

РОЛЬ ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ БАЛЛОННОЙ ОККЛЮЗИИ АОРТЫ В ТАКТИКЕ КОНТРОЛЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЕЕ ВЕТВЕЙ

Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А.*, Стекольников Н.Ю.

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского», Саратов

DOI: 10.25881/20728255_2023_18_1_120

Резюме. Реанимационная эндоваскулярная баллонная окклюзия аорты (РЭБОА) — инновационный метод временной остановки кровотока при травмах живота и таза. Частота применения данного метода увеличивается с каждым годом. Между тем, влияние РЭБОА на гемодинамику и физиологию организма недостаточно изучено, ее роль в стратегии контроля поврежденных остается неоднозначной.

В обзоре рассмотрена тактика, эффективность и опасности применения РЭБОА при травмах на основе результатов последних клинических и экспериментальных исследований.

РЭБОА эффективна для стабилизации гемодинамики у пациентов с травмами живота и / или таза с продолжающимся кровотечением и имеет приоритет перед реанимационной торакотомией с пережатием аорты. Применение РЭБОА сопряжено с риском опасных осложнений, связанных с артериальным доступом и размещением баллона в аорте, ишемией и реперфузией. Окклюзия аорты может усилить кровотечение из поврежденных печеночных вен, сосудов груди, головного мозга; повысить внутричерепное давление. Методы частичной и прерывистой баллонной окклюзии аорты позволяют пролонгировать окклюзию аорты со значительно меньшими последствиями реперфузионного синдрома и снизить риск летального исхода. Улучшение результатов использования РЭБОА может быть достигнуто в травмоцентрах, в которых выполняется более 10 вмешательств в год, применяется гибридная тактика лечения тяжелых травм с упреждающим ранним доступом к артерии у пациентов с нестабильной гемодинамикой.

Ключевые слова: травма; кровотечение; баллонная окклюзия аорты; контроль повреждений.

При травмах груди, живота и таза кровотечение остается основной причиной смерти, которую можно отнести к категории предотвратимых [1]. Реанимационная эндоваскулярная баллонная окклюзия аорты (РЭБОА) — инновационный метод временной остановки артериального кровотечения при травмах живота и таза путем перекрытия просвета аорты баллонным катетером, введенным через интродьюсер, установленный в бедренной артерии. Она была впервые применена С.В. Hughes в 1954 г. во время Корейской войны у трех раненых солдат с внутрибрюшным кровотечением [2]. В последнее время частота применения РЭБОА в развитых странах увеличивается с каждым годом и по данным многоцентровых исследований используется у 1% пациентов травмоцентров I уровня [3]. Роль РЭБОА в остановке кровотечения при тяжелой травме неоднозначна и широко обсуждается в научной литературе. Метод РЭБОА становится дополнительным элементом в тактике реанимационного контроля повреждений (Damage Control Resuscitation), наряду с управляемой гипотензией (Permissive Hypotension), гемостатической «реанимацией» (Hemostatic

THE ROLE OF RESUSCITATIVE ENDOVASCULAR BALLOON OCCLUSION OF THE AORTA IN THE TACTICS OF DAMAGE CONTROL

Shapkin Yu.G., Seliverstov P.A.*, Stekolnikov N.Yu.

Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russia

Abstract. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta is an innovative method for temporarily stopping bleeding in injuries of the abdomen and pelvis. The frequency of this method is increasing every year. Meanwhile, the effects of aortic balloon occlusion on hemodynamics and body physiology are not well understood, and its role in the injury control strategy remains ambiguous.

The review considers the tactics, effectiveness and dangers of using aortic balloon occlusion in trauma based on the results of recent clinical and experimental studies.

Aortic balloon occlusion is effective in haemodynamic stabilization in patients with abdominal and / or pelvic trauma with ongoing bleeding and has priority over resuscitation thoracotomy with aortic clamping. The use of aortic balloon occlusion is associated with the risk of dangerous complications associated with arterial access and balloon placement in the aorta, ischemia and reperfusion. Aortic occlusion can increase bleeding from damaged hepatic veins, chest vessels, brain; increase intracranial pressure. Methods of partial and intermittent balloon occlusion of the aorta can prolong aortic occlusion with significantly less consequences of the reperfusion syndrome and reduce the risk of death. Improvement in the results of the use of aortic balloon occlusion can be achieved in trauma centers that perform more than 10 interventions per year, using a hybrid tactic for the treatment of severe injuries with proactive early access to the artery in patients with unstable hemodynamics.

Keywords: trauma, bleeding, aortic occlusion balloon; damage control.

Resuscitation) и хирургическим контролем повреждений (Damage Control Surgery) [1; 4]. Между тем, к настоящему времени недостаточно изучено влияние РЭБОА на гемодинамику и физиологию внутренних органов, не установлены механизмы развития осложнений, четко не определена тактика применения и оптимальные режимы окклюзии аорты.

Цель обзора — рассмотреть тактику, эффективность и опасности использования РЭБОА при травмах на основе последних клинических и экспериментальных исследований. Проведен поиск научных статей в базе данных PubMed и Научной электронной библиотеке (eLIBRARY.ru), опубликованных с 2017 по 2022 гг.

Тактика применения РЭБОА при травмах

Выполнение РЭБОА предлагается рассматривать при травмах живота и / или таза с продолжающимся кровотечением, нестабильной гемодинамикой с систолическим артериальным давлением (АД) ниже 90 мм рт. ст. и отсутствием эффекта от инфузионной терапии. Цель РЭБОА — уменьшить кровопотерю, повысить АД для

* e-mail: seliverstov.pl@yandex.ru

поддержания церебральной и коронарной перфузии до остановки кровотечения другими хирургическими вмешательствами [1; 5]. Окклюзия аорты осуществляется в зоне I (нисходящей грудной аорте) при наличии признаков внутрибрюшного или забрюшинного кровотечения. Баллон раздувается в зоне III (инфраренальной брюшной аорте), если отсутствуют признаки гемоперитонеума и подозревается внутритазовое кровотечение при повреждениях таза [4; 6].

РЭБОА противопоказана при тампонаде сердца, кровотечениях из магистральных артерий груди, грудной аорты [6]. Между тем, сообщается о случаях использования РЭБОА в зоне I при проникающих ранениях груди с продолжающимся кровотечением для поддержания достаточной перфузии жизненно важных органов во время экстренной торакотомии [4].

Потенциальное количество пациентов, которым показано выполнение РЭБОА, невелико и составляет 0,4–1% от всех госпитализированных в травмоцентры I уровня [3; 7; 8]. Встречаемость среди населения травм, при которых может быть использована РЭБОА, составляет 2,5 случая на один млн. жителей в год [8].

РЭБОА при травмах повышает систолическое АД в среднем на 40–55 мм рт. ст. через 5 мин. после раздувания баллона [3; 9–11]. Гемодинамический эффект окклюзии аорты зависит от исходного систолического АД, уровень которого является независимым фактором риска летального исхода [12]. Чем ниже АД до РЭБОА, тем в меньшей степени оно повышается после окклюзии аорты и меньше шансов на выживание. Летальность значимо выше у пациентов, у которых систолическое АД после РЭБОА остается ниже 90 мм рт. ст. [10]. У пациентов, у которых РЭБОА выполнена при систолическом АД менее 70 мм рт. ст., значимо увеличивается вероятность остановки сердца. Летальность в течение первых суток у пациентов, которым окклюзия аорты осуществляется при систолическом АД ниже 60 мм рт. ст., составляет более 50% [13]. При угрозе остановки сердца (снижении систолического АД ниже 40 мм рт. ст.) стабилизация гемодинамики после РЭБОА достигается только в половине случаев, всего лишь 37% пациентов выживают [14]. Клинические и экспериментальные исследования показали, что РЭБОА в зоне I в большей степени повышает систолическое АД, чем окклюзия аорты в зоне III, но приводит к более выраженной ишемии органов и реперфузионному синдрому, повышает риск полиорганной недостаточности [15; 16].

РЭБОА рекомендуют применять до остановки сердца. У пациентов, которым РЭБОА выполняется на фоне сердечно-легочной реанимации, шансы на стабилизацию гемодинамики после восстановления кровообращения снижаются [17]. Между тем, в 27–56% случаях РЭБОА проводится во время сердечно-легочной реанимации, которая оказывается эффективной у 60% пациентов [3; 18]. В таких случаях только 40% больных доживают до начала операции, летальность достигает 90% [18].

Для определения показаний к РЭБОА и выбора зоны окклюзии у пациентов с нестабильной гемодинамикой рекомендуется выполнить рентгенографию органов груди и таза, УЗИ по протоколам FAST (Focused assessment with sonography for trauma) / eFAST (extended FAST) или лапароцентез. Данные исследования направлены на выявление признаков внутриплеврального и внутрибрюшного кровотечения, тампонады сердца, повреждений грудной аорты, нестабильных повреждений таза, которые могут свидетельствовать о внутритазовом кровотечении [4]. Ретроспективный анализ показал, что число кандидатов на выполнение РЭБОА, отобранных на основании признаков нестабильности гемодинамики, данных FAST и рентгенографии, превышает в 3 раза количество пациентов, которым окклюзия аорты была бы действительно показана [7]. Нестабильность гемодинамики может быть обусловлена тяжелой черепно-мозговой травмой (ЧМТ), а не кровопотерей. Оценка по шкале Glasgow Coma Scale 9 и более баллов свидетельствует об отсутствии тяжелой ЧМТ и предложена в качестве дополнительного критерия для определения необходимости выполнения РЭБОА у пациентов с нестабильной гемодинамикой [19]. У больных с систолическим АД на уровне 70–90 мм рт. ст., реагирующих на инфузионную терапию, допускается использование высокоинформативной первичной КТ «всего тела», которая включает сканирование головы, шеи, груди, живота и таза, позволяет в более короткие сроки установить окончательный диагноз и начать экстренные операции [4].

Выполнение РЭБОА в зоне I предлагается рассмотреть при угрозе остановки сердца и отрицательном результате FAST / eFAST, отсутствии повреждений таза при рентгенографии. Стабилизация АД дает возможность продолжить поиск причины шока и источника кровотечения (например, забрюшинного), выполнить КТ груди, живота и таза. Дефляция баллона во время сканирования улучшает визуализацию экстравазации контраста, но, если систолическое АД при этом падает ниже 90 мм рт. ст., исследование следует проводить с раздутым баллоном. У всех пациентов, которым выполнялась КТ с внутривенным введением контраста на фоне полной окклюзии аорты, отмечалось контрастирование артерий ниже уровня окклюзии за счет коллатерального кровотока, что позволило обнаружить признаки экстравазации и гематомы дистальнее окклюзии [20].

После стабилизации гемодинамики необходимо немедленно начать открытое, эндоваскулярное или комбинированное (гибридное) хирургическое вмешательство в соответствии с принципами «контроля повреждений». Гибридная тактика лечения тяжелых травм подразумевает выполнение у пациентов с нестабильной гемодинамикой превентивного раннего доступа к бедренной артерии с установкой интродьюсера, который позволит при необходимости без задержки проводить РЭБОА, ангиографию и ангиоэмболизацию. Установка интродьюсера не должна задерживать экстренное хирургическое вмешательство и выполняется параллельно с ним [1; 4].

Длительность окклюзии аорты в зоне I рекомендует ограничить 30 мин., в зоне III допустима окклюзия до 30–60 мин. Зона I не должна использоваться, если хирургическое вмешательство не может быть начато в течение 15 мин. после окклюзии аорты [1]. Продолжительность окклюзии аорты является независимым фактором риска летального исхода [12]. Выявлена достоверная положительная корреляция между продолжительностью РЭБОА, выраженностью ишемических и реперфузионных нарушений, и летальностью. Окклюзия аорты в зоне I длительностью более 30 мин. значимо повышала частоту органной недостаточности и летальность [21]. В экспериментах на модели геморрагического шока РЭБОА в зоне I в течение 60 мин. приводила к серьезным метаболическим нарушениям, системному воспалительному ответу и поражению органов (легких, почек, сердца), которые значимо повышали 24-часовую летальность, сводя на нет эффект по предотвращению ранней смерти от кровопотери, который проявлялся при 30-минутной окклюзии аорты [22]. У половины выживших животных выявлялись признаки ишемии спинного мозга, приводившие к развитию парезов и параличей [23].

Баллон постепенно, под контролем АД, сдувается и катетер удаляется, как только достигается временная или окончательная остановка кровотечения. Быстрая дефляция баллона приводит к резкому увеличению кровотока ниже окклюзии и падению АД, что способствует разрушению свёртков, повышает риск возобновления кровотечения и рецидива нестабильности гемодинамики [6].

Влияние РЭБОА на летальность при травмах

Данные о влиянии РЭБОА на летальность противоречивы. У пострадавших, которым выполняется РЭБОА, тяжесть травмы высокая и по шкале Injury Severity Scale составляет 34–40 баллов, при этом общая летальность достигает 34–67% [3; 18; 24; 25]. При сравнении групп пациентов, сопоставимых по возрасту, механизму и тяжести травмы, физиологическим показателям, в ряде исследований госпитальная и 30-дневная летальность, риск летального исхода были значимо ниже среди пациентов, которым выполнялась РЭБОА, чем среди тех, у кого окклюзия аорты не использовалась [11; 26]. По данным R. Yamamoto (2020) внутрибольничная летальность была значимо снижена с помощью РЭБОА, но только у больных, которым выполнялись отсроченные хирургические вмешательства, позже 1 часа после поступления [25]. В других исследованиях летальность в сопоставимых группах больных значимо не различалась или была значимо выше у пациентов, у которых применялась РЭБОА [6; 27; 28]. Существенной разницы в количестве гемотрансфузий, продолжительности лечения в стационаре или отделении интенсивной терапии также не выявлено [28].

Миниинвазивная РЭБОА стала альтернативой травматичной реанимационной торакотомии с пережатием

аорты. Мета-анализы показали, что при тяжелой травме внутрибольничная летальность и продолжительность пребывания в отделении интенсивной терапии были значительно ниже у пациентов, которым выполнялась РЭБОА, а не реанимационная торакотомия. Значимых различий в продолжительности госпитального лечения, частоте осложнений и качестве жизни у выживших не наблюдалось [6; 29]. По данным Национальной службы здравоохранения Великобритании РЭБОА по сравнению с реанимационной торакотомией увеличивает на 157% клиническую эффективность с учетом прироста количества лет жизни и ее качества при сравнительно небольшом увеличении финансовых затрат на 31,5% [30].

Опасности и осложнения РЭБОА

Частота осложнений РЭБОА колеблется по разным данным от 4% до 36% [3; 11; 21; 31]. Наиболее часто встречаются ишемические и реперфузионные нарушения (ацидоз, гиперкалиемия, острое повреждение почек, полиорганная недостаточность), а также сосудистые осложнения, связанные с артериальным доступом и размещением баллона (повреждение, тромбоз, эмболия, псевдоаневризма артерий) [6].

Значение РЭБОА для развития ишемических осложнений и острого повреждения почек остается неясным. У пациентов, которым была проведена РЭБОА, отмечена повышенная частота ятрогенных осложнений, острого повреждения почек (10,7–36,4%) и критической ишемии нижней конечности, повлекшей необходимость ампутации [21; 28]. По другим данным РЭБОА значимо не увеличивала количество осложнений [27]. Ампутация нижней конечности потребовалась у 2,0–3,6% пациентов, но только у 0,7% пациентов была вызвана осложнениями сосудистого доступа [28; 31]. В 90% случаев ампутация выполнялась по поводу отрыва, разрушения конечности или исходного повреждения магистральных сосудов нижней конечности [32]. Осложнения, связанные с артериальным доступом, встречались в 4–8,6% случаях, не повышали внутрибольничную летальность, но увеличивали продолжительность стационарного лечения, в 14–100% случаях требовали оперативных сосудистых вмешательств, эмболэктомии, реконструкции артерии, фасциотомии [31; 33; 34]. Риск тромбоэмболии бедренной артерии и критической ишемии нижних конечностей после РЭБОА повышался при нестабильных переломах костей таза, тяжелом ацидозе, использовании транексамовой кислоты, техники открытого сосудистого доступа и катетеров большего размера [33]. Сосудистые осложнения отсутствовали при использовании интродьюсера 7 Fr и развились у 22% пациентов при применении катетера 11 Fr [35]. В 100% случаев использования интродьюсера 14 Fr потребовались реконструктивные вмешательства на артериях [34].

Полная окклюзия аорты резко повышает систолическое АД выше окклюзии, что может увеличить внутричерепное давление, усилить кровотечение при по-

вреждениях сосудов головы, шеи и груди, спровоцировать сердечную недостаточность и отек легких. Сообщается об отдельных случаях летального исхода политравмы, когда РЭБОА вызывала массивное кровотечение в желудочки мозга при ушибе головного мозга или массивный гемоторакс при ушибе легкого [36; 37].

В клинических исследованиях не доказано, что ЧМТ значительно повышает риск летального исхода у больных, которым выполняется РЭБОА [38]. В ряде экспериментальных исследований не подтверждено, что РЭБОА усугубляет повреждения головного мозга или легких. В модели геморрагического шока и ушиба легкого РЭБОА не увеличивала размер и плотность очага поражения в легких, но в значимо меньшей степени повышала систолическое АД [39]. В моделях закрытой ЧМТ и шока РЭБОА не приводила к значимому повышению внутричерепного давления и прогрессированию внутримозгового кровоизлияния, увеличению объема поражения и отека головного мозга [40; 41]. Между тем, в модели пулевого ранения головного мозга окклюзия аорты все же повышала значимо внутричерепное давление [42].

Экспериментально установлено, что окклюзия аорты повышает центральное венозное давление, вызывает сброс крови из верхней полой вены в нижнюю полую, что может усилить внутрибрюшное или забрюшинное венозное кровотечение [43]. При подозрении на кровотечение из печеночных вен рекомендуется дополнить РЭБОА эндовазальной баллонной окклюзией полой вены на надпеченочном уровне [5]. Между тем, комбинация окклюзии аорты и полой вены в экспериментальной модели геморрагического шока вызывала более серьезные реперфузионные нарушения, чем изолированная РЭБОА [44].

Пути повышения эффективности РЭБОА

Для пролонгации окклюзии аорты и уменьшения выраженности реперфузионного синдрома предложены методики частичной и прерывистой РЭБОА, при которых часть кровотока поступает в аорту дистальнее окклюзии.

При частичной РЭБОА баллон после 10–15 мин. полной окклюзии частично сдувается до поддержания систолического АД выше окклюзии на уровне 80–100 мм рт. ст. и систолического АД ниже окклюзии — на уровне 30–60 мм рт. ст. В экспериментах установлено, что 60% от объема баллона, при котором достигалась полная окклюзия аорты, достаточно, чтобы максимально повысить АД выше окклюзии и обеспечить дистальную перфузию [45]. Кровоток 0,5 л / мин. дистальнее окклюзии при частичной РЭБОА в зоне I был оптимальным, значимо снижал выраженность ацидоза при реперфузии, повышал выживаемость животных и был одновременно эффективным для уменьшения кровопотери [46].

При прерывистой РЭБОА периоды полной окклюзии чередуются с кратковременными эпизодами дефля-

ции баллона. Оптимальные режимы данной методики не определены. В экспериментах на модели внутрибрюшного кровотечения установлено, что при прерывистой РЭБОА под контролем АД (раздувании баллона только при снижении среднего АД менее 40 мм рт. ст. с последующей 10-минутной окклюзией) было меньше общее время полной окклюзии, менее выражен ацидоз и требовался меньший объем гемотрансфузий, чем при прерывистой окклюзии по времени (10-минутной окклюзии с 3-минутными циклами дефляции независимо от среднего АД) [47].

При частичной РЭБОА в большем количестве случаев достигалась стабилизация гемодинамики, чем при полной РЭБОА. При этом наблюдалась тенденция к уменьшению продолжительности вентиляции легких, частоты острого повреждения почек, потребности в вазопрессорах, несмотря на то, что продолжительность окклюзии аорты была больше и составляла в среднем 60 минут [21]. В экспериментах на моделях геморрагического шока и политравмы установлено, что при полной окклюзии аорты среднее АД и скорость кровотока в сонных артериях выше, чем при частичной окклюзии [40]. Между тем, после частичной и прерывистой РЭБОА в меньшей степени выражены признаки ацидоза, системного воспалительного ответа (уровни TNF- α , IL-1 β , IL-6, IL-8), ишемии и дисфункции внутренних органов, требуется меньший объем инфузии и уменьшается потребность в вазопрессорах для коррекции реперфузионных нарушений. Выживаемость животных повышалась, несмотря на то, что кровопотеря и объем гемотрансфузий были больше, чем при применении полной РЭБОА [47; 48].

Методика частичной РЭБОА, по-видимому, имеет преимущества перед прерывистой окклюзией. В эксперименте на модели геморрагического шока с внутрибрюшным кровотечением прерывистая и частичная РЭБОА в равной степени повышали среднее АД, но при прерывистой РЭБОА было больше количество эпизодов падений среднего АД ниже 40 мм рт. ст. и общее время полной окклюзии аорты для стабилизации гемодинамики. Объем кровопотери, гемотрансфузий, выраженность реперфузионных нарушений и летальность при сравнении данных методик не различались [49].

Прерывистая РЭБОА может в большей степени усугубить тяжесть повреждения головного мозга при ЧМТ. Так, в эксперименте на модели ранения головного мозга внутричерепное давление при постоянной окклюзии аорты повышалось только на период окклюзии, а при периодической окклюзии длительное время сохранялось повышенным после дефляции баллона. К тому же уровень напряжения кислорода в тканях мозга временно повышался только при постоянной окклюзии [42].

Упреждающий ранний доступ к бедренной артерии и сокращение времени до баллонной окклюзии аорты способны повысить выживаемость пациентов. В случаях, когда время от поступления до получения доступа к

артерии с целью РЭБОА превышало 21 минуту, летальность значительно увеличивалась [12]. Летальность после РЭБОА значимо ниже в травмоцентрах, в которых выполняется более 10 баллонных окклюзий аорты в год, что объясняют большим опытом специалистов и более ранним применением метода. Время от поступления до осуществления РЭБОА было значительно меньше в травмоцентрах, в которых число операций составляло более 30 в год [24]. В другом исследовании летальность и частота осложнений не зависели от количества выполненных РЭБОА, но в травмоцентрах, в которых насчитывалось 80 и более баллонных окклюзий аорты в год, в большем количестве случаев достигалось улучшение гемодинамики [17].

Эффективность РЭБОА во многом зависит от финансового и технического обеспечения. В странах с низким и средним доходом у пациентов после РЭБОА значительно чаще развивались респираторная и полиорганная недостаточность, чем у пациентов из стран с высоким доходом, но различий в летальности не выявлено [50].

Заключение

Метод РЭБОА эффективен для стабилизации гемодинамики у пациентов с травмами живота и / или таза с продолжающимся кровотечением и систолическим АД ниже 90 мм рт. ст., служит мостом к применению других методов гемостаза и имеет приоритет перед реанимационной торакотомией с пережатием аорты.

РЭБОА в зоне I длительностью не более 30 минут рекомендуется при угрозе остановки сердца, наличии признаков внутрибрюшного или забрюшинного кровотечения. При повреждениях таза с внутритазовым кровотечением предпочтительна РЭБОА в зоне III продолжительностью до 30–60 мин.

Применение РЭБОА сопряжено с риском опасных осложнений, связанных с артериальным доступом и размещением баллона в аорте, ишемией и реперфузией. РЭБОА может усилить кровотечение из печеночных вен, сосудов груди, головного мозга, повысить внутричерепное давление, особенно в режиме прерывистой окклюзии, и противопоказана пациентам с подозрением на повреждение грудной аорты или сердца.

Методы частичной и прерывистой РЭБОА позволяют пролонгировать окклюзию аорты со значительно меньшими последствиями реперфузионного синдрома и снизить риск летального исхода.

Снижение летальности и частоты осложнений РЭБОА могут быть достигнуты в травмоцентрах, в которых выполняется более 10 подобных вмешательств в год, применяется гибридная тактика лечения тяжелых травм с упреждающим ранним доступом к артерии у пациентов с нестабильной гемодинамикой.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Bulger EM, Perina DG, Qasim Z, et al. Clinical use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in civilian trauma systems in the USA, 2019: a joint statement from the American College of Surgeons Committee on Trauma, the American College of Emergency Physicians, the National Association of Emergency Medical Services Physicians and the National Association of Emergency Medical Technicians. *Trauma Surg Acute Care Open*. 2019; 4: e000376. doi: 10.1136/tsaco-2019-000376.
2. Hughes CW. Use of an intra-aortic balloon catheter tamponade for controlling intra-abdominal hemorrhage in man. *Surgery*. 1954; 36(1): 65-68.
3. Moore LJ, Fox EE, Meyer DE, et al. Prospective Observational Evaluation of the ER-REBOA Catheter at 6 U.S. Trauma Centers. *Ann Surg*. 2022; 275(2): e520-e526. doi: 10.1097/SLA.0000000000004055.
4. Ordoñez CA, Parra MW, Caicedo Y, et al. REBOA as a New Damage Control Component in hemodynamically Unstable Noncompressible Torso Hemorrhage Patients. *Colomb Med (Cali)*. 2020; 51(4): e-2014506. doi: 10.25100/cm.v51i4.4422.4506.
5. Coccolini F, Coimbra R, Ordonez C, et al. Liver trauma: WSES 2020 guidelines. *World J Emerg Surg*. 2020; 15(1): 24. doi: 10.1186/s13017-020-003-02-7.
6. Castellini G, Gianola S, Biffi A, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in patients with major trauma and uncontrolled haemorrhagic shock: a systematic review with meta-analysis. *World J Emerg Surg*. 2021; 16(1): 41. doi: 10.1186/s13017-021-00386-9.
7. Hurley S, Erdogan M, Kureshi N, et al. Comparison of clinical and anatomical criteria for resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) among major trauma patients in Nova Scotia. *CJEM*. 2021; 23(4): 528-536. doi: 10.1007/s43678-021-00100-3.
8. Mill V, Wellme E, Montán C. Trauma patients eligible for resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA), a retrospective cohort study. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2021; 47(6): 1773-1778. doi: 10.1007/s00068-020-01345-w.
9. Щёголев А.В., Рева В.А., Почтарник А.А. и др. Эндовазкуляриная баллонная окклюзия аорты в комплексе реанимационного контроля повреждений у пострадавших с острой массивной кровопотерей: ретроспективное псевдорандомизированное исследование // Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. — 2022. — №2. — С.41–51. [Shchegolev AV, Reva VA, Pochtarnik AA, et al. Endovascular balloon occlusion of the aorta in the complex of damage control resuscitation in patients with acute massive blood loss: a retrospective propensity score matched analysis. *Vestnik intensivnoi terapii im. A.I. Saltanova*. 2022; 2: 41-51. (In Russ).] doi: 10.21320/1818-474X-2022-2-41-51.
10. McGreevy DT, Sadeghi M, Nilsson KF, Hörer TM. Low profile REBOA device for increasing systolic blood pressure in hemodynamic instability: single-center 4-year experience of use of ER-REBOA. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022; 48(1): 307-313. doi: 10.1007/s00068-020-01586-9.
11. Borger van der Burg BLS, van Dongen TTFC, Morrison JJ, et al. A systematic review and meta-analysis of the use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in the management of major exsanguination. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2018; 44(4): 535-550. doi: 10.1007/s00068-018-0959-y.
12. Matsumura Y, Matsumoto J, Kondo H, et al. Early arterial access for resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta is related to survival outcome in trauma. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018; 85(3): 507-511. doi: 10.1097/TA.0000000000002004.
13. Ordoñez CA, Rodríguez F, Orlas CP, et al. The critical threshold value of systolic blood pressure for aortic occlusion in trauma patients in profound hemorrhagic shock. *J Trauma Acute Care Surg*. 2020; 89(6): 1107-1113. doi: 10.1097/TA.0000000000002935.
14. McGreevy DT, Abu-Zidan FM, Sadeghi M, et al. Feasibility and Clinical Outcome of Reboa in Patients with Impending Traumatic Cardiac Arrest. *Shock*. 2020; 54(2): 218-223. doi: 10.1097/SHK.0000000000001500.
15. Beyer CA, Johnson MA, Galante JM, DuBose JJ. Zones matter: Hemodynamic effects of zone 1 vs zone 3 resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta placement in trauma patients. *Injury*. 2019; 50(4): 855-858. doi: 10.1016/j.injury.2019.03.013.
16. Tibbits EM, Hoareau GL, Simon MA, et al. Location is everything: The hemodynamic effects of REBOA in Zone 1 versus Zone 3 of the aorta. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018; 85(1): 101-107. doi: 10.1097/TA.0000000000001858.

17. Theodorou CM, Anderson JE, Brenner M, et al. Practice, Practice, Practice! Effect of Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta Volume on Outcomes: Data From the AAST AORTA Registry. *J Surg Res.* 2020; 253: 18-25. doi: 10.1016/j.jss.2020.03.027.
18. Brenner M, Teeter W, Hoehn M, et al. Use of Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta for Proximal Aortic Control in Patients With Severe Hemorrhage and Arrest. *JAMA Surg.* 2018; 153(2): 130-135. doi: 10.1001/jamasurg.2017.3549.
19. Henry R, Matsushima K, Henry RN, et al. Validation of a Novel Clinical Criteria to Predict Candidacy for Aortic Occlusion: An Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery Study. *Am Surg.* 2020; 86(10): 1418-1423. doi: 10.1177/0003134820964496.
20. Wasicek PJ, Shanmuganathan K, Teeter WA, et al. Assessment of Blood Flow Patterns Distal to Aortic Occlusion Using CT in Patients with Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta. *J Am Coll Surg.* 2018; 226(3): 294-308. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2017.12.005.
21. Madurska MJ, McLenithan A, Scalea TM, et al. A feasibility study of partial REBOA data in a high-volume trauma center. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022; 48(1): 299-305. doi: 10.1007/s00068-020-01561-4.
22. Reva VA, Matsumura Y, Hörer T, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: what is the optimum occlusion time in an ovine model of hemorrhagic shock? *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2018; 44(4): 511-518. doi: 10.1007/s00068-016-0732-z.
23. Eliason JL, Myers DD, Ghosh A, et al. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA): Zone I Balloon Occlusion Time Affects Spinal Cord Injury in the Nonhuman Primate Model. *Ann Surg.* 2021; 274(1): e54-61. doi: 10.1097/SLA.0000000000003408.
24. Gorman E, Nowak B, Klein M, et al. High resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta procedural volume is associated with improved outcomes: An analysis of the AORTA registry. *J Trauma Acute Care Surg.* 2021; 91(5): 781-789. doi: 10.1097/TA.0000000000003201.
25. Yamamoto R, Cestero RF, Muir MT, et al. Delays in Surgical Intervention and Temporary Hemostasis Using Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the aorta (REBOA): Influence of Time to Operating Room on Mortality. *Am J Surg.* 2020; 220(6): 1485-1491. doi: 10.1016/j.amjsurg.2020.07.017.
26. Harfouche MN, Madurska MJ, Elansary N, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta associated with improved survival in hemorrhagic shock. *PLoS One.* 2022; 17(3): e0265778. doi: 10.1371/journal.pone.0265778.
27. Ichiki J, Kashitani N, Beika N, et al. Safety and Effectiveness of Aortic Occlusion for Those Undergoing Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA): A Retrospective Single-Center Study. *J Emerg Med.* 2022; 62(5): 607-616. doi: 10.1016/j.jemermed.2021.11.017.
28. Joseph B, Zeeshan M, Sakran JV, et al. Nationwide Analysis of Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta in Civilian Trauma. *JAMA Surg.* 2019; 154(6): 500-508. doi: 10.1001/jamasurg.2019.0096.
29. Khalid S, Khatri M, Siddiqui MS, Ahmed J. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of Aorta Versus Aortic Cross-Clamping by Thoracotomy for Noncompressible Torso Hemorrhage: A Meta-Analysis. *J Surg Res.* 2022; 270: 252-260. doi: 10.1016/j.jss.2021.09.016.
30. Renna MS, van Zeller C, Abu-Hijleh F, et al. A one-year cost-utility analysis of REBOA versus RTACC for non-compressible torso haemorrhage. *Trauma.* 2019; 21(1): 45-54. doi: 10.1177/1460408617738810.
31. Manzano-Nunez R, Orlas CP, Herrera-Escobar JP, et al. A meta-analysis of the incidence of complications associated with groin access after the use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in trauma patients. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018; 85(3): 626-634. doi: 10.1097/TA.0000000000001978.
32. Levin SR, Farber A, Burke PA, et al. The majority of major amputations after resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta are associated with preadmission trauma. *J Vasc Surg.* 2021; 74(2): 467-476.e4. doi: 10.1016/j.jvs.2020.12.107.
33. Lavery RB, Treffalls RN, McEntire SE, et al. Life over limb: Arterial access-related limb ischemic complications in 48-hour REBOA survivors. *J Trauma Acute Care Surg.* 2022; 92(4): 723-728. doi: 10.1097/TA.0000000000003440.
34. Taylor JR 3rd, Harvin JA, Martin C, et al. Vascular complications from resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: Life over limb? *J Trauma Acute Care Surg.* 2017; 83(1): S120-123. doi: 10.1097/TA.0000000000001514.
35. Ordoñz CA, Khan M, Cotton B, et al. The Colombian Experience in Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA): The Progression From a Large Caliber to a Low-Profile Device at a Level I Trauma Center. *Shock.* 2021; 56(1S): 42-45. doi: 10.1097/SHK.0000000000001515.
36. Maruhashi T, Minehara H, Takeuchi I, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta may increase the bleeding of minor thoracic injury in severe multiple trauma patients: a case report. *J Med Case Rep.* 2017; 11(1): 347. doi: 10.1186/s13256-017-1511-0.
37. Uchino H, Tamura N, Echigoya R, et al. "REBOA" — Is it Really Safe? A Case with Massive Intracranial Hemorrhage Possibly due to Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA). *Am J Case Rep.* 2016; 17: 810-813. doi: 10.12659/ajcr.900267.
38. Elkbuli A, Kinslow K, Sen-Crowe B, et al. Outcomes of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) utilization in trauma patients with and without traumatic brain injuries: A national analysis of the American College of Surgeons Trauma Quality Improvement Program data set. *Surgery.* 2021; 170(1): 284-290. doi: 10.1016/j.surg.2021.01.043.
39. Beyer CA, Hoareau GL, Kashtan HW, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in a swine model of hemorrhagic shock and blunt thoracic injury. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2020; 46(6): 1357-1366. doi: 10.1007/s00068-019-01185-3.
40. Johnson MA, Williams TK, Ferencz SE, et al. The effect of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta, partial aortic occlusion and aggressive blood transfusion on traumatic brain injury in a swine multiple injuries model. *J Trauma Acute Care Surg.* 2017; 83(1): 61-70. doi: 10.1097/TA.0000000000001518.
41. Williams AM, Bhatti UF, Dennahy IS, et al. Traumatic brain injury may worsen clinical outcomes after prolonged partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in severe hemorrhagic shock model. *J Trauma Acute Care Surg.* 2019; 86(3): 415-423. doi: 10.1097/TA.0000000000002149.
42. Bailey ZS, Cardiff K, Yang X, et al. The Effects of Balloon Occlusion of the Aorta on Cerebral Blood Flow, Intracranial Pressure, and Brain Tissue Oxygen Tension in a Rodent Model of Penetrating Ballistic-Like Brain Injury. *Front Neurol.* 2019; 10: 1309. doi: 10.3389/fneur.2019.01309.
43. Matsumura Y, Higashi A, Izawa Y, et al. Organ ischemia during partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: Dynamic 4D Computed tomography in swine. *Sci Rep.* 2020; 10(1): 5680. doi: 10.1038/s41598-020-62582-y.
44. Wikström MB, Smårs M, Karlsson C, et al. A randomized porcine study of the hemodynamic and metabolic effects of combined endovascular occlusion of the vena cava and the aorta in normovolemia and in hemorrhagic shock. *J Trauma Acute Care Surg.* 2021; 90(5): 817-826. doi: 10.1097/TA.0000000000003098.
45. Matsumura Y, Higashi A, Izawa Y, et al. Distal pressure monitoring and titration with percent balloon volume: feasible management of partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (P-REBOA). *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2021; 47(4): 1023-1029. doi: 10.1007/s00068-019-01257-4.
46. Forte DM, Do WS, Weiss JB, et al. Validation of a novel partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta device in a swine hemorrhagic shock model: Fine tuning flow to optimize bleeding control and reperfusion injury. *J Trauma Acute Care Surg.* 2020; 89(1): 58-67. doi: 10.1097/TA.0000000000002718.
47. Kuckelman JP, Barron M, Moe D, et al. Extending the golden hour for Zone 1 resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: Improved survival and reperfusion injury with intermittent versus continuous resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in a porcine severe truncal hemorrhage model. *J Trauma Acute Care Surg.* 2018; 85(2): 318-326. doi: 10.1097/TA.0000000000001964.
48. Sadeghi M, Hörer TM, Forsman D, et al. Blood pressure targeting by partial REBOA is possible in severe hemorrhagic shock in pigs and produces less circulatory, metabolic and inflammatory sequelae than total REBOA. *Injury.* 2018; 49(12): 2132-2141. doi: 10.1016/j.injury.2018.09.052.
49. Johnson MA, Hoareau GL, Beyer CA, et al. Not ready for prime time: Intermittent versus partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for prolonged hemorrhage control in a highly lethal porcine injury model. *J Trauma Acute Care Surg.* 2020; 88(2): 298-304. doi: 10.1097/TA.0000000000002558.
50. Manzano-Nunez R, McGreevy D, Orlas CP, et al. Outcomes and management approaches of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta based on the income of countries. *World J Emerg Surg.* 2020; 15(1): 57. doi: 10.1186/s13017-020-00337-w.