



REVIEW

Open Access

# Traumatic hemorrhage and chain of survival



Rana K. Latif<sup>1,2,3\*</sup> , Sean P. Clifford<sup>1</sup>, Jeffery A. Baker<sup>4</sup>, Rainer Lenhardt<sup>1</sup>, Mohammad Z. Haq<sup>1</sup>,  
Jiapeng Huang<sup>1,5,6,7,8</sup>, Ian Farah<sup>1</sup> and Jerrad R. Businger<sup>1</sup>

## Травматическое кровотечение и цепочка выживания

*Перевод А.А. Науменко  
Южно-Сахалинск  
2024 год*



## **АННОТАЦИЯ**

Травма является основной причиной смерти среди американцев в возрасте от 1 до 46 лет, обходясь более чем в 670 миллиардов долларов в год. После смерти, связанной с повреждением центральной нервной системы, кровотечение составляет большинство оставшихся травматических смертельных случаев. Среди тех, кто с тяжелой травмой доставляется до больницы живыми, многие могут выжить, если кровотечение и травматические повреждения диагностированы и адекватно лечатся своевременно. Целью этой статьи является обзор последних достижений в патофизиологическом лечении после травматического кровотечения, а также роли диагностической визуализации в определении источника кровотечения. Также обсуждаются принципы реанимации и хирургии контроля повреждений. Цепочка выживания при тяжелом кровотечении начинается с первичной профилактики; однако, как только произошла травма, первостепенное значение приобретают догоспитальные вмешательства и госпитальный этап лечения с ранним распознаванием травмы, реанимацией, окончательным гемостазом и достижением конечных точек реанимации. Предлагается алгоритм для своевременного достижения этих целей, поскольку медиана времени от начала геморрагического шока до смерти составляет всего 2 часа.

## **ВВЕДЕНИЕ**

По данным Национального института травматологии, травма является основной причиной смерти среди американцев в возрасте от 1 до 46 лет, обходясь здравоохранению в 670 миллиардов долларов в год [1]. По оценкам, кровотечение является причиной более 60 000 смертей в Соединенных Штатах и 1,5 миллиона смертей во всем мире каждый год, что приводит к потере почти 75 миллионов лет жизни [2]. Среднее время от начала геморрагического шока до смерти составляет 2 часа [3]. После повреждения центральной нервной системы кровотечение является основной причиной смерти у пациентов с травмами [4,5,6]; однако кровотечение поддается вмешательству для снижения заболеваемости и смертности [7,8]. Среди пациентов с тяжелой политравмой ранняя госпитальная смертность увеличивается из-за продолжающегося кровотечения, которое приводит к порочной триаде: коагулопатия, гипотермия и ацидоз в условиях неполной или неадекватной реанимации [9-11].

Военный опыт, включая исследования войн в Ираке и Афганистане, подтвердил необходимость усовершенствованных методов контроля кровотечения [12,13]. Анализ смертности на поле боя, проведенный Министерством обороны, показал, что одну из четырех смертей на догоспитальном этапе и одну из двух смертей на госпитальном этапе можно было бы потенциально предотвратить [14,15]. Целью данной статьи является обзор последних достижений в нашем понимании патофизиологии



травматического кровотечения, роли диагностических методов визуализации в своевременном выявлении источников кровотечения, принципов реанимации с контролем повреждений (DCR), а также окончательного гемостаза и хирургии с контролем повреждений (DCS). Наконец, суммируются конечные точки реанимации при травмах и предлагается цепочка алгоритмов выживания для своевременного достижения этих конечных точек. Хотя наше понимание патофизиологии и принципов лечения, связанных с травматическим кровотечением, продолжает улучшаться, многие вопросы остаются без ответа в плане улучшения выживаемости, и необходимы дальнейшие исследования.

## **ПАТОФИЗИОЛОГИЯ**

С точки зрения большого объема кровотечения необходимо учитывать следующие локализации тела или поверхностные источники: грудная полость, брюшная полость, забрюшинное пространство (например, перелом таза), мышцы или подкожная ткань (например, перелом длинной кости) и внешнее кровотечение (например, разрыв кожи головы, место открытого перелома) (**Рисунок 1а**) [16]. Кровотечение и геморрагический шок вызывают недостаточную доставку кислорода и активируют несколько гомеостатических механизмов, направленных на сохранение перфузии жизненно важных органов. Эти сложные события происходят на геномном, клеточном, тканевом и органном уровнях (**Рисунок 1б**).

На геномном уровне провоспалительные и противовоспалительные гены врожденного иммунитета активируются, в то время как гены адаптивного иммунитета одновременно подавляются в первые часы после травмы [17]. Кроме того, было продемонстрировано, что синдром системного воспалительного ответа (SIRS) и синдром компенсаторного противовоспалительного ответа (CARS) возникают одновременно, а не последовательно, как считалось ранее [17,18]. У выживших пациентов, вероятно, геномные изменения противовоспалительного врожденного иммунитета транслируются в фенотипические изменения врожденного SIRS, за которым следует относительная иммуносупрессия, называемая синдромом компенсаторного противовоспалительного ответа (CARS), и в конечном итоге выздоровление без осложнений [17]. У пациентов с неблагоприятными результатами необходимы дальнейшие исследования относительно того, отражают ли провоспалительные изменения в экспрессии генов продолжающийся или повторяющийся воспалительный стимул, приводящий к СПОН [18]. Текущее понимание наиболее согласуется с гипотезой не разрешающегося воспаления у этих пациентов, которое приводит к SIRS, СПОН и ранней смерти [19].

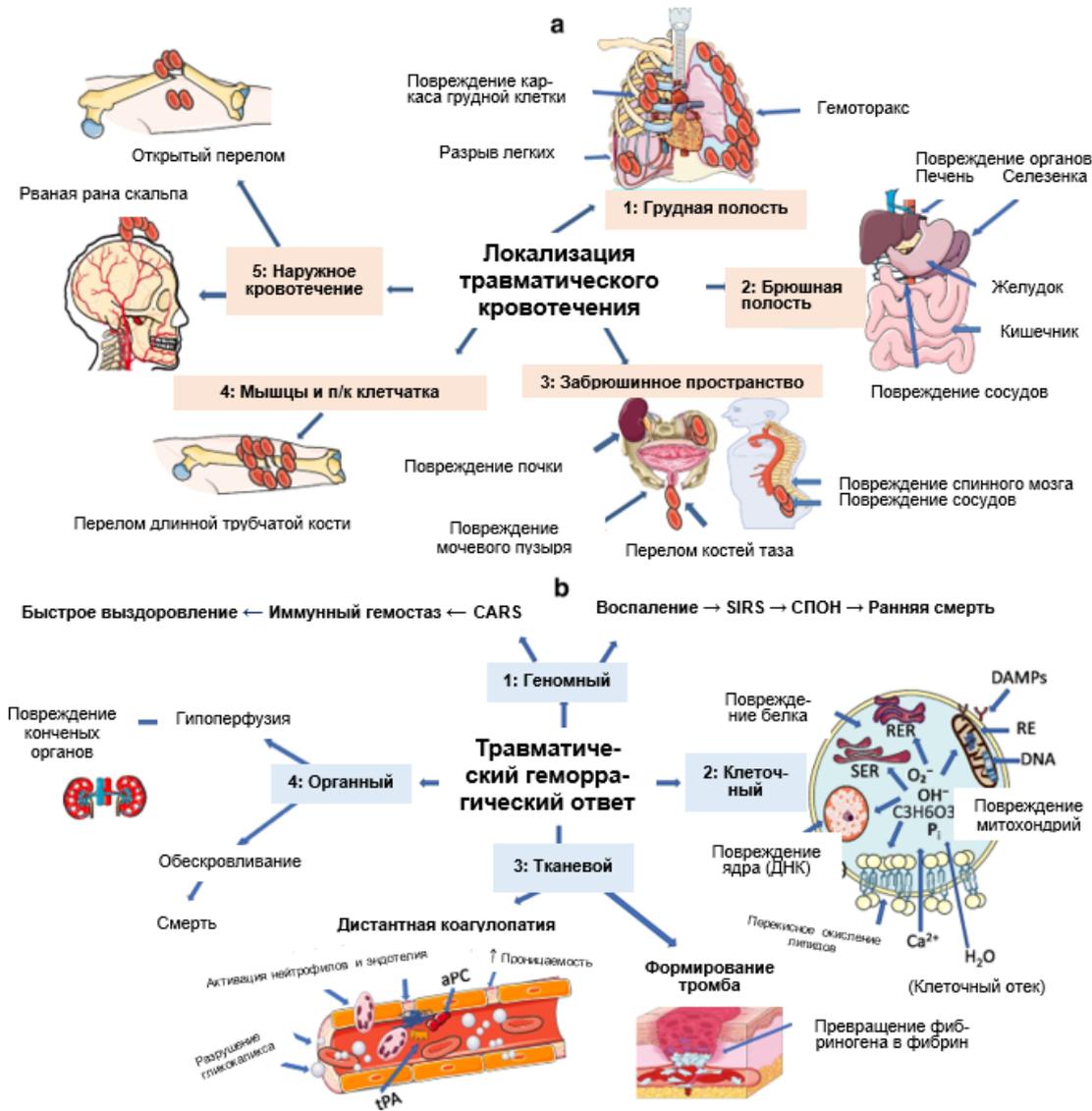
На клеточном уровне кровоизлияние приводит к недостаточной доставке кислорода, и по мере перехода клеток к анаэробному метаболизму происходит накопление радикалов кислорода ( $O_2^-$ ,  $OH^-$ ), неорганического фосфата ( $P_i$ ) и молочной



кислоты ( $C_3H_6O_3$ ). Это вызывает перекисное окисление липидов мембран с повышенной проницаемостью для  $Ca^{2+}$  и последующее разрушение митохондрий, гладкого (SER) и шероховатого эндоплазматического ретикулума (RER) [20,21]. Клеточное разрушение вызывает высвобождение связанных с повреждением молекулярных паттернов (известных как DAMP или алармины), включая митохондриальную ДНК и формилпептиды, и вызывает системную воспалительную реакцию, похожую на сепсис [22,23]. Анаэробное дыхание в конечном итоге приводит к дисфункции митохондрий, что сопровождается снижением запасов АТФ, нарушением клеточного гомеостаза и, в конечном итоге, гибелью клеток из-за некроза вследствие разрыва мембраны, апоптоза или некроптоза [24].

На тканевом уровне кровотечение и шок вызывают как адаптивные, так и неадаптивные изменения в эндотелии сосудов и крови. В месте кровотечения эндотелий и кровь действуют синергически; каскад свертывания и тромбоциты активируются, что приводит к образованию гемостатической пробки [25,26]. Однако вдали от места кровотечения активация симпатoadреналовой системы и растущий кислородный долг вызывают эндотелиопатию с разрушением барьера гликокаликса, что приводит к избыточной аутогепаринизации с активацией протеина С (aPC) и инактивацией факторов V и VIII для предотвращения микрососудистого тромбоза [26,27,28]. Аналогичным образом, высвобождение тканевого активатора плазминогена (tPA) приводит к повышению активности плазмина, что приводит к патологическому гиперфибринолизу и диффузной коагулопатии [26,28]. Снижение количества тромбоцитов и их функции, а также маргинализация, вызванные кровотечением, также способствуют коагулопатии [29-31].

На органном уровне умеренный геморрагический шок вызывает вазоконстрикцию с гипоперфузией, что приводит к повреждению органов-мишеней у выживших. Однако тяжелый шок с обескровливанием может вызвать церебральную аноксию и фатальные аритмии, приводящие к смерти [3,32]. Ятрогенные факторы, такие как чрезмерно усердная волемическая реанимация холодными кислыми кристаллоидами, не только снижают концентрацию факторов свертывания, но и усугубляет «летальную триаду» (гипотермия, коагулопатия, ацидоз) (**Рисунок 1**) [33-36].



**Рисунок 1.** Патофизиология травматического геморрагического шока.

**а.** Локализация травматического кровотечения.

**б.** Травматический геморрагический ответ. **(1) Геномный ответ.** Повышение уровня противовоспалительных генов с быстрым восстановлением. Повышение уровня провоспалительных генов приводит к осложнениям и смерти. **(2) Клеточный ответ.** Анаэробный метаболизм с повреждением митохондрий, гладкого (SER) и шероховатого эндоплазматического ретикулума (RER), что приводит к нарушению клеточного гомеостаза. **(3) Тканевой ответ.** Образование локальной гемостатической пробки с превращением фибриногена в фибрин. Дистантная коагулопатия с гиперфибринолизом и диффузной коагулопатией. **(4) Органный ответ.** Кровотечение с повреждением конечных органов и обескровливанием, приводящим к смерти.



aPC - активированный протеин С, CARS – синдром компенсаторного противовоспалительного ответа, DAMPs – молекулярные паттерны, ассоциированные с повреждением, DNA – ДНК, Pi - неорганический фосфат, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub> - молочная кислота, O<sub>2</sub>•-, OH•-, - кислородные радикалы, RE - дыхательные ферменты, SIRS – синдром системного воспалительного ответа, tPA - тканевой активатор плазминогена, ↑ - повышенный

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРИ ТРАВМАТИЧЕСКОМ КРОВОТЕЧЕНИИ

Визуализация играет важную роль в идентификации источников кровотечения, а также в реакции на терапевтические вмешательства. Диагностические методы визуализации, имеющие решающее значение для идентификации конкретной патологии (модальность № 1–7) и оценки сердечно-сосудистой гемодинамики (модальность № 8–11) у пациентов с травматическим кровотечением, обобщены в **Таблице 1** вместе с соответствующими результатами и ключевыми значениями.

**Таблица 1.** Диагностическая визуализация при травматическом кровотечении

Параметр, оцениваемый при травме	Методы визуализации	Требуемые проекции	Выводы и ключевые значения
<b>(1) Гемоторакс (плевральная полость)</b> ATLS [16]	Рентгенограмма грудной клетки <b>(Рисунок 2а)</b>	Переднезадняя (предпочтительно вертикально)	Притупление реберно-диафрагмального угла или частичное или полное затемнение пораженной половины грудной клетки
<b>(2) Кровотечение в области таза</b> (а) Компрессионный перелом передней поверхности (15–20%) (b) Боковой компрессионный перелом (60–70%) (c) Вертикальный перелом со смещением (5–15%) (d) Комбинированный механизм перелома Cullinane et al. [127]	Рентгенограмма таза <b>(Рисунок 2b)</b>	Переднезадняя	(а) Диастаз лобковых костей, разрыв тазового кольца (b) Внутренняя ротация с риском повреждения мочевого пузыря и уретры (c) Вертикальное смещение крестцово-подвздошного сочленения (d) Комбинированное
<b>(3) Политравма</b> Fang et al. [40], Cinquantini et al. [41]	КТ, мультидетекторная КТ	2D-визуализация «среза» тела. Могут использоваться для построения 3D-изображений	Комплексное выявление травм грудной клетки, живота, таза и активного кровотечения
<b>(4) Гемоперикард (Тампонада перикарда)</b> Klein et al. [46]	FAST (2D) М-режим Допплер <b>(Рисунок 2с, Видео 1 в конце текста)</b>	Субкостальный/субксифоидальный, парастернальная длинная ось (PSLA), парастернальная короткая ось (PSSA) и апикальная четырехкамерная проекция (A4C)	Критерии тампонады: Большое количество жидкости, >1 см Систолический коллапс ПП >30% сердечного цикла Диастолический коллапс ПЖ
<b>(5) Гемоторакс (плевральная полость)</b> Brooks et al. [50]	FAST (2D) <b>(Рисунок 2d, Видео 2 в конце текста)</b>	RUQV: нижняя правая часть грудной клетки LUQV: нижняя левая часть грудной клетки (Направьте датчик вверх над диафрагмой в грудную полость)	Анэхогенная область между диафрагмой и париетальной плеврой в пределах реберно-диафрагмального кармана



<b>(6) Внутривнутрибрюшинная свободная жидкость</b> <i>(Брюшинная полость)</i> <i>Holmes et al. [51]</i>	FAST (2D) <b>(Рисунок 3а, Видео 3 в конце текста)</b> <b>(Рисунок 3б, Видео 4 в конце текста)</b>	RUQV (гепаторенальный вид) LUQV (периселезеночный вид)	Анэхогенная область (свободная жидкость) между печенью и правой почкой (карман Морисона) Анэхогенная область, окружающая селезенку и скрывающая границу между селезенкой и левой почкой
<b>(7) Внутривнутрибрюшинная свободная жидкость</b> <i>(Таз)</i> <i>Cullinane et al. [127]</i>	FAST (2D) <b>(Рисунок 3с, Видео 5 в конце текста)</b> <b>(Рисунок 3д, Видео 6 в конце текста)</b>	Сагиттальный вид Поперечный вид	При помощи заполненного жидкостью мочевого пузыря Анэхогенная область в прямокишечно-маточном пространстве или в кармане Дугласа (у женщин) или прямокишечно-пузырном пространстве (у мужчин)
<b>(8) Состояние внутрисосудистого объема:</b> <i>Размер/коллабируемость нижней полой вены, как суррогат давления в правом предсердии</i> <i>Rudski et al. [54], Brennan et al. [55]</i>	2D <b>(Рисунок. 4а, 4б)</b> <b>(Видео 7 в конце текста)</b>	Визуализация на протяжении всего дыхательного цикла	Размер $\leq 2,1$ см; коллапс $>50\%$ во время вдоха = ДПП 0–5 мм рт. ст. Размер $>2,1$ см; коллапс $>50\%$ во время вдоха = ДПП 5–10 мм рт. ст. Размер $>2,1$ ; коллапс $<50\%$ во время вдоха = ДПП 10-20 мм рт. ст.
<b>(9) Состояние внутрисосудистого объема и сердечная функция:</b> <i>Размер, площадь и объем камер ЛЖ и ПЖ</i> <i>Lang et al. [56]</i>	2D Объем <b>(Рисунок 4с, d)</b> <b>(Видео 8 в конце текста)</b> Функция <b>(Видео 9 в конце текста)</b>	Парастеральная длинная ось (PSLA), парастеральная короткая ось (PSSA) и апикальная четырехкамерная проекция (A4C)	Нормальные диапазоны: LVIDD 3,9–5,9 см LVEDV 46–150 мл LVESV 14–61 мл LVEF $>51\%$ RV FAC $\geq 35\%$
<b>(10) Ударный объем сердца и функция (ЛЖ):</b> <b>LVOT VTI</b> <i>Ristow et al. [58]</i>	2D; импульсный доплер	Апикальные 5-камерные или 3-камерные проекции Оптимальное выравнивание доплера Импульсно-волновой доплер на LVOT	Нормальное значение: VTI $\geq 18$ см
<b>(11) Функция ПЖ: TAPSE</b> <b>Тканевой доплер RV S'</b> <i>Rudski et al. [54]</i>	М-режим (TAPSE) Тканевой доплер (RV S')	Оптимальный апикальный четырехкамерный обзор, совмещение с кольцом трикуспидального клапана, режим М для TAPSE, тканевой доплер для S'	Нормальное значение: TAPSE $\geq 16$ мм RV S' $\geq 10$ см/сек

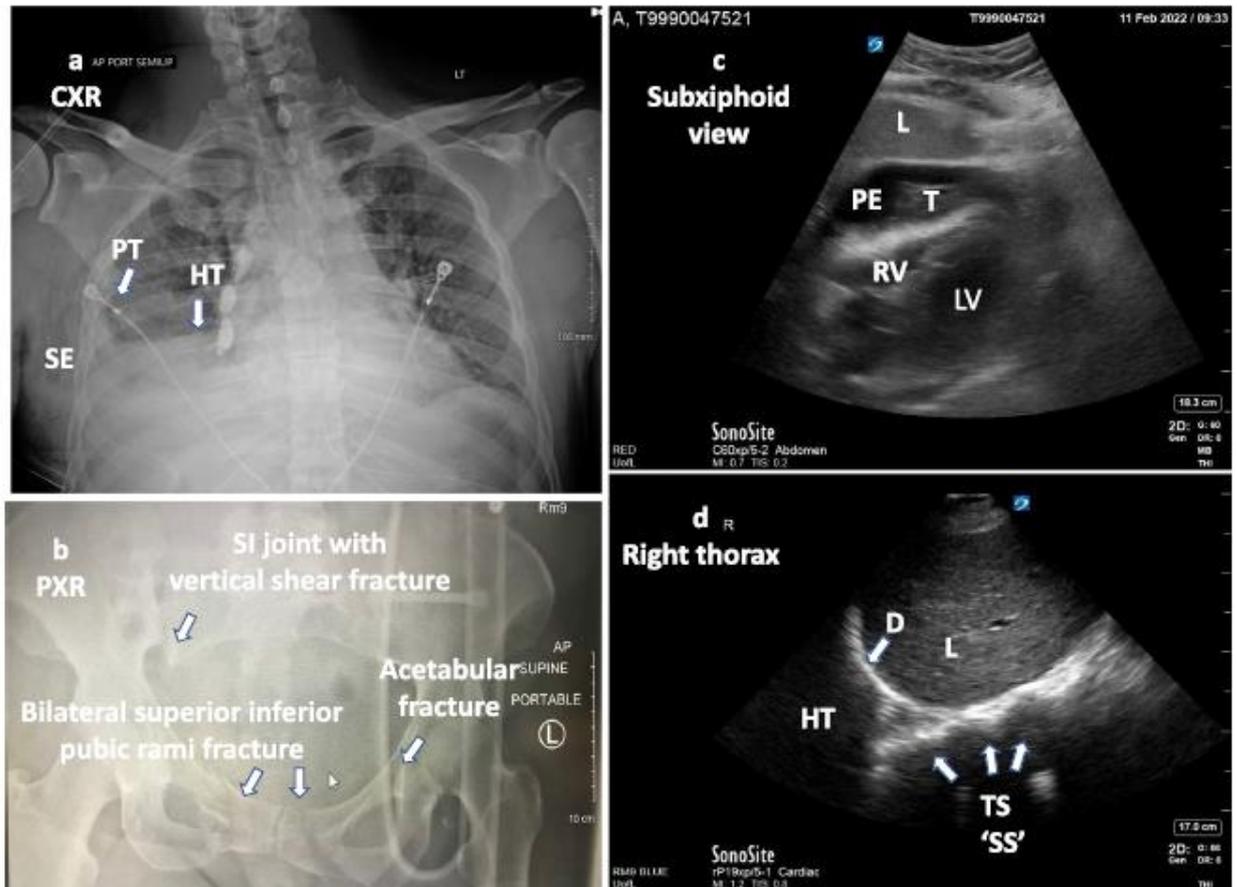
Модальности № 1–7 являются диагностическими, модальности № 8–11 предназначены для оценки состояния объема и функций сердца

**FAST** - Focused Assessment with Sonography for Trauma, **LUQV** - проекция левого верхнего квадранта, **LVEDV** - конечно-диастолический объем ЛЖ, **LVEF** - фракция выброса ЛЖ, **LVESV** - конечно-систолический объем ЛЖ, **LVIDD** - внутренний диаметр ЛЖ в конце диастолы, **LVOT** - выносящий тракт ЛЖ, **RUQV** - проекция правого верхнего квадранта, **RV FAC** - изменение площади фракции правого желудочка, **RV S'** - скорость систолической экскурсии ПЖ, **TAPSE** - систолическая экскурсия плоскости трехстворчатого кольца, **VTI** -



интеграл времени скорости, ДПП – давление в правом предсердии, ЛЖ – левый желудочек, ПЖ – правый желудочек.

Портативные рентгенограммы грудной клетки, таза (Рисунок 2а, 2б) и фокусированное УЗИ при травме (FAST) являются стандартом лечения при первичной оценке травматических повреждений у постели больного [16].



**Рисунок 2.**

**a.** Рентгенограмма грудной клетки в прямой проекции. Правосторонний гемоторакс, правосторонний пневмоторакс и подкожная эмфизема.

**b.** Тазовая прямая проекция. Расширение правого крестцово-подвздошного сочленения с переломом правого крестца и вертикальным смещением (потенциальное сосудистое повреждение), двусторонний перелом верхней нижней лобковой ветви (риск повреждения мочевого пузыря), перелом левой вертлужной впадины.

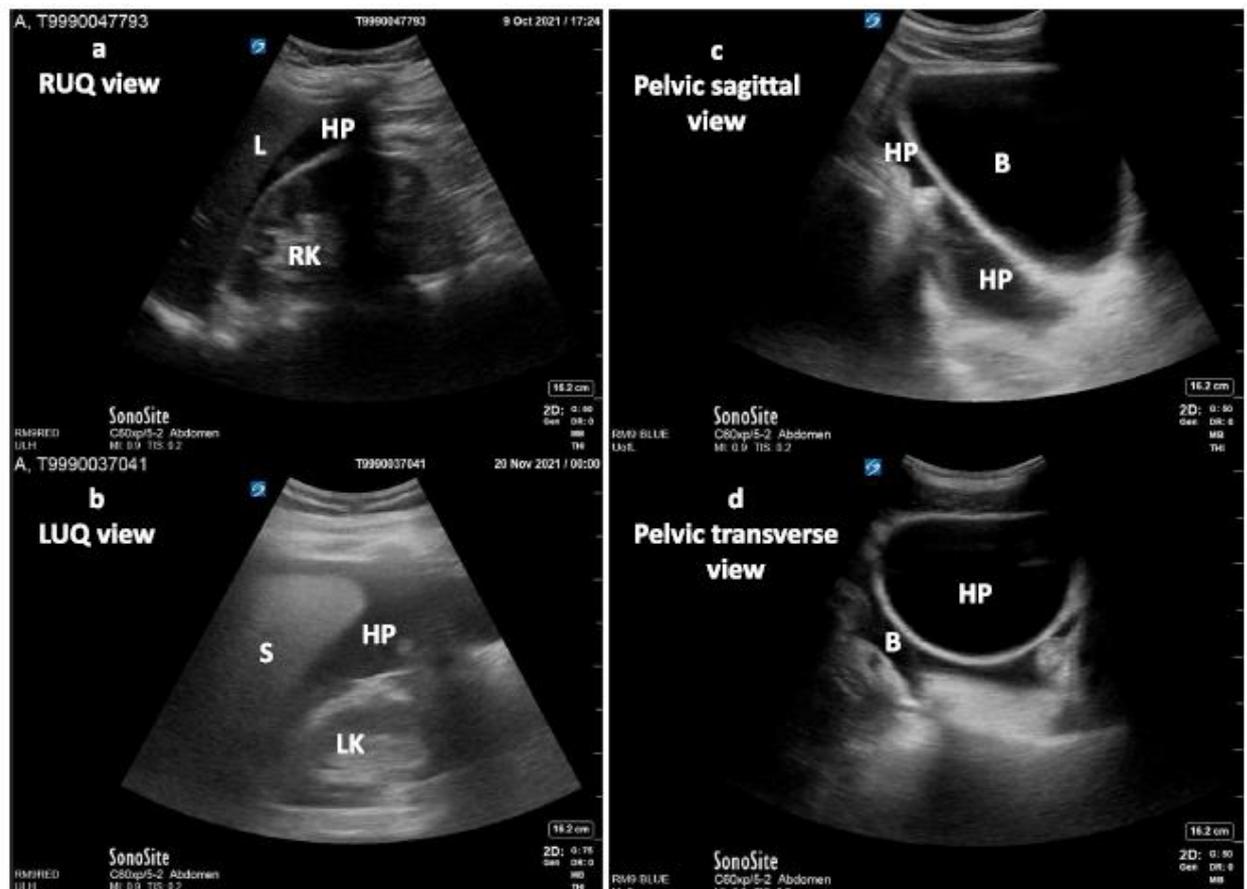
**c.** Субксифоидальная проекция сердца (2D). Большой перикардиальный выпот, вызывающий тампонаду.

**d.** Правосторонняя грудная проекция на уровне диафрагмы с правосторонним гемотораксом. Грудной отдел позвоночника визуализируется над диафрагмой (признак позвоночника). Обычно грудной отдел позвоночника скрыт воздухом внутри легкого.

**D** - диафрагма, **HT** - гемоторакс, **L** - печень, **LV** - левый желудочек, **PE** - перикардиальный выпот, **PT** - пневмоторакс, **RV** - правый желудочек, **SE** - подкожная эмфизема, **SI** - крестцово-подвздошное сочленение, **SS** - признак позвоночника, **T** - тромб, **TS** - грудной отдел позвоночника.



По сравнению с рентген исследованиями и FAST, компьютерная томография (КТ) более чувствительна при оценке важных анатомических деталей и измененной гемодинамики [37-39]. У гемодинамически стабильных пациентов с множественными травмами КТ может комплексно обнаружить травму груди, живота и таза, а также активное кровотечение с чувствительностью и специфичностью, приближающимися к 100% [38,40-43]. Мультидетекторная КТ считается золотым стандартом в оценке повреждений сердца, сосудов, тонкой кишки и брыжейки [40,42,43]. У пациентов с травмами FAST использует стандартный порядок проекций или окон для оценки перикардальной, брюшинной и плевральной полостей [44]. FAST может определить наличие патологического гемоперикарда или перикардального выпота (чувствительность 83,3% - 100% и специфичность 94% - 99,7%) (**Рисунок 2с, Видео 1 в конце текста**), гемоторакса (чувствительность 83% - 92% и специфичность 98% - 100%) (**Рисунок 2d, Видео 2 в конце текста**), внутрибрюшного гемоперитонеума (чувствительность 63 – 100%) (**Рисунок 3а, 3б; Видео 3, Видео 4 в конце текста**) и тазового кровотечения (**Рисунок 3с, 3d; Видео 5, Видео 6 в конце текста**) [44-51].



**Рисунок 3.**

**а.** Вид правого верхнего квадранта (RUQV) живота. Анэхогенный гемоперитонеум в гепаторенальном пространстве.



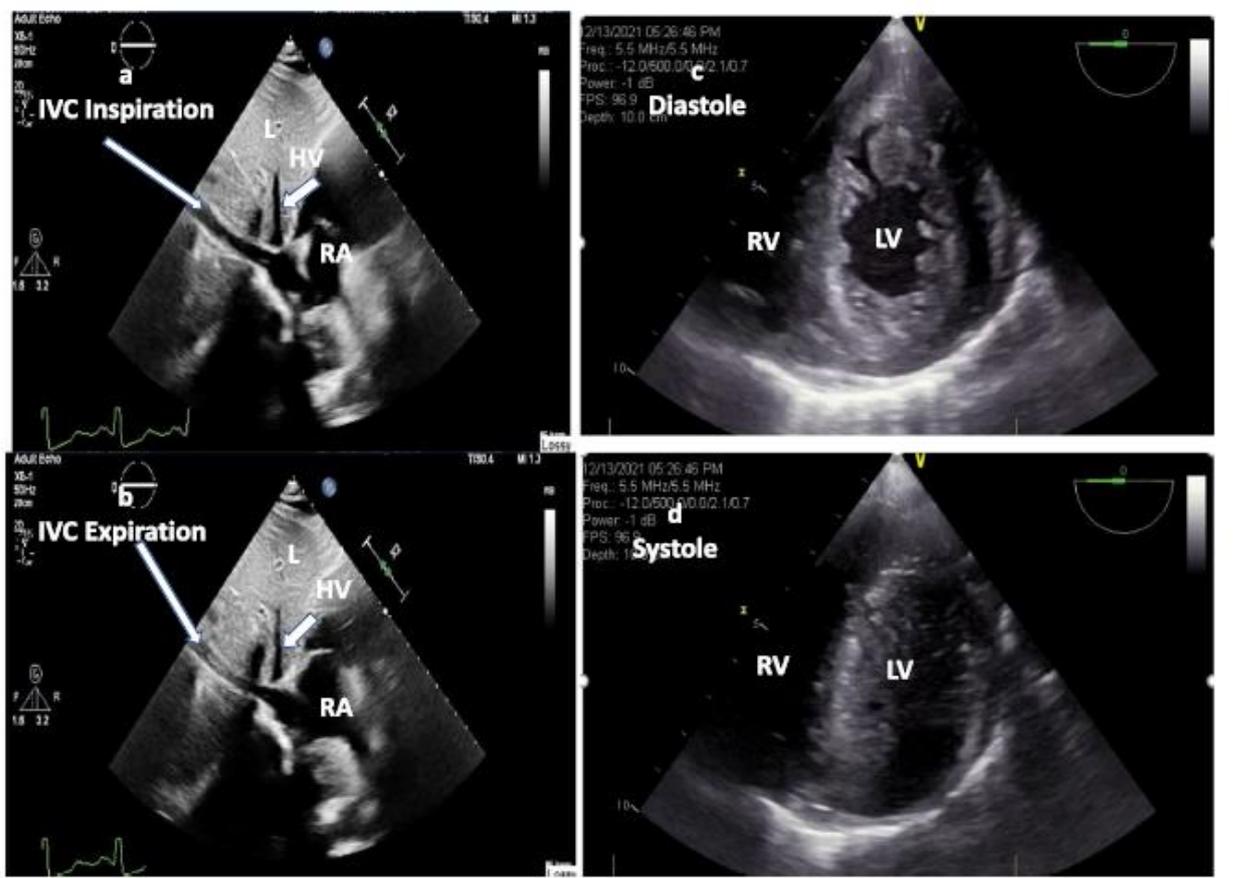
**б.** Вид левого верхнего квадранта (LUQV) живота. Анэхогенный гемоперитонеум в селезеночно-почечном пространстве.

**с.** Сагиттальный вид таза. Анэхогенный гемоперитонеум краниально и сзади от мочевого пузыря.

**д.** Поперечный вид таза. Анэхогенный гемоперитонеум сзади от мочевого пузыря.

**В** - мочевой пузырь, **HP** - гемоперитонеум, **L** - печень, **LК** - левая почка, **РК** - правая почка, **S** - селезенка

Гиповолемию можно определить с помощью измерений диаметра нижней полой вены (НПВ) и индекса коллабирования НПВ при дыхании (**Рисунки 4а, 4б; Видео 7 в конце текста**) [52–55]. У этих пациентов с гиповолемией эхокардиограмма может показывать небольшой и недозаполненный левый желудочек с сохраненной или гипердинамической функцией (**Рисунки 4с, 4д; Видео 8 в конце текста**) [56].



**Рисунок 4.**

**а.** Трансторакальная эхокардиография. Сагиттальная проекция по длинной оси нижней полой вены во время вдоха;

**б.** Нижняя полая вена во время выдоха. Коллапс >50% при дыхании дают представление о состоянии волемии у взрослого пациента с травмой.

**с.** Трансгастральная проекция по короткой оси во время диастолы;

**д.** Систола. Тяжелая гиповолемия левого желудочка и признак поцелуя папиллярных мышц во время систолы.

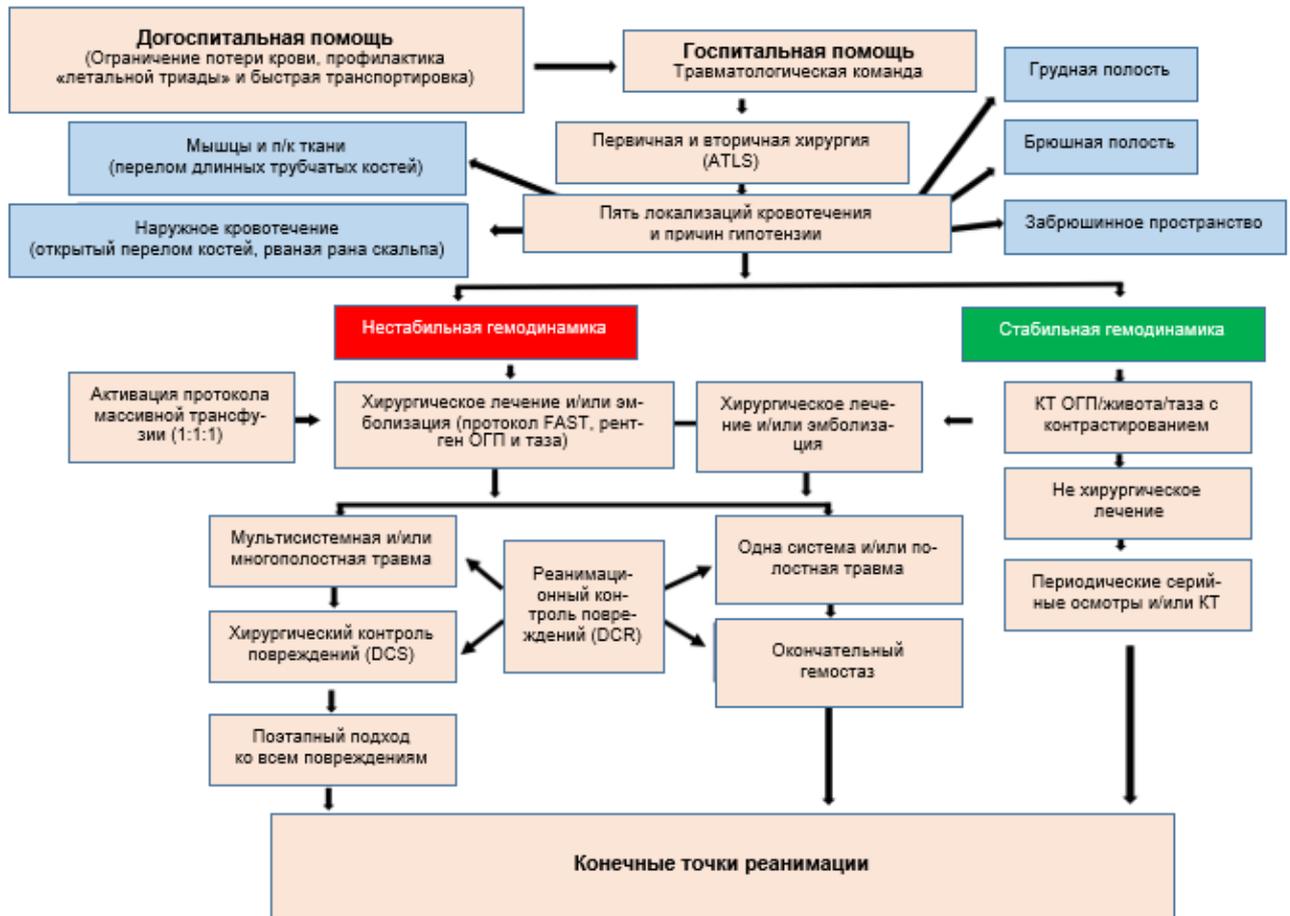
**HP** - печеночная вена, **IVC** - нижняя полая вена, **L** - печень, **LV** - левый желудочек, **RA** - правое предсердие, **RV** - правый желудочек



В периоперационном и послеоперационном периодах причину шока и необходимое лечение с помощью инфузионной и/или инотропной терапии можно контролировать с помощью измерения внутреннего диаметра левого желудочка в конце диастолы (ВДЛЖ), конечного диастолического объема ЛЖ (КДОЛЖ), конечного систолического объема левого желудочка (КСОЛЖ), фракции выброса левого желудочка (ФВЛЖ) и изменения площади фракции правого желудочка (ИФПЖ) (**Таблица 1, модальности № 8–11 и Видео 9 в конце текста**) [54, 56–58].

## **ЦЕПОЧКА ВЫЖИВАНИЯ**

Цепочка выживания для пациентов с тяжелым кровотечением начинается с целей первичной профилактики. После травматического события фокус переключается на догоспитальный контроль кровотечения; как только пациент прибывает в больницу, своевременное распознавание шока, реанимация, окончательный гемостаз и достижение конечных точек реанимации влияют на результат. Первичная профилактика включает разработку программ по профилактике насилия в промышленности и обществе, а также повышение осведомленности о безопасности на рабочем месте и на транспорте и соблюдение защитных средств (ремень безопасности и шлем). Обучение травматологии на уровне сообщества включает базовый курс B-Con (контроль кровотечения) или «Остановка кровотечения» (курс, направленный на обучение спасателей и широкой общественности тому, как остановить сильное кровотечение и потенциально спасти жизни в чрезвычайной ситуации) [59], курс догоспитальной поддержки при травмах (PHTLS) [60], курс развития сельской травматологической команды (RTTDC) [61] и курс для студентов расширенной поддержки при травмах (ATLS) [16]. Догоспитальная и госпитальная цепочка оказания помощи по выживанию включает применение принципов реанимации с контролем повреждений (DCR), определенного гемостаза и хирургии контроля повреждений (DCS), а также своевременное достижение конечных точек гемостаза (**Рисунок 5**).



**Рисунок 5.** Травматическое кровотечение и цепочка выживания.

ATLS — расширенная поддержка жизни при травме; FAST — целенаправленное УЗИ при травме; **Протокол массивной трансфузии**; 1:1:1 — равное количество эритроцитарной массы, свежемороженой плазмы и тромбоцитов

## **РЕАНИМАЦИЯ С КОНТРОЛЕМ ПОВРЕЖДЕНИЙ (DCR)**

### **Догоспитальная помощь**

Приоритеты догоспитальной помощи включают:

1. минимизацию дальнейшей потери крови,
2. обеспечение ограниченной/отсроченной инфузионной терапии с допустимой гипотензией,
3. предотвращение гипотермии и
4. быструю транспортировку пациента в учреждение, которое может оказать окончательную помощь.

Наложение жгута проксимальнее мест кровотечения на конечностях, наложение тазового бандажа при подозрении на перелом таза и гемостатическая повязка для кровоточащих ран в местах соединения (например, пах, подмышечная впадина) могут минимизировать потерю крови и спасти жизни [62–67]. Исследование *Bickell et al.* по изучению эффектов отсрочки реанимации (т. е. воздержания от внутривенного



введения жидкости до момента окончательного гемостаза) продемонстрировало улучшение выживаемости, меньшее количество осложнений и сокращение продолжительности пребывания в больнице по сравнению с немедленной реанимацией у пациентов с проникающими ранениями туловища [68]. Поддержание принципа «разрешительной гипотензии» (систолическое артериальное давление 80–90 мм рт. ст.) с помощью болусов кристаллоидов малого объема обеспечивает преимущества раннего выживания у пациентов с тупой городской травмой [69].

Наличие сопутствующей черепно-мозговой травмы (ЧМТ) средней или тяжелой степени может осложнить лечение. Гипотония (систолическое артериальное давление <90 мм рт. ст.) и гипоксия ( $PaO_2$  <60 мм рт. ст.) были связаны с более высокой вероятностью неблагоприятного исхода у пациентов с ЧМТ [70,71]. Руководства Фонда по травмам головного мозга (BTF) и Всемирного общества неотложной хирургии (WSES) по лечению тяжелой ЧМТ рекомендуют поддерживать САД на уровне  $\geq 100$  мм рт. ст. [72,73]. Однако у пациентов с гипотензией и ЧМТ часто имеются другие травматические повреждения внутренних органов, легких, конечностей или спинного мозга [16], и реанимация с контролем повреждения (временное поддержание САД <90 мм рт. ст., предотвращение разрыва сгустка и повторного кровотечения) с немедленным вмешательством для остановки тяжелого кровотечения может спасти жизнь этим пациентам [68,69].

Травма у гериатрических пациентов может создать особую диагностическую проблему, поскольку их миокард менее чувствителен к катехоламинам, и у них повышено системное сосудистое сопротивление. Это приводит к менее выраженной тахикардии и гипотензии в ответ на кровотечение, что может привести к клинической неверной интерпретации [74]. Среди гериатрических пациентов с травмой частота сердечных сокращений выше 90 ударов в минуту и систолическое артериальное давление ниже 110 мм рт. ст. коррелируют с повышенной смертностью [74]. У пожилых людей чаще встречаются хронические заболевания сердца и легких. Многие гериатрические пациенты с травмой могут получать антикоагулянты, антиагреганты, бета-блокаторы, блокаторы кальциевых каналов и глюкокортикоиды для лечения заболеваний сердца и легких. Было показано, что антикоагулянты, бета-блокаторы и глюкокортикоиды, используемые пациентами до получения травмы, увеличивают вероятность смерти среди этих пациентов [75–77]. Центр по контролю и профилактике заболеваний США (CDC) рекомендует прямую транспортировку в травматологический центр любого пострадавшего в возрасте 65 лет и старше с систолическим артериальным давлением <110 мм рт. ст. [78].

Догоспитальная реанимация продуктами крови изучается у пациентов с военной травмой с многообещающими результатами [79]. В отношении гражданской травмы исследование *RePHILL* было неубедительным [80], а два крупных РКИ (*PAMPER* и *COMBAT*), изучающих пользу догоспитального переливания плазмы,



были противоречивыми. Исследование *PAMPER* отдало предпочтение догоспитальному переливанию [81], а *COMBAT* не показало никакой пользы [82], но последующий анализ подтверждает преимущество выживаемости в группе переливания плазмы, когда время транспортировки превышает 20 минут [83]. Исследование *CRASH-2* отдает предпочтение раннему введению транексамовой кислоты (в течение 3 часов после травмы) для снижения риска смерти у пациентов с кровотечением и травмой и является высокорентабельным [84].

За последнее десятилетие наблюдалось колоссальное развитие местных/топических и инъекционных гемостатических средств для остановки кровотечения на догоспитальном и госпитальном этапе [85]. Разрабатываются несколько внутриполостных пен для остановки кровотечения из несжимаемого абдоминального кровотечения [85]. ResQFoam в настоящее время проходит клинические испытания с целью продемонстрировать безопасность, эффективность и соотношение пользы и риска для лечения неотложного, обескровливающего, внутрибрюшного кровотечения, приводящего к геморрагическому шоку III или IV степени вследствие травмы (<https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02880163>). ClotFoam, другой тип внутриполостной пены, проходит фазу I клинических испытаний для гемостаза при кровотечении из печени (<https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02264730>). В настоящее время разрабатывается несколько новых гемостатических средств, каждое из которых имеет свои плюсы и минусы в зависимости от типа травмы, тяжести кровотечения, размера и конфигурации раны, локализации, доступности места кровотечения и коагуляционной функции пациента [85].

Профилактика летальной триады гипотермии, ацидоза и коагулопатии имеет первостепенное значение. Гипотермию следует лечить с помощью теплых одеял и подогретых внутривенных растворов; [86] однако эти догоспитальные меры не должны задерживать транспортировку пациента с места происшествия в больницу [87]. На поле боя заболеваемость и смертность были ниже, когда тяжелораненых транспортировали в течение  $\leq 60$  минут [87]. Во время длительного лечения на поле боя (более 4 часов) контроль кровотечения (жгуты) с переливанием крови, контролем дыхательных путей и искусственной вентиляцией легких являются потенциально спасающими жизнь и очень критичными по времени, ресурсоемкими вмешательствами [88].

### **Лечение в стационаре**

Внутрибольничное лечение начинается с формирования высоко функциональной многопрофильной травматологической команды с привлечением специалистов по анестезиологии, неотложной медицине, хирургии, сестринскому делу и радиологии при поддержке банка крови, лаборатории и помощников по уходу за пациентами.



Опытный руководитель группы врачей получает информацию от отдельных специалистов и координирует оценку и лечение [89]. В учебном пособии для студентов Advanced Trauma Life Support (ATLS) подчеркивается раннее распознавание геморрагического шока, быстрое устранение источника кровотечения и восстановление внутрисосудистого объема и способности переносить кислород у пациента. Пациенты с травмой могут потерять до 30% объема крови до того, как проявятся значительные падения артериального давления (**Таблица 2**) [16].

**Таблица 2.** Классификация геморрагического шока<sup>1</sup>

Стадия шока	I	II	III	IV
Кровопотеря (мл) <sup>2</sup>	До 750 мл	750-1000	1500-2000	>2000
Кровопотеря (% ОЦК) <sup>2</sup>	До 15	15-30	30-40	>40
ЧСС (сокращений в минуту)	Менее 100	100-120	120-140	>140
АД (мм рт. ст.)	Норма	Норма	Снижено	Снижено
ЧД (дыханий в минуту)	14-20	20-30	30-40	>40
Ментальный статус	Слегка встревожен	Умеренно встревожен	Встревожен, сонлив	Нарушение сознания

<sup>1</sup>Данные предоставлены Комитетом по травмам Американской коллегии хирургов.

<sup>2</sup>Объем кровопотери и процент от общего объема крови указаны для пациента мужского пола с массой тела 70 кг.

По прибытии в отделение неотложной помощи первичная оценка и лечение проводятся одновременно у тяжелораненого пациента в соответствии со стандартными протоколами ATLS. Первичный осмотр начинается со стабилизации дыхательных путей, дыхания, кровообращения, оценки инвалидности и контроля воздействия/окружающей среды (ABCDEs; т. е. первичный осмотр) [16,90]. Во время вторичного осмотра пациенты оцениваются с головы до ног на основе их гемодинамического статуса и механизма травмы (тупая и/или проникающая) с учетом того, что гипотония является вторичной по отношению к кровотечению, если не доказано иное [16].

Первоначальный агрессивный подход к реанимации должен применяться ко всем взрослым пациентам с травмами и кровотечением, включая пациентов с травмами пожилого возраста [91]. Сосудистый доступ осуществляется как можно быстрее с помощью двух внутривенных линий большого диаметра (16G или больше). При возникновении трудностей с установкой внутривенных линий эффективными альтернативами являются периферическая венозная катетеризация под контролем УЗИ или центральная венозная катетеризация, внутрикостные устройства и периферическая венесекция [92,93,94]. Первоначальная лабораторная оценка включает кровь на перекрестную совместимость, общий анализ крови (базовый гемоглобин,



гематокрит и тромбоциты), полную метаболическую панель, исследования коагуляции [тромбоэластография (ТЭГ) и ротационная тромбоэластометрия (РОТЭМ), если они доступны], сывороточный лактат и газовый состав артериальной крови (сывороточный бикарбонат для оценки дефицита оснований) [30,95].

Последующая неотложная помощь включает активацию протоколов массивной трансфузии (МТ) и переливание равных количеств эритроцитов, СЗП и тромбоцитов в соотношении 1:1:1 (исследование *PROPPR*) во время ранней эмпирической фазы реанимации. Фармацевтические добавки, такие как кальций и транексамовая кислота, являются важными компонентами оптимизации гемостаза [84,96-101]. Руководства Восточной ассоциации хирургии травм (EAST) сравнивают МТ с высоким соотношением (1:1:1) СЗП, тромбоцитов и эритроцитов (относительно больше плазмы и тромбоцитов) против низкого соотношения 1:1:2 (относительно меньше плазмы и тромбоцитов) [101]. Качественный анализ EAST показал преимущество в отношении ранней смертности при нацеливании на высокое соотношение [97,102] из-за более частого достижения гемостаза [97], снижения смертности от кровотечения из крупной артерии [103] или обескровливания [97]. До 1970-х годов цельная кровь была предпочтительной реанимационной жидкостью для пациентов с кровотечением и травмами [104]. Последние данные из военной и гражданской травматологической литературы, предполагающие лучший глобальный гемостаз с использованием цельной крови, а не компонентов крови, привели к возобновлению интереса к трансфузии цельной крови [96,101,105].

Необходимо помнить, что компоненты массивной трансфузии содержат антикоагулянт цитрат, который печень быстро метаболизирует у здоровых людей. У пациентов, получающих МТ, цитрат может стать токсичным с опасной для жизни гипокальциемией и прогрессирующей коагулопатией [100,106]. Эмпирическое дозирование кальция (например, 1 г хлорида кальция после введения 4 единиц эритроцитов и/или СЗП) [106] следует сочетать с частыми измерениями уровня электролитов для предотвращения гипо- или гиперкальциемии. [100] В течение первых 6 ч введение изотонического кристаллоида следует ограничить 3 л для снижения риска дыхательной недостаточности, острого повреждения почек, синдромов абдоминального и конечностного компартмента, коагулопатии и, возможно, смертности [107,108,109]. Использование не по назначению прокоагулянтных гемостатических вспомогательных средств, включая активированный рекомбинантный фактор VII, транексамовую кислоту, концентрат протромбинового комплекса и концентрат фибриногена, должно основываться на тщательной интерпретации исходных исследований и текущих руководств [101]. Наличие массивных протоколов переливания крови вместе с их своевременной активацией и реанимацией с контролем повреждений (DCR) обеспечивает снижение смертности у пациентов с травмами [101,110].



## **Окончательный гемостаз и хирургическое вмешательство по контролю повреждений (DCS)**

Пациентам с травмами и массивным кровотечением требуется своевременный, окончательный гемостаз с помощью хирургического вмешательства или ангиографии с эмболизацией, поскольку длительное время до гемостаза связано с увеличением потребности в переливании крови и повышением смертности [111,112]. С самого начала важно определить полость с наиболее значительным кровотечением с помощью диагностической визуализации или инвазивных методов (FAST, диагностическая плевральная пункция, торакастомия), поскольку неправильно организованное хирургическое исследование задерживает окончательный гемостаз и увеличивает риск смерти [113]. Пациенты с кровотечением из конечностей, требующим наложения жгута, и/или многополостным кровотечением в туловище не должны оставаться в отделении неотложной помощи более 10 минут [111].

Массивный гемоторакс ( $\geq 1500$  мл) выявляется во время первичного обследования и первоначально лечится с помощью дренирования плевральной полости. Физиология пациента, а не абсолютные цифры начального или постоянного сброса крови по дренажу, должна быть первичным показанием к хирургическому вмешательству. Одномоментное кровотечение  $\geq 20$  мл/кг (приблизительно 1500 мл) или непрерывное кровотечение  $\geq 3$  мл/кг/час (приблизительно 200 мл/час в течение 2–4 часов) можно считать показанием к хирургической торакотомии, но достаточных научных доказательств нет, и необходимы дальнейшие исследования [16,114,115].

У пациентов с травмой живота важны хирургическое решение и время, и для определения необходимости лапаротомии обычно используются следующие показания [116-118]: тупая травма живота с гипотонией и положительным FAST (**Рисунок 3а, 3б; Видео 3, Видео 4 в конце текста**) или клинические признаки внутрибрюшинного кровотечения/перитонита без другого источника кровотечения [116-119]. Пациентам с проникающими ранениями живота с сопутствующей гипотонией, перитонитом, кровотечением из желудка (аспирация через зонд), прямой кишки, мочевого тракта или эвисцерацией может потребоваться экстренная лапаротомия [120,121]. Решения относительно огнестрельных ранений принимаются на основе траектории, эффекта кавитации и возможной фрагментации пули [120]. Огнестрельные ранения, которые при физическом осмотре или рутинной визуализации демонстрируют проникновение в брюшную полость или внутренние органы и сосудистую область забрюшинного пространства, обычно требуют лапаротомии [120,122]. Тупые или проникающие повреждения твердых органов у гемодинамически стабильных пациентов часто можно лечить консервативно, но их следует госпитализировать для тщательного наблюдения и оценки с помощью последовательных физических осмотров и/или КТ с контрастным усилением [122 -126].



Пациенты с гипотонией и переломом таза имеют высокий уровень смертности и требуют командных спасательных усилий хирургов-травматологов, ортопедов и интервенционных радиологов или сосудистых хирургов [127,128]. Кровоизлияние обычно включает разрыв заднего костно-связочного комплекса (т. е. крестцово-подвздошного, крестцово-остистого, крестцово-бугорного и фиброзно-мышечного тазового дна), что подтверждается переломом крестца, крестцово-подвздошным переломом и/или вывихом крестцово-подвздошного сочленения [16,127,128]. На основе силы травмы переломы таза классифицируются на четыре типа (**Таблица 1**) и могут предсказать, есть ли у пациентов высокий риск массивного кровотечения [16,127,129]. Начальный контроль кровотечения достигается посредством механической стабилизации тазового кольца и внешнего противодействия посредством внутреннего вращения нижних конечностей с применением простыни или тазового бандажа на уровне больших вертелов бедренной кости [16]. Последующее вмешательство может включать предбрюшинную тампонаду, установку внешнего фиксатора, а ангиографическую эмболизацию можно использовать для контроля тазового венозного, а также артериального кровотечения. [127,128,130]

Реанимационная эндоваскулярная баллонная окклюзия аорты (REBOA) при кровотечении находится на ранних стадиях оценки, но она может уменьшить объем кровотечения дистальнее места окклюзии и предоставить окно возможностей для реанимации и окончательного контроля кровотечения [131-134]. Консенсусная группа рекомендовала использовать REBOA у пациентов с начальным артериальным давлением <90 мм рт. ст., которые не реагируют или реагируют только временно на волемическую реанимацию [135]. Контролируемая частичная REBOA в настоящее время технически возможна, и ее использование также поддерживается группой экспертов, которые предполагают, что наиболее жизнеспособным инструментом для продления потенциального использования REBOA при попытке избежать опасностей дистальной ишемии является ранняя частичная окклюзия (переход к частичной окклюзии после короткого периода полной окклюзии) [135]. REBOA ассоциируется со значительно сниженной смертностью по сравнению с отсутствием метода окклюзии аорты, но более длительное время окклюзии ассоциируется с повышенной смертностью [133]. Необходимы дальнейшие исследования для определения допустимой продолжительности надувания баллона, типа баллона, идеального времени размещения REBOA и подходящих пациентов, которым может быть полезна REBOA. Доклинические исследования, оценивающие эти и другие методы REBOA, продолжаются [136].

Реанимация и лечение опасных для жизни травм имеют приоритет над травмой конечности или опорно-двигательного аппарата [16,137]. Важно своевременно распознавать и лечить повреждения артерий опорно-двигательного аппарата, синдром сдавления, открытые переломы, размозжения и вывихи [16,137]. Уровень



смертности при повреждениях артерий составляет 2,2% для верхних конечностей и 7,7% для повреждений нижних конечностей [138]. Поэтапный подход к остановке кровотечения используется путем применения прямого давления, шин, жгутов (250 мм рт. ст. на верхней конечности и 400 мм рт. ст. на нижней конечности) и немедленного оперативного хирургического восстановления, когда повреждение опорно-двигательного аппарата является источником гемодинамической нестабильности [137]. Кровотечение из ран на коже головы может быть обширным и может быть остановлено путем применения прямого давления, прижигания и перевязки крупных сосудов с помощью соответствующего использования швов, зажимов или скоб [139].

В 1980-х годах была инициирована концепция «хирургии контроля повреждений» (DCS) для тяжелораненых пациентов с полисистемной травмой. Эту концепцию можно разбить на отдельные фазы [140,141]. **Фаза 0** включает быструю транспортировку и сортировку для лечения (например, операционная, ангиографический блок). **Фаза 1** охватывает хирургию для остановки кровотечения, ограничения загрязнения и поддержания оптимального притока крови к жизненно важным органам и конечностям. Оперативное время ограничено, чтобы свести к минимуму дальнейшее обострение «летальной триады» коагулопатии, гипотермии и ацидоза. **Фаза 2** представляет собой реанимацию в отделении интенсивной терапии, а **фаза 3** - поэтапный подход к окончательному восстановлению всех травм на основе физиологического состояния пациента. Наконец, **фаза 4** включает закрытие живота или других ран мягких тканей и отсроченную сложную реконструктивную хирургию, если первичное закрытие фасции не было достигнуто во время первоначальной госпитализации [141]. DCR и DCS связаны с преимуществом выживания и более короткой продолжительностью пребывания в отделении интенсивной терапии у пациентов с тяжелым кровотечением [142]. Фазы и принципы Damage Control Resuscitation (DCR) и Damage Control Surgery (DCS), а также алгоритм достижения этих целей обобщены на **Рисунке 5**.

## **КОНЕЧНЫЕ ТОЧКИ РЕАНИМАЦИИ**

Традиционный стандарт курса ATLS по маркерам успешной реанимации включает восстановление нормального артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и диуреза [16]. Однако примерно у 85% тяжелораненых жертв травм все еще наблюдаются признаки недостаточной оксигенации тканей после нормализации АД, ЧСС и диуреза на основе продолжающегося метаболического ацидоза или ишемии слизистой оболочки желудка [143]. Руководящие принципы Восточной ассоциации хирургии травм (EAST) по конечным точкам реанимации делятся на 2 категории: глобальные и региональные [144]. Пациенты, достигшие сверхнормальных глобальных целей доставки кислорода (сердечный индекс (СИ) >4,5 л/мин/м<sup>2</sup>, доставка кислорода (DO<sub>2</sub>) >600 мл/мин/м<sup>2</sup> и потребление кислорода (VO<sub>2</sub>)



$>170$  мл/мин/м<sup>2</sup>), могут иметь больше шансов на выживание, чем те, кто не достиг этих целей, но нет убедительных доказательств того, что попытка достичь этих целей напрямую улучшает выживаемость [145,146]. Попытка достичь сверхнормальных целей доставки кислорода может привести к чрезмерной реанимации, открытым животам, более длительной вентиляции и повышенной смертности [107,108]. Другие соображения относительно глобальных конечных точек реанимации включают нормализацию дефицита оснований (нормальный диапазон  $\pm 2$  мЭкв/л), молочной кислоты (нормальный диапазон 0,5–1 ммоль/л) и углекислого газа в конце выдоха (нормальный диапазон 35–45 мм рт. ст.) [11,147], однако эти значения не продемонстрировали убедительного преимущества в плане выживания [144].

Региональные конечные точки включают мониторинг ишемии желудка с использованием желудочной тонометрии или внутрислизистого рН (рН<sub>i</sub>, нормальный диапазон  $\geq 7,35$ ) и сублингвального рСО<sub>2</sub> (нормальный диапазон  $45,2 \pm 0,7$  мм рт. ст.). Нормализация рН<sub>i</sub> или разрыва рСО<sub>2</sub> может предсказать лучший результат [148–150]. Скелетные мышцы и подкожная клетчатка рО<sub>2</sub> (нормальный диапазон 80–100 мм рт. ст.), рСО<sub>2</sub> (нормальный диапазон 35–45 мм рт. ст.) и рН (нормальный диапазон  $7,03 \pm 0,02$ ) могут контролироваться для демонстрации сниженного регионального кровотока с помощью ближней инфракрасной спектроскопии или тканевых электродов [151,152]. Предварительные данные свидетельствуют о том, что они могут иметь потенциал для прогнозирования риска СПОН и смерти после травмы [144]. Были изучены многочисленные параметры конечной точки реанимации, но они не продемонстрировали явных преимуществ в снижении смертности, и необходимы дополнительные исследования [144].

## **ВЫВОДЫ**

Травматическое кровотечение представляет собой серьезную проблему, которая приводит к высокой смертности пациентов при отсутствии надлежащего лечения. Время от травмы до госпитализации, диагностики, реанимации и определенного гемостаза должно быть максимально сокращено. Патофизиология травматического кровотечения сложна, и методы визуализации важны для определения источника кровотечения. Применение реанимации с контролем повреждений (DCR), окончательного гемостаза и хирургии контроля повреждений (DCS) показало многообещающие результаты у пациентов с травмами. Разработаны руководящие принципы для конечных точек реанимации, но они слишком ограничены по своему охвату, чтобы показать четкую пользу результата на данном этапе. Значительная работа по снижению заболеваемости и смертности, связанных с травматическим кровотечением, в областях первичной профилактики, раннего распознавания и точной диагностики, реанимационной терапии с гемостазом и определения конечных точек реанимации еще не завершена.



## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

(для просмотра видео дважды нажать на файл и запустить видео)



13049\_2023\_1088\_  
MOESM1\_ESM.pptx

**Видео 1.** Субсифоидальный вид сердца. Большой перикардиальный выпот, вызывающий тампонаду. **L** — печень; **LV** — левый желудочек; **PE** — перикардиальный выпот; **RV** — правый желудочек; **T** — тромб.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM2\_ESM.pptx

**Видео 2.** Правосторонняя грудная проекция на уровне диафрагмы с правосторонним гемотораксом. Грудной отдел позвоночника визуализируется над диафрагмой. Обычно грудной отдел позвоночника скрыт воздухом внутри легкого. **HT** — гемоторакс; **L** — печень; **D** — диафрагма; **TS** — грудной отдел позвоночника; **SS** — признак позвоночника.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM3\_ESM.pptx

**Видео 3.** Вид правого верхнего квадранта живота. Анэхогенный гемоперитонеум в гепаторенальном пространстве. **HP** — гемоперитонеум; **L** — печень; **RK** — правая почка.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM4\_ESM.pptx

**Видео 4.** Вид левого верхнего квадранта живота. Анэхогенный гемоперитонеум в спленоренальном пространстве. **HP** - гемоперитонеум; **LK** - левая почка; **S** - селезенка.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM5\_ESM.pptx

**Видео 5.** Сагиттальная проекция таза. Анэхогенный гемоперитонеум краниально и сзади мочевого пузыря. **HP** - гемоперитонеум; **B** - мочевой пузырь.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM6\_ESM.pptx

**Видео 6.** Поперечный вид таза. Анэхогенный гемоперитонеум позади мочевого пузыря. **HP** - гемоперитонеум; **B** - мочевой пузырь.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM7\_ESM.pptx

**Видео 7.** Трансторакальная эхокардиография. Сагиттальная проекция по длинной оси нижней полой вены. Коллапс нижней полой вены >50% при дыхании дает представление о состоянии жидкости у взрослого пациента с травмой. **IVC** - нижняя полая вена, **HP** - печеночная вена, **RA** - правое предсердие, **L** - печень.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM8\_ESM.pptx

**Видео 8.** Трансторакальная эхокардиография. Трансгастральная проекция по короткой оси. диастола; систола. Тяжелая гиповолемия левого желудочка и признак щелевидия папиллярных мышц во время систолы. **LV** - левый желудочек; **RV** - правый желудочек.



13049\_2023\_1088\_  
MOESM9\_ESM.pptx

**Видео 9.** Апикальная 4-камерная проекция. Состояние и функция внутрисосудистого объема: Сниженное изменение фракционной площади, указывающее на дисфункцию как ПЖ, так и ЛЖ. **LV** — левый желудочек; **MV** — митральный клапан; **RV** — правый желудочек.

**БИБЛИОГРАФИЯ ДОСТУПНА В ОРИГИНАЛЬНОЙ АНГЛОЯЗЫЧНОЙ ВЕРСИИ ДАННОЙ СТАТЬИ ПО АДРЕСУ:**

Latif et al. Scand J Trauma Resusc Emerg Med (2023) 31:25

<https://doi.org/10.1186/s13049-023-01088-8>