

Оценка ответа на инфузионную нагрузку: роль вариабельности ударного объема и пульсового давления

Зокирджон Бурханович Урунов
Ташкентский государственный медицинский университет

Аннотация: Актуальность темы: Инфузионная терапия остается одним из ключевых компонентов ведения пациентов в отделениях интенсивной терапии, особенно при шоке и острой циркуляторной недостаточности. При этом как недостаточная, так и избыточная инфузия ассоциированы с неблагоприятными исходами: гиповолемия поддерживает тканевую гипоперфузию, тогда как перегрузка жидкостью способствует развитию интерстициального отека, ухудшению оксигенации и повышению летальности. В этой связи точная и своевременная оценка ответа на инфузионную нагрузку (fluid responsiveness) приобретает критическое значение для индивидуализации терапии. Традиционно используемые статические показатели преднагрузки (центральное венозное давление, давление заклинивания в легочной артерии) продемонстрировали ограниченную прогностическую ценность в определении эффекта инфузии, поскольку не отражают функционального резерва сердечно-сосудистой системы. Это обусловило переход к использованию динамических показателей, основанных на кардиореспираторных взаимодействиях, таких как вариабельность ударного объема (SVV) и пульсового давления (PPV), которые в ряде исследований показали более высокую чувствительность и специфичность в прогнозировании флюид-респонсивности. Несмотря на широкое внедрение SVV и PPV в клиническую практику, их применение сопряжено с рядом ограничений, включая зависимость от параметров искусственной вентиляции легких, ритма сердца и спонтанного дыхания. Кроме того, остается недостаточно изученным вопрос о том, в какой степени использование этих показателей в реальном времени влияет на клинические исходы, включая длительность пребывания в ОИТ, частоту органной дисфункции и летальность. Таким образом, дальнейшее исследование роли вариабельности ударного объема и пульсового давления в оценке ответа на инфузионную нагрузку, а также их сопоставление с клиническими и перфузионными показателями, является актуальной задачей современной интенсивной терапии и критической медицины.

Ключевые слова: инфузионная терапия, флюид-респонсивность, вариабельность ударного объема (SVV), вариабельность пульсового давления (PPV), динамические показатели преднагрузки, гемодинамический мониторинг,

критические состояния, шок, интенсивная терапия, искусственная вентиляция легких, тканевая перфузия, сердечный выброс

Assessing Fluid Response: The Role of Stroke Volume and Pulse Pressure Variability

Zokirjon Burkhanovich Urunov
Tashkent State Medical University

Abstract: Background: Fluid therapy remains a key component of patient care in intensive care units, particularly in shock and acute circulatory failure. Both under- and over-fluidization are associated with adverse outcomes: hypovolemia maintains tissue hypoperfusion, while fluid overload contributes to the development of interstitial edema, impaired oxygenation, and increased mortality. Therefore, accurate and timely assessment of fluid responsiveness is critical for individualizing therapy. Traditionally used static preload parameters (central venous pressure, pulmonary artery wedge pressure) have demonstrated limited predictive value in determining the infusion response because they do not reflect the functional reserve of the cardiovascular system. This has led to a shift toward dynamic parameters based on cardiorespiratory interactions, such as stroke volume variability (SVV) and pulse pressure variability (PPV), which have been shown in several studies to be more sensitive and specific in predicting fluid responsiveness. Despite the widespread adoption of SVV and PPV in clinical practice, their use is associated with several limitations, including dependence on mechanical ventilation parameters, heart rate, and spontaneous breathing. Furthermore, the extent to which the use of these real-time parameters influences clinical outcomes, including ICU length of stay, the incidence of organ dysfunction, and mortality, remains poorly understood. Thus, further study of the role of stroke volume and pulse pressure variability in assessing the response to fluid loading, as well as their comparison with clinical and perfusion parameters, is a pressing issue in modern intensive care and critical care medicine.

Keywords: infusion therapy, fluid responsiveness, stroke volume variability (SVV), pulse pressure variability (PPV), dynamic preload parameters, hemodynamic monitoring, critical conditions, shock, intensive care, mechanical ventilation, tissue perfusion, cardiac output

Введение: Оптимизация инфузионной терапии является одной из центральных задач интенсивной терапии, поскольку адекватное восстановление внутрисосудистого объема напрямую влияет на тканевую перфузию и

клинические исходы у пациентов в критических состояниях. В условиях шока и острой циркуляторной недостаточности своевременная коррекция гиповолемии способствует предотвращению прогрессирования органной дисфункции, тогда как избыточное введение жидкости ассоциируется с развитием отека тканей, нарушением газообмена и увеличением летальности. Это определяет необходимость точной оценки индивидуального ответа пациента на инфузионную нагрузку.

В клинической практике долгое время использовались статические показатели преднагрузки, такие как центральное венозное давление и давление заклинивания легочной артерии. Однако накопленные данные свидетельствуют о их низкой прогностической ценности в отношении флюид-респонсивности, что связано с неспособностью отражать функциональные резервы сердечно-сосудистой системы и сложные взаимодействия между сердцем и легкими.

В связи с этим особое внимание уделяется динамическим показателям, основанным на вариациях гемодинамических параметров в ответ на дыхательный цикл, прежде всего вариабельности ударного объема (SVV) и пульсового давления (PPV). Эти показатели позволяют оценить зависимость сердечного выброса от преднагрузки и, соответственно, вероятность увеличения сердечного выброса в ответ на инфузию. В ряде исследований показано, что SVV и PPV обладают более высокой диагностической точностью по сравнению со статическими параметрами, особенно у пациентов, находящихся на контролируемой искусственной вентиляции легких.

Тем не менее применение динамических индексов в реальной клинической практике ограничено рядом факторов, включая наличие аритмий, спонтанного дыхания, низкие дыхательные объемы и изменения комплаенса грудной клетки. Кроме того, остается дискуссионным вопрос о влиянии использования данных показателей на клинические исходы и их взаимосвязи с маркерами тканевой перфузии.

В этой связи целью настоящего исследования является оценка роли вариабельности ударного объема и пульсового давления в прогнозировании ответа на инфузионную нагрузку у пациентов в отделении интенсивной терапии, а также анализ их взаимосвязи с показателями системной гемодинамики и тканевой перфузии.

Материалы и методы исследования

Дизайн исследования: проведено проспективное наблюдательное исследование в отделении интенсивной терапии многопрофильного стационара. В исследование включались пациенты с признаками острой циркуляторной недостаточности, требующие проведения инфузионной терапии с целью оптимизации гемодинамики.

Критерии включения: возраст ≥ 18 лет; наличие клинических признаков гипоперфузии (артериальная гипотензия, олигурия, повышение уровня лактата); необходимость проведения инфузионной нагрузки по решению лечащего врача; проведение инвазивного гемодинамического мониторинга.

Критерии исключения: нарушения ритма сердца (фибриляция предсердий и другие значимые аритмии); спонтанное дыхание; низкий дыхательный объем (< 6 мл/кг идеальной массы тела); выраженная правожелудочковая недостаточность; беременность.

Все пациенты находились на контролируемой искусственной вентиляции легких с постоянными параметрами дыхания (дыхательный объем 6-8 мл/кг, отсутствие спонтанных дыхательных усилий). Гемодинамический мониторинг осуществлялся с использованием инвазивного артериального катетера и мониторинговых систем, позволяющих оценивать вариабельность пульсового давления (PPV) и ударного объема (SVV), а также сердечный выброс.

Инфузионная нагрузка проводилась в виде болюсного введения кристаллоидного раствора в объеме 250-500 мл в течение 10-15 минут. Измерения гемодинамических параметров выполнялись до инфузии и сразу после ее завершения. Дополнительно регистрировались показатели средней артериальной давления (МАР), частоты сердечных сокращений, уровня лактата и диуреза.

Пациенты классифицировались как «респондеры» при увеличении ударного объема или сердечного выброса $\geq 10-15\%$ после инфузионной нагрузки. В остальных случаях пациенты относились к группе «нереспондеров».

Статистический анализ включал оценку распределения данных, сравнение групп с использованием параметрических и непараметрических методов, а также построение ROC-кривых для определения диагностической точности SVV и PPV в прогнозировании флюид-респонсивности. Значения $p < 0,05$ считались статистически значимыми.

Исследование проводилось в соответствии с этическими принципами, все пациенты или их законные представители предоставили информированное согласие на участие.

Результаты

В исследование было включено 82 пациента, соответствующих критериям включения. По результатам инфузионной нагрузки 46 (56%) пациентов были отнесены к группе респондеров, тогда как 36 (44%) - к нереспондерам.

Исходные значения вариабельности ударного объема (SVV) и пульсового давления (PPV) были статистически значимо выше в группе респондеров по сравнению с нереспондерами. Медиана SVV в группе респондеров составила 14% (IQR 12-18%) против 8% (IQR 6-10%) в группе нереспондеров ($p < 0,001$).

Аналогично, PPV составила 15% (IQR 13-19%) у респондеров и 9% (IQR 7-11%) у нереспондеров ($p < 0,001$).

Таблица 1.

Характеристика пациентов

Показатель	Респондеры (n=46)	Нереспондеры (n=36)	p
Возраст, лет	62 (54-70)	64 (56-72)	0,41
Пол (м/ж)	28/18	20/16	0,83
МАР, мм рт. ст.	68 (65-72)	70 (66-74)	0,18
ЧСС, уд/мин	96 (88-104)	92 (85-101)	0,22
Лактат, ммоль/л	3,1 (2,4-4,2)	2,8 (2,1-3,9)	0,27

После проведения инфузионной нагрузки у респондеров отмечено значимое увеличение ударного объема (на 18% [15-24%], $p < 0,001$) и сердечного выброса (на 16% [12-21%], $p < 0,001$), тогда как в группе нереспондеров изменения были незначимыми. При этом существенных различий в динамике средней артериального давления между группами выявлено не было.

ROC-анализ показал высокую диагностическую точность динамических показателей преднагрузки. Площадь под кривой (AUC) для SVV составила 0,87 (95% ДИ 0,79-0,94), для PPV - 0,85 (95% ДИ 0,77-0,93). Оптимальные пороговые значения составили $\geq 12\%$ для SVV (чувствительность 82%, специфичность 78%) и $\geq 13\%$ для PPV (чувствительность 80%, специфичность 75%).

Таблица 2.

Исходные гемодинамические параметры

Показатель	Респондеры	Нереспондеры	p
SVV, %	14 (12-18)	8 (6-10)	<0,001
PPV, %	15 (13-19)	9 (7-11)	<0,001
Сердечный выброс, л/мин	4,2 (3,6-4,9)	4,4 (3,8-5,0)	0,35
ЦВД, мм рт. ст.	8 (6-10)	9 (7-11)	0,29

Таблица 3.

Динамика показателей после инфузии

Показатель	Респондеры	Нереспондеры	p
Δ УО, %	+18 (15-24)	+4 (2-6)	<0,001
Δ СВ, %	+16 (12-21)	+3 (1-5)	<0,001
Δ МАР, мм рт. ст.	+6 (3-9)	+3 (1-5)	0,07
Δ Лактат, ммоль/л	-0,8 (-1,2 - -0,4)	-0,2 (-0,5 - 0)	0,01

Анализ корреляции выявил умеренную положительную связь между исходными значениями SVV и изменением уровня лактата после инфузии ($r=0,42$; $p=0,003$), что указывает на связь между макрогемодинамическим ответом и улучшением тканевой перфузии. В то же время исходные значения центрального венозного давления не продемонстрировали значимой прогностической ценности в отношении ответа на инфузионную нагрузку.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высокую информативность вариабельности ударного объема и пульсового давления как предикторов флюид-респонсивности у пациентов в условиях контролируемой ИВЛ.

ROC-кривые SVV и PPV для прогнозирования флюид-респонсивности

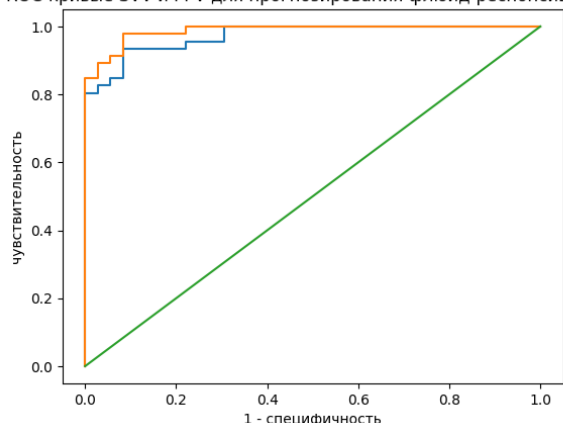


Рисунок 1. ROC-кривые вариабельности ударного объема (SVV) и пульсового давления (PPV) в прогнозировании флюид-респонсивности

Сравнение SVV и PPV в группах

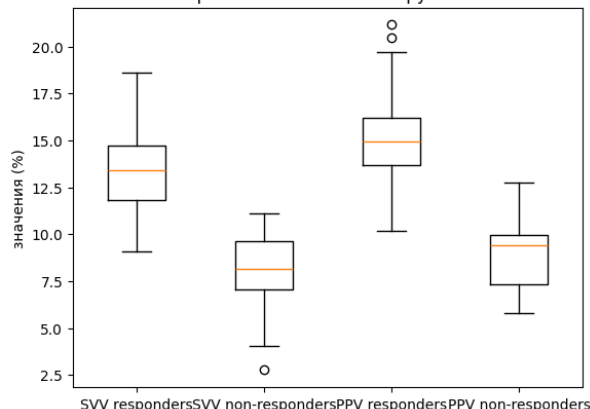


Рисунок 2. Сравнение значений SVV и PPV у респондеров и нереспондеров

На рисунке 1 представлены ROC-кривые для SVV и PPV, отражающие их диагностическую ценность в прогнозировании ответа на инфузионную нагрузку у пациентов в критическом состоянии. Оба показателя продемонстрировали высокую прогностическую точность. Площадь под кривой (AUC) для SVV составила 0,87, для PPV - 0,85, что свидетельствует о сопоставимой и высокой эффективности методов. Полученные данные подтверждают клиническую значимость динамических показателей преднагрузки в оценке флюид-респонсивности.

На рисунке 2 представлено распределение значений SVV и PPV в группах респондеров и нереспондеров на инфузионную нагрузку. У пациентов, отнесенных к группе респондеров, отмечены статистически значимо более высокие значения как SVV, так и PPV по сравнению с нереспондерами ($p < 0,001$ для обоих показателей). Полученные различия подтверждают ассоциацию повышенных динамических индексов преднагрузки с положительным гемодинамическим ответом на инфузионную терапию.

Выводы

1. Динамические показатели преднагрузки, включая вариабельность ударного объема (SVV) и пульсового давления (PPV), обладают высокой диагностической ценностью в прогнозировании флюид-респонсивности у пациентов в критических состояниях, находящихся на контролируемой искусственной вентиляции легких.

2. Исходные значения SVV и PPV достоверно выше у пациентов, демонстрирующих значимое увеличение сердечного выброса после инфузионной нагрузки, что подтверждает их функциональную значимость в оценке зависимости сердечного выброса от преднагрузки.

3. Диагностическая точность SVV и PPV сопоставима, при этом оба показателя демонстрируют высокие значения площади под ROC-кривой, что подтверждает их применимость в клинической практике интенсивной терапии.

4. Использование статических показателей преднагрузки (например, центрального венозного давления) не позволяет достоверно прогнозировать ответ на инфузионную нагрузку и уступает динамическим индексам по информативности.

5. Применение динамических параметров преднагрузки может способствовать более точной индивидуализации инфузионной терапии, снижая риск как гипо-, так и гиперволемии у пациентов отделений интенсивной терапии.

6. Необходимы дальнейшие исследования для оценки влияния стратегии инфузионной терапии, основанной на SVV и PPV, на клинические исходы, включая органную дисфункцию.

Использованная литература

1. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. *Intensive Care Med.* 2014;40(12):1795–1815.

2. Monnet X, Teboul JL. Assessment of volume responsiveness during mechanical ventilation: recent advances. *Crit Care.* 2013;17(2):217.

3. Michard F, Boussat S, Chemla D, et al. Relation between respiratory changes in arterial pulse pressure and fluid responsiveness in septic patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;162(1):134–138.

4. Marik PE, Monnet X, Teboul JL. Hemodynamic parameters to guide fluid therapy. *Ann Intensive Care.* 2011;1:1.

5. Teboul JL, Monnet X. Prediction of fluid responsiveness in critically ill patients. *Crit Care.* 2007;11(4):201.

6. Saugel B, Cecconi M, Wagner JY, Reuter DA. Noninvasive continuous haemodynamic monitoring in anaesthesia and intensive care medicine. *Br J Anaesth.* 2015;114(4):562–574.

7. Pinsky MR. Functional hemodynamic monitoring. *Crit Care Clin.* 2015;31(1):1–12.