

© С.А. Прозоров, П.А. Иванов, 2021

УДК 616.12-007.1-053.1-089.844

## Эндоваскулярные вмешательства при травме верхней и нижней полых вен

С.А. Прозоров<sup>✉</sup>, П.А. Иванов

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения Москвы», Москва, Российская Федерация

<sup>✉</sup> Прозоров Сергей Анатольевич, д-р мед. наук, вед. науч. сотр.; orcid.org/0000-0002-9680-9722, e-mail: surgeonserge@mail.ru

Иванов Павел Анатольевич, д-р мед. наук, заведующий научным отделением сочетанной и множественной травмы; orcid.org/0000-0002-2954-6985

### Резюме

Травмы верхней и нижней полых вен случаются редко, но сопровождаются высоким уровнем летальности. Они могут возникать при проникающих ранениях, тупой травме, ятогенных повреждениях. Выполнение открытых хирургических вмешательств у пациентов с травмой полых вен может быть технически сложным, и эндоваскулярное лечение представляется привлекательной альтернативой. Целью настоящего обзорного исследования являлось изучение по литературным данным возможности успешного применения эндоваскулярных методов лечения таких осложнений – имплантации стент-графтов, баллонной окклюзии, эмболизации.

**Ключевые слова:** верхняя полая вена, нижняя полая вена, сосудистая травма, эндоваскулярное лечение, стент-графт, окклюзионный баллон

**Для цитирования:** Прозоров С.А., Иванов П.А. Эндоваскулярные вмешательства при травме верхней и нижней полых вен. Эндоваскулярная хирургия. 2021; 8 (3): 256–62. DOI: 10.24183/2409-4080-2021-8-3-256-262

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 21.07.2021

Принята к печати 04.08.2021

## Endovascular treatment of superior and inferior vena cava injuries

С.А. Прозоров<sup>✉</sup>, П.А. Иванов

N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow, Russian Federation

<sup>✉</sup> Sergey A. Prozorov, Dr. Med. Sci., Leading Researcher; orcid.org/0000-0002-9680-9722, e-mail: surgeonserge@mail.ru

Pavel A. Ivanov, Dr. Med. Sci., Head of Department of Multiple and Combined Trauma; orcid.org/0000-0002-2954-6985

### Abstract

Superior and inferior vena cava injuries are rare, but have a high rate of mortality. This may result from penetrating or blunt trauma or iatrogenic injury. Open surgical repair of vena cava injuries can be technically difficult. Endovascular treatment is an attractive alternative strategy. The purpose of this review was to investigate in the literature successful endovascular techniques to manage this complications: stent-graft implantation, balloon occlusion, embolization.

**Keywords:** superior vena cava, inferior vena cava, vascular injuries, endovascular treatment, stent-graft, occlusion balloon

**For citation:** Prozorov S.A., Ivanov P.A. Endovascular treatment of superior and inferior vena cava injuries. *Russian Journal of Endovascular Surgery*. 2021; 8 (3): 256–62 (in Russ.). DOI: 10.24183/2409-4080-2021-8-3-256-262

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Received July 21, 2021

Accepted August 4, 2021

### Введение

Эндоваскулярные методы лечения применяют при различных заболеваниях и патологических состояниях верхней полой вены (ВПВ)

и нижней полой вены (НПВ), среди них баллонная дилатация и стентирование при синдроме ВПВ, имплантация стентов и стент-графтов, имплантация кава-фильтров и их удаление, удаление инородных тел, выключение из кровото-

ка аорто- и артериокавальных фистул. Различные варианты лечения используют при травме полых вен, которые могут возникать в результате открытой и тупой травмы, ятрогенных повреждений. Был проведен поиск по базе данных Medline о применении эндоваскулярных методов при лечении повреждений полых вен. Сообщений на эту тему найдено достаточно, но они представляют собой описания единичных клинических случаев или небольших серий наблюдений. Целью нашей работы является систематизация данных о травме полых вен, механизмах травмы и применяемых методах эндоваскулярного лечения.

### Повреждения верхней полой вены

Повреждения верхней полой вены могут возникать при тупой травме и проникающих ранениях. Исторически сложилось так, что при разрыве ВПВ требовалась экстренная торакотомия и реконструктивная операция с восстановлением сосуда. В настоящее время в литературе имеются описания наблюдений лечения больных с применением эндоваскулярных методов только при ятрогенной травме.

**Механизм травмы.** Возникновение ятрогенной травмы ВПВ возможно при:

- 1) установке дialisного катетера [1];
- 2) повреждении при онкологической операции [2];
- 3) разрыве во время баллонной дилатации при синдроме ВПВ [3–6];
- 4) удалении источников питания из сердечных имплантируемых устройств (кардиостимуляторов, кардиовертеров-дефибрилляторов) и электродов [7–14].

Возможны следующие виды повреждений: диссекция стенки, точечная перфорация кончиком катетера, полный разрыв стенки ВПВ (разрыв при вмешательствах у больных с синдромом ВПВ может происходить на фоне как доброкачественного, так и злокачественного процесса). Это может вызвать кровотечение в перикард, средостение, плевральную полость и привести к кардиопульмональному шоку, смертельному исходу.

Увеличение количества имплантаций кардиостимуляторов и кардиовертеров-дефибрилляторов повлекло за собой и увеличение числа процедур извлечения источников питания и электродов (ежегодно во всем мире удаляют от 10 000 до 15 000 устройств), причем трудности их извлечения напрямую связаны с выражен-

ностью фиброзной и адгезивной рубцовой ткани, кальцификации [7].

Серьезные осложнения при трансвенозном удалении имплантированных устройств возникают в 0,7–1,9% случаев [10]. Разрывы являются наиболее катастрофическим по своим последствиям осложнением и сопровождаются 50% летальностью из-за быстрого обескровливания [8, 10].

В исследовании M.P. Brunner et al. [13] проанализированы осложнения, возникшие при процедурах удаления имплантированных устройств в период с августа 1996 г. по сентябрь 2012 г. Всего в ходе 3258 процедур было извлечено 5973 устройства, из них 4436 (74,3%) – это источники питания электрокардиостимуляторов и 1537 (25,7%) – электроды кардиовертеров-дефибрилляторов. У 25 (0,8%) пациентов возникли катастрофические осложнения, потребовавшие неотложного хирургического или эндоваскулярного вмешательства. Почти 2/3 из этих пациентов были спасены, внутрибольничная смертность составила 36,0%.

**Эндоваскулярные методы лечения при травме ВПВ.** 1. *Использование баллонного катетера* [8–12, 14]. Баллонный катетер (The Bridge Occlusion Balloon) специально разработан для временной окклюзии ВПВ при процедурах извлечения источников питания и электродов. Эндоваскулярный баллон может перекрыть ВПВ в случае разрыва, предотвратить кровопотерю.

Так, R. Azarrafy et al. [8, 9] обобщили результаты применения баллонного катетера и показали, что его правильное использование приводит к снижению смертности. Авторы привели данные об осложнениях, развившихся в 35 случаях хирургически подтвержденных разрывов ВПВ в 2016 г. [8]. При правильном использовании эндоваскулярного баллона все 9 (100%) пациентов были выписаны живыми, а в тех случаях, когда устройство не использовалось, – только 13 (50%) из 26. Таким образом, отмечено снижение смертности на 50% при применении эндоваскулярного баллона.

В другом сообщении R. Azarrafy et al. [9] привели сведения, собранные из базы данных Управления по контролю за продуктами и лекарствами США и из отчетов врачей с 1 июля 2016 г. по 31 июля 2018 г.: было выявлено 116 подтвержденных осложнений – травм ВПВ. В 44,0% случаев баллон использовался правильно, а в 56,0% – не использовался или применялся неправильно. При правильном использовании

эндоваскулярного баллона выжили 45 (88,2%) из 51 пациента по сравнению с 37 (56,9%) из 65 пациентов, у которых баллон не применялся или использовался ненадлежащим образом. Многомерное регрессионное моделирование показало, что правильное развертывание баллона явилось независимым отрицательным предиктором внутрибольничной смертности у пациентов с разрывом ВПВ.

На Одиннадцатом ежегодном симпозиуме по менеджменту (Eleventh Annual Lead Management Symposium), проведенном в США, были разработаны протоколы для наиболее эффективного использования эндоваскулярного баллона [9].

S. Pecha et al. [14] использовали The Bridge Occlusion Balloon в качестве страховочного при удалении двух дисфункциональных отведений у пациента с высоким риском. Баллонный катетер устанавливали, раздували, после подтверждения окклюзии ВПВ при ангиографическом исследовании жидкость из баллона откачивали. С установленным с профилактической целью баллоном была проведена процедура извлечения электродов с лазерными и механическими оболочками.

После использования баллонного катетера возможно или хирургическое вмешательство, или последующая имплантация стент-графта.

2. *Имплантация стент-графта.* Имеются единичные сообщения об имплантации стент-графтов при ятрогенной травме ВПВ [1–7].

В случае разрыва стенки вены при баллонной дилатации у больного с синдромом ВПВ осуществляется немедленная реинфляция баллона с последующей реанимацией и имплантацией «покрытого» стента [5].

Исследователями были использованы стент-графты Wallgraft (Boston Scientific Corp. Natick, MA), Gore Viabahn (Gore, Flagstaff, AZ). Эти стент-графты можно применять при разрыве ВПВ во время баллонной дилатации при синдроме ВПВ. Они имеют максимальный диаметр 12 и 13 мм, ВПВ имеет средний диаметр 20 мм. При необходимости применения стент-графтов большого диаметра имплантируют устройства для стентирования брюшного отдела аорты AneuRx Aortic cuff и подвздошных артерий AneuRx iliac cuff (Medtronic AVE, Santa Rosa, CA), Gore Excluder Aortic Extender (WL Gore & Associates Inc, Fremont, CA) [1–7].

Использование стент-графта для восстановления ВПВ при перфорации или разрыве стенки является альтернативой реконструктив-

ной сосудистой операции, приемлемым вариантом для быстрой ликвидации ятрогенного повреждения.

### **Повреждения нижней полой вены**

Повреждения нижней полой вены с кровотечением приводят к высокой летальности, особенно при локализации разрыва в ретропечечном и надпеченочном отделах [15, 16].

**Механизм травмы.** Травма НПВ (случаи, при которых применялось эндоваскулярное лечение) может быть следующей:

1) тупая травма, чаще всего автотравма [16–21];

2) проникающие ранения: ножевое ранение + тупая травма [22], огнестрельные ранения [23–28];

3) ятрогенная травма [29–45]:

– во время и после хирургических операций (удаление опухоли [33], образование аортокавального соустья после нефрэктомии [43–45]),

– вследствие оперативных вмешательств на позвоночнике [29, 30, 38–42],

– связанная с имплантированным кава-фильтром: во время нахождения кава-фильтра в НПВ [34, 37], при извлечении его из НПВ [35, 36].

Различаются следующие виды повреждений: диссекция, перфорация, разрыв вены, образование аневризмы, образование аорто- или артериокавального соустья, аневризмы + соустья.

Соустья могут быть между аортой и НПВ из-за перфорации стенки аорты и НПВ ножками кава-фильтра [34], в результате огнестрельного ранения [28], после нефрэктомии [44, 45], соустье между почечной артерией и НПВ после огнестрельного ранения [23], после травмы и нефрэктомии [43], проникающего ранения [25, 26], соустье между верхней брыжеечной артерией и НПВ после огнестрельного ранения [24], между общей подвздошной артерией и НПВ при операциях на позвоночнике [38–42].

**Эндоваскулярные методы лечения при травме НПВ.** 1. *Использование баллонных катетеров* [16, 17, 26, 35, 36]. T.D. Bui и J.L. Mills [16] использовали баллонный катетер при травме НПВ для контроля кровотечения перед операцией. Этот прием позволяет сократить время операции и кровопотерю.

J.T. Lee et al. [36] описали два случая развития осложнений – кровотечения при удалении временных кава-фильтров. Стабилизация состояния и гемостаз были достигнуты путем дли-

тельной баллонной тампонады. Успех этого метода позволил исключить хирургическое лечение, несмотря на то, что у пациентов на непродолжительное время возникло осложнение в виде тромбоза НПВ. A. Marsala et al. [35] использовали раздувание баллонных катетеров в подвздошных венах при разрыве НПВ в ходе извлечения временного кава-фильтра. В случае неудачи первоначального использования баллонного катетера установка стент-графта позволяет выключить из кровотока соусьье [26].

2. *Эмболизация.* S. Cekirge et al. [45] представили случай эндоваскулярного лечения высокоскоростной постнефрэктомической аортокавальной фистулы большого калибра с использованием смеси цианоакрилата и липиодола в сочетании с эмболизацией спиралями Gianturco. Тридцать девять спиралей было использовано для уменьшения потока через фистулу, чтобы быстро полимеризовавшаяся клеевая смесь могла быть введена в фистулу. Во время быстрой полимеризации смесь N-бутил-2-цианоакрилата осела на спиралах, что позволило предотвратить смещение эмболизата в легкие.

3. *Использование окклюдера Amplatzer.* Этот метод при травме сосудов, посттравматических аневризмах и соусьях применяется относительно редко [43, 44, 46, 47]. M. Taneja et al. [43] и D.L. Robinson et al. [44] представили по одному наблюдению ликвидации соусья между культей почечной артерии после нефрэктомии и НПВ. В результате установки окклюдера Amplatzer авторами было зафиксировано немедленное исчезновение симптомов артериовенозной фистулы.

4. *Имплантация стент-графтов* [18–22, 24–27, 29–34, 37–42, 48].

После травмы НПВ. M. Hommes et al. [22] установили стент-графты интраоперационно женщине с ножевым ранением и тупой травмой печени: сначала были выполнены лапаротомия и вмешательство на печени, а затем в область НПВ между почечной и печеночной венами длиной 7 см имплантировали два стент-графта диаметром 32 мм и длиной 45 мм каждый, которые используют при лечении аневризм брюшного отдела аорты (Gore PXA320400, W.L. Gore Inc., Flagstaff, AZ).

J.L. Waldrop Jr. et al. [28] оперировали мужчину, получившего два огнестрельных ранения. При лапаротомии было проведено ушивание ран желудка и кишки. На 19-е сутки после опе-

рации выявлено снижение гематокрита: при ангиографическом исследовании установлено повреждение НПВ и аортокавальное сообщение. Имплантирован AneuRx aortic extension. КТ-контроль через 6 мес и 1 год показал хорошую проходимость стент-графта.

R.E. Khoury et al. [27] представили результаты лечения пострадавшего с множественными огнестрельными ранениями. При кавографии авторами было выявлено ранение суправаренального отдела НПВ. Установлены два перекрывающиеся аортальных стент-графта. S. Watarida et al. [19] в ходе лечения пострадавшего в дорожном происшествии с разрывом НПВ в юкстапеченочном отделе установили самораскрывающийся фенестрированный стент-графт. Получены хорошие результаты, подтвержденные через 16 мес. P. Castelli et al. [20] имплантировали стент-графт Excluder-W.L. Gore® (Flagstaff, AZ, USA) размером 31 × 14 × 150 мм женщине, попавшей в автокатастрофу. У пациентки диагностированы переломы костей таза, позвоночника и бедренной кости, черепно-мозговая травма. При КТ-ангиографии было выявлено повреждение НПВ на уровне подвздошно-кавальной бифуркации. Стент-графт позволил изолировать повреждение НПВ.

Стент-графты используются также при посттравматических соусьях между почечной артерией и НПВ, верхней брыжеечной артерией и НПВ. Так, N. Wolosker et al. [25] имплантировали стент-графт в почечную артерию пострадавшему после проникающего ранения с образовавшимся почечно-кавальным сообщением и аневризмой НПВ. J. Tam et al. [26] у пациента с соусьем между почечной артерией и НПВ сначала использовали баллон, однако результаты оказались неудачными. Последующая имплантация стент-графта позволила выключить соусье из кровотока.

E. Price et al. [24] у пациента с множественными огнестрельными ранениями, посттравматическим свищом между верхней брыжеечной артерией и НПВ, с ложной аневризмой установили два перекрывающихся стент-графта. В результате патологию удалось полностью ликвидировать, документирована проходимость стент-графтов через 15 мес.

Во время онкологической операции. V.Z. Erzurum et al. [33] сообщили о случае, когда при попытке удаления большой забрюшинной лейомиосаркомы произошло повреждение и неконтролируемое кровотечение из ретропеченоч-

ного отдела НПВ. Пациенту был успешно установлен стент-графт.

После операции на позвоночнике [29, 30, 38–42]. Имеется довольно большое количество публикаций (в основном – единичные наблюдения) о травмах НПВ при различных видах операций на поясничном, пояснично-крестцово-вом отделах позвоночника, вертебропластике, при грыжах дисков. Так, R.C. Bonasso et al. [29] сообщили об илиокавальных осложнениях при операциях на позвоночнике в 2,9% случаев (3 случая на 102 операции). По данным авторов, средняя кровопотеря уменьшалась по мере того, как подход эволюционировал от неудачной прямой открытой пластики с чрескожным эндоваскулярным вмешательством к первичной чрескожной эндоваскулярной пластике. Последующее наблюдение с помощью КТ-ангиографии показало, что у всех пациентов произошло восстановление вен.

В случае возникновения соустья между общей подвздошной артерией и НПВ имплантация стент-графта в подвздошную артерию позволяет выключить образовавшееся сообщение из кровотока [38–42]. E.L. Chou et al. [38] описали случай, когда у пациента с повреждением НПВ и левой подвздошной вены проблему удалось решить с помощью стент-графта Gore Excluder.

Травма НПВ, связанная с кава-фильтрами [34–37]. Z. Jia et al. [37] по базе данных Medline провели поиск исследований (1970–2014 гг.), связанных с кава-фильтрами: всего было проанализировано 88 клинических исследований и 112 отчетов о случаях, которые включали 9002 пациентов и 15 типов кава-фильтров. Перфорация стенки НПВ элементами кава-фильтра произошла у 19% пациентов (1699 из 9002), и в 19% случаев перфораций (322 из 1699) были обнаружены признаки вовлечения органов или структур. Данные осложнения потребовали проведения следующих вмешательств: хирургическое удаление кава-фильтра – у 63, размещение эндоваскулярного стента или эмболизация – у 11, эндоваскулярное удаление постоянного кава-фильтра – у 4. Так, R. de Alvarenga Yoshida et al. [34] описали случай перфорации ножками кава-фильтра стенок НПВ и аорты: у больного выполнена баллонная ангиопластика, установлен простой стент, а затем эндопротез.

Таким образом, в зависимости от вида травмы и анатомических особенностей стент-графт

имплантировали либо в НПВ, либо, при наличии соустья, в артерию или аорту.

Осложнения после эндоваскулярного лечения [18, 32]. E.I. Jeng et al. [32] имплантировали больному стент-графты, что явилось спасительным вариантом лечения при ятрогенном повреждении НПВ. После развития персистирующего сепсиса, вторичного по отношению к инфекции стент-графта, два установленных стент-графта были извлечены, выполнены ликвидация дуоденально-кавального свища и восстановление НПВ с помощью аллотрансплантата вены. U. Tariq et al. [18] в экстренной ситуации у пострадавшей в автотравме пациентки имплантировали стент-графт в НПВ, а связанные с эндоваскулярным лечением осложнения лечили хирургически.

Экспериментальные исследования [49–52]. С целью разработки фенестрированных стент-графтов для ретропеченочного отдела НПВ C.B. Drucker et al. [49] оценили по данным КТ анатомические особенности НПВ у 100 больных с травмой. Средняя длина НПВ от почечных вен до правого предсердия составляла 111 мм (102–120 мм), диаметр – 22 мм (19–26 мм), площадь печеночной вены – 336 мм<sup>2</sup> (267–432 мм<sup>2</sup>). У всех пациентов зона посадки стент-графта была не менее 12 мм в надпеченочной области и 10 мм – в надпочечниковом сегменте. Были разработаны три модели с разной длиной стент-графта, которые подходят 95% пациентов с охватом ретропеченочного сегмента без риска окклюзии печеночной или почечной вены. Диаметры стент-графтов составили 20, 24, 30 и 38 мм, это позволяет обеспечить адекватное покрытие соответственно у 11, 35, 49 и 16% пациентов. Такие комбинации длины и диаметра стент-графтов применимы у 93% пациентов.

Три группы авторов [50, 51] в экспериментах на свиньях разрабатывали извлекаемый стент-графт Rescue, изучали возможность применения окклюзионного баллонного катетера при разрыве ретропеченочного отдела НПВ. C.L. Reynolds et al. [51] считают, что реанимационная баллонная окклюзия позволяет осуществлять контроль и может рассматриваться как дополнение к общей изоляции сосудов печени при тяжелом кровотечении, а также предоставить дополнительное время, необходимое для окончательного восстановления травмированных сосудов.

M.B. Wikström et al. [52] исследовали в эксперименте возможность применения при реани-

мации баллонного катетера, используемого для окклюзии аорты, в качестве минимальной инвазивной альтернативы для изоляции печеночных сосудов и НПВ при тяжелом ретропеченочном кровотечении. Баллонный катетер, установленный проксимально в НПВ, изолированно или в сочетании с другими методами окклюзии, вызывал значительное снижение системного артериального давления и сердечного выброса и должен был быть спущен в сроки до 5 мин. Предотвратить снижение системного артериального давления и сердечного выброса удалось с помощью баллонного катетера в аорте на том же или более проксимальном уровне. По мнению исследователей, комбинированное использование аортального и венозного баллонных катетеров обеспечивает гемодинамическую стабильность, в отличие от применения только баллонного катетера в НПВ, и может быть дополнением при тяжелом ретропеченочном венозном кровотечении.

### Заключение

Травма верхней и нижней полых вен является смертельно опасным осложнением. Возникновение повреждения вен возможно при тупой травме, проникающем огнестрельном и ножевом ранении, значительную роль играют также ятрогенные причины. Среди повреждений вен отмечаются диссекции, перфорации, разрыв вены, образование аневризмы, аорто- или артериокавального соустья. Для лечения таких больных применяются различные эндоваскулярные технологии: окклюзионные баллонные катетеры, эмболизация, окклюдеры Amplatzer, стент-графты. Баллонные катетеры могут быть использованы в качестве первой меры в случаях травмы вены при реанимационных мероприятиях, операциях. Наиболее распространенным методом лечения является имплантация стент-графтов. Эндоваскулярные методы позволяют успешно ликвидировать возникшее повреждение магистральных вен и служат альтернативой хирургическим вмешательствам.

### Литература [References]

1. Azizzadeh A., Pham M.T., Estrera A.L., Coogan S.M., Safi H.J. Endovascular repair of an iatrogenic superior vena caval injury: a case report. *J. Vasc. Surg.* 2007; 46 (3): 569–71. DOI: 10.1016/j.jvs.2007.04.014
2. Anaya-Ayala J.E., Charlton-Ouw K.M., Kaiser C.L., Peden E.K. Successful emergency endovascular treatment for superior vena cava injury. *Ann. Vasc. Surg.* 2009; 23 (1): 139–41. DOI: 10.1016/j.avsg.2008.02.016
3. Altuwaijri T., Nohu T., Alburakan A., Altoijry A. Long-term follow-up of endovascular repair of iatrogenic superior vena cava injury: a case report. *Medicine (Baltimore)*. 2018; 97 (50): e13610. DOI: 10.1097/MD.00000000000013610
4. Pandit B.N., Chaturvedi V., Parakh N., Gade S., Trehan V. Rapid guiding catheter swapping for management of rupture during percutaneous venoplasty for idiopathic occlusion of superior vena cava. *Cardiovasc. Interv. Ther.* 2015; 30 (2): 171–5. DOI: 10.1007/s12928-014-0269-1
5. Mansour M., Altenburg A., Haage P. Successful emergency stent implantation for superior vena cava perforation during malignant stenosis venoplasty. *Cardiovasc. Interv. Radiol.* 2009; 32 (6): 1312–6. DOI: 10.1007/s00270-009-9587-6
6. Jean-Baptiste R., Williams D.M., Gemmete J.J. Successful treatment of superior vena cava rupture with placement of a covered stent: a report of two cases. *Cardiovasc. Interv. Radiol.* 2011; 34 (3): 667–71. DOI: 10.1007/s00270-011-0128-8
7. Lou X., Wang H., Tu Y., Tan W., Jiang C., Sun J., Bao Z. Successful stent implantation for superior vena cava injury during transvenous lead extraction. *Heart Rhythm. Case Rep.* 2015; 1 (6): 394–6. DOI: 10.1016/j.hrcr.2014.12.015
8. Azarrafy R., Tsang D.C., Boyle T.A., Wilkoff B.L., Carrillo R.G. Compliant endovascular balloon reduces the lethality of superior vena cava tears during transvenous lead extractions. *Heart Rhythm.* 2017; 14 (9): 1400–4. DOI: 10.1016/j.hrthm.2017.05.005
9. Azarrafy R., Tsang D.C., Wilkoff B.L., Carrillo R.G. Endovascular occlusion balloon for treatment of superior vena cava tears during transvenous lead extraction: a multiyear analysis and an update to best practice protocol. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2019; 12 (8): e007266. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.007266
10. Boyle T.A., Wilkoff B.L., Pace J., Saleem M., Jones S., Carrillo R. Balloon-assisted rescue of four consecutive patients with vascular lacerations inflicted during lead extraction. *Heart Rhythm.* 2017; 14 (5): 757–60. DOI: 10.1016/j.hrthm.2016.12.028
11. Baker M.S., Mounsey J.P. Balloon tamponade of the superior vena cava and the management of catastrophic complications of cardiac lead extraction. *Heart Rhythm.* 2017; 14 (5): 761–2. DOI: 10.1016/j.hrthm.2017.02.008
12. Wilkoff B.L., Kennergren C., Love C.J., Kutalek S.P., Epstein L.M., Carrillo R. Bridge to surgery: best practice protocol derived from early clinical experience with the Bridge Occlusion Balloon. Federated Agreement from the Eleventh Annual Lead Management Symposium. *Heart Rhythm.* 2017; 14 (10): 1574–8. DOI: 10.1016/j.hrthm.2017.07.008
13. Brunner M.P., Cronin E.M., Wazni O., Baranowski B., Saliba W.I., Sabik J.F. et al. Outcomes of patients requiring emergent surgical or endovascular intervention for catastrophic complications during transvenous lead extraction. *Heart Rhythm.* 2014; 11 (3): 19–25. DOI: 10.1016/j.hrthm.2013.12.004
14. Pecha S., Vogler J., Reichenhspurher H., Hakmi S. The Bridge Occlusion Balloon as a safety net in a high-risk transvenous lead extraction procedure. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2018; 26 (2): 360–1. DOI: 10.1093/icvts/ivx296
15. Giannakopoulos T.G., Avgerinos E.D. Management of peripheral and truncal venous injuries. *Front. Surg.* 2017; 4: 46. DOI: 10.3389/fsurg.2017.00046
16. Bui T.D., Mills J.L. Control of inferior vena cava injury using percutaneous balloon catheter occlusion. *Vasc. Endovascular. Surg.* 2009; 43 (5): 490–3. DOI: 10.1177/1538574409339939
17. Bisulli M., Gamberini E., Coccolini F., Scognamiglio G., Agoletti V. Resuscitative endovascular balloon occlusion of vena cava: an option in managing traumatic vena cava injuries. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2018; 84 (1): 211–3. DOI: 10.1097/TA.0000000000001707
18. Tariq U., Petit J., Thomas A., Abt P., Toy F., Lopez R. et al. Traumatic inferior vena cava laceration acutely repaired with endovascular stent graft and associated complications salvaged by surgery. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2019; 30 (2): 273–6. DOI: 10.1016/j.jvir.2018.08.025
19. Watarida S., Nishi T., Furukawa A., Shiraishi S., Kitano H., Matsubayashi K. et al. Fenestrated stent-graft for traumatic juxtahepatic inferior vena cava injury. *J. Endovasc. Ther.* 2002; 9 (1): 134–7. DOI: 10.1177/152660280200900122
20. Castelli P., Caronno R., Piffaretti G., Tozzi M. Emergency endovascular repair for traumatic injury of the inferior vena

- cava. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2005; 28 (6): 906–8. DOI: 10.1016/j.ejcts.2005.09.001
21. Sam A.D. 2nd, Frusha J.D., McNeil J.W., Olinde A.J. Repair of a blunt traumatic inferior vena cava laceration with commercially available endografts. *J. Vasc. Surg.* 2006; 43 (4): 841–3. DOI: 10.1016/j.jvs.2005.12.017
  22. Hommes M., Kazemier G., van Dijk L.C., Kuipers E.J., van IJsseldijk A., Vogels L.M. et al. Complex liver trauma with bilhemia treated with perihepatic packing and endovascular stent in the vena cava. *J. Trauma.* 2009; 67 (2): E51–E53. DOI: 10.1097/TA.0b013e318047c011
  23. Kuy S., Rossi P.J., Seabrook G.R., Brown K.R., Lewis B.D., Rilling W.S. et al. Endovascular management of a traumatic renal-caval arteriovenous fistula in a pediatric patient. *Ann. Vasc. Surg.* 2014; 28 (4): 1031.e1–5. DOI: 10.1016/j.avsg.2013.04.028
  24. Price E., Zukotynski K., Chan R. Endovascular repair of traumatic mesocaval fistula. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2008; 19 (11): 1659–61. DOI: 10.1016/j.jvir.2008.07.022
  25. Wolosker N., Oba C.M., Espirito Santo F.R.F., Puech-Leao P. Endovascular treatment for chronic arteriovenous fistula between renal artery and inferior vena cava: image in vascular surgery. *Vasc. Endovascular. Surg.* 2010; 44 (6): 489–90. DOI: 10.1177/1538574410375124
  26. Tam J., Kossman T., Lyon S. Acute traumatic renal artery to inferior vena cava fistula treated with a covered stent. *Cardiovasc. Interv. Radiol.* 2006; 29 (6): 1129–31. DOI: 10.1007/s00270-005-0254-2
  27. Khouri R.E., Kunda N.M., Keldahl M.L. Endovascular treatment of a penetrating injury of the suprarenal inferior vena cava. *J. Vasc. Surg. Venous Lymphat. Disord.* 2019; 7 (2): 247–50. DOI: 10.1016/j.jvsv.2018.10.004
  28. Waldrop J.L. Jr., Dart B.W. 4th, Barker D.E. Endovascular stent graft treatment of a traumatic aortocaval fistula. *Ann. Vasc. Surg.* 2005; 19 (4): 562–5. DOI: 10.1007/s10016-005-5025-7
  29. Bonasso P.C., Lucke-Wold B.P., d'Audiffret A., Pillai L. Primary endovascular repair of ilio-caval injury encountered during anterior exposure spine surgery: evolution of the paradigm. *Ann. Vasc. Surg.* 2017; 43: 316.e1–316.e8. DOI: 10.1016/j.avsg.2017.03.192
  30. De Naeir G., Degrieck I. Emergent infrahepatic vena cava stenting for life-threatening perforation. *J. Vasc. Surg.* 2005; 41 (3): 552–4. DOI: 10.1016/j.jvs.2004.11.039
  31. Briggs C.S., Morcos O.C., Moriera C.C., Gupta N.Y. Endovascular treatment of iatrogenic injury to the retrohepatic inferior vena cava. *Ann. Vasc. Surg.* 2014; 28 (7): 1794.e13–15. DOI: 10.1016/j.avsg.2014.04.009
  32. Jeng E.I., Ortiz D., Khan A., Benedetti E., Borhani M., Oberholzer J. Inferior vena cava stent-graft sepsis. *Ann. Vasc. Surg.* 2015; 29 (7): 1451.e17–20. DOI: 10.1016/j.avsg.2015.04.067
  33. Erzurum V.Z., Shoup M., Borge M., Kalman P.G., Rodriguez H., Silver G.M. Inferior vena cava endograft to control surgically inaccessible hemorrhage. *J. Vasc. Surg.* 2003; 38 (6): 1437–9. DOI: 10.1016/s0741-5214(03)00919-4
  34. De Alvarenga Yoshida R., Yoshida W.B., Kolvenbach R., Vieira P.R.B. Endovascular treatment of late aortic perforation due to vena cava filter. *Ann. Vasc. Surg.* 2012; 26 (6): 859.e9–12. DOI: 10.1016/j.avsg.2011.11.044
  35. Marsala A., Hadduck T., Baril D., Kee S. Rupture of the inferior vena cava during filter removal. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2018; 29 (11): 1618–9. DOI: 10.1016/j.jvir.2018.05.010
  36. Lee J.T., Goh G.S., Joseph T., Koukounaras J., Phan T., Clements W. Prolonged balloon tamponade in the initial management of inferior vena cava injury following complicated filter retrieval, without the need for surgery. *J. Med. Imaging. Radiat. Oncol.* 2018; 62 (6): 810–3. DOI: 10.1111/1754-9485.12758
  37. Jia Z., Wu A., Tam M., Spain J., McKinney J.M., Wang W. Caval penetration by inferior vena cava filters: a systematic literature review of clinical significance and management. *Circulation.* 2015; 132 (10): 944–52. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016468
  38. Chou E.L., Colvard B.D., Lee J.T. Use of aortic endograft for repair of intraoperative iliocaval injury during anterior spine exposure. *Ann. Vasc. Surg.* 2016; 31: 207.e5–8. DOI: 10.1016/j.avsg.2015.08.008
  39. Düz B., Kaplan M., Günay C., Ustünsöz B., Uğurel M.S. Iliocaval arteriovenous fistula following lumbar disc surgery: endovascular treatment with a stent-graft. *Turk. Neurosurg.* 2008; 18 (3): 245–8.
  40. Liu B., Ye K., Gao S., Liu K., Feng H., Zhou F., Tian Y. The summary of experience of abdominal vascular injury related to posterior lumbar surgery. *Int. Orthop.* 2019; 43 (9): 2191–8. DOI: 10.1007/s00264-018-4262-7
  41. Alshabat A., Srayah S., Aljfoot S., Obiedat L., Alsharoa S., Janho K. et al. Endovascular treatment of iatrogenic iliocaval fistula post lumbar disc surgery. *J. Surg. Case Rep.* 2019; 2019 (11): rjz313. DOI: 10.1093/jscr/rjz313
  42. Ben Jemaa H., Maalej A., Lazzez K., Jemal H., Karray S., Mahfoudh K.B. Traitement endovasculaire d'une fistule artério-veineuse ilio-cave compliquant une chirurgie discale lombaire. *J. Mal. Vasc.* 2016; 41 (3): 205–9. DOI: 10.1016/j.jmv.2016.01.001
  43. Taneja M., Lath N., Soo T.B., Hiong T.K., Htoo M.M., Richard L. et al. Renal artery stump to inferior vena cava fistula: unusual clinical presentation and transcatheter embolization with the Amplatzer vascular plug. *Cardiovasc. Interv. Radiol.* 2008; 31 (Suppl. 2): S92–5. DOI: 10.1007/s00270-007-9232-1
  44. Robinson D.L., Teitelbaum G.P., Pentecost M.J., Weaver F.A., Finck E.J. Transcatheter embolization of an aortocaval fistula caused by residual renal artery stump from previous nephrectomy: a case report. *J. Vasc. Surg.* 1993; 17 (4): 794–7.
  45. Cekirge S., Oguzkurt L., Saatci I., Boyvat F., Balkanci F. Embolization of a high-output postnephrectomy aortocaval fistula with Gianturco coils and cyanoacrylate. *Cardiovasc. Interv. Radiol.* 1996; 19 (1): 56–8. DOI: 10.1007/BF02560151
  46. Kokov L.S., Pokrovskiy A.B., Tarbaev B.N., Shubin A.A., Sitnikov A.B., Tarbaeva N.V. Комбинированное лечение посттравматической артерио-венозной аневризмы между аортой и левой почечной веной. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2007; 13 (2): 121–4.  
[Kokov L.S., Pokrovsky A.V., Tarbaev V.N., Shubin A.A., Sitnikov A.V., Tarbaeva N.V. Combined treatment of posttraumatic arterio-venous aneurysm between the aorta and left renal vein. *Angiology and Vascular Surgery.* 2007; 13 (2): 121–4 (in Russ.).]
  47. Kokov L.S., Цыганков В.Н., Хамнагадаев И.А., Акинфиев Д.М. Эндоваскулярная окклюзия посттравматической ложной аневризмы супраренального отдела аорты. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2011; 17 (1): 137–40.  
[Kokov L.S., Tsygankov V.N., Khamnagadaev I.A., Akinfeev D.M. Endovascular occlusion of posttraumatic suprarenal aortic pseudoaneurysm. *Angiology and Vascular Surgery.* 2011; 17 (1): 137–40 (in Russ.).]
  48. Ginjupalli M., Tripathy U., Gonzalez S., Moinuddeen K., Mohiuddin I. A novel use of aortic stent graft components in massive venous retroperitoneal hematoma. *Methodist Debakey Cardiovasc. J.* 2018; 14 (2): e1–e3. DOI: 10.14797/mdcj-14-2-e1
  49. Drucker C.B., Bhardwaj A., Benalla O., Crawford R.S., Sarkar R. Modeling variability in the inferior vena cava into fenestrated endografts for retrohepatic caval injuries. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.* 2020; 8 (1): 62–72. DOI: 10.1016/j.jvsv.2019.06.021
  50. Go C., Chun Y.J., Kuhn J., Chen Y., Cho S.K., Clark W.C. et al. Damage control of caval injuries in a porcine model using a retrievable Rescue stent. *J. Vasc. Surg. Venous. Lymphat. Disord.* 2018; 6 (5): 646–56. DOI: 10.1016/j.jvsv.2018.04.011
  51. Reynolds C.L., Celio A.C., Bridges L.C., Mosquera C., O'Connell Br., Bard M.R. et al. REBOA for the IVC? Resuscitative balloon occlusion of the inferior vena cava (REBOVC) to abate massive hemorrhage in retrohepatic vena cava injuries. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2017; 83 (6): 1041–6. DOI: 10.1097/TA.00000000000001641
  52. Wikström M.B., Krantz J., Höller T.M., Nilsson K.F. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the inferior vena cava is made hemodynamically possible by concomitant endovascular balloon occlusion of the aorta – a porcine study. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2020; 88 (1): 160–8. DOI: 10.1097/TA.0000000000002467