺部血液流出通道阻塞;(4)心脏骤停时,及时应用肾上腺素、血管加压素等药物以及 CPR 等进行抢救性复苏治疗,其中闭合式胸外按压可通过压迫气体进入肺小血管缓解肺流出道阻塞,适时考虑股动脉和中心静脉插管,利用多孔右心房导管吸出心房内气体,必要时进行体外血液动力学支持,如体外膜肺氧合(ECMO)等;(5)根据临床表现,及时给予强心、镇静、扩容、抗炎、抗凝等对症治疗;(6)若发生死亡,排除其他原因后,尽快进行病理相关成像检查,如心前多普勒超声、X 线、计算机断层扫描(CT)、MRI 等,检测和记录空气栓塞情况,并及时进行尸检。

及时、恰当的应急处理可有效改善 OVAE 患者预后。研究表明,高压氧治疗在损伤后最初 6h 内应用最有效^[35],且对动脉和静脉空气栓塞均有效^[21]。因此,心血管结构异常导致的反常性空气栓塞也应积极进行高压氧治疗,以促进患者病情恢复。对于患者体位,在 VAE 应急处理中仍存在争议。目前没有证据表明左侧卧位能够改善 VAE 患者血液动力学变化^[36]。动物模型也未证实 Trendelenburg 体位的治疗效果^[37]。因该体位可能加重脑水肿,VAE 联合动脉空气栓塞时应避免使用^[37],但右心室气锁形成时,Trendelenburg 体位可有效转移空气栓子,使右心室梗塞得到缓解^[38]。研究证实,通过导管从右心房吸出空气可有效减轻栓塞程度^[20]。5 例 OVAE 幸存患者中,4 例未发生心脏骤停,经及时停止空气灌注和辅助治疗,症状均消失^[9,25];1 例心脏骤停患者经 CPR 抢救失败后,采用 ECMO 治疗,6min 内恢复正常心律^[23]。这提示在心脏骤停和 CPR 时应立即考虑 ECMO 治疗。此外, OVAE 发生后,幸存患者肺部可出现炎症、血小板聚集及微血管通透性增加等病变,诱发急性呼吸窘迫综合征(ARDS)^[20]。因此,对于 OVAE 患者,应急处理尤为重要,但术后继续密切监测和积极对症治疗也不可少,合理有效地处理 OVAE 及继发性病变可使患者的病情改善更为获益。

5 OVAE 预防

玻璃体视网膜手术虽然安全有效,但也存在许多潜在的并发症。微切口玻璃体切割术显著提高手术安全性,改善患者视功能^[39-41],同时也增加一些并发症的风险,如 OVAE^[34]。这对眼科医生和麻醉医师提出了新的挑战。

早期识别和及时处理可降低该并发症的致死率,但充分认识 OVAE 潜在的致命性以及减少其发生的策略是预防该并发症的最好选择。为避免 OVAE 发生,早期预防至关重要,具体预防措施^[8-10,18,20-21,33]归纳如下:(1)玻璃体视网膜膜外科医生和麻醉医师首先应意识到致命性 OVAE 的存在,提高对该并发症的认识和警惕性;(2)玻璃体切割手术气体灌注前,需暂停操作,确认灌注套管尖端位于玻璃体腔;(3)开始玻璃体腔气体灌注时,告知麻醉医师关注患者生命体征变化;(4)气体进入玻璃体腔前,灌注压不应超过 30mmHg;(5)气体灌注期间发生脉络膜脱离,应立即停止气体注入,查明脉络膜脱离原因;(6)玻璃体切割联合巩膜扣带手术时,缝合灌注套管于巩膜组织;(7)玻璃体腔气体灌注状态,需延长手术时间时,应考虑缝合灌注套管和心前多普勒监测;(8)局部阻滞麻醉时,密切关注患者临床表现,并确保 VAE 监测设备功能正常;(9)对于脉络膜黑色素瘤切除术、眼后段创伤或脉络膜切开术等高危患者,应避免进行眼内注气,但术中需气体灌注时,建议采用全身麻醉和 VAE 相关指标监测;(10)评估患者病情,必要时术后继续予以密切监测和应急处理措施准备。

6 小结

对于玻璃体切割手术导致的 OVAE,合理、有效的应急处理和预防措施不可或缺。因 OVAE 的突发性、复杂性以及认识的不足,使其具有严重的致命性。随着 OVAE 临床观察和机制研究的不断深入,对 OVAE 的认识也逐步加深。通过临床和实验室研究相结合,可不断优化 OVAE 防治原则。提高对 OVAE 的认识将有助于早期发现该并发症,进而做出及时处理,同时制定有效的预防策略。而应急处理和预防措施的建立和完善,不仅需要充分认识 OVAE 的发病机理和临床特点,还应关注 OVAE 继发性病变的特征,更重要的是重视多学科间的合作。眼科医生应积极联合麻醉科、呼吸科、心血管科等相关人员协同诊治,及时进行有效的处理。而玻璃体视网膜膜外科医生和麻醉医师在气体灌注过程中密切配合是预防 OVAE 发生的有效方法。相信通过不断完善 OVAE 的应急处理和预防措施,可有效改善预后以及避免 OVAE 的发生。

参考文献

- 1 Kurihara M, Nishimura S. Estimation of the head elevation angle that causes clinically important venous air embolism in a semi-sitting position for neurosurgery: a retrospective observational study. *Fukushima J Med Sci* 2020; 66(2): 67-72
- 2 Türe H, Harput MV, Bekiroğlu N, et al. Effect of the degree of head elevation on the incidence and severity of venous air embolism in cranial neurosurgical procedures with patients in the semisitting position. *J Neurosurg* 2018; 128(5): 1560-1569
- 3 Michels P, Meyer EC, Brandes IF, et al. Intraoperative vascular air embolism: evidence for risks, diagnostics and treatment. *Anaesthesist* 2021; 70(5): 361-375
- 4 Khaliq MF, Shoaib M, Tariq SM, et al. Cerebral air embolism from a Central Venous Catheter: a timely reminder of the importance of rapid

- diagnosis. *BMJ Case Rep* 2018; 2018: bcr2018225120
- 5 Vilos GA, Hutson JR, Singh IS, et al. Venous gas embolism during hysteroscopic endometrial ablation: report of 5 cases and review of the literature. *J Minim Invasive Gynecol* 2020; 27(3): 748-754
- 6 Belin PJ, Parke DW 3rd. Complications of vitreoretinal surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2020; 31(3): 167-173
- 7 Palte H. Ophthalmic regional blocks: management, challenges, and solutions. *Local Reg Anesth* 2015; 8: 57-70
- 8 Morris RE, Sapp MR, Oltmanns MH, et al. Presumed air by vitrectomy embolisation (PAVE) a potentially fatal syndrome. *Br J Ophthalmol* 2014; 98(6): 765-768
- 9 Morris R, Boyd G, Sapp M, et al. Ocular venous air embolism (OVAE): a review. *J Vitreoretin Dis* 2019; 3(2): 99-106
- 10 Dumas G, Morris R. Ocular venous air embolism: an unappreciated lethal complication. *J Clin Anesth* 2020; 66: 109935
- 11 Bothma P, Rajapakse D. Ocular venous air embolism: an unappreciated lethal complication. *J Clin Anesth* 2021; 74: 110384
- 12 Ledowski T, Kiese F, Jeglin S, et al. Possible air embolism during eye surgery. *Anesth Analg* 2005; 100(6): 1651-1652
- 13 Ruest P, Aroichane M, Cordahi G, et al. Possible venous air embolism during open eye surgery in a child. *Can J Anesth* 2007; 54(10): 840-844
- 14 Dermigny F, Daelman F, Guinot PG, et al. Fatal air embolism during open eye surgery. *Ann Fr Anesth Reanim* 2008; 27(10): 840-842
- 15 Lim LT, Somerville GM, Walker JD. Venous air embolism during air/fluid exchange: a potentially fatal complication. *Arch Ophthalmol* 2010; 128(12): 1618-1619
- 16 El-Annan J, Barr CC. Does venous air embolism occur during air/fluid exchange? *Arch Ophthalmol* 2011; 129(9): 1244-1245
- 17 Gayer S, Palte HD, Albini TA, et al. *In vivo* porcine model of venous air embolism during pars plana vitrectomy. *Am J Ophthalmol* 2016; 171: 139-144
- 18 Morris R, Boyd G, Sapp M, et al. Ocular venous air embolism: a report of 5 cases. *J Vitreoretin Dis* 2019; 3(2): 107-110
- 19 Mohammed OAZ. Sutureless parsplana vitrectomy for intraocular foreign bodies. *Ophthalmologica* 2018; 240(3): 181-182
- 20 Hakman EN, Cowling KM. Paradoxical Embolism. StatPearls: Treasure Island (FL) 2021
- 21 Malik N, Claus PL, Illman JE, et al. Air embolism: diagnosis and management. *Future Cardiol* 2017; 13(4): 365-378
- 22 Rice JC, Liebenberg L, Scholtz RP, et al. Fatal air embolism during endoresection of choroidal melanoma. *Retin Cases Brief Rep* 2014; 8(2): 127-129
- 23 Shin S, Nam B, Soh S, et al. Percutaneous cardiopulmonary support to treat suspected venous air embolism with cardiac arrest during open eye surgery: a case report. *Korean J Anesthesiol* 2014; 67(5): 350-353
- 24 Jousseaume AM, Wong D. Egress of large quantities of heavy liquids from exposed choroid: a route for possible tumor dissemination via vortex veins in endoresection of choroidal melanoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015; 253(2): 177-178
- 25 Meraz Gutiérrez MP, Camara Rodríguez EJ, Pando Cifuentes A, et al. Venous - air embolism during vitrectomy for endoresection of choroidal melanoma: case report. *Eur J Ophthalmol* 2022; 32(1): NP173-NP176
- 26 Toung TJ, Rossberg MI, Hutchins GM. Volume of air in a lethal

- venous air embolism. *Anesthesiology* 2001; 94(2): 360–361
- 27 Meuwese CL, Ramjankhan FZ, Braithwaite SA, *et al.* Extracorporeal life support in cardiogenic shock: indications and management in current practice. *Neth Heart J* 2018; 26(2): 58–66
- 28 Rubal BJ, Leon A, Meyers BL, *et al.* The ‘mill-wheel’ murmur and computed tomography of intracardiac air emboli. *J Am Assoc Lab Anim Sci* 2009; 48(3): 300–302
- 29 Liang YF, Rice MJ. Venous air embolism: the severity depends on many factors. *Anesth Analg* 2017; 124(5): 1733–1734
- 30 Wu CC, Chen KY, Hsieh YJ. Fatal air embolism and ocular shrinkage during vitrectomy. *J Anesth* 2015; 29(2): 318
- 31 Kasi SK, Grant S, Flynn HW Jr, *et al.* Venous air embolism during pars Plana vitrectomy: a case report and review of the literature. *J Vitreoretin Dis* 2017; 1(5): 334–337
- 32 Rojanaporn D, Tipsuriyaporn B, Chulalaksiriboon P, *et al.* Fatal air embolism after choroidal melanoma endoresection without air infusion; a case report. *Ocul Oncol Pathol* 2021; 7(5): 321–325
- 33 Prielipp RC, Lanigan ML, Birnbach DJ. Venous air embolism and pars Plana vitrectomy: silent Co-conspirators. *Am J Ophthalmol* 2016; 171: 12–16
- 34 Iyer PG, Gayer S, Albini TA, *et al.* Venous air embolus: a rare but serious complication of fluid-gas exchange during pars plana vitrectomy. *Am J Ophthalmol* 2021[Epub ahead of print]
- 35 McCarthy CJ, Behraves S, Naidu SG, *et al.* Air embolism: diagnosis, clinical management and outcomes. *Diagnostics (Basel)* 2017; 7(1): 5
- 36 Geissler HJ, Allen SJ, Mehlhorn U, *et al.* Effect of body repositioning after venous air embolism. An echocardiographic study. *Anesthesiology* 1997; 86(3): 710–717
- 37 Mehlhorn U, Burke EJ, Butler BD, *et al.* Body position does not affect the hemodynamic response to venous air embolism in dogs. *Anesth Analg* 1994; 79(4): 734–739
- 38 Trent JS, Hodgson JK, Ackermann B, *et al.* Hyperbaric oxygen therapy for vascular air embolism from iatrogenic intravenous infusion of air in a patient with atrial septal defect: a case report. *Cureus* 2020; 12(8): e9554
- 39 Saleh OA, Al-Dwairi RA, Mohidat H, *et al.* International multi-center study of iatrogenic retinal tears in pars plana vitrectomy. *Int J Ophthalmol* 2019; 12(6): 996–1000
- 40 Pollack JS, Sabherwal N. Small gauge vitrectomy: operative techniques. *Curr Opin Ophthalmol* 2019; 30(3): 159–164
- 41 Cheng D, Tao JW, Yu XT, *et al.* Characteristics of macular microvasculature before and after idiopathic macular hole surgery. *Int J Ophthalmol* 2022; 15(1): 98–105