

神经外科手术麻醉深度监测技术

李天佐

【关键词】 麻醉; 监测,手术中; 神经外科手术; 综述文献

DOI:10.3969/j.issn.1672-6731.2010.04.003

自1846年Holmes首先描述“麻醉”后,即伴随产生了“麻醉深度”的概念。然而,直到1937年方形成由Guedel提出的经典乙醚麻醉分期。此后半个多世纪,随着医学科学技术的发展,“麻醉”的内涵不断更新,与之相对应的“麻醉深度”的概念亦处于探索和讨论之中。目前,更倾向于将麻醉视为一种状态,包括意识消失、感觉和运动阻滞及降低应激反应。不同麻醉药物旨在达到不同“组分”的要求,因此,全身麻醉经常辅用肌肉松弛药、镇静催眠药、麻醉性镇痛药,以及血管活性药物等。由于麻醉是多种成分的组合,现有的麻醉监测手段均存在不完善和局限性,尚不足以满足实时、精确、客观监测的要求,至今仍普遍采用临床表现作为判断麻醉深度的主要依据。然而,在探索麻醉深度监测方面亦颇有收获,不断地揭示和接近更为客观的监测指标,并派生出诸多监测方法。目前认为,意识是麻醉的主要元素,对其他指标的评价均应在意识消失的基础上进行,特别是在使用肌肉松弛药的情况下,因此麻醉深度的评价主要以脑电信号为基础。最初,主要针对脑电图的线性成分对脑电波的时域特征进行分析,随着快速傅里叶变换(FFT)技术的逐渐成熟,脑电波频域特征被逐步引入麻醉深度的监测,例如脑电双频指数(BIS)、中央频率(MF)、边缘频率(SEF)等,其中以脑电双频指数和听觉诱发电位(AEP)最为实用。

一、脑电双频指数

脑电双频指数是以脑电功率谱分析为基础,通过测定脑电图的线性(包括频率和功率)和非线性(包括位相和谐波)参数获得的综合数据,为一统计数值。它以意识状态和镇静水平为临床麻醉标记

点,对接受不同麻醉药物的受试者双额脑电图进行大样本记录并纳入数据库。然后,对脑电图双谱和能量谱参数进行计算,采用多因素回归分析模型将每一特定参数在达到临床麻醉标记点的相对作用转换为线性数字化指数即为脑电双频指数;范围从0(等电位脑电图)到100(完全清醒)^[1],其中100~85为清醒状态,85~65为镇静,65~40为适宜的全身麻醉深度,40~30为深度睡眠,30~0为脑电波爆发性抑制。脑电双频指数主要反映大脑皮质的兴奋或抑制状态,与麻醉药和镇静药的催眠和镇静作用密切相关^[2,3]。静脉和吸入性麻醉药物产生的镇静和麻醉深度均与脑电双频指数有着良好的相关性。对意识水平的预测,脑电双频指数存在药物特异性,催眠作用强的麻醉药物,如丙泊酚、硫喷妥钠、咪唑安定等可使脑电双频指数显著降低;吸入性麻醉药则可使脑电双频指数呈中度降低;而氯胺酮、阿片类镇痛药、异氟烷和氧化亚氮(N₂O)则与脑电双频指数的相关性较差^[4];艾司洛尔和肾上腺素可使脑电双频指数升高。

脑电双频指数监测的优点:(1)可对原始脑电活动的非线性关系进行量化,使监测方法简单、易行。(2)有助于降低术中知晓发生率。(3)为术后早期清醒和拔管提供指导,提高苏醒质量,缩短麻醉后恢复室(PACU)停留时间。(4)指导临床镇静,通过脑电双频指数监测,可更准确地调整麻醉药物的剂量,以维持平稳的镇静深度。(5)用于非住院手术,可缩短术后留院观察时间。其不足包括:(1)仅监测特定麻醉药物引起的脑电抑制,不能反映觉醒状态的变化。(2)用于静脉复合麻醉时,脑电双频指数与麻醉深度并不完全一致。(3)计算速度慢,意识水平监测存在30~60s的滞后现象,不能达到真正的实时监测。(4)不同药物、个体和种族,脑电双频指数的差异较大。患者意识消失和恢复时,脑电双

频指数分别为 64~89 和 77~98,提示其判断意识水平的敏感性较差。(5)对镇痛成分的监测不敏感^[5]。(6)用于儿童麻醉监测的有效性尚存争议,对年龄较大的儿童,脑电双频指数与麻醉药浓度和镇静深度相关性良好,但对年龄较小儿童监测的有效性,尚有待进一步证实。(7)对于伴有神经系统疾病或神经创伤患者意识状态的监测,存在困难。(8)易受电凝操作的干扰。

二、听觉诱发电位

全身麻醉时,患者听觉随麻醉诱导的加深逐渐受到抑制。听觉诱发电位是听觉系统在接受声音刺激后,从耳蜗至各级听觉中枢产生的相应电活动,分为 3 部分:脑干听觉诱发电位(BAEP)、中潜伏期听觉诱发电位(MLAEP)和长潜伏期听觉诱发电位(LLAEP)。其中,以中潜伏期听觉诱发电位最具临床监测价值。它不仅在清醒状态下个体差异较小,有伤害性刺激时亦呈一致性改变,而且与大多数麻醉药存在剂量相关性变化。因此,中潜伏期听觉诱发电位比听觉诱发电位更适用于判断麻醉深度^[6]。在临床上,分析听觉诱发电位波形极为繁琐、困难,因此,Doi 等^[7]提出了“听觉诱发电位指数(AEP index)”的概念,其数值为 0~100,其中 60~100 为清醒状态;40~60 为睡眠状态;30~40 为浅麻醉状态;<30 即达临床麻醉状态。听觉诱发电位指数与伤害性刺激、镇静等均有一定的相关性,可以反映麻醉深度,预测体动和术中知晓。

听觉诱发电位指数监测的优点:(1)反映意识恢复与消失方面较脑电双频指数更为可靠、敏感、迅速,特别是在麻醉诱导期和苏醒期。(2)不仅可以反映大脑皮质兴奋或抑制状态,用于监测麻醉镇静成分时还能够反映皮质下脑电活动,监测术中出现的伤害性刺激、镇痛和体动反应,从而更全面地反映麻醉深度。(3)可瞬时监测麻醉深度变化。其不足:(1)对使用环境的要求较高,易受其他电子仪器电波的干扰。(2)听力障碍者不适用。

三、脑电熵

熵(entropy)是近年来研究较多的一类非线性动力学参数。大脑的电活动具有无序性和不可预测性的特点,将熵用于脑电信号分析可准确、可靠地反映麻醉深度。目前,较为常用的是近似熵(ApEn)和频谱熵(spectral entropy),前者是对脑电图的时域特征进行分析;后者则对时间序列频域的复杂程度进行描述,信号的频谱熵越高,则信号的复杂程度

越高。状态熵(SE)和反应熵(RE)是频谱熵的两项参数,状态熵反映脑电活动主要频域的作用,频域为 0.80~32.00 Hz;反应熵表现脑电和额肌肌电活动的共同作用,频域为 0.80~47.00 Hz。状态熵和反应熵可以区分有意识和无意识状态,并可通过肌电活动反映麻醉药物的镇静和镇痛效果,均可作为衡量麻醉药物效应的有效参数,其中,状态熵与镇静水平的相关性最高。Ellerkmann 等^[8]研究证实,状态熵和反应熵与七氟烷的呼气末浓度密切相关,其变化趋势与脑电双频指数相一致,均能反映七氟烷的麻醉深度。

四、边缘频率和中央频率

边缘频率是脑电图 95% 的功率谱,中央频率为脑电图 50% 的功率谱。边缘频率(95% SEF)代表每单元功率谱上有 95% 能量存在于此频率以下,5% 能量存在于此频率之上。随着麻醉程度的加深,脑电图快波逐渐减少,慢波增多,边缘频率下移。但该指标对镇静、意识恢复和消失的判断不敏感,其可靠性及与血药浓度的相关性不如脑电双频指数^[9]。

五、麻醉深度监护仪

麻醉深度监护仪 Narcotrend(NT)是通过计算机将自发性脑电活动经过 Kugler 多参数统计而获得的脑电自动分级,人为地将脑电图划分为从 A 到 F 共 6 个阶段 14 个级别的指标,并形成从 0(清醒)到 100(等电位)指数。阶段 A 表示清醒状态;B 表示镇静状态(0、1、2 级);C 表示浅麻醉状态(0、1、2 级);D 表示常规麻醉状态(0、1、2 级);E 表示深麻醉状态(0、1、2 级);F 为脑电活动消失,出现脑电图等电位和爆发性抑制(0、1 级)。有临床研究显示,麻醉深度监护仪是一可信度较高的新型麻醉深度监测仪器,目前已广泛用于静脉和吸入性麻醉药的麻醉深度监测,其与丙泊酚效应室浓度相关性最佳,可辅助调控麻醉深度。Kreuer 等^[10]研究亦证实,在地氟烷复合瑞芬太尼麻醉过程中,麻醉深度监护仪和脑电双频指数监测效果相同,且预测儿童麻醉深度的效果优于成年患者。与脑电双频指数相同,麻醉深度监护仪也不能反映麻醉深度中的镇痛成分。

六、患者状态指数

患者状态指数(PSI)针对 4 导脑电图信息,实时分析脑电图波形,以量化值(0~100)表示。该指数与患者镇静程度相关,且较脑电双频指数信号更强,可用于监测患者意识消失与恢复。研究表明,患者状态指数与吸入性麻醉药、静脉麻醉药(丙泊

酚)和麻醉性镇痛药单独或联合应用均有良好的相关性,可以有效监测麻醉深度^[11]。

七、脑状态指数

以2000次/s频率测量脑电活动,将脑电图各参数输入计算机自适应神经模糊推理系统(ANFIS),可获得脑状态指数(CSI),以0~100表示,数值愈大表示愈清醒,反之则提示大脑皮质抑制愈严重^[12]。研究显示,脑状态指数与丙泊酚效应室浓度和改良警觉/镇静评分(MOAA/S)的相关性良好,能够有效反映意识水平的变化,且明显高于平均动脉压和心率的相关性,表明脑状态指数可替代血药浓度和改良警觉/镇静评分,作为判断丙泊酚麻醉深度的一项指标^[13]。脑状态指数亦可反映七氟烷的镇静深度,随着七氟烷浓度的增加,脑状态指数逐渐降低,至警觉/镇静评分(OAA/S)降至1分时,脑状态指数明显低于清醒状态^[14]。

八、食管下段收缩性

食管下段肌肉受迷走神经支配,其自发性收缩与麻醉深度有关。大多数静脉麻醉和吸入性麻醉药物均具有抑制自发性食管下段收缩功能。Evans等^[15]于1987年提出食管下段收缩性(LEC)可用于麻醉深度的监测。但术前、术中抗胆碱药和平滑肌松弛药对其影响十分显著,且个体差异较大,应参照其他指标进行综合评价。

九、心率变异性

心脏自主神经系统对窦房结自主节律性的调节可在相邻心搏之间产生微小差异,心率变异性(HRV)便是对这种微小差异的描述。交感神经兴奋性越高,心率变异越大。在浅麻醉状态下,伤害性刺激导致交感神经兴奋性增加,可引起心率变异性改变。因此,该项指标可动态、定量评价麻醉药及伤害性刺激对手术患者自主神经系统的影响,以及判断镇痛效果是否完善。

十、人工神经网络

人工神经网络(ANN)是根据脑电图的平均功率作为特征参数,再辅助血压、心率、最低肺泡有效浓度(MAC)等项参数,利用自回归(AR)模型、聚类分析等理论组成参数表示麻醉深度。人工神经网络系统与其他监测手段联合应用,对麻醉深度监测的灵敏度可达88%,准确度达92%,是一种较有潜力的麻醉监测方法。

十一、脑电地形图

脑电地形图也可作为评价麻醉药物中枢抑制

程度的一项监测指标。使用吸入性麻醉药时,脑电地形图波形呈低平化,1~2 min后才出现心率和血压的显著降低。

尽管麻醉深度监测项目种类繁多,但尚无一种能够达到理想的要求。随着“麻醉深度”涵义的不断演绎,其监测技术也在不断完善,但即使目前广泛应用的脑电双频指数和听觉诱发电位也存在明显的不足和局限性,随着研究的深入,新手段、新技术必将取而代之。但不可否认,目前所拥有的麻醉监测技术对认知麻醉深度发挥了重要作用,并指导着现今的临床实践。

参 考 文 献

- [1] Vivien B, Paqueron X, Le Cosquer P, et al. Detection of brain death onset using the bispectral index in severely comatose patients. *Intensive Care Med*, 2002, 28:419-425.
- [2] Drummond JC. Monitoring depth of anesthesia: with emphasis on the application of the bispectral index and the middle latency auditory evoked response to the prevention of recall. *Anesthesiology*, 2000, 93:876-882.
- [3] Vretzakis G, Ferdi E, Argiriadou H, et al. Influence of bispectral index monitoring on decision making during cardiac anesthesia. *J Clin Anesth*, 2005, 17:509-516.
- [4] Morimoto Y, Matsumoto A, Koizumi Y, et al. Changes in the bispectral index during intraabdominal irrigation in patients anesthetized with nitrous oxide and sevoflurane. *Anesth Analg*, 2005, 100:1370-1374.
- [5] Kissin I. Depth of anesthesia and bispectral index monitoring. *Anesth Analg*, 2000, 90:1114-1117.
- [6] Münte S, Münte TF, Grotkamp J, et al. Implicit memory varies as a function of hypnotic electroencephalogram stage in surgical patients. *Anesth Analg*, 2003, 97:132-138.
- [7] Doi M, Gajraj RJ, Mantzaridis H, et al. Relationship between calculated blood concentration of propofol and electrophysiological variables during emergence from anaesthesia: comparison of bispectral index, spectral edge frequency, median frequency and auditory evoked potential index. *Br J Anaesth*, 1997, 78:180-184.
- [8] Ellerkmann RK, Liermann VM, Alves TM, et al. Spectral entropy and bispectral index as measures of the electroencephalographic effects of sevoflurane. *Anesthesiology*, 2004, 101:1275-1282.
- [9] Doi M, Gajraj RJ, Mantzaridis H, et al. Prediction of movement at laryngeal mask airway insertion: comparison of auditory evoked potential index, bispectral index, spectral edge frequency and median frequency. *Br J Anaesth*, 1999, 82:203-207.
- [10] Kreuer S, Bruhn J, Stracke C, et al. Narcotrend or bispectral index monitoring during desflurane - remifentanyl anesthesia: a comparison with a standard practice protocol. *Anesth Analg*, 2005, 101:427-434.
- [11] Prichep LS, Gugino LD, John ER, et al. The Patient State Index as an indicator of the level of hypnosis under general anaesthesia. *Br J Anaesth*, 2004, 92:393-399.
- [12] Anderson RE, Barr G, Jakobsson JG. Cerebral state index during anaesthetic induction: a comparative study with propofol or nitrous oxide. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2005, 49:750-753.

- [13] Jensen EW, Litvan H, Revuelta M, et al. Cerebral state index during propofol anesthesia: a comparison with the bispectral index and the A-line ARX index. *Anesthesiology*, 2006, 105:28-36.
- [14] Anderson RE, Sartipy U, Jakobsson JG. Use of conventional ECG electrodes for depth of anaesthesia monitoring using the cerebral state index: a clinical study in day surgery. *Br J Anaesth*, 2007, 98:645-648.
- [15] Evans JM, Bithell JF, Vlachonikolis IG. Relationship between lower oesophageal contractility, clinical signs and halothane concentration during general anaesthesia and surgery in man. *Br J Anaesth*, 1987, 59:1346-1355.

(收稿日期:2010-06-29)

· 小词典 ·

中英文对照名词词汇(一)

- 阿尔茨海默病 Alzheimer's disease(AD)
- 阿利新蓝-高碘酸雪夫
alcian blue-periodic acid-Schiff(AB-PAS)
- γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid(GABA)
- 靶控输注 target-controlled infusion(TCI)
- 伴路易小体阿尔茨海默病
Alzheimer's disease with Lewy bodies(ADLB)
- 边缘频率 spectral edge frequency(SEF)
- 不伴路易小体阿尔茨海默病
Alzheimer's disease with no Lewy bodies(ADNLB)
- 长潜伏期听觉诱发电位
long latency auditory evoked potential(LLAEP)
- 长时程抑制 long-term depression(LTD)
- 长时程增强 long-term potentiation(LTP)
- 成比例压力辅助通气 proportional pressure support(PPS)
- 持续气道正压通气
continuous positive airway pressure(CPAP)
- 持续性植物状态 persistent vegetative state(PVS)
- 雌激素受体 α estrogen receptor α (ER α)
- 单胺氧化酶 monoamine oxidase(MAO)
- 单核细胞趋化蛋白 monocyte chemotactic protein(MCP)
- 胆囊收缩素 cholecystokinin(CCK)
- β -淀粉样蛋白 amyloid- β protein(A β)
- 动-静脉畸形 arteriovenous malformation(AVM)
- 动脉瘤术中低温试验 Intraoperative Hypothermia for Aneurysm Surgery Trial(IHAST)
- 动脉血氧饱和度 arterial oxygen saturation(SaO₂)
- 动脉血氧分压 arterial partial pressure of oxygen(PaO₂)
- 动脉压心输出量 arterial pressure cardiac output(APCO)
- 多处软膜下横切术 multiple subpial transection(MST)
- 儿茶酚-O-甲基转移酶 catechol-O-methyltransferase(COMT)
- 二氧化碳分压 partial pressure of carbon dioxide(PaCO₂)
- C-反应蛋白 C-reaction protein(CRP)
- 反应熵 reaction entropy(RE)
- 房间隔动脉瘤 atrial septal aneurysm(ASA)
- 非体外循环冠状动脉旁路术
off-pump coronary artery bypass grafting(OPCAB)
- 肺动脉楔压 pulmonary artery wedge pressure(PAWP)
- 肺动脉压 pulmonary arterial pressure(PAP)
- 肺循环阻力 pulmonary vascular resistance(PVR)
- 缝隙连接 gap junction(GJ)
- 缝隙连接蛋白 connexin(Cx)
- 复合肌肉动作电位
compound muscle action potential(CMAP)
- 富含半胱氨酸的酸性分泌蛋白
secreted protein acidic and rich in cysteine(SPARC)
- 改良警觉/镇静评分
Modified Observer's Assessment of Alertness/Sedation (MOAA/S)
- 功能残气量 functional residual capacity(FRC)
- 骨连接素 osteonectin(ON)
- 国际植物状态治疗工作组
International Working Party on the Management of the Vegetative State (IWPMVS)
- 海马 hippocampus(Hippo)
- 核因子- κ B nuclear factor- κ B(NF- κ B)
- 黑质 substantia nigra(SN)
- 红核 red nucleus(RN)
- 红细胞压积 hematocrit(HCT)
- 呼气末二氧化碳分压
end-tidal pressure of carbon dioxide(PetCO₂)
- 呼气末正压 positive end-expiratory pressure(PEEP)
- 滑动平均模型 moving average model(MA model)
- 环氧合酶-2 cyclooxygenase-2(COX-2)
- 患者状态指数 Patient State Index(PSI)
- Glasgow昏迷量表 Glasgow Coma Scale(GCS)
- 获得性免疫缺陷综合征
acquired immunodeficiency syndrome(AIDS)
- Meynert基底核 nucleus basalis of Meynert(NBM)
- 急性等容血液稀释 acute normovolemic hemodilution(ANH)
- 急性高容血液稀释 acute hypervolemic hemodilution(AHH)
- N-甲基-D-天冬氨酸受体 2B
N-methyl-D-aspartate receptor 2B(NMDAR2B)
- 间歇正压通气
intermittent positive pressure ventilation(IPPV)
- 结核菌素纯蛋白衍生物
tuberculin purified protein derivative(PPD)