



Белецкий А.В.

СРАВНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА ПРИ РАЗНЫХ МЕТОДАХ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*КУОЗ «Харьковская городская клиническая больница скорой
и неотложной медицинской помощи имени профессора
А.И.Мещанинова»*

В статье рассматриваются физические основы определения показателей центральной, периферической гемодинамики и насыщения крови кислородом с помощью фотоплетизмографии.

Проведено сравнительное исследование показателей сердечного выброса и объемного капиллярного периферического кровотока у 34 пострадавших с политравмой. Цель исследования заключалась в рассмотрении возможностей современных фотоплетизмометрических технологий для оценки состояния периферической и центральной гемодинамики путем сопоставления их результатов с результатами эхосонаографического изучения центральной гемодинамики. Показатели центральной гемодинамики у обследуемых пациентов определяли с помощью фотоплетизмографической технологии Nihon Kohden, а также с помощью трансторакальной эхосонаографии. Оценку состояния объемного периферического капиллярного кровотока проводили с помощью фотоплетизмометрической технологии Masimo Rainbow.

Обнаружено снижение показателей сердечного выброса и периферического капиллярного кровотока по мере увеличения тяжести шока. Успешные противошоковые мероприятия, обеспечивающие рост сердечного выброса и артериального сосудистого тонуса, были ассоциированы с возрастанием объемного капиллярного кровотока. При сравнении результатов фотоплетизмографической и ультразвуковой технологий оценки гемодинамики получены совпадающие по величине показатели сердечного выброса с коэффициентом линейной корреляции Пирсона 0,983. Фотоплетизмографический мониторинг точно отражал клиническую картину течения шока и эффективность мероприятий интенсивной терапии.

Ключевые слова: фотоплетизмография, сердечный выброс, периферический капиллярный кровоток, политравма.

ВВЕДЕНИЕ

Гемодинамический мониторинг широко внедряется в практику анестезиологии и интенсивной терапии [1, 3, 8]. Помимо показателей артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений и пульса, характеристик ЭКГ и показателей венотензометрии, в настоящее время всё шире используют фотоплетизмометрическую технику, диагностические возможности которой быстро прогрессируют. Вслед за непрерывным наблюдением за величиной перфузионного индекса (ПИ), отражающего

состояние объемного кровоснабжения периферических капилляров, фотоплетизмометрические технологии предоставили клиницистам возможность быстрой оценки и мониторинга сердечного выброса, включая показатели ударного объема сердца (УОС), ударного индекса, сердечного индекса и минутного объема кровообращения [2, 3, 7]. Новый принцип определения УОС с последующим расчетом других показателей центральной гемодинамики основан на измерении колебаний кровенаполнения периферических тканей при прохождении пульсовой волны с учетом

констатации времени распространения пульсовой волны от сердца до периферического фотоплетизмометрического пульсоксиметрического датчика [3, 5, 6].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотреть возможности современных фотоплетизмометрических технологий для оценки состояния периферической и центральной гемодинамики и сопоставить их с распространенными эхосонографическими методами изучения гемодинамики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовали пациентов отделения политравмы, оперированных в ургентном порядке по поводу травматических повреждений, осложненных шоком. Перфузионный индекс (ПИ), насыщение капиллярной крови кислородом (SpO_2), частоту периферического пульса определяли фотоплетизмометрическим методом при помощи аппарата Masimo Rainbow Rad-57 (США). Показатели производительности сердца (УОС, ударный индекс, сердечный индекс, минутный объем кровообращения) определяли и отслеживали фотоплетизмографически вместе с показателями неинвазивной артериотензометрии, пульсоксиметра и ЭКГ при помощи установки Life Score PVM-2701, Nihon Kohden (Япония).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фотоплетизмография (ФП) представляет метод непрерывной графической регистрации изменений объема, отражающих динамику кровенаполнения сосудов исследуемых органов, части тела человека или животного, основанный на измерении оптической плотности. В методике ФП в зависимости от поставленной задачи участок ткани просвечивается светом с определенной длиной волны. В пульсоксиметрии используется красное и инфракрасное излучение. Эффект основан на разном поглощении красного и инфракрасного света окисленным и восстановленным гемоглобином (рис. 1) [2, 7].

Пульсоксиметр включает как минимум два фотодиода. Один из диодов (световой

эмиттер) испускает луч света с определенной длиной волны, другой фотодиод (фотодетектор) принимает его. Полученные данные преобразуются в цифровые значения. Свет попадает на фотодетектор после рассеивания (или отражения). Фотодетектор преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд. Интенсивность света, отраженного или рассеянного исследуемым участком ткани, пропорциональна толщине слоя поглощающего вещества. В зависимости от состояния объемного периферического кровотока поглощение света, а следовательно, и величина электрического заряда будут подвергаться изменениям. Сужение и расширение сосуда под действием артериальной пульсации кровотока вызывают соответствующее изменение амплитуды сигнала, получаемого с выхода фотодетектора [2].

Свет, который поглощается и рассеивается, проходя через ткани и кровь, может быть разделен на две составляющие. Постоянная составляющая (DC) образуется вследствие абсорбции света кожей и другими тканями, а также не пульсирующим объемом крови. Переменная составляющая (AC) отражает абсорбцию света пульсирующим потоком крови, то есть артериальной кровью. Для повышения точности определения сатурации методом пульсовой оксиметрии используется нормирование сигналов поглощения света, для чего измеряется постоянная составляющая в моменты диастолы, и находится отношение амплитуд пульсирующей и постоянной составляющих: $Анорм. = AC/DC$. Эта процедура выполняется для каждой длины волны излучения. Нормированная величина поглощения не зависит от интенсивности излучения светодиодов, а определяется только оптическими свойствами живой ткани. Таким образом, ПИ представляет соотношение переменной и постоянной составляющих световой адсорбции, выраженное в процентах: $ПИ = AC/DC \cdot 100\%$. Современные технологии позволяют регистрировать величину ПИ в диапазоне 0,02-20,0% [1, 2, 7].

В зависимости от интенсивности объемного периферического кровотока, заполнения сосудистого русла жидкостью, количества функционирующих капилляров

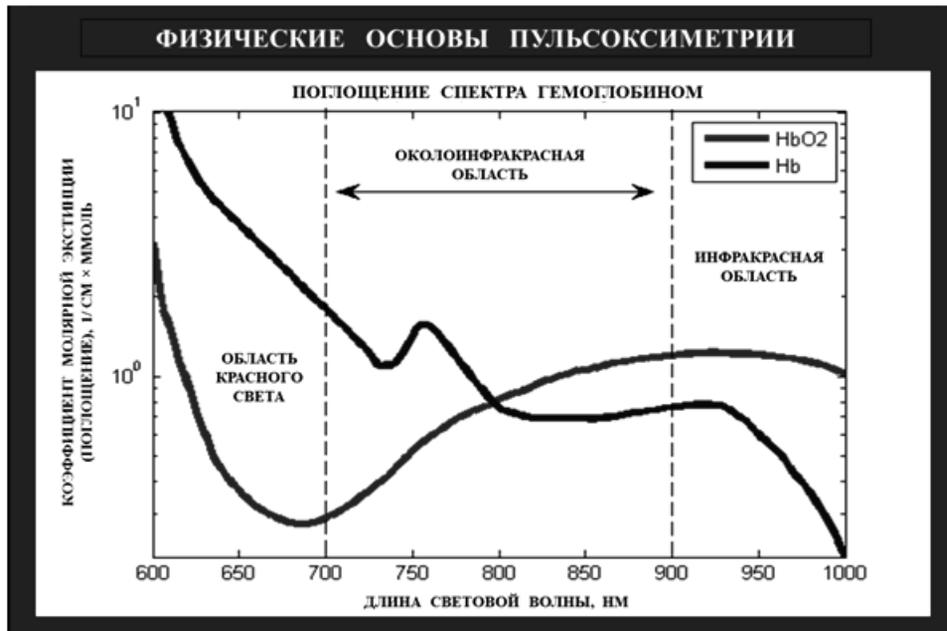


Рис. 1. Разница в поглощении красного и инфракрасного излучения восстановленным и окисленным гемоглобином.

будет регистрироваться та или иная величина ПИ (рис. 2):

Нормальная величина ПИ находится в пределах 4-5%. Значения ПИ, превышающие 5%, расцениваются как избыточная перфузия. Чем ниже величина ПИ, тем меньше объемный периферический кровоток. Снижение ПИ регистрируют при развитии периферической сосудистой вазоконстрикции, артериосклерозе, гипотермии, состоянии гиповолемического и кардиогенного шока с централизацией кровообращения, болезнях Бюргера и Рейно, одновременном наличии гиповолемии и стрессовой вазоконстрикции, которую в анестезиологии и медицине критических состояний можно наблюдать чрезвычайно часто [1, 2, 7].

В фотоплетизмографическом гемодинамическом мониторинге расчет УОС производится с учетом амплитуды плетизмо-

графической волны и времени распространения пульсовой волны, которое обозначается как РТТ (*Pulse Transit Time*), соответствующее отрезку времени от вершины зубца R ЭКГ до пиковой точки подъема плетизмограммы, соответствующей максимуму кровенаполнения. При неинвазивном мониторинге АД используется технология РWТТ (*Pulse Wave Transit Time*). Термин также переводится как «время распространения пульсовой волны», однако определяется отрезком времени от вершины зубца R ЭКГ до начала подъема плетизмограммы. Технология РWТТ предназначена для тонкого улавливания внезапных изменений системного АД (рис. 3-5) [4, 5].

И РТТ, и РWТТ увеличиваются при нарушениях проводимости сердечной мышцы (блокады ножек пучка Гиса), когда увеличивается продолжительность ком-

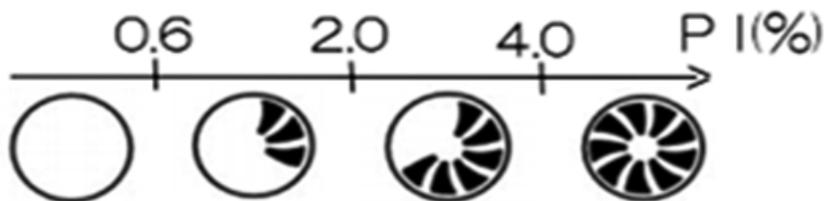


Рис. 2. Состояние заполнения капиллярного русла кровью при различных значениях перфузионного индекса (PI – perfusion index).

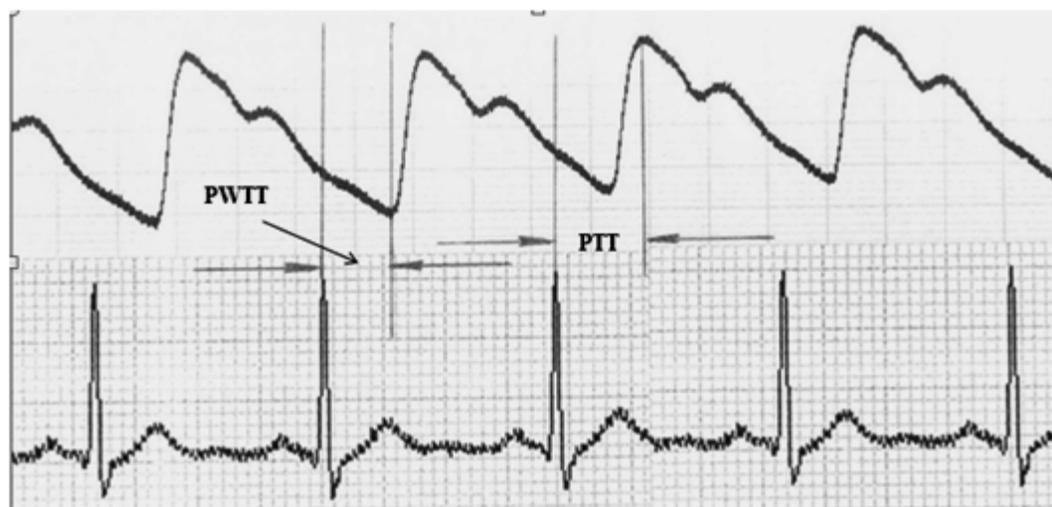


Рис. 3. Соотношение PTT и PWTT представлены с помощью одновременно записанных ЭКГ и плетизмограммы. PTT – время от вершины зубца R ЭКГ до вершины плетизмограммы. PWTT – время от вершины зубца R ЭКГ до начала подъема плетизмограммы (до начала пульсового притока).

плекса QRS ЭКГ. Закономерно, сердечный выброс снижается.

Мы провели исследования УОС с помощью трансторакальной эхосонаграфии одновременно с наблюдением этого показателя с помощью ФП у 34 пациентов с травмой, в том числе имевших признаки шока и требовавших применения инотропной поддержки. В условиях шока значения показателя УОС, определенные фотоплетизмографическим методом, оказались несколько ниже тех, которые были получены с помощью УЗИ. Наоборот, при эффективном сердечном выбросе, соответствовавшем норме или умеренной гипердинамии, величина УОС была выше

при использовании фотоплетизмографической диагностики.

Проведенный корреляционный анализ с помощью расчета коэффициента линейной корреляции Пирсона показал наличие высокой тесноты связи между этими показателями. Величина коэффициента r составила 0,983. Графически корреляционная зависимость между показателями УОС, определенными с помощью 2 разных методик, представлена на рис. 6.

Показатель объемной периферической капиллярной перфузии ПИ возрастал совместно с величиной УОС, а также всеми показателями АД (систолического, диастолического, пульсового, среднего). В усло-

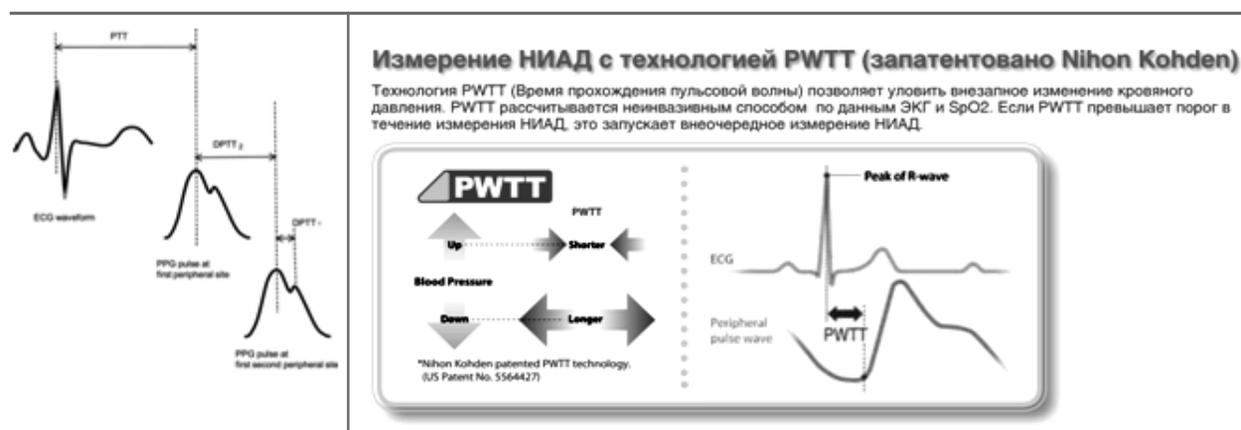


Рис. 4-5. PTT представлено одним из авторов изобретения (в оригинале) фотоплетизмографического определения величины сердечного выброса [4, 6]. PWTT в неинвазивном измерении артериального давления [5].

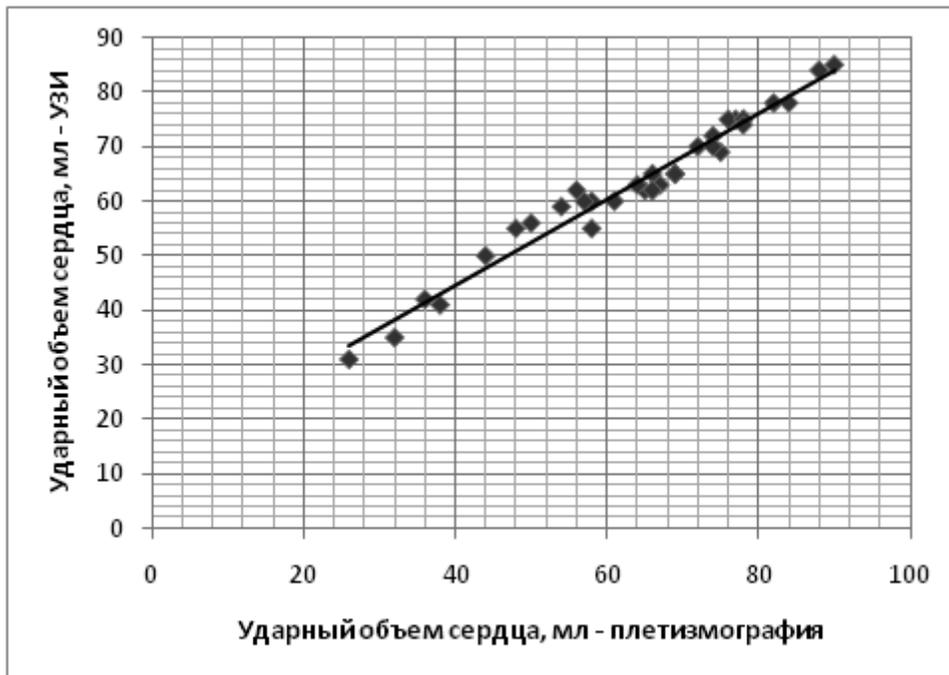


Рис. 6. Корреляційна залежність між величинами УОС у пацієнтів з травмою, визначеними за допомогою УЗИ і фотоплетизмографії.

виях компенсації судинного тону – при коливаннях показателів АД в діапазоні від 110-120/70-80 мм Нг до 140-150/80-90 мм Нг, величина УОС, що наближається до 1 мл/кг маси тіла, забезпечувала зростання ПІ до норми – до 4-5%.

На фоні клінічної картини травматичного шоку і проведення ургентної операції, коли в більшості випадків організація ультразвукового визначення величини УОС і інших показателів серцевого виброса по етичеським і другим причинам була серйозно обмежена, для моніторингу використовували переважно фотоплетизмографічну методику спостереження гемодинаміки. УОС в умовах гіповолемічного шоку знизився до 26-44 мл, а в процесі швидкої, проводимої струйним способом респірації підвищився до 60-80 мл. ПІ у пацієнтів з компенсованим шоком знаходився в межах 0,6-1,5%, а при декомпенсації – в межах 0,1-0,5%. Надійна хірургічна зупинка кровотечі, швидка об'ємна інфузійна терапія, обезболювання і застосування кисню сприяли покращенню периферического кровотоку, і ПІ підвищився до 1,5-3,0%. Повноцінне зростання ПІ до норми, як правило,

происходило вже після операції, в умовах відділення інтенсивної терапії.

ВЫВОД

Фотоплетизмографічні технології визначення показателів центральної і периферическої гемодинаміки достатньо точно відображають клінічне перебіг травматическої хвороби: вказують на синдром малого серцевого виброса і гіперперфузію в умовах шоку, зростання серцевого виброса і оптимізацію мікроциркуляції під впливом противошоческих заходів. Дані, отримані за допомогою фотоплетизмографії, збігаються з даними інших, вже визнаних методів дослідження. Сучасна апаратура дозволяє отримувати не тільки окремі дані, але і проводити неперервний моніторинг стану центральної і периферическої гемодинаміки, що сприяє контролю проведення інтенсивної терапії і сприяє покращенню її якості. Очікується, що фотоплетизмографічний гемодинамічний моніторинг швидко стане неотъемлемою складовою анестезіологічного забезпечення і інтенсивної терапії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перфузійний індекс як додатковий інструмент екстреної оцінки тяжкості крововтрати / В.В.Ніконов, К.І.Лізозуб, С.В.Курсов [та ін.] // Збірник наукових праць співробітників НМАПО імені П.Л.Шурика. – 2015. – Вип.24. – Т.3. – С.124-126.
2. Курсов С.В. Перфузійний індекс в практиці анестезіології та інтенсивної терапії / С.В.Курсов // Медицина невідкладних станів – 2015. – №7(70). – С.33-38.
3. Неинвазивный гемодинамический мониторинг esCCO в ходе анестезиологического пособия при лапароскопической холецистэктомии / Ю.Ю.Кобеляцкий, А.М.Машин, А.В.Царев [и др.] // Медицина невідкладних станів. – 2016. – №5(76). – С.79-82.
4. Addison P.S. Respiratory Effort from the Photoplethysmogram / P.S.Addison // Medical Engineering & Physics. – 2017. – Vol.41. – P.9-18.
5. Nihon Kohden Прикроватный монитор PVM-2701 [Электронный ресурс] – Access mode: http://www.nihonkohden.de/uploads/media/PVM-2701_02.pdf
6. Patent US9241646 B2, USA, System and Method for Determining Stroke Volume of a Patient / Addison P.S., Watson J.N.; Covidien Lp. – № US 13/609,566; priority 11.09.2012; published 26.01.2016. –Access mode: <https://www.google.ch/patents/US9241646>
7. Peripheral Perfusion Index as an Early Predictor for Central Hypovolemia in Awake Healthy Volunteers / M.E. van Genderen, S.A. Bartels, A.Lima [et al] // Anesthesia & Analgesia. – 2013. – Vol.116, №2. – P.351-356.
8. Saugel B. Hemodynamic Monitoring in the Era of Evidence-Based Medicine / B.Saugel, M.L.N.G.Malbrain, A.Perel // Critical Care. – 2016. – Vol.20. – R.401.

Білецький О.В.

ПОРІВНЯННЯ ВЕЛИЧИНИ СЕРЦЕВОГО ВИКИДУ ДЛЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ ГЕМОДИНАМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

КЗОЗ «Харківська міська клінічна лікарня швидкої та невідкладної медичної допомоги імені проф. О.І.Мещанінова»

У статті розглядаються фізичні підстави визначення показників центральної, периферичної гемодинаміки та насичення крові киснем за допомогою фотоплетизмографії.

Проведено порівняльне дослідження показників серцевого викиду й об'ємного капілярного периферичного кровотоку в 34 постраждалих із політравмою. Мета дослідження полягала в розгляді можливостей сучасних фотоплетизмометричних технологій для оцінки стану периферичної та центральної гемодинаміки шляхом зіставлення їх результатів із результатами ехосонаграфічного вивчення центральної гемодинаміки.

Показники центральної гемодинаміки в обстежуваних визначали за допомогою фотоплетизмографічної технології Nihon Kohden, а також за допомогою трансторакальної ехосонаграфії. Оцінку стану об'ємного периферичного капілярного кровотоку проводили за допомогою фотоплетизмометричної технології Masimo Rainbow.

Виявлено зниження показників серцевого викиду та периферичного капілярного кровотоку в міру збільшення тяжкості шоку. Успішні протишоківі заходи, що забезпечують зростання серцевого викиду й артеріального судинного тону, було асоційовано зі зростанням об'ємного капілярного кровотоку. Порівняння результатів фотоплетизмографічної й ультразвукової технологій оцінки гемодинаміки продемонстрували, що вони збігаються за величиною показників серцевого викиду з коефіцієнтом лінійної кореляції Пірсона 0,983. Фотоплетизмографічний моніторинг точно віддзеркалює клінічну картину перебігу шоку та ефективність заходів інтенсивної терапії.

Ключові слова: фотоплетизмографія, серцевий викид, периферичний капілярний кровотік, політравма.

Biletskiy O.V.

COMPARISON OF THE VALUE OF CARDIAC OUTPUT WITH DIFFERENT METHODS OF HEMODYNAMIC MONITORING

Kharkiv City Clinical Hospital of Emergency Aid Named by Prof. O.I.Meshchaninov

Summary. The article deals with the physical basis for determining the parameters of central, peripheral hemodynamics and oxygen saturation with the help of photoplethysmography.

A comparative study of the parameters of cardiac output and volume capillary peripheral blood flow in 34 patients with polytrauma was conducted. The purpose of the study was to consider the possibilities of modern photoplethysmometric technologies for assessing the state of peripheral and central hemodynamics, by comparing their results with the results of echosonographic study of central hemodynamics.

Indicators of central hemodynamics in the examined patients were determined using the photoplethysmographic technology of Nihon Kohden, as well as with transthoracic echosonography. The evaluation of the state of the peripheral capillary blood flow was determinate with using Masimo Rainbow's photoplace micrometric technology.

The decrease of cardiac output and peripheral capillary blood flow with the increase of the severity of shock was revealed. Successful anti-shock measures that ensure the growth of cardiac output and arterial vascular tone, were associated with an increase in volume capillary flow. When comparing the results of photoplethysmographic and ultrasound technologies of hemodynamic evaluation, results are obtained that match the value of the values of cardiac output with a linear correlation coefficient of Pearson 0.983. Photoplethysmographic monitoring accurately reflects the clinical picture of shock and the effectiveness of intensive care.

Key words: photoplethysmography, cardiac output, peripheral capillary blood flow, polytrauma.