




REVIEW

Open Access

Traumatic hemorrhage and chain of survival



Rana K. Latif^{1,2,3*} , Sean P. Clifford¹, Jeffery A. Baker⁴, Rainer Lenhardt¹, Mohammad Z. Haq¹,
Jiapeng Huang^{1,5,6,7,8}, Ian Farah¹ and Jerrad R. Businger¹

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].

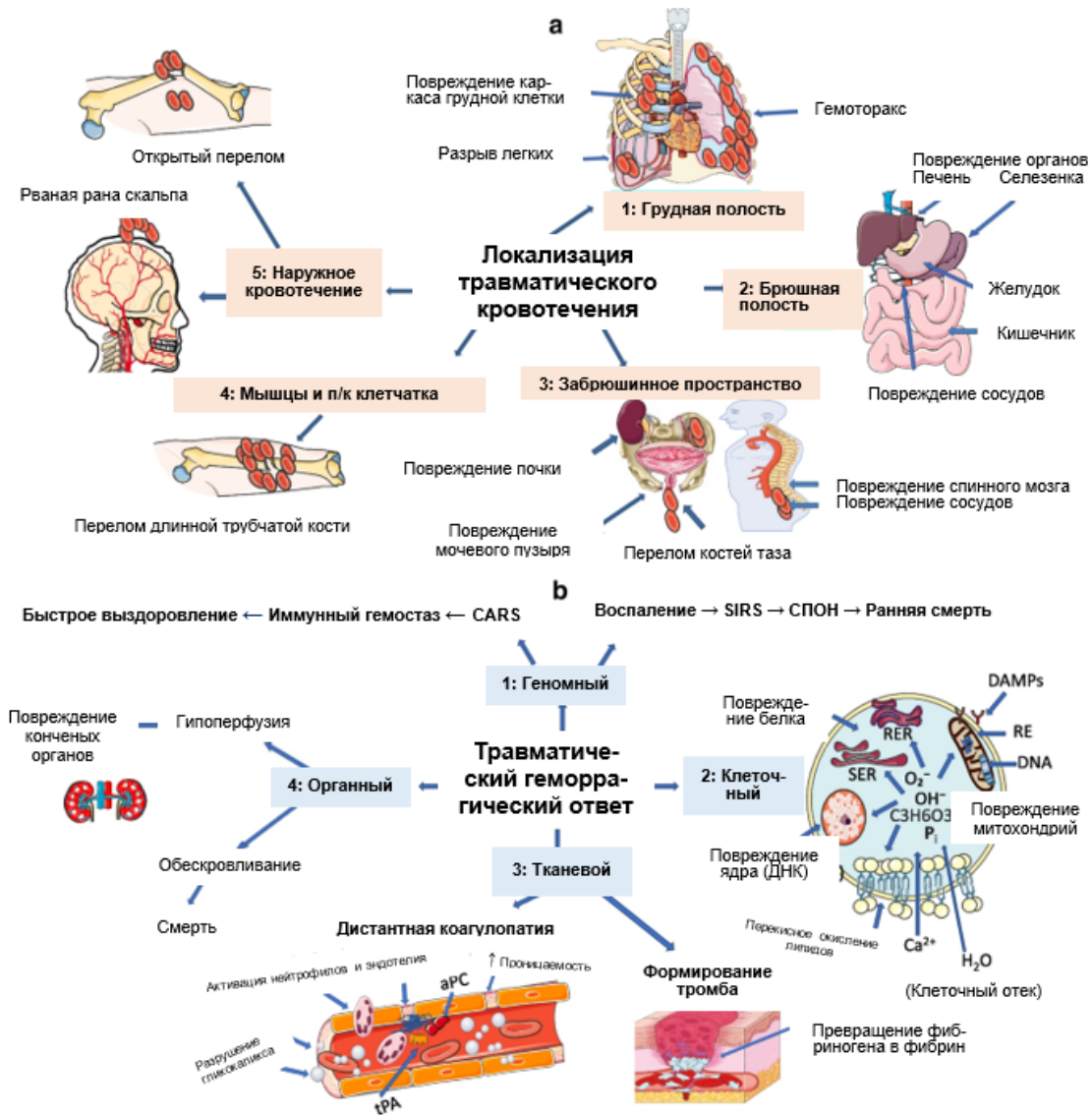


Рисунок 1. Патофизиология травматического геморрагического шока.

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, C₃H₆O₃ - молочная кислота, O₂•-, 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
(1) Гемоторакс (плевральная полость) ATLS [16]	Рентгенограмма грудной клетки (Рисунок 2а)	Переднезадняя (предпочтительно вертикально)	Притупление реберно-диафрагмального угла или частичное или полное затемнение пораженной половины грудной клетки
(2) Кровотечение в области таза (а) Компрессионный перелом передней поверхности (15–20%) (б) Боковой компрессионный перелом (60–70%) (с) Вертикальный перелом со смещением (5–15%) (д) Комбинированный механизм перелома Cullinane et al. [127]	Рентгенограмма таза (Рисунок 2б)	Переднезадняя	(а) Диастаз лобковых костей, разрыв тазового кольца (б) Внутренняя ротация с риском повреждения мочевого пузыря и уретры (с) Вертикальное смещение крестцово-подвздошного сочленения (д) Комбинированное
(3) Политравма Fang et al. [40], Cinquantini et al. [41]	КТ, мультidetекторная КТ	2D-визуализация «среза» тела. Могут использоваться для построения 3D-изображений	Комплексное выявление травм грудной клетки, живота, таза и активного кровотечения
(4) Гемоперикард (Тампонада перикарда) Klein et al. [46]	FAST (2D) М-режим Допплер (Рисунок 2с, Видео 1 в конце текста)	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
(5) Гемоторакс (плевральная полость) Brooks et al. [50]	FAST (2D) (Рисунок 2d, Видео 2 в конце текста)	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



(6) Внутривнутрибрюшинная свободная жидкость <i>(Брюшинная полость)</i> <i>Holmes et al. [51]</i>	FAST (2D) (Рисунок 3а, Видео 3 в конце текста) (Рисунок 3б, Видео 4 в конце текста)	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
(7) Внутривнутрибрюшинная свободная жидкость <i>(Таз)</i> <i>Cullinane et al. [127]</i>	FAST (2D) (Рисунок 3с, Видео 5 в конце текста) (Рисунок 3д, Видео 6 в конце текста)	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)
(8) Состояние внутрисосудистого объема: <i>Размер/коллабируемость нижней полой вены, как суррогат давления в правом предсердии</i> <i>Rudski et al. [54], Brennan et al. [55]</i>	2D (Рисунок. 4а, 4б) (Видео 7 в конце текста)	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.
(9) Состояние внутрисосудистого объема и сердечная функция: <i>Размер, площадь и объем камер ЛЖ и ПЖ</i> <i>Lang et al. [56]</i>	2D Объем (Рисунок 4с, d) (Видео 8 в конце текста) Функция (Видео 9 в конце текста)	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 $\geq 35\%$
(10) Ударный объем сердца и функция (ЛЖ): LVOT VTI <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 ≥ 18 см
(11) Функция ПЖ: TAPSE <i>Тканевой доплер RV S'</i> <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 ≥ 16 мм RV S' ≥ 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].

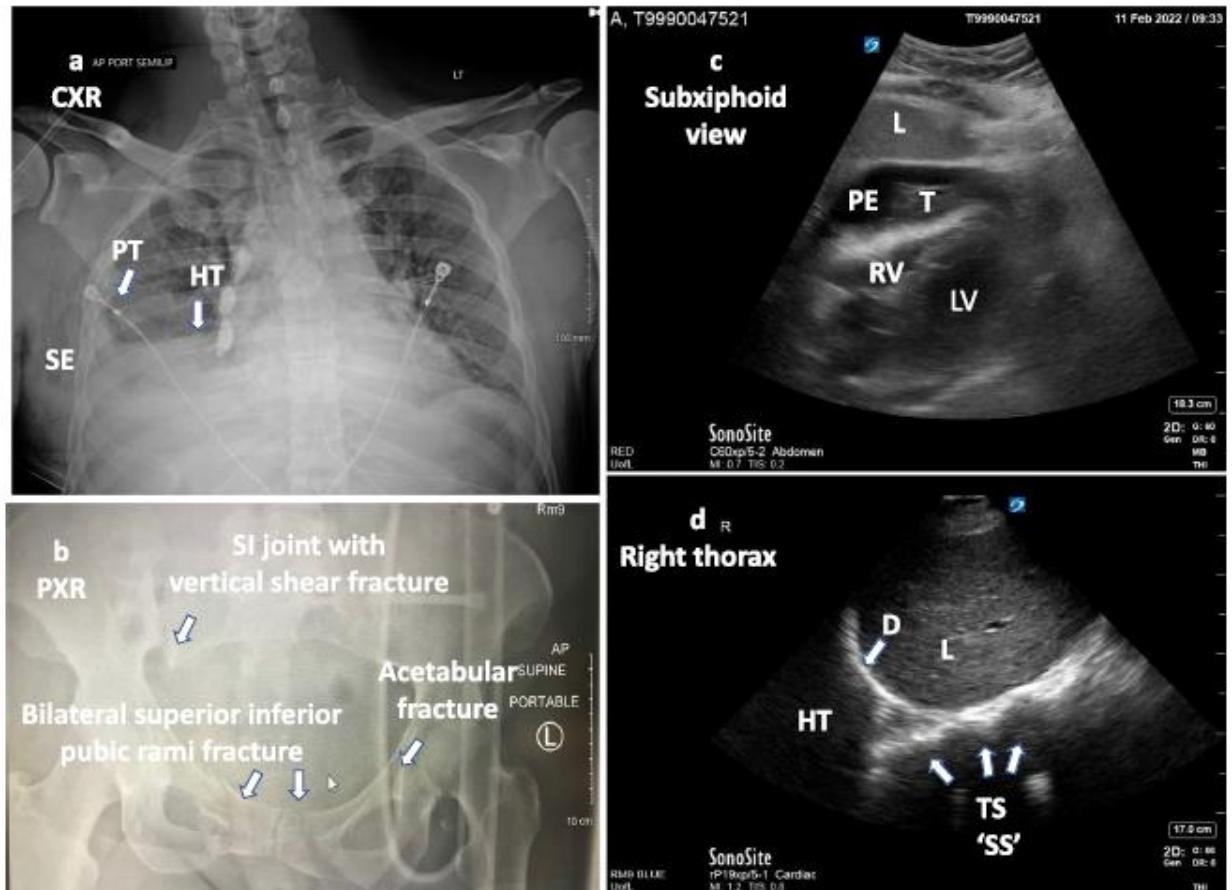


Рисунок 2.

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].

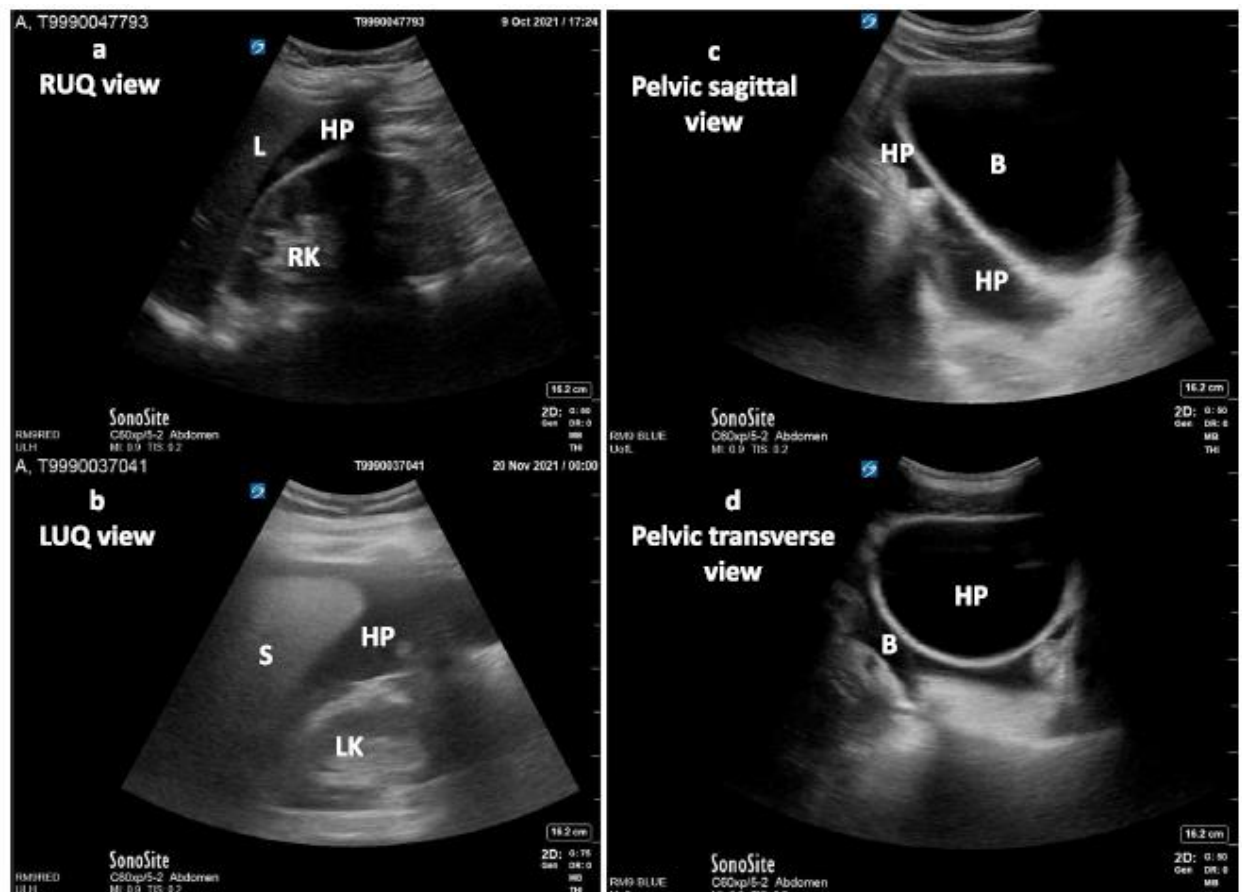


Рисунок 3.

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].

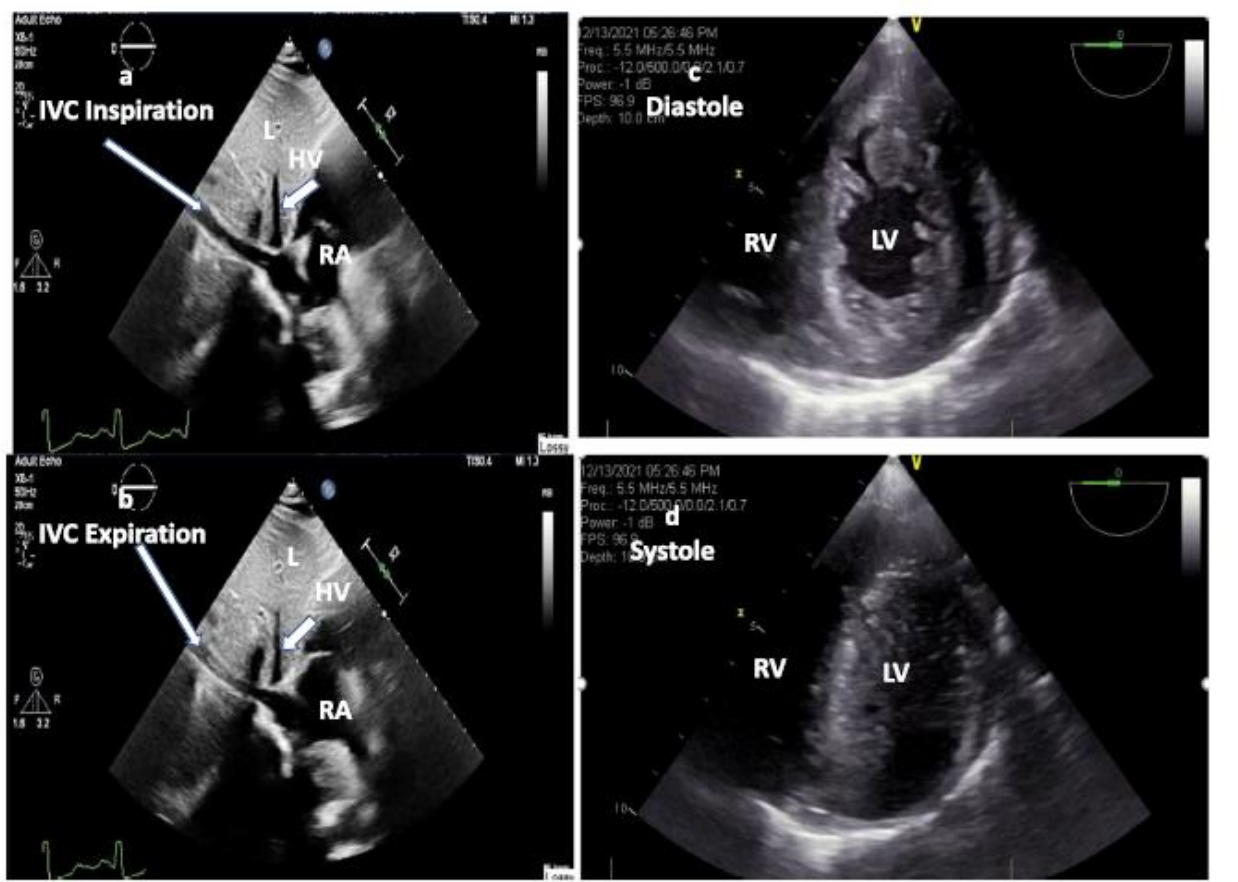


Рисунок 4.

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**).

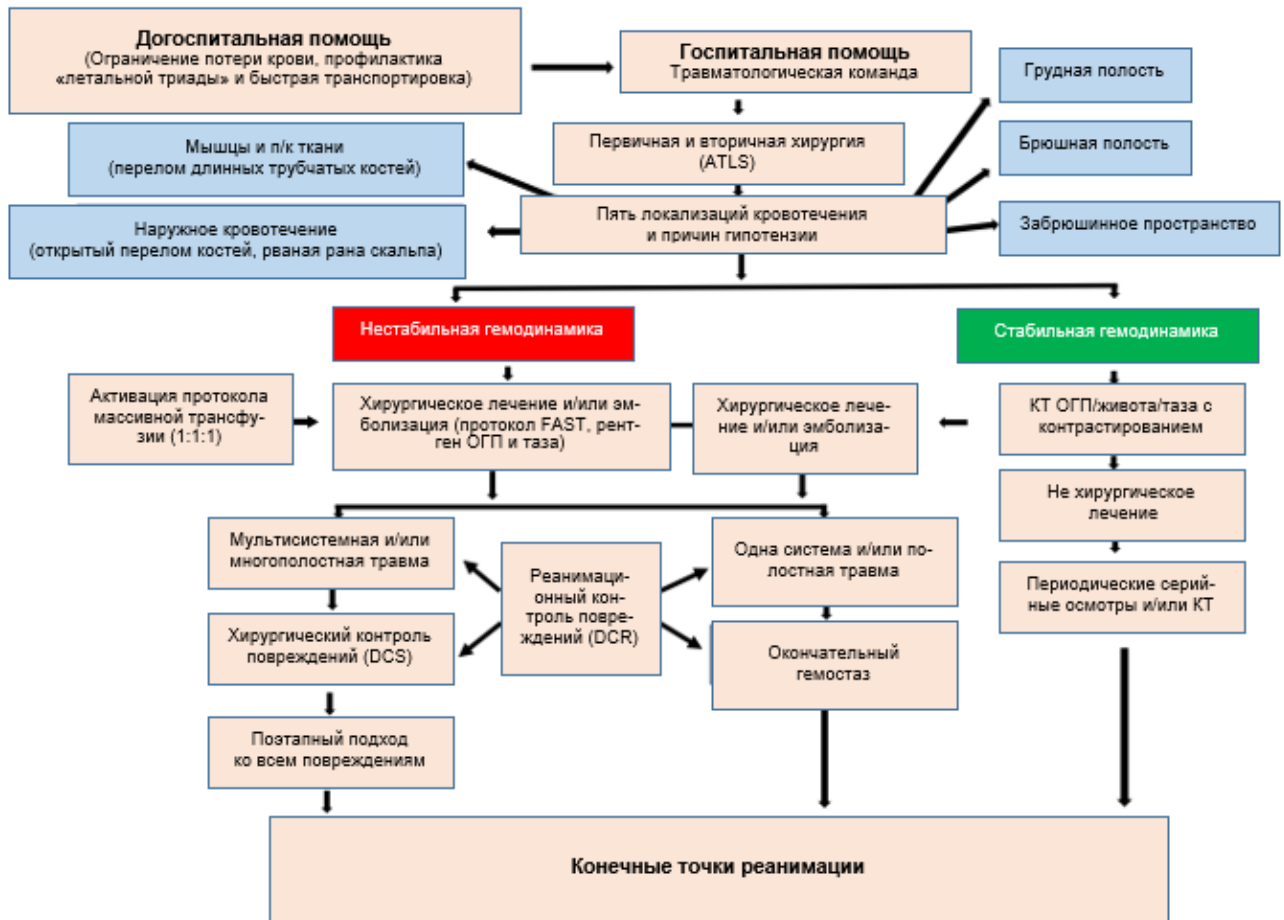


Рисунок 5. Травматическое кровотечение и цепочка выживания.

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 ≥ 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 высококоррелябельным [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 ≤ 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 шока¹

Стадия шока	I	II	III	IV
Кровопотеря (мл) ²	До 750 мл	750-1000	1500-2000	>2000
Кровопотеря (% ОЦК) ²	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

¹Данные предоставлены Комитетом по травмам Американской коллегии хирургов.

²Объем 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, торакотомия), 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 (≥ 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 ≥ 20 мл/кг (приблизительно 1500 мл) или непрерывное кровотечение ≥ 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 волемиическую 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/м², доставка кислорода (DO₂) >600 мл/мин/м² и потребление кислорода (VO₂)



>170 мл/мин/м²), 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 ± 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_i, нормальный диапазон $\geq 7,35$) и сублингвального рСО₂ (нормальный диапазон $45,2 \pm 0,7$ мм рт. ст.). Нормализация рН_i или разрыва рСО₂ может предсказать лучший результат [148–150]. Скелетные мышцы и подкожная клетчатка рО₂ (нормальный диапазон 80–100 мм рт. ст.), рСО₂ (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 пощелуя 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>