

目标导向液体治疗监测参数和技术研究进展

闫博锐^{1,2}, 张二飞^{2*}

¹延安大学第一临床医学院, 陕西 延安

²延安大学附属医院麻醉科, 陕西 延安

收稿日期: 2024年8月29日; 录用日期: 2024年9月23日; 发布日期: 2024年10月8日

摘要

目标导向液体治疗(goal-directed fluid therapy, GDFT)通常推荐用于接受大型手术的患者, 并且是术后加速康复(enhanced recovery after surgery, ERAS)方案中必不可少的。这种液体治疗方案通常由动态血流动力学参数指导, 旨在优化患者的心输出量, 以最大限度地向其重要器官输送氧气。虽然许多研究表明GDFT对围手术期患者有益并可减少术后并发症, 但对于使用哪些动态血流动力学参数来指导GDFT尚无共识。此外, 有许多血流动力学监测技术来测量这些动态血流动力学参数, 每种技术都有其优缺点。本文将讨论和回顾常用的GDFT动态血流动力学参数和血流动力学监测技术。

关键词

目标导向液体治疗, 加速康复外科, 麻醉, 术中监测

Research Progress on Monitoring Parameters and Techniques for Goal-Directed Fluid Therapy

Borui Yan^{1,2}, Erfei Zhang^{2*}

¹The First Clinical Medical College of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Department of Anesthesiology, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: Aug. 29th, 2024; accepted: Sep. 23rd, 2024; published: Oct. 8th, 2024

Abstract

Goal-directed fluid therapy (GDFT) is generally recommended for patients undergoing major

*通讯作者。

surgery and is essential in enhanced recovery after surgery ERAS regimens. This fluid regimen is often guided by dynamic hemodynamic parameters and is designed to optimize the patient's cardiac output to maximize oxygen delivery to their vital organs. Although many studies have shown that GDFT is beneficial in perioperative patients and reduces postoperative complications, there is no consensus on which dynamic hemodynamic parameters should be used to guide GDFT. In addition, there are a number of hemodynamic monitoring techniques to measure these dynamic hemodynamic parameters, each with its advantages and disadvantages. This article will discuss and review commonly used dynamic hemodynamic parameters and hemodynamic monitoring techniques for GDFT.

Keywords

Goal-Directed Fluid Therapy, Enhanced Recovery after Surgery, Anesthesia, Intraoperative Monitoring

Copyright © 2024 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. 引言

在围手术期, 液体复苏对于确保重要器官获得充足的氧供给是至关重要的。尤其是患者通常在术前禁食 8 小时, 这会导致患者出现脱水症状[1]。术中液体复苏不当会导致患者预后不良, 既往研究表明术后仍处于脱水的患者全因死亡率随着时间的推移逐渐增加, 一年内高达 20% [2]。传统的静脉输液方案是“开放性”的, 即术中给予大量液体。在腹部手术中, 输液量最高可达 7 升。然而, 这种方案会导致体重增加 3 至 6 千克, 这表明出现了液体超负荷[3]。大量输液可能导致的并发症包括肺部并发症[4] [5]、伤口愈合时间延长[6]以及肠道水肿引起的肠麻痹时间延长[7]。最近, 大型手术和加速康复外科(enhanced recovery after surgery, ERAS)采用了更加“限制性”的静脉输液方案。虽然这种方案可以避免自由输液法的副作用, 但可能会引起低血压, 导致器官损伤。虽然“开放性”和“限制性”输液方法各有利弊, 但“开放性”或“限制性”的定义是不同的, 取决于各个机构或临床医生。因此我们需要一种统一的方法去进行液体复苏。目标导向液体疗法(goal-directed fluid therapy, GDFT)是通过液体复苏优化心输出量(cardiac output, CO), 提供合适的液体量最大限度地向组织输送氧气, 并且避免低血压和液体超负荷, 目前已在多种手术中使用。

2. 监测参数

2.1. 脉搏压力变化(Pulse Pressure Variation, PPV)

PPV 是 Coyle 等人在 1983 年提出的流体响应性动态参数[8]。PPV 是通过测量呼吸周期中脉搏压力的变化来计算的。一般来说, PPV < 12% 的患者不太可能从进一步的液体治疗中受益, 而 > 12% 的患者更有可能从液体复苏中受益[9]。与需要中心静脉导管的中心静脉压(central venous pressure, CVP)相比, PPV 需要微创或无创监护仪, 通常是动脉导管。PPV 面临一些局限性。为确保准确的 PPV 测量, 患者必须进行机械通气; 胸腔必须闭合(打开的胸腔会影响心包和机械通气之间的相互作用); 处于窦性心律; 腹内压必须在正常范围内[10]。可能影响 PPV 读数的其他参数包括极度的心动过缓或高呼吸频率、低潮气量通气、高呼气末正压、低动脉顺应性以及右心室或左心室衰竭[10]-[13]。此外, 如果呼吸系统顺应性 ≤ 30

mL/cmH₂O, 例如 ARDS 患者, PPV 将变得不那么准确[13][14]。

2.2. 脉搏灌注变异指数(Pleth Variability Index, PVI)

PVI 是根据脉搏血氧仪或其他设备得出的体积描记波形幅度和脉搏压力计算得出的。该参数已被证明可以预测液体反应性, 其准确度与每搏输出量变异度[15]、经食道超声[16]和 PPV [17]相当。PVI 还取决于机械通气时胸内压增加与右心室前负荷和左心室每搏量的相互作用, 这会导致体积描记波形幅度和曲线下面积发生变化。PVI 是通过测量呼吸周期中的灌注指数(perfusion index, PI)变化来计算的。目前, 大多数使用 PVI 的 GDFT 研究都是在腹部手术中进行的。虽然这一参数前景广阔, 但必须对其他类型的手术进行更多研究, 以验证其用途。此外, 在预测液体反应性方面 PVI 没有明确的临界值, 但大多数研究认为该临界值约为 13%至 14% [18][19]。此外, 由于 PI 是通过脉搏血氧饱和度测量的, 因此指甲颜色、肤色和生理状态改变(如高铁血红蛋白)可能会改变红外光吸收, 导致计算不准确。最后, 由于 PVI 与 PPV 基于相同的原理, 因此两者都受到相同的限制。

2.3. 每搏输出量变异度(Stroke Volume Variability, SVV)

SVV 是根据呼吸周期内最大和最小的每搏输出量之间的差异计算得出的, 是由胸腔内压力变化导致的右心室前负荷变化引起的。SVV < 10%的患者不太可能对液体有反应, 而 SVV > 15%的患者可能受益于液体复苏[20]。多个研究表明, SVV 引导的 GDFT 是减少骨科、胃肠和神经外科手术并发症的有效方法[21]-[25]。由于 SVV 基于与 PPV 相同的原理, 因此它也面临着如上所述的相同限制。

2.4. 收缩压变异度(Systolic Pressure Variation, SPV)

收缩压变异表示一次机械呼吸期间收缩压最大值与最小值之间的差值。SPV 由吸气早期收缩压升高(反映左心室每搏量的吸气增加)和随后收缩压降低(反映静脉回流减少导致的每搏量降低)组成。实验和临床表明, SPV 可以很好地反映手术中的液体反应性, 在神经外科手术中当 SPV ≥ 7.1%时, 患者对补液的反应性较佳[26]。此外, 可以通过目视检查动脉波形图轻松地估计 SPV。

2.5. 主动脉血流峰值速度变化(Aortic Blood Flow Peak Velocity Variation, ΔV_{peak})

由于左心室每搏量在机械通气的不同阶段发生变化, 主动脉血流峰值速度也会有所不同。如果患者处于 Frank-Starling 关系的平台期时, 因为此时患者对液体无反应, 所以这种变化将很小。如果患者对液体有反应, 则这种变化会很大。Marc 等人于 2001 年首次描述了此参数, 他报告称 ΔV_{peak} 为 12%时, 在区分成人液体反应者与无反应者时, 其灵敏度为 100%, 特异性为 89% [27]。在无法准确测量 PPV、SVV 或 PVI 的情况下, 可以使用 ΔV_{peak} 来确定患者的液体反应性。这在儿科和新生儿患者中尤其如此, 因为他们通过小潮气量进行通气, 动脉血管顺应性更高, 胸壁和肺顺应性更高。因此, 在这些患者中, 机械通气期间胸内压力的变化可能不会引起与成人相同的循环变化。目前, 没有 ΔV_{peak} 评估液体反应性的最佳临界点。此外, 血管活性药物对儿科人群中该参数的影响在很大程度上是未知的[28]。然而, 这个较新的参数在儿科复苏中有很多前景。

3. 监测技术

3.1. 心输出量

3.1.1. 肺动脉导管

肺动脉导管(pulmonary artery catheter, PAC)是血流动力学监测经典的侵入式方法。多年来, 它一直是目标导向液体管理的金标准。心输出量测量遵循指示剂经肺热稀释原理。将一定量的冷溶液注入 PAC 的

近端腔后, 通过 PAC 的远端导管(其中装有热敏电阻)量化肺动脉血液的冷却。指示剂稀释曲线显示了温度随时间的变化。曲线下面积与心输出量成反比, 可以用 Stewart-Hamilton 方程计算。测量的时间/温度曲线显示在心输出量监视器上。温度下降越小(心输出量越大), 显示的曲线下面积越小。现代导管配有加热丝, 可间歇加热并测量热稀释曲线, 从而提供连续心输出量测量并评估连续心输出量。在这种情况下, 应仔细考虑“连续”一词, 因为尽管存在连续的心率触发的热量释放, 但检测到心输出量变化的临床相关平均延迟为 8 至 10 分钟。由于这个间隔, 目标导向容量治疗可能会延迟, 这种技术可能不如其他技术在线测量每搏输出量那么有用和准确。测量肺动脉闭塞压可估算左心室舒张末期压, 从而估算左心室前负荷。使用肺动脉闭塞压预测左心室前负荷的限制因素包括 PAC 尖端定位不正确、二尖瓣缺陷和左心室顺应性降低(如左心室功能不全)。因此, 在使用肺动脉闭塞压进行血液动力学治疗时, 应在一段时间内比较多次测量结果。此外, 肺动脉闭塞压不应用于确定每搏量对液体负荷的反应性, 因为没有证据表明该参数可用于得出液体负荷导致每搏量增加的结论。要估计上述变量, 还需要其他参数, 如平均动脉压、中心静脉压和混合静脉血氧饱和度。PAC 的优势包括能够测量肺动脉压力、混合静脉血氧饱和度、肺动脉闭塞压; 综合计算血流动力学参数和氧气供应和需求。缺点则是会受到胸内压、瓣膜疾病的干扰; 增加感染和血栓形成、心律失常、瓣膜损伤、肺动脉破裂、肺梗塞的风险。据推测, PAC 的益处取决于其在应用 GDFT、实施超常供氧和优化每搏量方面的应用, 而不仅仅是一种观察工具。所有主要的回顾性或观察性研究均显示使用 PAC 无益, 这也反映了这一假设。然而与之相反的是, 在 Hamilton 等人的一项荟萃分析[29]中, PAC 是唯一显示在目标导向治疗算法中使用可降低发病率和死亡率的技术。总之, 有必要进行进一步调查, 以确定哪些患者群体可以从围术期使用 PAC 中获益。

3.1.2. 经肺热稀释技术

经肺热稀释法是一种估算胸腔内和全身舒张末期容积的方法, 需要放置中央静脉导管和配备温度和压力传感器的改良动脉导管。动脉导管的尖端通过股动脉、肱动脉、腋动脉和桡动脉进入中央动脉。该监测器可记录每搏输出量、心脏指数、静态容积参数以及动态容积参数。对于心输出量测量, 必须进行体内校准。将一定量的冷溶液注入中央静脉导管。通过放置在动脉导管尖端的热敏电阻记录血液温度调节。记录的热稀释曲线用于使用 Stewart-Hamilton 方程计算心输出量。以前, 容积参数胸内血容量是通过心输出量和染料指示剂平均通过时间的乘积来计算的。在临床应用中, 曾经繁琐的经肺双指示剂稀释方法已被单指示剂热稀释法取代。文献表明, 容积参数在评估心脏前负荷方面优于中心静脉压和肺动脉闭塞压[30][31]。一些作者研究了从这些参数可靠地估计前负荷的能力。经肺热稀释心输出量与肺动脉热稀释心输出量显示出良好的相关性。与许多研究表明经肺热稀释系统在围手术期具有很高的有效性和可靠性相比, 尤其是在心脏手术后[32][33], 只有少数研究调查了使用经肺热稀释系统进行术中目标导向容量管理。因此, 经肺热稀释已在重症监护环境中建立, 但尚未在围手术期环境中建立。这一观察结果可以通过经肺热稀释系统的相对侵入性来解释, 导致该方法在术中目标导向容量管理中的使用较少。

3.1.3. 未校准和自动校准脉搏轮廓/脉搏波技术

由于通过 PAC 或经肺热稀释技术测量心输出量具有侵入性, 因此已经开发了非侵入性系统, 以使术中 GDFT 更加可用且侵入性更小。这些非侵入性系统之一是无校准脉搏轮廓分析。该技术是 Wesseling 描述的原始脉搏轮廓分析算法的进一步发展, 其中描述了动脉血压和由血管阻力决定的动脉血流之间的关系。心输出量是根据动脉波形的曲线下面积计算出来的。对于无校准脉搏轮廓分析, 有多种可用的设备, 在某些监测器中, 心输出量使用内部数据库进行校准, 并根据人口统计数据调整血管阻力和顺应性; 其他设备使用自动校准。在后一种设备中, 根据人口统计数据 and 动脉波形分析, 每 10 分钟自动重新计算一次校准系数, 以调整血管阻力和动脉顺应性的个体特征。与已建立的系统(例如 PAC 热稀释法和经肺热

稀释法)相比,关于未校准脉搏轮廓技术的可靠性和有效性的临床试验显示出截然不同的结果。在一项试验中,使用动脉波形分析进行心输出量测量时发现偏差很大,一致性限度范围很广[34]。其他研究证实了这些发现[35]。然而,其他研究表明,在比较校准和未校准的脉搏轮廓测量时没有显著差异[36]。这些发现导致的结论是,目前无法对这项技术进行最终评估。尽管与校准方法相比,心输出量测定的有效性似乎较差,但使用这种监测技术进行目标导向容量管理似乎可以带来临床益处,降低不良事件的发生率。

3.1.4. 生物电阻抗技术

另一种非侵入性心输出量测量方法是阻抗心动图。该技术通过在患者颈部两侧以及胸部左右两侧连接四个电极来执行。通过这些电极记录流经患者胸腔的微电流,并测量由胸主动脉容量和血流变化引起的阻抗变化。该技术可以观察到容积和静态变量,例如每搏输出量、心输出量、全身血管阻力和胸腔液体含量[37]。由于其使用存在局限性,例如所采取的各种外科手术操作、患者液体状态的急剧变化和频繁的电灼,阻抗心动图容易受到干扰,因此在目前的技术发展阶段,在围手术期并未得到广泛应用[38]。

3.1.5. 无创心输出量测量装置

除了上述用于非侵入性心输出量测量的工具外,人们还在努力开发其他非侵入性设备,以使心输出量测定更容易、更可用,而又不具有侵入性技术的缺点。荷兰爱德华生命科学公司研制出的 Nexfin 设备。该设备通过两个步骤提供心输出量的非侵入性估计。首先,该设备能够使用容积钳法连续估计动脉压力曲线。为此,该设备包括一个缠绕在手指上的充气袖带。此外,还包括第二个设备,用于通过光电容积描记法测量手指动脉的直径。在测量过程中,光电容积描记设备会感应到每次收缩时手指动脉直径的增加,袖带会立即充气以保持直径恒定,因此袖带压力反映了动脉压力。连续测量允许估计动脉压力曲线。在第二步中,通过脉搏轮廓分析从动脉压力曲线计算出心输出量,脉搏轮廓分析包含在 Nexfin 设备中[39]。由于 Nexfin 是一种相对较新的建议,因此需要进一步研究以证实其在围手术期(包括心脏以外的手术)中的可靠性和可变性。Nexfin 装置在外周灌注减少的情况下容易出错,这可能发生在危重患者身上。然而,在高风险和中等风险手术中进行目标导向容量治疗可能会证明非侵入式监测是一个有效的措施。

3.2. 静脉和组织氧饱和度

3.2.1. 混合静脉氧饱和度与中心静脉氧饱和度

先进的血液动力学监测可测定心输出量和静脉饱和度,被广泛应用于围手术期,尤其是心脏手术患者。混合静脉血氧饱和度(SvO_2)和中心静脉血氧饱和度($ScvO_2$)是不同的生理变量。两者都是用于显示氧气供需总体比例和组织氧合的参数。因此,可以从这些参数中收集实际心输出量与需求量之间是否充足的信息。 SvO_2 可测量肺动脉中的静脉饱和度,因此需要使用 PAC。相比之下, $ScvO_2$ 主要在上腔静脉的静脉血中测量,因此很容易获得这一参数。在健康人中,下腔静脉(包含来自上半身和下半身的血液)的血氧饱和度要高于上腔静脉(仅包含来自上半身的血液)。与上述情况不同的是,在临床实践中,特定患者群体的 SvO_2 和 $ScvO_2$ 之间几乎没有平均差异。有人认为, SvO_2 和 $ScvO_2$ 之间的差异并非恒定不变,而是可能受到麻醉和血液重新分布等条件的影响。考虑到上述条件, $ScvO_2$ 和 SvO_2 可以作为估算手术期间心输出量的有用参数。值得一提的是,这两个变量,尤其是 $ScvO_2$,在试图排除全身或局部低灌注时都有局限性,要进行更精确的预测,需要同时使用这两个变量,这就缩小了它们在术中的应用范围[24]。使用这些参数的另一个局限性是,在外周摄氧量降低的情况下,静脉饱和度的高值并不能排除微循环灌注不足。

3.2.2. 大脑和组织氧饱和度

目前有多种设备可用于监测组织饱和度,尤其是近红外光谱技术。使用该技术可以无创测量组织饱和度的降低,而组织饱和度的降低可能是由于供氧和需氧之间的差异造成的。这项技术的优势已在多项

研究中得到证实, 尤其是在血管和心脏手术中, 但要证明其临床实用性及其对手术结果的影响, 还需要进一步的研究[40] [41]。

3.3. 超声心动图和多普勒技术

3.3.1. 食管多普勒监测

食管多普勒监测是一种简便、准确、微创的每搏输出量优化方法。CardioQ 系统是一种利用包含年龄、体重和身高的标准图, 并根据多普勒方程直接计算降主动脉血流速度的设备。监护仪显示速度与时间的波形图。由于血流时间取决于心率, 因此通常会进行校正。校正后的血流时间代表调整为每秒一个心动周期的收缩期射血时间。进一步校正可估算全身血管阻力。全身血管阻力与血流时间成反比, 即全身血管阻力越高, 血流时间越短, 全身血管阻力的增加通常与低血容量有关。由于血流时间是心脏后负荷的指标, 在低血容量情况下, 由于心脏前负荷增加, 液体治疗将导致每搏量和血流时间增加。这种效应可被解释为容量反应性, 有助于进行 GDFT。除了可以测量血流时间外, 还可以推断左室肌力, 因为心肌收缩力与测量的峰值速度相关。除了食管多普勒监测与 PAC 衍生变量相比具有有效性和可靠性外, 多项研究还证明了该技术在术后并发症发生率和住院时间方面的优势。与 PAC 相比, 食管多普勒监测具有有效性和可靠性, 几项研究还证明了该技术在术后并发症发生率和住院时间方面的优势[42]。值得注意的是, 由于缺乏使用食管多普勒监测的经验, 观察者之间的差异是使用这些系统的限制因素[43] [44]。

3.3.2. 经食管超声心动图

在目前的临床实践中, 经食道超声心动图估算的左心室舒张末期直径是评估前负荷的首选超声心动图参数。左心室舒张末期直径测量简单, 且能可靠反映心室负荷状态, 因此成为术中尤其是心脏手术中最常用的参数。左心室舒张末期直径通常在经腹中轴短轴切面上测量。研究表明, 经食道超声心动图测量的左心室舒张末期直径与影像学方法测量的心室容积有很好的相关性。与 PAC 测量的参数相比, 超声心动图确定的容积能提供更详细的容积状态信息。在临床常规检查中, 这一参数大多是“目测”的。有几项研究将舒张末期面积作为心脏前负荷的指标与传统的监测程序进行了比较。研究表明, 左心室舒张末期直径是检测液体治疗后前负荷变化的灵敏方法[45]。此外, 胸内血容量和左心室舒张末期直径被证明是等效的心脏前负荷指标[46]。此外, 在评估心脏手术患者输液后对液体的反应性时, 左心室舒张末期直径优于中心静脉压或肺动脉闭塞压等血流动力学参数[47]。此外, 还可以通过经食道超声心动图测量机械通气患者的上腔静脉塌陷指数。

4. 结论

由于接受手术的高危患者人数增加, 麻醉医生在围术期面临的监测和液体管理挑战也随之增加, 目标导向液体疗法的益处也变得更加明显。血液动力学监测技术的进步鼓励麻醉医生对这类患者进行广泛的监测。同时, 无创监测设备的进一步发展将有助于为更多患者定制目标导向液体疗法, 从而在围术期提供标准化的液体疗法。然而, 目前仍缺乏随机对照研究来比较不同的液体管理概念。还需要进行更多试验, 以研究低风险患者的获益以及围术期标准化输液管理的长期效果。

参考文献

- [1] Moghadamyeghaneh, Z., Phelan, M.J., Carmichael, J.C., Mills, S.D., Pigazzi, A., Nguyen, N.T., *et al.* (2014) Preoperative Dehydration Increases Risk of Postoperative Acute Renal Failure in Colon and Rectal Surgery. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, **18**, 2178-2185. <https://doi.org/10.1007/s11605-014-2661-7>
- [2] Zanetti, M., De Colle, P., Omiciuolo, C., Ratti, C., Gortan Cappellari, G., Barazzoni, R., *et al.* (2022) Postoperative Dehydration Is Associated with Frailty and Decreased Survival in Older Patients with Hip Fracture. *Nutrients*, **14**, Article

820. <https://doi.org/10.3390/nu14040820>
- [3] Myles, P.S., Bellomo, R., Corcoran, T., Forbes, A., Peyton, P., Story, D., *et al.* (2018) Restrictive versus Liberal Fluid Therapy for Major Abdominal Surgery. *New England Journal of Medicine*, **378**, 2263-2274. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1801601>
- [4] Arieff, A.I. (1999) Fatal Postoperative Pulmonary Edema. *Chest*, **115**, 1371-1377. <https://doi.org/10.1378/chest.115.5.1371>
- [5] Blank, R.S., Hucklenbruch, C., Gurka, K.K., Scalzo, D.C., Wang, X., Jones, D.R., *et al.* (2011) Intraoperative Factors and the Risk of Respiratory Complications after Pneumonectomy. *The Annals of Thoracic Surgery*, **92**, 1188-1194. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.06.022>
- [6] Kang, D. and Yoo, K.Y. (2019) Fluid Management in Perioperative and Critically Ill Patients. *Acute and Critical Care*, **34**, 235-245. <https://doi.org/10.4266/acc.2019.00717>
- [7] Asrani, V.M., Brown, A., Bissett, I. and Windsor, J.A. (2020) Impact of Intravenous Fluids and Enteral Nutrition on the Severity of Gastrointestinal Dysfunction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Critical Care Medicine*, **6**, 5-24. <https://doi.org/10.2478/jccm-2020-0009>
- [8] Coyle, J., Teplick, R., Long, M. and Davison, J. (1983) Respiratory Variations in Systemic Arterial Pressure as an Indicator of Volume Status. *Anesthesiology*, **59**, A53.
- [9] Yang, X. and Du, B. (2014) Does Pulse Pressure Variation Predict Fluid Responsiveness in Critically Ill Patients? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Critical Care*, **18**, Article No. 650. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0650-6>
- [10] Piccioni, F., Bernasconi, F., Tramontano, G.T.A. and Langer, M. (2016) A Systematic Review of Pulse Pressure Variation and Stroke Volume Variation to Predict Fluid Responsiveness during Cardiac and Thoracic Surgery. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **31**, 677-684. <https://doi.org/10.1007/s10877-016-9898-5>
- [11] Monnet, X., Marik, P.E. and Teboul, J. (2016) Prediction of Fluid Responsiveness: An Update. *Annals of Intensive Care*, **6**, Article No. 111. <https://doi.org/10.1186/s13613-016-0216-7>
- [12] Maguire, S., Rinehart, J., Vakharia, S. and Cannesson, M. (2011) Respiratory Variation in Pulse Pressure and Plethysmographic Waveforms. *Anesthesia & Analgesia*, **112**, 94-96. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e318200366b>
- [13] Myatra, S.N., Monnet, X. and Teboul, J. (2017) Use of 'Tidal Volume Challenge' to Improve the Reliability of Pulse Pressure Variation. *Critical Care*, **21**, Article No. 60. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1637-x>
- [14] Monnet, X., Bleibtreu, A., Ferré, A., Dres, M., Gharbi, R., Richard, C., *et al.* (2012) Passive Leg-Raising and End-Expiratory Occlusion Tests Perform Better than Pulse Pressure Variation in Patients with Low Respiratory System Compliance. *Critical Care Medicine*, **40**, 152-157. <https://doi.org/10.1097/ccm.0b013e31822f08d7>
- [15] Zimmermann, M., Feibicke, T., Keyl, C., Prasser, C., Moritz, S., Graf, B.M., *et al.* (2010) Accuracy of Stroke Volume Variation Compared with Pleth Variability Index to Predict Fluid Responsiveness in Mechanically Ventilated Patients Undergoing Major Surgery. *European Journal of Anaesthesiology*, **27**, 555-561. <https://doi.org/10.1097/eja.0b013e328335fbd1>
- [16] Bahlmann, H., Hahn, R.G. and Nilsson, L. (2018) Pleth Variability Index or Stroke Volume Optimization during Open Abdominal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *BMC Anesthesiology*, **18**, Article No. 115. <https://doi.org/10.1186/s12871-018-0579-4>
- [17] Kim, D., Shin, S., Kim, J.Y., Kim, S.H., Jo, M. and Choi, Y.S. (2018) Pulse Pressure Variation and Pleth Variability Index as Predictors of Fluid Responsiveness in Patients Undergoing Spinal Surgery in the Prone Position. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, **14**, 1175-1183. <https://doi.org/10.2147/tcrm.s170395>
- [18] Forget, P., Lois, F. and de Kock, M. (2010) Goal-Directed Fluid Management Based on the Pulse Oximeter-Derived Pleth Variability Index Reduces Lactate Levels and Improves Fluid Management. *Anesthesia & Analgesia*, **111**, 910-914. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e3181eb624f>
- [19] Demirel, İ., Bolat, E., Altun, A.Y., Özdemir, M. and Beştaş, A. (2017) Efficacy of Goal-Directed Fluid Therapy via Pleth Variability Index during Laparoscopic Roux-En-Y Gastric Bypass Surgery in Morbidly Obese Patients. *Obesity Surgery*, **28**, 358-363. <https://doi.org/10.1007/s11695-017-2840-1>
- [20] Drummond, K.E. and Murphy, E. (2012) Minimally Invasive Cardiac Output Monitors. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain*, **12**, 5-10. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkr044>
- [21] Ramsingh, D.S., Sanghvi, C., Gamboa, J., Cannesson, M. and Applegate, R.L. (2012) Outcome Impact of Goal Directed Fluid Therapy during High Risk Abdominal Surgery in Low to Moderate Risk Patients: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **27**, 249-257. <https://doi.org/10.1007/s10877-012-9422-5>
- [22] Negrini, D., Graaf, J., Ihsan, M., Gabriela Correia, A., Freitas, K., Bravo, J.A., *et al.* (2022) The Clinical Impact of the Systolic Volume Variation Guided Intraoperative Fluid Administration Regimen on Surgical Outcomes after Pancreaticoduodenectomy: A Retrospective Cohort Study. *Brazilian Journal of Anesthesiology*, **72**, 729-735.

- <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2022.06.008>
- [23] Lee, K., Yoo, Y., Cho, J., Lee, W., Kim, J. and Kim, M. (2021) The Effect of Intraoperative Fluid Management According to Stroke Volume Variation on Postoperative Bowel Function Recovery in Colorectal Cancer Surgery. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article 1857. <https://doi.org/10.3390/jcm10091857>
- [24] Benes, J., Chytra, I., Altmann, P., Hluchy, M., Kasal, E., Svitak, R., *et al.* (2010) Intraoperative Fluid Optimization Using Stroke Volume Variation in High Risk Surgical Patients: Results of Prospective Randomized Study. *Critical Care*, **14**, R118. <https://doi.org/10.1186/cc9070>
- [25] Wu, C.Y., Lin, Y.S., Tseng, H.M., Cheng, H.L., Lee, T.S., Lin, P.L., *et al.* (2017) Comparison of Two Stroke Volume Variation-Based Goal-Directed Fluid Therapies for Supratentorial Brain Tumour Resection: A Randomized Controlled Trial. *British Journal of Anaesthesia*, **119**, 934-942. <https://doi.org/10.1093/bja/aex189>
- [26] 乔晖, 张军, 梁伟民. 收缩压变异度和脉压变异度预测神经外科手术患者容量反应性的准确性[J]. 中华麻醉学杂志, 2013, 33(3): 382-383.
- [27] Feissel, M., Michard, F., Mangin, I., Ruyet, O., Faller, J. and Teboul, J. (2001) Respiratory Changes in Aortic Blood Velocity as an Indicator of Fluid Responsiveness in Ventilated Patients with Septic Shock. *Chest*, **119**, 867-873. <https://doi.org/10.1378/chest.119.3.867>
- [28] Desgranges, F., Desebbe, O., Pereira de Souza Neto, E., Raphael, D. and Chassard, D. (2015) Respiratory Variation in Aortic Blood Flow Peak Velocity to Predict Fluid Responsiveness in Mechanically Ventilated Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pediatric Anesthesia*, **26**, 37-47. <https://doi.org/10.1111/pan.12803>
- [29] Hamilton, M.A., Cecconi, M. and Rhodes, A. (2011) A Systematic Review and Meta-Analysis on the Use of Preemptive Hemodynamic Intervention to Improve Postoperative Outcomes in Moderate and High-Risk Surgical Patients. *Anesthesia & Analgesia*, **112**, 1392-1402. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e3181eeaae5>
- [30] Sakka, S.G., Bredle, D.L., Reinhart, K. and Meier-Hellmann, A. (1999) Comparison between Intrathoracic Blood Volume and Cardiac Filling Pressures in the Early Phase of Hemodynamic Instability of Patients with Sepsis or Septic Shock. *Journal of Critical Care*, **14**, 78-83. [https://doi.org/10.1016/s0883-9441\(99\)90018-7](https://doi.org/10.1016/s0883-9441(99)90018-7)
- [31] Goedje, O., Seebauer, T., Peyerl, M., Pfeiffer, U.J. and Reichart, B. (2000) Hemodynamic Monitoring by Double-Indicator Dilution Technique in Patients after Orthotopic Heart Transplantation. *Chest*, **118**, 775-781. <https://doi.org/10.1378/chest.118.3.775>
- [32] Button, D., Weibel, L., Reuthebuch, O., Genoni, M., Zollinger, A. and Hofer, C.K. (2007) Clinical Evaluation of the FloTrac/Vigileo System and Two Established Continuous Cardiac Output Monitoring Devices in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *British Journal of Anaesthesia*, **99**, 329-336. <https://doi.org/10.1093/bja/aem188>
- [33] Sander, M., von Heymann, C., Foer, A., von Dossow, V., Grosse, J., Dushe, S., *et al.* (2005) Pulse Contour Analysis after Normothermic Cardiopulmonary Bypass in Cardiac Surgery Patients. *Critical Care*, **9**, R729. <https://doi.org/10.1186/cc3903>
- [34] Sander, M., Spies, C.D., Grubitzsch, H., Foer, A., Müller, M. and von Heymann, C. (2006) Comparison of Uncalibrated Arterial Waveform Analysis in Cardiac Surgery Patients with Thermodilution Cardiac Output Measurements. *Critical Care*, **10**, R164. <https://doi.org/10.1186/cc5103>
- [35] Østergaard, M., Nielsen, J. and Nygaard, E. (2009) Pulse Contour Cardiac Output: An Evaluation of the FloTrac Method. *European Journal of Anaesthesiology*, **26**, 484-489. <https://doi.org/10.1097/eja.0b013e3181f343f>
- [36] Hofer, C.K., Senn, A., Weibel, L. and Zollinger, A. (2008) Assessment of Stroke Volume Variation for Prediction of Fluid Responsiveness Using the Modified FloTrac™ and PiCCOplus™ System. *Critical Care*, **12**, R82. <https://doi.org/10.1186/cc6933>
- [37] Woltjer, H.H., Bogaard, H.J. and de Vries, P.M.J.M. (1997) The Technique of Impedance Cardiography. *European Heart Journal*, **18**, 1396-1403. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015464>
- [38] Perrino, A.C., Lippman, A., Ariyan, C., O'Connor, T.Z. and Luther, M. (1994) Intraoperative Cardiac Output Monitoring: Comparison of Impedance Cardiography and Thermodilution. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **8**, 24-29. [https://doi.org/10.1016/1053-0770\(94\)90007-8](https://doi.org/10.1016/1053-0770(94)90007-8)
- [39] Sander, M., Spies, C.D., Foer, A., Weymann, L., Braun, J., Volk, T., *et al.* (2007) Agreement of Central Venous Saturation and Mixed Venous Saturation in Cardiac Surgery Patients. *Intensive Care Medicine*, **33**, 1719-1725. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0684-1>
- [40] Pennekamp, C.W.A., Bots, M.L., Kappelle, L.J., Moll, F.L. and de Borst, G.J. (2009) The Value of Near-Infrared Spectroscopy Measured Cerebral Oximetry during Carotid Endarterectomy in Perioperative Stroke Prevention. A Review. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **38**, 539-545. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2009.07.008>
- [41] Taillefer, M.-C. and Denault, A.Y. (2005) Cerebral Near-Infrared Spectroscopy in Adult Heart Surgery: Systematic Review of Its Clinical Efficacy. *Canadian Journal of Anesthesia*, **52**, 79-87. <https://doi.org/10.1007/bf03018586>

- [42] Walsh, S.R., Tang, T., Bass, S. and Gaunt, M.E. (2007) Doppler-Guided Intra-Operative Fluid Management during Major Abdominal Surgery: Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Clinical Practice*, **62**, 466-470. <https://doi.org/10.1111/j.1742-1241.2007.01516.x>
- [43] Roeck, M., Jakob, S.M., Boehlen, T., Brander, L., Knuesel, R. and Takala, J. (2003) Change in Stroke Volume in Response to Fluid Challenge: Assessment Using Esophageal Doppler. *Intensive Care Medicine*, **29**, 1729-1735. <https://doi.org/10.1007/s00134-003-1720-4>
- [44] Lefrant, J.Y., Bruelle, P., Aya, A.G.M., Saïssi, G., Dauzat, M., de La Coussaye, J.E., *et al.* (1998) Training Is Required to Improve the Reliability of Esophageal Doppler to Measure Cardiac Output in Critically Ill Patients. *Intensive Care Medicine*, **24**, 347-352. <https://doi.org/10.1007/s001340050578>
- [45] Tousignant, C.P., Walsh, F. and Mazer, C.D. (2000) The Use of Transesophageal Echocardiography for Preload Assessment in Critically Ill Patients. *Anesthesia & Analgesia*, **90**, 351-355. <https://doi.org/10.1213/00000539-200002000-00021>
- [46] Buhre, W., Buhre, K., Kazmaier, S., Sonntag, H. and Weyland, A. (2001) Assessment of Cardiac Preload by Indicator Dilution and Transoesophageal Echocardiography. *European Journal of Anaesthesiology*, **18**, 662-667. <https://doi.org/10.1097/00003643-200110000-00004>
- [47] Wiesenack, C., Fiegl, C., Keyser, A., Prasser, C. and Keyl, C. (2005) Assessment of Fluid Responsiveness in Mechanically Ventilated Cardiac Surgical Patients. *European Journal of Anaesthesiology*, **22**, 658-665. <https://doi.org/10.1017/s0265021505001092>