

全麻手术中的脑灌注评估

孔雅圆*, 罗琪琛, 胡 羿, 李雅兰#

暨南大学附属第一医院麻醉科, 广东 广州

收稿日期: 2025年9月29日; 录用日期: 2025年10月23日; 发布日期: 2025年11月3日

摘 要

作为人体最重要的器官之一, 大脑的代谢极其活跃, 长时间脑灌注不足将会给大脑带来不可逆转的伤害, 因此全麻手术中的脑保护一直是麻醉界的热门话题, 但在现有的设备技术条件下, 麻醉医生如何才能更好地评估脑灌注情况, 及时有效地采取处理措施呢? 本文通过全麻手术中脑灌注的影响因素、脑灌注不足相关的并发症、目前临床上常用监测方式的优劣这几个方面来为麻醉医生们展示目前对于评估脑灌注的临床应用进展。

关键词

全麻手术, 脑灌注, 经颅多普勒, 近红外成像, 颈静脉球血氧饱和度, 脑电图, 电磁流量计

Evaluation of Cerebral Perfusion during General Anesthesia

Yayuan Kong*, Qichen Luo, Yi Hu, Yalan Li#

Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou Guangdong

Received: September 29, 2025; accepted: October 23, 2025; published: November 3, 2025

Abstract

As one of the most important organs of the human body, the metabolism of the brain is extremely active, and long-term insufficient cerebral perfusion will bring irreversible damage to the brain. Therefore, brain protection during general anesthesia has always been a hot topic in the field of anesthesia. However, under the existing equipment and technical conditions, how can anesthesiologists better evaluate the cerebral perfusion and take timely and effective treatment measures? In

*第一作者。

#通讯作者。

this paper, the influencing factors of cerebral perfusion during general anesthesia, the complications related to cerebral hypoperfusion, and the advantages and disadvantages of commonly used monitoring methods in clinical practice are used to show the clinical application progress of assessing cerebral perfusion for anesthesiologists.

Keywords

General Anesthesia, Cerebral Perfusion, Transcranial Doppler, Near-Infrared Spectroscopy, Jugular Bulb Oxygen Saturation, Electroencephalography, Electromagnetic Flowmeter

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

大脑是代谢极其活跃的器官, 安静状态下, 仅占全身质量 2%~3% 的大脑占据了 20% 的总供血量, 且其耗氧量也达总耗氧量的 30% 左右, 然而高代谢的大脑自身却没有储存糖原等物质的能力, 其能量供应主要依赖于脑循环持续输送氧气及其他营养物质, 因此大脑对于供血不足极其敏感。1939 年 Fog 首次在猫体内证明存在一种稳态机制保证脑血流(Cerebral blood flow, CBF)的相对稳定, 直到 1959 年 Lassen 阐述了脑血管自动调节的概念后该观点才开始被人接受: 在不同的脑灌注压(Cerebral perfusion pressure, CPP)下, 大脑可以对脑血管阻力(Cerebrovascular resistance, CVR)进行调控, 进而对脑血流进行调节以确保大脑的良好血供。目前普遍认为在脑灌注压处于 50~150 mmHg 时, 该调节机制可以保证脑血流供应。

脑保护一直是麻醉界的热门话题, 虽然脑血管的自动调节机制可在一定脑灌注压范围内维持脑血流的相对稳定。但是在全身麻醉期间, 麻醉药物、手术操作及体位变动等因素常常导致血压及 CPP 的显著波动, 使 CPP 超出自动调节范围。然而, 目前临床上普遍通过平均动脉压来粗略估算 CPP 的做法存在显著局限, 对于自动调节功能已然受损的老年患者以及合并颅脑损伤、心血管疾病的患者而言, 此估算方法无法准确及时的反映其真实脑灌注水平, 增加了围术期脑缺血及神经系统并发症的风险。因此在全麻手术中, 尤其是在高危人群中, 如何突破对无创血压的依赖, 实现对于脑灌注的准确、实时与个体化监测, 是实施有效脑保护、改善患者预后的关键所在。

2. 全麻手术中脑灌注的影响因素

2.1. 术中血压

血压高低是反映全身组织是否能够获得充足血供的标准, 目前普遍采用的脑灌注压计算方式为平均动脉压 - 颅内压, 而在普通手术人群中, 颅内压正常值为 10~15 mmHg, 因此当使用更为准确的有创血压监测时, 一般认为平均动脉压达到 65 mmHg 即可满足大脑血供, 脑灌注压可以达到大脑自动调节的下限值。

2.2. 药物因素

全麻手术的麻醉药物包括静脉麻醉药物和吸入性麻醉药物, 两种药物对脑血管的作用机制并不相同。神经外科手术中进行全静脉麻醉的首选药物是丙泊酚, 它会使得脑血管收缩, 具有降低颅内压、减少脑血流量及脑耗氧量的效果, 对存在颅脑损伤的患者而言, 降低脑代谢率可以有效地保护大脑功能, 而常

用的吸入性麻醉药如七氟醚、地氟醚等却有着舒张脑血管,增加脑流量的效果。在 Vilama [1]的研究中认为相较于丙泊酚而言,七氟醚可以降低在药物诱导的脑电爆发抑制期间的脑耗氧量,更好地降低脑代谢率,起到保护大脑的作用;但也有研究认为尽管七氟醚或丙泊酚进行麻醉诱导后都能有效降低脑代谢率,而在更深的麻醉深度下,七氟醚却出现了脑灌注及脑耗氧量不耦合的情况,同时较高的二氧化碳浓度也会损害七氟醚麻醉下的脑自动调节功能,相较而言丙泊酚可能是全麻手术中保护脑灌注的更优解[2] [3]。

2.3. 体位因素

除了药物因素外,不同手术所需的不同体位也会影响患者的脑灌注。目前常用的全麻手术体位包括沙滩椅位、坐位、头低位等,在老年患者腹腔镜手术中进行头低位倾斜后,患者的脑组织氧饱和度显著提升,提示脑灌注的增加[4];全身麻醉下的沙滩椅体位则经常发生低血压及通气不足等不良事件,对该体位的手术患者进行观察后发现沙滩椅位相对于仰卧位的平均动脉压及大脑中动脉血液流速下降超过20%,这预示了脑灌注的下降,但也有研究表明,沙滩椅体位患者只要维持 60 mmHg 的平均动脉压即可保证充分的脑灌注[5]-[8];另外,有研究者进行了不同体位的实验观察,结果表明,随着患者头部的抬高,心输出量、平均动脉压及脑灌注也随之降低[9] [10]。鉴于上述的实验观察结果,在评估患者存在大脑灌注不足时,及时提高平均动脉压或进行头低位倾斜或许是不错的应对策略。

2.4. 血液二氧化碳浓度

众所周知的是,血液二氧化碳浓度的升降可以对脑血管舒张收缩进行一定的调节。在神经外科的手术中,预设患者颅内压因颅脑损伤升高后,麻醉医生会采取过度通气的方式降低血液二氧化碳的浓度使脑血管收缩,从而降低颅内压;而在腹腔镜手术或是通气不足的患者身上,我们可以观察到二氧化碳蓄积、高碳酸血症的发生,基于这些情况,尽管麻醉医生对二氧化碳调节脑血管有一定的认识,但仍然缺少直观的数值来评估患者脑灌注的变化情况, Frank 等人[11]对患者处于不同呼末二氧化碳水平时的脑灌注相关指标进行了观察,发现低碳酸血症比高碳酸血症的脑血流指数显著下降了 55%,大脑中动脉平均血流速度下降 41%,脑血管阻力增加了 96%。不止于此,孟令忠教授[12]也提出了血二氧化碳浓度的变化会影响大脑自动调节机制工作效率的观点。

2.5. 心血管危险因素

与不存在心血管危险因素的患者相比,当手术患者存在 1 个或 1 个以上的心血管危险因素时,麻醉诱导后平均动脉压及大脑中动脉平均血流速度下降幅度更大,同时也需要更多的升压药物维持患者的平均动脉压,从而保证充足的脑灌注[8] [13]。

3. 神经系统相关围术期并发症

脑灌注相关的并发症主要包括围术期脑卒中、围术期认知功能障碍(Perioperative neurocognitive disorders, PND)以及其他的神经系统并发症。围术期脑卒中分为缺血性脑卒中和出血性脑卒中,在以往的研究中发现围术期发生缺血性脑卒中的发生率更高,一般与患者术中出现低血压、长时间脑灌注不足或血压波动导致血栓脱落相关。目前认为围术期认知功能障碍的形成机制主要是机体受到出血、大脑低灌注等内源性不良刺激后激活一系列炎症反应,从而导致内皮细胞功能障碍、细胞间紧密连接中断和血脑屏障通透性增加。这些病理变化又会令炎症介质和细胞因子对星形胶质细胞、小胶质细胞进行激活,进一步释放活性氧和炎症细胞因子,最终使得突触功能障碍、神经元凋亡、海马区抑制,最终导致围术期认知功能障碍的发生[14]-[23]。

4. 目前用于评估脑灌注的方法

4.1. 经颅多普勒(Transcranial Doppler, TCD)

经颅多普勒是一种无创性的检测技术,通过脉冲超声来观察脑动脉的血流速度、方向以及性质。早在 1965 年,宫崎骏实现了大脑动脉的血流速度评估,1982 年 Rune [24]使用经颅多普勒来完成对大脑中动脉血流速度正常范围界定,大脑中动脉是脑循环的重要组成部分,以大脑中动脉的平均血流速度来评价患者的脑灌注情况得到认可,随后 Kofke 等人[25]将其用于麻醉过程中脑血管事件的动态监测,取得了良好的效果。经颅多普勒的优点在于操作简便,没有创伤,可以连续地对患者进行观察、测量,展现出患者在麻醉过程中的脑血管变化的趋势。在经颅多普勒中,有经眶、经颞、经枕下及下颌下这四个声窗,但由于颞骨相对较薄容易穿透,我们多采用颞区作为测量点,频率约为 2 MHz 的超声波穿过“颞窗”后,信号从移动的红细胞处反射回来,形成脉冲式的频谱图像,可以采集到大脑中动脉血流的峰流速、最低流速、峰流速及血流灌注指数等。显而易见的是,经颅多普勒也有其局限性:部分老年人由于颅骨增厚、动静脉形态变化等原因,该检测存在 5%左右的失败率;对操作者的操作技术及手法有一定的要求;探头位置错误导致读数不准;麻醉前使用时需要得到患者的配合等等[26] [27]。

4.2. 经颅彩色多普勒(Trans-Cranial Color-Coded Duplex Doppler Sonography, TCCD)

TCCD 通过彩色多普勒血管显影和二维多普勒超声成像技术相结合而成。是一种无创、价格低廉且安全易行的床边监测技术。脉冲超声波信号可以通过“颞窗”显影中脑,看清 Willis 环的单个动脉。对比 TCD, TCCD 能更清晰地显影颅内血管和脑实质,更准确地测量脑血流速度(cerebral blood flow velocity, CBFV),是相比较 TCD 来说更准确更先进的技术。但由于其不可以连续长时间地监测 CBF 所以仍有一定局限性[28]。

4.3. 近红外光谱(Near-Infrared Spectroscopy, NIRS)

近红外光谱是目前较为热门的脑氧合(Cerebral oxygenation, ScO₂)监测方式之一,该技术通过强穿透力的近红外光探测脑皮层血氧活动信息,包括含氧血红蛋白浓度(HbO)、脱氧血红蛋白浓度(HbR)和总血红蛋白浓度(HbT)。脑血氧仪(cerebral oximetry monitors)利用了含氧血红蛋白和脱氧血红蛋白对于近红外光谱吸收不同的原理,测量大脑血红蛋白氧饱和度,是一种连续的、无创的监测技术。脑血氧仪包含了两个监测仪分别监测左右不同大脑半球的脑氧饱和度,得到各自区域的数值[29]。Pippa [30]在 2006 年提出了使用近红外光谱监测来评估脑灌注不足的阈值:实时组织氧指数(Tissue oxygen index, TOI)下降超过 13%,便可认为患者发生了严重脑缺血。近红外光谱监测可以有效地体现出脑氧合与脑灌注耦合的变化情况,且过往研究表明它适用于血流动力学变化迅速而剧烈的手术,因为 ScO₂ 的降低可以预测低血压的发作(约提前 40 秒),使得麻醉医生可以提前预知低血压的发生从而采取相应的处理措施[31]-[33]。这一技术相较于经颅多普勒来说操作更加简便,对使用者的要求降低,同时对低血压有着潜在的预测功能,但由于其监测灵敏度仅有 87.5% [34],不可避免地抑制了这一技术的临床推广,临床手术期间近红外光谱监测更适合监测脑氧饱和度的趋势,给予麻醉医生以间接提示作用。

4.4. 颈静脉球血氧饱和度(Jugular Bulb Oxygen Saturation, SjO₂)

颈静脉球血氧饱和度是一种有创的、侵入性的脑监测技术,需要经颈内静脉逆行置入专用导管至颈静脉球处,导管尖端需置于颈静脉球上缘 2 cm 内,通过颈部超声或者颅骨 X 线造影来确认导管位置。颈静脉球血氧饱和度监测包括间歇采样和使用光纤导管连续监测。早在 1942 年, Gibbs [35]等就提出氧气的供需不平衡会影响脑氧的摄取和颈静脉球血氧饱和度。颈静脉球血氧饱和度监测技术就是基于这个原理。

颈静脉氧饱和度正常范围在 55%~75% [35], 若低于 50%, 则提示全脑灌注不足, 需进行干预治疗。颈静脉球血氧饱和度监测包括间歇采样和使用光纤导管连续监测。其测量具有高特异性, 低敏感性的特点。颈静脉球血氧饱和度监测技术反映的是整体脑氧合, 对局部缺血不敏感, 所以当患者发生局灶性脑损伤时, 颈静脉球血氧饱和度监测可能不具有提示。当患有颅脑损伤时, 两侧不对称静脉引流, 两侧颈静脉球血氧饱和度常存在差异。此外颅外组织污染、导管位置放置不当等也会造成读数不准确。由于颈静脉球血氧饱和度监测需要插入导管, 以至于可能发生一系列的并发症, 包括颈动脉损伤、气胸、神经损伤、感染及血栓形成。与此同时此技术也存在相对禁忌症, 颈部穿刺点皮肤损伤、颈椎损伤、凝血功能障碍、已行气管切开术的患者等。麻醉医生应当对其并发症和禁忌症有充分的认知, 对患者术中是否可以使用颈静脉球血氧饱和度监测技术进行评估。需要麻醉医生具有熟练的穿刺技术、严格的无菌操作观念、采样后定期冲洗等以减少并发症的发生。这些限制了颈静脉球血氧饱和度监测技术在临床手术中的使用和发展, 非侵入性的脑灌注监测技术成为更具吸引力的监测方法[36]-[38]。

4.5. 脑电图(Electroencephalography, EEG)

脑电图通过检测大脑皮层中神经元细胞产生的兴奋性突触后电位以反映大脑神经生理变化, 通过将电极贴在头皮上获得电信号, 是一种价格低廉、无创的、非侵入性的监测技术。1929 年, 汉斯·伯杰[39]发明脑电图。临床上常使用脑电图评估麻醉深度, 但目前已有研究发现术中脑电图可用于帮助检测脑缺血, 具有降低术中卒中风险的潜力, 从而间接评估脑灌注[40]。在麻醉深度稳定期间, 脑电图突然改变, 如 α 波和 β 波振幅的衰减以及 θ 波和 δ 波振幅的增强[41], 可能提示此时有明显的脑灌注不足或脑缺血。但是脑电图仅仅检测大脑皮层的电生理活动, 对于大脑深处的脑灌注的监测效果十分有限。此外, 伪影、麻醉药物的使用、肌肉活动、体温过低和环境噪音等的干扰均对脑电图的监测产生影响, 降低 EEG 分析的可靠性。麻醉医生在使用过程中应当适当做好皮肤准备, 减少皮肤和电极处的阻抗。

4.6. 电磁血流量计

电磁血流量计其原理基于法拉第电磁感应定律, 通过测量电磁波在血管中的传播速度, 计算出血液在血管内的流速和流量, 是一种连续的、无创的监测技术。电磁血流量计由信号换能器和信号处理器两部分构成, 常用的信号换能器即探头包括管型和钩型两种。管型探头有大小不同的直径, 使用时需要切开血管, 全身肝素化处理。钩型探头相较于管型不需要切开血管和全身肝素化, 操作相对简便。颈内动脉和椎动脉是供应大脑的主要血管, 电磁血流量计可通过测量颈动脉和椎动脉流量近似估计脑血流量。具有便捷、安全、可重复性强、灵敏度高等优点。电磁血流量计作为一种新兴的监测技术也有一定局限性, 其监测结果受到颅脑解剖, 血管硬化、痉挛等因素影响, 可能出现测量误差。其次, 由于其昂贵的成本和数据的采集及分析需要专业人员的支持等限制了其在临床上的广泛使用。

4.7. 有创动脉压及颅内压的监测

有创动脉压监测是目前临床上应用最广泛地用来判断患者全身组织灌注的技术之一, 因其较为直观地反映了患者血压情况, 加之操作简便, 价格低廉而广受麻醉医生的欢迎, 临床上常使用平均动脉压来对脑灌注进行一定的估算, 这一方法适用于普通手术患者, 但对于存在中枢神经系统病变或者颅脑外伤的患者这一估算方式并不准确, 因为其颅内压可能受病理生理变化的影响而发生改变。目前普遍采用的脑灌注压计算方式为平均动脉压 - 颅内压, 有创动脉压的监测结合颅内压的监测可以有效估计脑灌注压。目前临床上监测颅内压的方法包括腰椎穿刺、硬膜外测压、脑室内测压及硬膜下测压。由于其监测方法均为侵入性及操作的并发症和禁忌症的限制, 临床上不常规通过监测颅内压来估计脑灌注压。

5. 结语

总而言之, 为患者进行最佳的围术期脑保护策略, 降低围术期神经系统并发症的发生率是每个麻醉医生的目标, 关键在于对脑灌注这一动态过程进行提前精准监测与干预。尽管目前我们拥有如经颅多普勒、近红外光谱等技术, 能够从血流速度、脑氧饱和度等进行预估, 但它们均存在各自的局限性。目前临床上仍最常使用有创动脉检测来间接预估患者脑灌注。因此未来发展的重中之重是能够通过整合患者的各种术前指标, 如动脉血压、脑氧饱和度、脑电活动等, 来准确、无创地推算 CPP, 能够基于患者情况个体化的监测方案, 提前预测患者脑灌注失代偿风险。针对这些空白与技术瓶颈, 未来的研究最具前景的方向应聚焦于: 第一、利用人工智能技术, 整合患者平日生理数据、术前基础状态与手术步骤信息, 构建个体化的脑灌注风险动态预警模型。这类模型有望实现从“被动监测”到“主动预测”的跨越, 为临床干预提供宝贵的时间窗口。第二、寻找在脑缺血早期即可在血液或脑脊液中检测到的特异性生物标志物, 如与神经细胞损伤、血脑屏障通透性改变相关的分子, 为术后神经系统并发症的诊断与预后判断提供客观依据。第三、继续推动无创、连续 CPP 监测技术的研发, 并致力于将多种监测功能集成于单一便捷设备, 降低临床应用门槛, 实现从特殊手术到常规患者的普及。通过这些方向上的突破, 我们才能真正实现对围术期脑灌注的精准管理与个体化脑保护, 从而实现对患者状况的精准把控, 有效降低患者围手术期的神经系统并发症。

利益冲突

所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明

李雅兰: 拟定文章主题、论文审阅、经费支持, 孔雅圆: 论文撰写、论文修改, 罗琪琛: 论文审阅、论文修改, 胡羿: 论文审阅、论文修改。

参考文献

- [1] Vimala, S., Arulvelan, A. and Chandy Vilanilam, G. (2020) Comparison of the Effects of Propofol and Sevoflurane Induced Burst Suppression on Cerebral Blood Flow and Oxygenation: A Prospective, Randomised, Double-Blinded Study. *World Neurosurgery*, **135**, e427-e434. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.12.015>
- [2] Dinsmore, J. (2007) Anaesthesia for Elective Neurosurgery. *British Journal of Anaesthesia*, **99**, 68-74.
- [3] Conti, A., Iacopino, D.G., Fodale, V., Micalizzi, S., Penna, O. and Santamaria, L.B. (2006) Cerebral Haemodynamic Changes during Propofol-Remifentanyl or Sevoflurane Anaesthesia: Transcranial Doppler Study under Bispectral Index Monitoring. *British Journal of Anaesthesia*, **97**, 333-339. <https://doi.org/10.1093/bja/ael169>
- [4] Jin, D., Yu, H., Li, H., Zhao, N., Zhang, Y., Li, J., *et al.* (2021) Hemodynamic Changes of Anesthesia, Pneumoperitoneum, and Head-Down Tilt during Laparoscopic Surgery in Elderly Patients. *Annals of Translational Medicine*, **9**, 1177-1177. <https://doi.org/10.21037/atm-21-3407>
- [5] Antony, J., Singh, G., Yadav, B., Abraham, M.A. and George, S.P. (2022) Effect of Beach-Chair Position on Cerebral Blood Flow in Patients Undergoing Shoulder Surgery—A Preliminary Observational Study. *Journal of Neuroanaesthesiology and Critical Care*, **9**, 16-20. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1732830>
- [6] Moerman, A.T., De Hert, S.G., Jacobs, T.F., De Wilde, L.F. and Wouters, P.F. (2012) Cerebral Oxygen Desaturation during Beach Chair Position. *European Journal of Anaesthesiology*, **29**, 82-87. <https://doi.org/10.1097/eja.0b013e328348ca18>
- [7] Chan, J.H., Perez, H., Lee, H., Saltzman, M. and Marra, G. (2020) Evaluation of Cerebral Oxygen Perfusion during Shoulder Arthroplasty Performed in the Semi-Beach Chair Position. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **29**, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.05.022>
- [8] Mori, Y., Yamada, M., Akahori, T., Hatakeyama, N., Yamazaki, M., Fujiwara, Y., *et al.* (2015) Cerebral Oxygenation in the Beach Chair Position before and during General Anesthesia in Patients with and without Cardiovascular Risk Factors. *Journal of Clinical Anesthesia*, **27**, 457-462. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2015.06.007>

- [9] Kalmar, A.F., Dewaele, F., Foubert, L., Hendrickx, J.F., Heeremans, E.H., Struys, M.M.R.F., *et al.* (2012) Cerebral Haemodynamic Physiology during Steep Trendelenburg Position and CO₂ Pneumoperitoneum. *British Journal of Anaesthesia*, **108**, 478-484. <https://doi.org/10.1093/bja/aer448>
- [10] Tapar, H., Karaman, S., Dogru, S., Karaman, T., Sahin, A., Tapar, G.G., *et al.* (2018) The Effect of Patient Positions on Perfusion Index. *BMC Anesthesiology*, **18**, Article No. 111. <https://doi.org/10.1186/s12871-018-0571-z>
- [11] Grüne, F., Kazmaier, S., Stolker, R.J., *et al.* (2015) Carbon Dioxide Induced Changes in Cerebral Blood Flow and Flow Velocity: Role of Cerebrovascular Resistance and Effective Cerebral Perfusion Pressure. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, **35**, 1470-1477.
- [12] Meng, L. (2015) Regulation of Cerebral Autoregulation by Carbon Dioxide. *Anesthesiology*, **122**, 196-205.
- [13] Chaix, I., Manquat, E., Liu, N., Casadio, M.C., Ludes, P., Tantot, A., *et al.* (2020) Impact of Hypotension on Cerebral Perfusion during General Anesthesia Induction: A Prospective Observational Study in Adults. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, **64**, 592-601. <https://doi.org/10.1111/aas.13537>
- [14] Bijker, J.B., Moons, K.G.M. and Van Klei, W.A. (2012) Intraoperative Hypotension and Perioperative Ischemic Stroke after General Surgery. *Perioperative Medicine*, **116**, 658-664.
- [15] Fischer, M. and Kahl, U. (2021) Perioperativer Schlaganfall. *Der Anaesthesist*, **70**, 3-12. <https://doi.org/10.1007/s00101-020-00823-5>
- [16] Hirsch, J., DePalma, G., Tsai, T.T., Sands, L.P. and Leung, J.M. (2015) Impact of Intraoperative Hypotension and Blood Pressure Fluctuations on Early Postoperative Delirium after Non-Cardiac Surgery. *British Journal of Anaesthesia*, **115**, 418-426. <https://doi.org/10.1093/bja/aeu458>
- [17] Janssen, T.L., Steyerberg, E.W., Faes, M.C., Wijsman, J.H., Gobardhan, P.D., Ho, G.H., *et al.* (2019) Risk Factors for Postoperative Delirium after Elective Major Abdominal Surgery in Elderly Patients: A Cohort Study. *International Journal of Surgery*, **71**, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2019.09.011>
- [18] Morimoto, Y., Monden, Y., Ohtake, K., Sakabe, T. and Hagihira, S. (2005) The Detection of Cerebral Hypoperfusion with Bispectral Index Monitoring during General Anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*, **100**, 158-161. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000139347.64944.95>
- [19] Rangasamy, V., de Guerre, L., Xu, X., Schermerhorn, M.L., Novack, V. and Subramaniam, B. (2021) Association between Intraoperative Hypotension and Postoperative Adverse Outcomes in Patients Undergoing Vascular Surgery—A Retrospective Observational Study. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **35**, 1431-1438. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2020.11.005>
- [20] Villevieille, T., Delaunay, L., Gentili, M. and Benhamou, D. (2012) Chirurgie arthroscopique de l'épaule et complications ischémiques cérébrales. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*, **31**, 914-918. <https://doi.org/10.1016/j.annfar.2012.08.010>
- [21] Wachtendorf, L.J., Azimaraghi, O., Santer, P., Linhardt, F.C., Blank, M., Suleiman, A., *et al.* (2022) Association between Intraoperative Arterial Hypotension and Postoperative Delirium after Noncardiac Surgery: A Retrospective Multicenter Cohort Study. *Anesthesia & Analgesia*, **134**, 822-833. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000005739>
- [22] Wesselink, E.M., Kappen, T.H., van Klei, W.A., Dieleman, J.M., van Dijk, D. and Slooter, A.J.C. (2015) Intraoperative Hypotension and Delirium after On-Pump Cardiac Surgery. *British Journal of Anaesthesia*, **115**, 427-433. <https://doi.org/10.1093/bja/aev256>
- [23] Xu, B., Qiao, Q., Chen, M., Rastogi, R., Luo, D. and Bi, Q. (2015) Relationship between Neurological Complications, Cerebrovascular and Cerebral Perfusion Following Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting. *Neurological Research*, **37**, 421-426. <https://doi.org/10.1179/1743132815y.0000000030>
- [24] Aaslid, R., Markwalder, T. and Nornes, H. (1982) Noninvasive Transcranial Doppler Ultrasound Recording of Flow Velocity in Basal Cerebral Arteries. *Journal of Neurosurgery*, **57**, 769-774. <https://doi.org/10.3171/jns.1982.57.6.0769>
- [25] Kofke, A.W., Dong, M., Bloom, M., Policare, R., Janosky, J. and Sekhar, L. (1994) Transcranial Doppler Ultrasonography with Induction of Anesthesia for Neurosurgery. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*, **6**, 89-97. <https://doi.org/10.1097/00008506-199404000-00004>
- [26] Bellapart, J. and Fraser, J.F. (2009) Transcranial Doppler Assessment of Cerebral Autoregulation. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **35**, 883-893. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2009.01.005>
- [27] Fodale, V., Schifilliti, D., Conti, A., Lucanto, T., Pino, G. and Santamaria, L.B. (2007) Transcranial Doppler and Anesthetics. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, **51**, 839-847. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2007.01355.x>
- [28] Robba, C., Goffi, A., Geeraerts, T., Cardim, D., Via, G., Czosnyka, M., *et al.* (2019) Brain Ultrasonography: Methodology, Basic and Advanced Principles and Clinical Applications. A Narrative Review. *Intensive Care Medicine*, **45**, 913-927. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05610-4>
- [29] Casati, A., Spreafico, E., Putzu, M., *et al.* (2006) New Technology for Noninvasive Brain Monitoring: A Continuous

- Cerebral Oximetry. *Minerva Anestesiologica*, **72**, 605-625.
- [30] Al-Rawi, P.G. and Kirkpatrick, P.J. (2006) Tissue Oxygen Index: Thresholds for Cerebral Ischemia Using Near-Infrared Spectroscopy. *Stroke*, **37**, 2720-2725. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000244807.99073.ae>
- [31] Erdem, A.F., Kayabasoglu, G., Tas Tuna, A., Palabiyik, O., Tomak, Y. and Beyaz, S.G. (2016) Effect of Controlled Hypotension on Regional Cerebral Oxygen Saturation during Rhinoplasty: A Prospective Study. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **30**, 655-660. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9768-6>
- [32] Sørensen, H., Nielsen, H.B. and Secher, N.H. (2016) Near-Infrared Spectroscopy Assessed Cerebral Oxygenation during Open Abdominal Aortic Aneurysm Repair: Relation to End-Tidal CO₂ Tension. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **30**, 409-415. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9732-5>
- [33] Sun, S., Liu, N. and Huang, S. (2016) Role of Cerebral Oxygenation for Prediction of Hypotension after Spinal Anesthesia for Caesarean Section. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **30**, 417-421. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9733-4>
- [34] Al-Rawi, P.G., Smielewski, P. and Kirkpatrick, P.J. (2001) Evaluation of a Near-Infrared Spectrometer (NIRO 300) for the Detection of Intracranial Oxygenation Changes in the Adult Head. *Stroke*, **32**, 2492-2500. <https://doi.org/10.1161/hs1101.098356>
- [35] Gibbs, E.L., Lennox, W.G., Nims, L.F. and Gibbs, F.A. (1942) Arterial and Cerebral Venous Blood. *Journal of Biological Chemistry*, **144**, 325-332. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)72512-x](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)72512-x)
- [36] Schell, R.M. and Cole, D.J. (2000) Cerebral Monitoring: Jugular Venous Oximetry. *Anesthesia & Analgesia*, **90**, 559-566. <https://doi.org/10.1097/00000539-200003000-00012>
- [37] Sharma, D., Siriussawakul, A., Dooney, N., Hecker, J.G. and Vavilala, M.S. (2013) Clinical Experience with Intraoperative Jugular Venous Oximetry during Pediatric Intracranial Neurosurgery. *Pediatric Anesthesia*, **23**, 84-90. <https://doi.org/10.1111/pan.12031>
- [38] Tsaousi, G., Tramontana, A., Yamani, F. and Bilotta, F. (2021) Cerebral Perfusion and Brain Oxygen Saturation Monitoring With. *Anesthesiology Clinics*, **39**, 507-523. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2021.03.009>
- [39] İnce, R., Adanır, S.S. and Sevmez, F. (2020) The Inventor of Electroencephalography (EEG): Hans Berger (1873-1941). *Child's Nervous System*, **37**, 2723-2724. <https://doi.org/10.1007/s00381-020-04564-z>
- [40] van Stigt, M.N., Groenendijk, E.A., van de Munckhof, A.A.G.A., Marquering, H.A., Koopman, M.S., Majoie, C.B.L.M., et al. (2023) Correlation between EEG Spectral Power and Cerebral Perfusion in Patients with Acute Ischemic Stroke. *Journal of Clinical Neuroscience*, **116**, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2023.08.021>
- [41] van Putten, M.J.A.M. and Hofmeijer, J. (2016) EEG Monitoring in Cerebral Ischemia: Basic Concepts and Clinical Applications. *Journal of Clinical Neurophysiology*, **33**, 203-210. <https://doi.org/10.1097/wnp.0000000000000272>