

ВОЗМОЖНОСТИ РЕНТГЕНОХИРУРГИИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОСТРЫХ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ

А. Шмит

Университетская клиника Лейпцига, Германия

THE POSSIBILITY OF ENDOVASCULAR SURGERY IN THE TREATMENT OF ACUTE POST-TRAUMATIC CONDITIONS

A. Schmidt

University Hospital Leipzig, Germany

E-mail: andrej.schmidt@gmx.de

Аннотация

Традиционная роль радиологии в междисциплинарном подходе к современной травматологической помощи была в основном диагностической и неинвазивной. С появлением более совершенного оборудования для визуализации компьютерная томография еще более утвердилась в роли «рабочей лошадки», используемой в диагностике травм. Тем не менее эта специальность развивалась на протяжении многих лет благодаря различным лечебным манипуляциям, которые в настоящее время входят в состав интервенционного радиологического пособия. Некоторые из них стали необходимыми для ведения пациентов с тяжелыми травмами. В статье представлен обзор данных визуализации наиболее часто встречающихся травматических повреждений сосудов и висцеральных органов «с головы до ног» с последующим эндоваскулярным вмешательством, проводимом у urgentных больных с тяжелыми травмами.

Ключевые слова: интервенционная радиология, ангиография, эмболизация, стент-графт, травма.

Abstract

The traditional role of radiology in the multidisciplinary approach to modern trauma care has been primarily diagnostic and noninvasive. With the advent of more sophisticated and faster imaging equipment, computed tomography has further entrenched its role as the workhorse of trauma imaging. However, the specialty has evolved over the years with various therapeutic techniques now part of the interventional radiology armamentarium. Several of these techniques have become essential for the management of critically ill trauma patients. This article provides an overview of the common imaging findings of vascular and solid organ trauma from head to toe and subsequent endovascular interventions in these critically ill trauma patients.

Key words: Interventional radiology; Angiography; Embolization; Stent graft; Trauma.

Ссылка для цитирования: Шмит А. Возможности рентгенохирургии при лечении острых посттравматических состояний. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2019; 3: 57–72.

Trauma is the third leading cause of death in all age groups [1]. Paramount to vital patient care after acute traumatic injury is an early diagnosis of the extent and degree of pathology. The role of radiology in trauma care is ever expanding and evolving. Historically, diagnostic imaging evaluation of the injuries was the crux but now has evolved to include temporizing or definitive therapeutic intervention in the treatment of the injured patient. By using a variety of minimally invasive endovascular therapies, interventional radiology has become an integral aspect of modern trauma care. In this pictorial review, we illustrate some common traumatic injuries in which diagnostic imaging and interventional radiology play an essential role in patient care and management.

Травма является третьей по значимости причиной смерти во всех возрастных группах [1]. Первостепенное значение для оказания неотложной помощи пациентам с острыми травмами имеет ранняя диагностика характера и степени повреждения. Роль радиологии в лечении травм постоянно растет. Исторически сложилось так, что радиология была ключевым методом в диагностике травм, теперь же она эволюционировала и включает в себя временные и постоянные алгоритмы лечения пострадавшего. Благодаря использованию разнообразных минимально инвазивных эндоваскулярных методов лечения интервенционная радиология стала неотъемлемой частью современной травматологической помо-

Diagnostic imaging is warranted to further assess and evaluate the extent of traumatic injury after the initial clinical survey has been performed. In patients who have sustained injury to the head, neck, and/or soft tissues of the chest, abdomen, and pelvis, the mainstay of initial imaging is computed tomography (CT), which provides a quick, noninvasive method to accurately evaluate pathology. In depending on the type of injury, the CT protocol can be tailored to optimally assess the specific site of concern. For example, if there is potential vascular injury to the carotid artery, an arterial-phase enhanced CT angiogram (CTA) of the head and neck vessels can be performed. Alternatively, in blunt abdominal trauma, a portal venous-phase examination of the abdomen and pelvis can be performed, which provides excellent contrast resolution of abdominal organs and allows for accurate diagnosis of traumatic injury. Magnetic resonance imaging is a potential imaging modality to assess for traumatic injury; however, given the longer time duration required for image acquisition, it is not typically used in the initial evaluation of traumatic injury. Ultrasound has limited utility in the patient who is acutely injured but can be useful as a bedside screening examination for intra-abdominal free fluid and pleural effusion.

In the setting of arterial vascular injury, CTA is an excellent initial imaging modality to detect and define the extent of pathology. Munera et al [2] compared CTA and intra-arterial catheter angiography in 60 patients with penetrating neck trauma and demonstrated that CTA had a sensitivity of 90% and a specificity of 100% in assessing traumatic injury. Vascular injury can be categorized into 5 types based on the imaging appearance: (1) intimal and/or medial damage with or without associated narrowing of the vessel lumen and creation of a dissection plane, (2) aneurysmal dilatation and/or pseudoaneurysm formation, (3) complete vascular occlusion, (4) arteriovenous (AV) fistula, and (5) complete vascular transection [3].

The mainstay of endovascular intervention in the setting of acute trauma is exclusion of the arterial injury from the circulation. There are a variety of endovascular treatment options available to achieve this outcome, which can be tailored to optimally manage the type of injury. In patients with partial or complete arterial transection and hemorrhage, arresting the active arterial bleed is imperative. For end-organ arterial vessels, selective embolization of the vessel can effectively stop ongoing hemorrhage while minimizing distal tissue loss. Embolic agents can be temporary or permanent. Gelfoam (UpJohn, Kalamazoo, MI) is the most commonly used temporary agent in an acute traumatic setting. Examples of permanent embolic agents include endovascular coils, glue, and an Amplatzer plug (AGA Medical Corporation, Plymouth, MN). In none end-

щи. В данном иллюстрированном обзоре освещен ряд распространенных травматических повреждений, при которых диагностическая и интервенционная радиология играют важную роль в лечении пациента.

Диагностическая визуализация обоснованно необходима для дальнейшего определения и оценки степени травматического повреждения после выполнения первоначального клинического обследования. У пациентов, перенесших травму головы, шеи, мягких тканей грудной клетки, живота и таза, основой первичной диагностики является компьютерная томография (КТ) - быстрый неинвазивный метод для точной оценки патологии. В зависимости от вида травмы протокол КТ может быть адаптирован для оптимальной оценки конкретной проблемной области. Например, если имеется возможное травматическое повреждение сосудов в бассейне сонной артерии, может быть выполнена КТ-ангиография (КТА) сосудов головы и шеи с усилением артериальной фазой. Напротив, при тупой травме живота проводится исследование венозной фазы портальных сосудов брюшной полости, которое обеспечивает прекрасное контрастирование органов брюшной полости и позволяет правильно определить травматическое повреждение. Магнитно-резонансная томография является возможным методом визуализации травматического повреждения. Однако, учитывая большую длительность воспроизведения, обычно не используется для первичной оценки. Ультразвуковое исследование имеет ограниченные возможности при острой травме, но может быть полезно в качестве первичного скрининга для выявления внутрибрюшной жидкости и плеврального выпота.

При повреждении артериальных сосудов КТ является превосходным методом визуализации патологии. Munera и соавт. [2] сравнили КТА и внутриартериальную катетерную ангиографию у 60 пациентов с проникающей травмой шеи и продемонстрировали, что КТА обладает чувствительностью 90% и специфичностью 100% при оценке травматического повреждения. Повреждения сосудов можно разделить на 5 типов в зависимости от вида изображения: (1) повреждение внутренней и / или средней оболочки сосуда с / или без сужения просвета и расслоения стенки сосуда, (2) расширение — образование аневризмы и / или псевдоаневризмы, (3) полная окклюзия сосуда (4) АВ-фистула и (5) полный разрыв сосуда [3].

В основе эндоваскулярного вмешательства при острой травме является выключение поврежденной артерии из кровотока. Для достижения этого результата применяются различные ва-

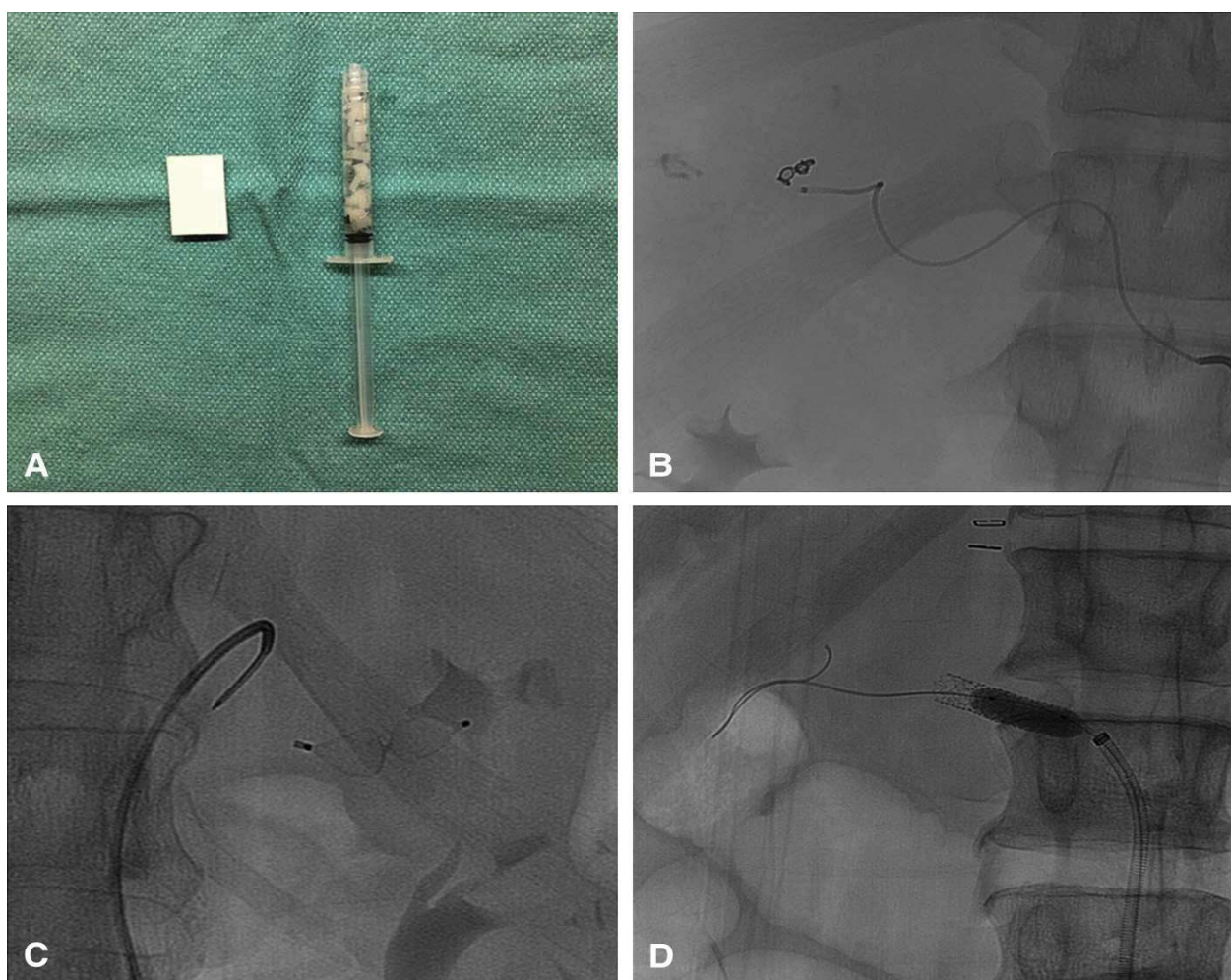


Fig. 1. (A) Gelfoam. (B) Intra-arterial coils. (C) Intra-arterial Amplatzer plug. (D) Intra-arterial stent.

Рис. 1. (А) «Гель-пена». (В) Внутрисосудистые спирали. (С) Внутрисосудистый окклюдер Amplatzer. (D) Внутрисосудистый стент.

organ arteries, endovascular treatment options also include arterial embolization or alternatively placement of a stent graft to patch the site of arterial injury while preserving luminal patency (Fig. 1).

Posttraumatic arterial pseudoaneurysms can result after disruption to 1 or 2 layers of the vessel wall (intima, media, adventitia). There is an associated high risk of spontaneous rupture due to the weakened arterial wall. Early repair and/or exclusion of the pseudoaneurysm is recommended because arterial rupture is associated with high morbidity and mortality. One potential treatment option includes placing a stent graft across the origin of the pseudoaneurysm. The benefit of this technique is exclusion of the pseudoaneurysm from the circulation while maintaining normal blood flow through the originating artery. Alternatively, the pseudoaneurysm can be excluded from the circulation by using a permanent embolic agent placed both proximal and distal to the pseudoaneurysm (“front- and back-door embolization”). More superficial iatrogenic post catheterization pseudoaneurysms can be oc-

cluded by endovascular treatment options, which can be adapted to different types of trauma. In patients with partial or complete arterial rupture and hemorrhage, active arterial bleeding is a mandatory condition. Selective embolization of distal arterial segments, supplying organs, can effectively stop hemorrhage with minimal damage to the organ tissue. Embolic agents are divided into temporary (absorbable) and permanent. Among temporary agents, the most commonly used in acute trauma is absorbable “gel-foam” (Gelfoam, UpJohn, Kalamazoo, MI). Among permanent embolic agents, coils, glue compositions, and occluders (Amplatzer plug, AGA Medical Corporation, Plymouth, Minnesota) are used. Another variant of endovascular treatment is also the embolization or the use of an alternative variant - stent-graft placement for lo-

cluded with percutaneous thrombin injection, which allows thrombin to be injected directly into a pseudoaneurysm under ultrasound guidance and which results in activation of the coagulation cascade and leads to thrombosis. One contraindication to this procedure is if there is an AV fistula in addition to the pseudoaneurysm, which can potentially result in distant venous thrombosis or nontarget embolization.

An AV fistula is a direct abnormal communication between an artery and a vein, and can be formed after acute vascular injury. It is prone to rupture because high flow and/or pressurized arterial blood is abnormally shunted directly to the vein. An AV fistula can be treated by embolizing the artery proximal to the fistulous communication with the vein, excluding it from the circulation. Alternatively, placing a stent graft at the abnormal site of communication can also achieve a similar result. Another potential complication from acute vascular injury is the creation of an intimal flap or dissection plane, which can produce a flow-limiting stenosis that results in downstream ischemia. There may also be weakening of the arterial wall, which potentiates aneurysmal dilatation and vessel rupture. In cases of significant injury, endovascular treatment predominantly includes placement of a stent graft across the lesion, improving blood flow through the vessel lumen while reinforcing the arterial wall.

Although endovascular interventions have made modern trauma care safer and cost effective and have obviated the need for open surgery in many cases, these interventions are still not without their risks. Most common angiography related complications include puncture-site hematoma, thrombosis, and pseudoaneurysm and/or AV fistula formation with a combined incidence of 0.47% for femoral punctures [4]. Additional complications include distal embolization and subsequent neurologic sequelae (especially in cases that involve arch manipulation). The overall (transient and permanent) neurologic complication rate has been reported to be 0.17% for femoral angiography [4]. There is an increased risk of neurologic complications in cerebral angiography, with a mean overall rate reported at 1.6% [5]. In addition, iatrogenic dissection rates have been reported at less than 1% in carotid angioplasties [5]. Lastly, given that the most widely used agent for intravascular administration in interventional radiology is iodinated contrast, every endovascular procedure carries with it the risk of contrast-induced nephropathy, which has a reported incidence of 0.01% [4].

Site-specific injuries: imaging findings and interventional techniques

Head and neck

The incidence of cervical vessel injury in blunt trauma is approximately 10% [6]. Potential compli-

кального закрытия повреждения артерии при сохранении просвета (рис. 1).

Посттравматические артериальные псевдоаневризмы могут возникать при повреждении одного или двух слоев стенки сосуда (внутреннего, среднего, наружного). Из-за истончения стенки существует высокий риск спонтанного разрыва артерии. Рекомендуется скорейшее восстановление целостности стенки и / или выключение из кровотока псевдоаневризмы, поскольку разрыв артерии ассоциируется с высокой заболеваемостью и смертностью. Один из возможных вариантов лечения — установка стент-графта на уровне начала псевдоаневризмы. Преимущество этого метода заключается в выключении псевдоаневризмы из кровотока при сохранении нормального кровотока через исходную артерию. Также псевдоаневризма может быть выключена из кровотока с помощью постоянного эмболизирующего агента, установленного как проксимально, так и дистально относительно псевдоаневризмы («эмболизация передней и задней двери»). Более поверхностные ятрогенные посткатетеризационные псевдоаневризмы могут быть окклюзированы с помощью чрескожной инъекции тромбина непосредственно в псевдоаневризму под контролем ультразвука, приводящей к активации «коагуляционного каскада» и тромбообразованию псевдоаневризмы.

Травмы по локализации:

диагностическая и интервенционная техника

Голова и шея

Частота травм сосудов шеи при тупой травме составляет примерно 10% [6]. Потенциальными осложнениями повреждения сосуда являются активное кровоизлияние, снижение перфузии головного мозга вследствие сужения или окклюзии сосуда и тромбоэмболическая ишемия из травматической псевдоаневризмы или расслоения сосуда [7, 8]. Поскольку существует значительный ассоциированный риск неврологических расстройств и смерти (до 80%), ранняя точная диагностика этих повреждений имеет решающее значение в ведении пациентов [9].

При проникающей травме существует вероятность частичного и полного пересечения артерии, что приводит к активному кровотечению, образованию псевдоаневризмы и расслоению сосуда. Если вовлечена ветвь наружной сонной артерии, эндоваскулярное лечение обычно выполняется с помощью селективной артериальной эмболизации. Однако при повреждении внутренней сонной артерии или позвоночной артерии из-за необходимости поддержания крово-

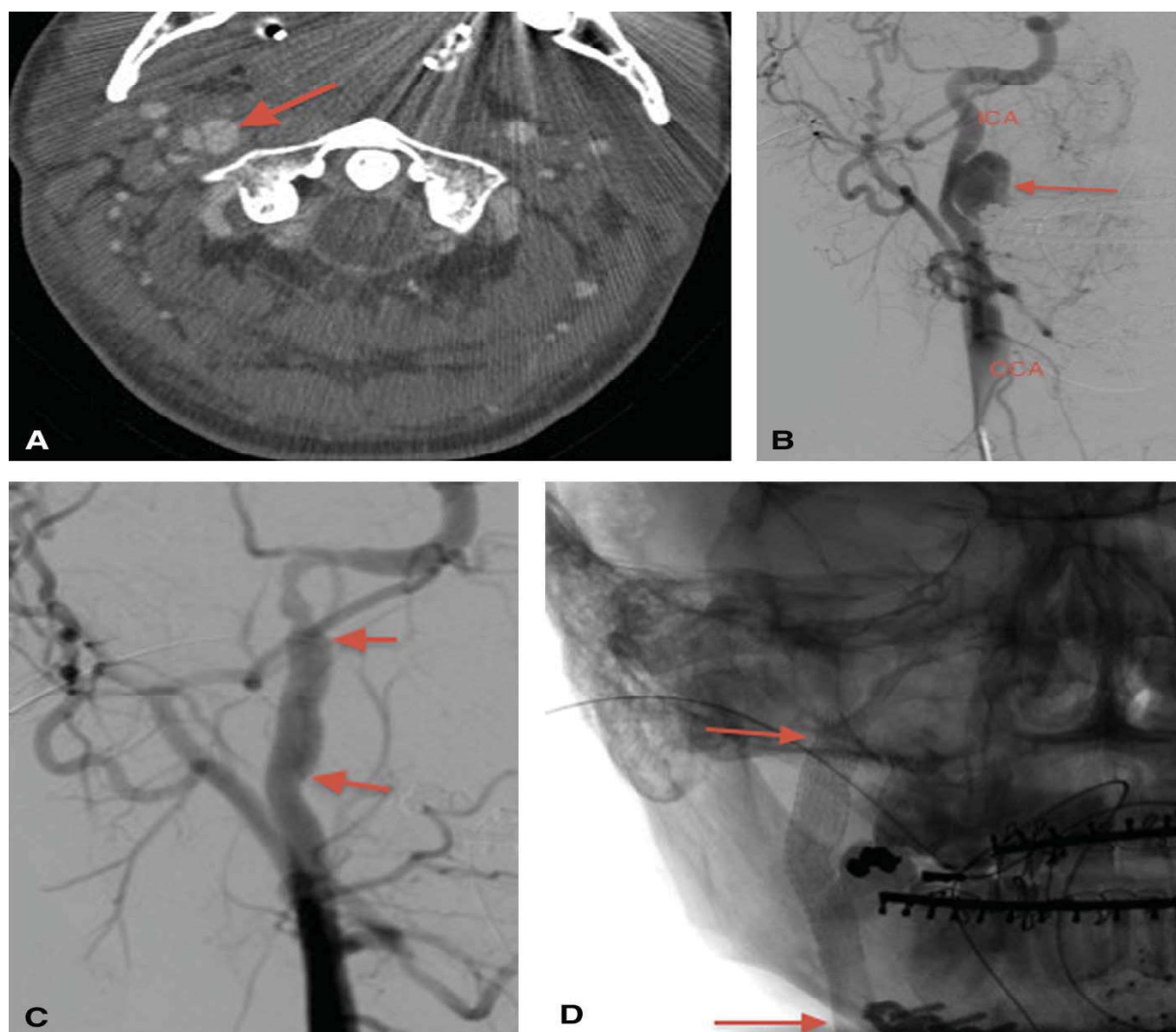


Fig. 2. Traumatic carotid pseudoaneurysm. (A) Single-axial computed tomographic angiogram image of the neck, demonstrating a large pseudoaneurysm (arrow) arising off the medial wall of the right internal carotid artery (ICA). (B) Digital subtraction angiography (DSA) image, demonstrating the same large pseudoaneurysm (arrow). (C) DSA image, demonstrating a stent graft (arrows) in the high cervical ICA with complete exclusion of the pseudoaneurysm; note the poststent vasospasm. (D) Facial radiograph with the stent graft (arrows) in situ. CCA - common carotid artery.

Рис. 2. Посттравматическая псевдоаневризма сонной артерии. (А) Изображение аксиллярной КТ-ангиограммы шеи: большая псевдоаневризма (стрелка) медиальной стенки правой внутренней сонной артерии (ICA) (В) Изображение цифровой субтракционной ангиографии (DSA): эта же большая псевдоаневризма (стрелка). (С) DSA изображение: стент (стрелки) в верхней части шейного сегмента ICA с полным исключением псевдоаневризмы из кровотока; обращает на себя внимание вазоспазм за стентом. (D) Рентгенограмма лицевого черепа со стентом (стрелки) в общей сонной артерии.

cations of vascular injury include active hemorrhage, reduced brain perfusion secondary to vessel narrowing or occlusion, and thromboembolic ischemia from an inciting traumatic pseudoaneurysm or dissection [7, 8]. Because there is a significant associated risk of neurologic dysfunction and death (as high as 80%), early accurate diagnosis of these injuries is critical to patient management [9].

In a penetrating trauma, there is a potential for partial and complete arterial transection that results in active hemorrhage, pseudoaneurysm formation, and vascular dissection. If an external carotid artery branch is involved, endovascular treatment can usually be achieved by selective arterial embolization.

тока в головном мозге чаще требуется установка стент-графта или открытое хирургическое лечение (рис. 2).

Наиболее частая травматическая внутричерепная АВ-фистула образуется между внутренней сонной артерией и кавернозным синусом. Каротидно-кавернозная фистула (рис. 3) может быть клинически бессимптомной в течение нескольких дней или недель после получения травмы [3]. В литературе опубликован ряд исследований, в которых описано успешное лечение АВ-фистул, расслоений сонных артерий и псевдоаневризм с помощью эндоваскулярных стент-графтов [10-12].

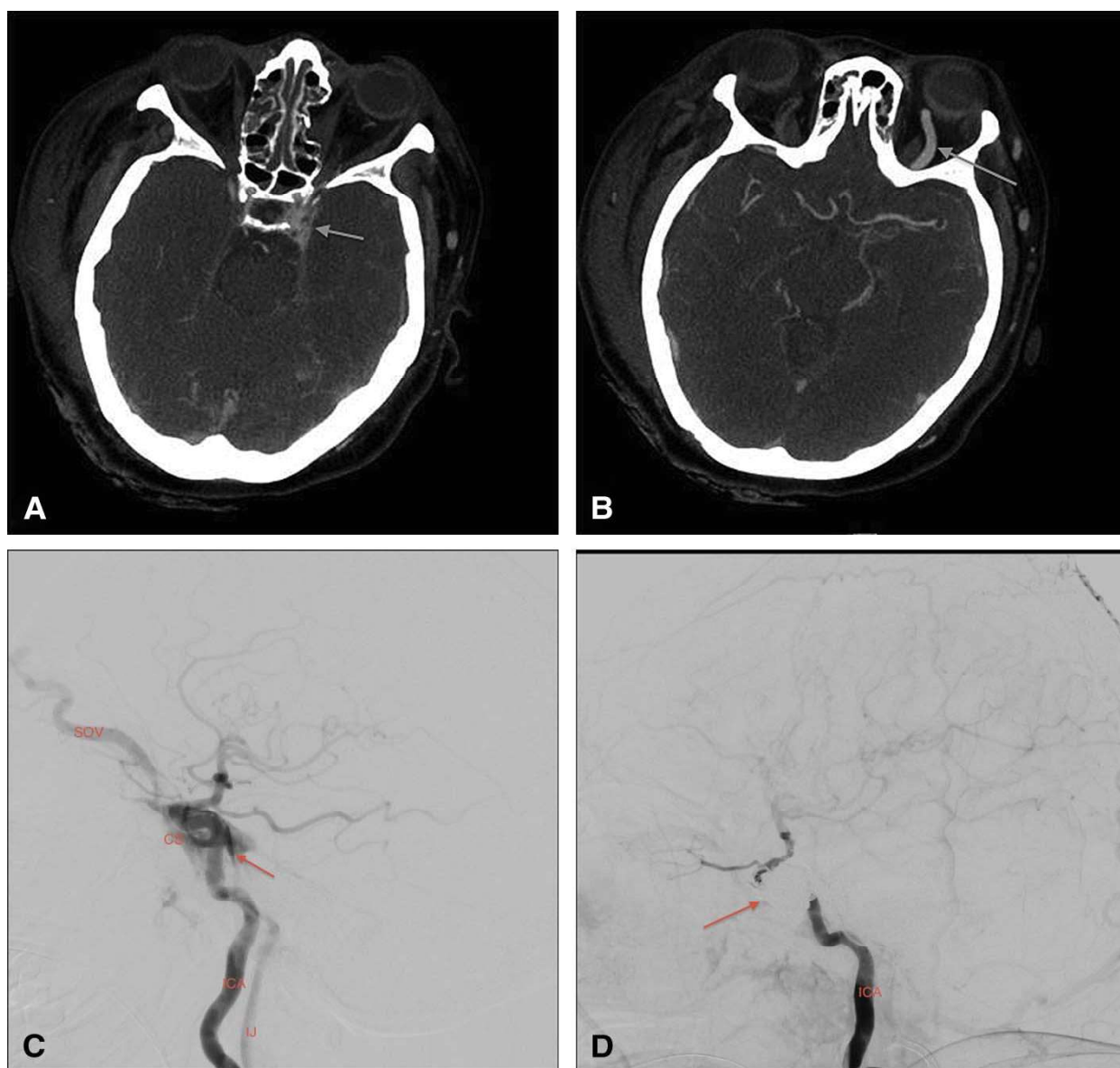


Fig. 3. Traumatic carotid-cavernous fistula (CCF). (A, B) Selected axial computed tomographic angiogram images, demonstrating asymmetric early filling of the left cavernous sinus (CS) (short arrow in [A]) and dilated left superior ophthalmic vein (SOV) (long arrow in [B]). (C) Digital subtraction angiography (DSA) image, demonstrating a direct fistulous communication between the cavernous internal carotid artery (ICA) and the CS (arrow) as well as retrograde filling into prominent left SOV and left internal jugular (IJ) vein. (D) Transarterial approach with detachable balloons failed; subsequently, a transvenous approach through the left IJ vein and inferior petrosal sinus resulted in successful coiling (arrow) of the CS and complete occlusion of the CCF; note the partial occlusion of the cavernous ICA; however, the patient had no clinical sequelae due to good intracranial collateral flow.

Рис. 3. Посттравматический каротидно-кавернозный свищ (ККС). (А, В) Селективная аксиллярная КТ-ангиограмма, демонстрирующая асимметричное раннее заполнение левого кавернозного синуса (КС) (короткая стрелка в [А]) и расширенную левую верхнюю глазную вену (ВГВ) (длинная стрелка в [В]). (С) Изображение цифровой субтракционной ангиографии (DSA), демонстрирующее фистулу между кавернозным сегментом внутренней сонной артерией (ВСА) и кавернозным синусом (КС) (стрелка), а также ретроградное заполнение левой ВГВ и левой внутренней яремной вены (ЯВ). (D) Попытка окклюзии ККС, используя технику отделяемых баллонов, не увенчалась успехом; позже через левую ЯВ и нижний каменистый синус осуществлено успешное введение спирали (стрелка) в КС и полное закрытие ККС; обращает на себя внимание частичная окклюзия кавернозного сегмента ВСА, однако благодаря хорошему внутричерепному коллатеральному кровотоку клинических последствий у пациента не наблюдалось.

However, if the internal carotid or vertebral artery is injured, then endovascular stent-graft placement or open surgical repair is often required due to the necessity of maintaining blood flow to the brain (Fig. 2).

Грудная клетка

Летальность при травмах сосудов грудной клетки крайне высока, и требуется незамедлительное проведение диагностических и лечебных мероприятий. Из больших грудных сосудов примерно половина повреждений приходится на долю

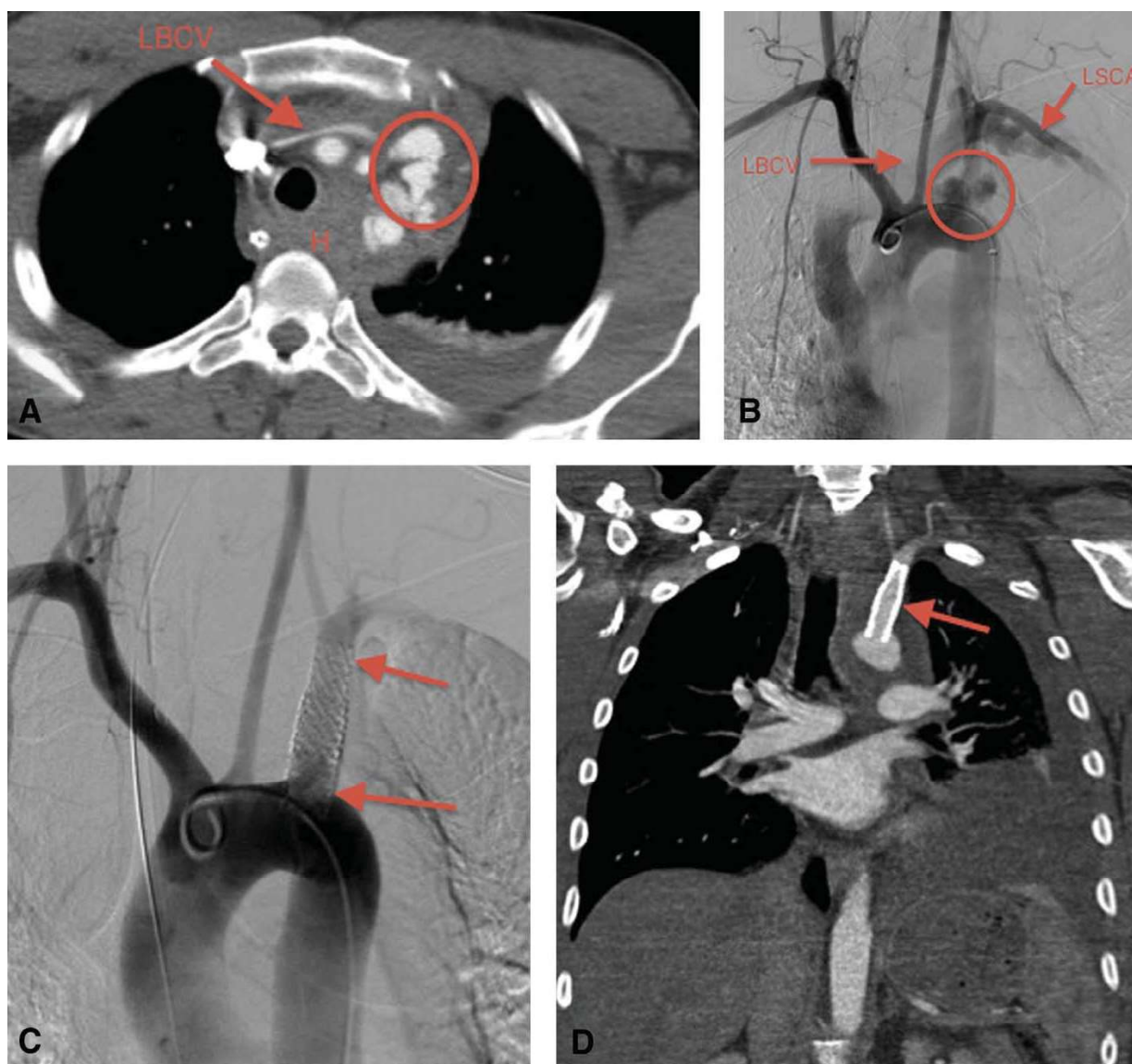


Fig. 4. Traumatic subclavian arterial pseudoaneurysm and arteriovenous (AV) shunt. (A) Single axial computed tomographic angiogram (CTA) image, demonstrating a large mediastinal hematoma (H) with an area of large extravasation at the left subclavian artery with pseudoaneurysm formation (circle) at the left subclavian artery (LSCA) origin; note the early filling of the left brachiocephalic vein (LBCV) (arrow) secondary to a fistulous communication with the LSCA. (B) Arch aortogram, demonstrating a large pseudoaneurysm immediately distal to the LSCA (short arrow) origin (circle) as well as an AV shunt between the proximal LSCA and LBCV (long arrow), and early filling of the superior vena cava. (C, D) Digital subtraction angiography and CTA images after stent-graft placement (arrows), with complete exclusion of the pseudoaneurysm.

Рис. 4. Травматическая псевдоаневризма подключичной артерии и артериовенозный (АВ) шунт. (А) Аксиллярная КТ-ангиограмма (КТА), демонстрирует большую гематому средостения (Н) с зоной крупной экстравазации из левой подключичной артерии (LSCA) с образованием псевдоаневризмы (кружок); обратите внимание на раннее заполнение левой брахиоцефальной вены (LBCV) (стрелка), после заполнения фистулы с LSCA. (В) Аортограмма дуги аорты, демонстрирующая большую псевдоаневризму сразу ниже LSCA (короткая стрелка) и в устье (круг), а также АВ-шунт между проксимальной LSCA и LBCV (длинная стрелка) и раннее заполнение верхней полой вены. (С, D) Цифровая субтракционная ангиограмма и КТА картина после установки стент-графта (стрелки) с полным выключением псевдоаневризмы.

The most common trauma-induced intracranial AV fistula occurs between the internal carotid artery and the cavernous sinus. A carotid-cavernous fistula (Fig. 3) can be clinically silent for days to weeks after the initial trauma [3]. There are a number of studies published in the literature that have described successful treatment of AV fistulas, carotid artery dissections, and pseudoaneurysms with endovascular stent grafts [10-12].

брахиоцефальных артерий (рис. 4) [13]. Травмы легочных сосудов (рис. 5), непарной и полой вен довольно редки [14]. Острое повреждение грудной аорты (рис. 6) следует заподозрить в случаях тупой травмы грудной клетки, когда имеется подходящий механизм повреждения (резкое замедление: при высокой скорости движения) и/или подозрительная симптоматика. По данным лите-

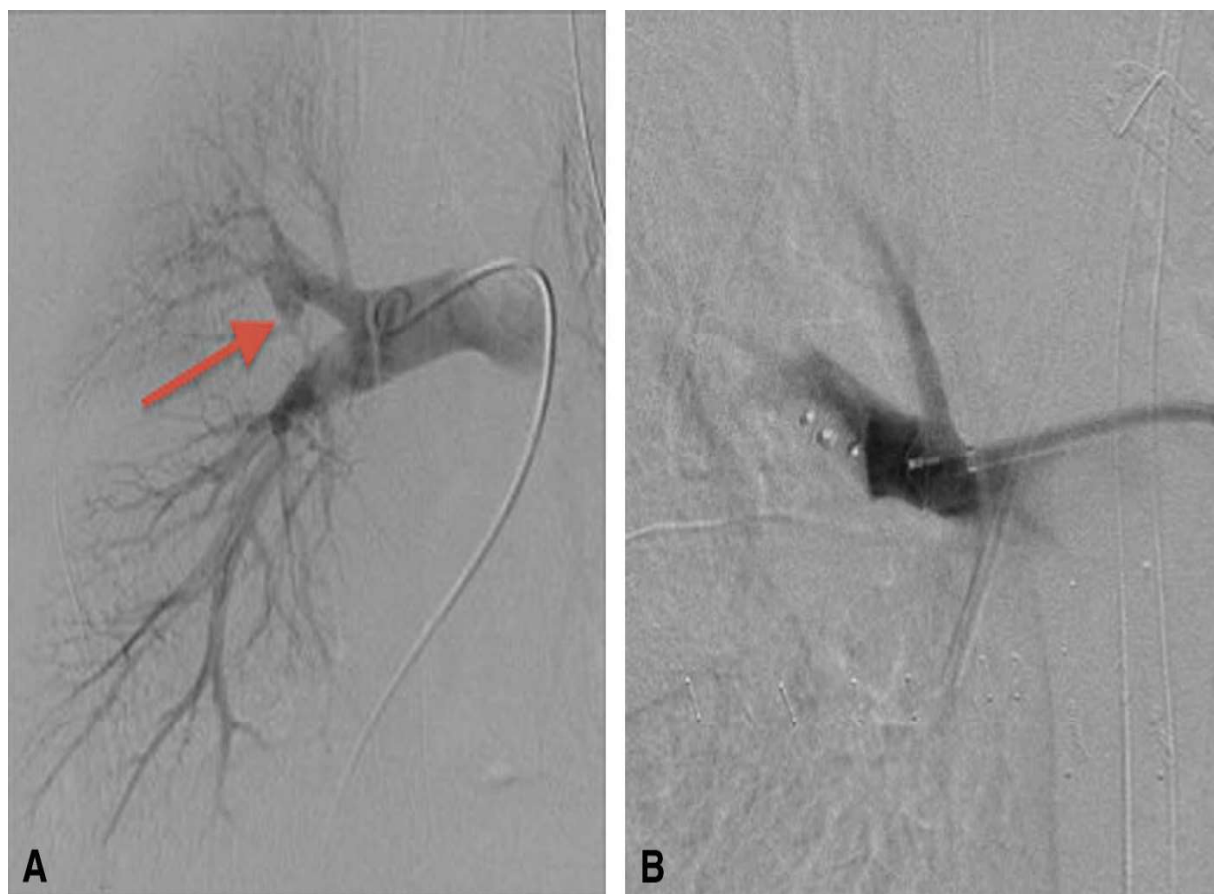


Fig. 5. Traumatic pulmonary artery pseudoaneurysm. (A) A single digital subtraction angiography (DSA) image, demonstrating a large pseudoaneurysm (arrow) arising off a segmental branch of the right pulmonary artery. **(B)** Single DSA image, demonstrating no flow to the pseudoaneurysm after placement of Amplatzer vascular plugs in the pseudoaneurysm neck and the segmental pulmonary arterial branch.

Рис. 5. Травматическая псевдоаневризма легочной артерии. (А) Цифровая субтракционная ангиограмма (DSA), демонстрирует большую псевдоаневризму (стрелка) сегментарной ветви правой легочной артерии. **(В)** DSA изображение демонстрирует отсутствие потока к псевдоаневризме после установки окклюдировочного устройства (Amplatzer plug) в перешеек псевдоаневризмы и сегментарной ветви легочной артерии.

Chest

Thoracic vasculature injuries are highly lethal and require timely diagnosis and intervention. Of the thoracic great vessels, the brachiocephalic artery accounts for approximately half of the injuries (Fig. 4) [13]. Pulmonary vascular (Fig. 5), azygous vein, and caval injuries are quite rare [14]. Acute thoracic aortic injury (Fig. 6) should be considered in cases of nonpenetrating thoracic trauma when the mechanism is appropriate (high-speed sudden deceleration) and/or the clinical symptoms are suspicious. There is a 0.5%-2% incidence of acute thoracic aortic injury in nonlethal motor vehicle collisions and 10%-20% in high-speed deceleration fatalities, as reported in the literature [14]. In patients with suspected traumatic injury to the aorta, emergent evaluation with CTA is recommended to assess the extent of injury [14]. It has been well established that the aortic isthmus, approximately within 2 cm of the origin of the left subclavian artery, is the most common location for aortic injury, which accounts

ратуры, в автомобильных авариях без смертельного исхода частота острого повреждения грудной аорты составляет 0.5-2%, а при резком замедлении со смертельным исходом — 10-20% [14]. У пациентов с подозрением на травму аорты рекомендуется проводить экстренную КТА для оценки степени повреждения [14]. Наиболее частым местом травматического повреждения аорты является перешеек аорты, находящийся примерно в 2 см от начала левой подключичной артерии, на долю которого приходится примерно 80-90% случаев повреждений [15, 16]. Часто описываемые прямые признаки повреждения аорты: отслоение интимы, травматическая псевдоаневризма, локализованный разрыв, тромбоз на уровне псевдоаневризмы, аномальный контур аорты и внезапное изменение диаметра аорты. Косвенные признаки острого травматического повреждения включают периаортальную гематому, смещение мягких тканей средостения и гемоперикард [14].

Пациенты с острым травматическим повреж-

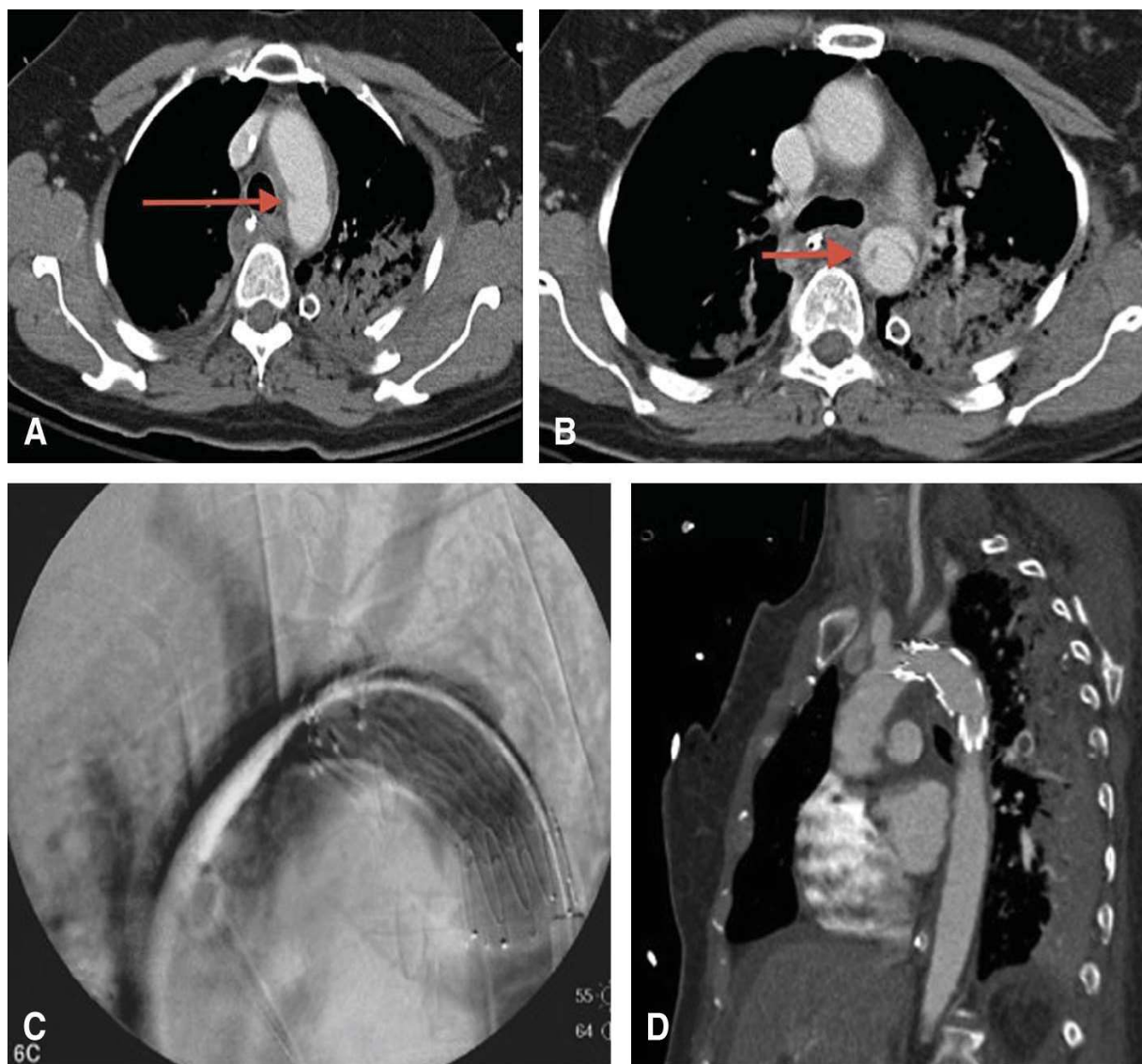


Fig. 6. Acute thoracic aortic injury. (A, B) Selected axial computed tomographic angiogram images, demonstrating a descending aortic arch pseudoaneurysm with an intraluminal flap (arrow) extending from just inferior to the left subclavian artery (not visualized) to the level of the left main pulmonary vein (not visualized). **(C)** A single digital subtraction angiography image, demonstrating successful occlusion of the pseudoaneurysm with a stent graft deployed just distal to the left common carotid artery with intentional coverage of the left subclavian artery (for adequate proximal landing zone coverage).

Рис. 6. Острое повреждение грудной аорты. (А, В) Селективные аксиллярные КТ-ангиограммы, демонстрирующие псевдоаневризму нисходящей части дуги аорты с внутрипросветным дефектом интимы (стрелка), от нижнего уровня до левой подключичной артерии (не визуализируется), до уровня левой главной легочной вены (не визуализируется). **(С)** Цифровая субтракционная ангиограмма, демонстрирует успешную окклюзию псевдоаневризмы с помощью стент-графта, установленного непосредственно сразу после левой общей сонной артерии, с преднамеренным захватом левой подключичной артерии (для полного закрытия проксимальной зоны).

for approximately 80%-90% of cases [15, 16]. Commonly described direct signs of aortic injury include the presence of an intimal flap, traumatic pseudoaneurysm, contained rupture, intraluminal mural thrombus, abnormal aortic contour, and a sudden change in aortic caliber. Indirect findings of acute traumatic injury include periaortic hematoma, mediastinal soft-tissue stranding, and hemopericardium [14].

Patients with acute thoracic aortic injury require definitive repair. In the past, these patients had an

лением грудной аорты нуждаются в радикальном лечении. Раньше всем пациентам выполнялась открытая хирургическая реконструкция с установкой трансплантата. Последние достижения в области эндоваскулярных технологий привели к смене парадигмы во многих медицинских центрах. Часть пациентов лечится при помощи эндопротезирования. Недавний метаанализ, в котором сравнивали эндоваскулярное и открытое восстановление травматического повреждения нисходящей аорты, подтвердил, что установ-

open surgery with placement of an interposition graft. Progressive advances in endovascular stent-graft technology and techniques have resulted in a paradigm shift, with selected patients now treated with endografts at many centers, including ours. A recent meta-analysis that compared endovascular versus open repair of traumatic descending aortic injury supported stent grafting as an alternative to surgical repair, with lower postoperative morbidity and mortality [17].

Abdomen and pelvis

The spleen is the most commonly injured organ in patients with blunt abdominal trauma and accounts for approximately 20-25% of all intra-abdominal injuries [18]. CT features of splenic trauma include laceration injury, subcapsular and/or parenchymal hematoma, and areas of devascularization. Active hemorrhage, pseudoaneurysm, and AV fistula formation are other important findings in splenic

ка стента является альтернативой хирургическому восстановлению и имеет более низкую послеоперационную заболеваемость и смертность [17].

Брюшная и тазовые области

Селезенка является наиболее часто травмируемым органом у пациентов с тупой травмой живота и составляет примерно 25-20% всех внутрибрюшных повреждений [18]. КТ-признаки травмы селезенки включают в себя разрыв, субкапсулярную и/или паренхиматозную гематому и зоны с нарушением кровоснабжения. Другие важные признаки повреждения селезенки — это активное кровоизлияние, псевдоаневризма и образование АВ-фистулы. Спленэктомия — традиционный метод лечения тупой травмы селезенки; тем не менее, учитывая важную роль селезенки в поддержании иммунитета, в настоящее время все больше прибегают к органосохраняющей эндоваскулярной терапии. Наиболее распространенным методом явля-

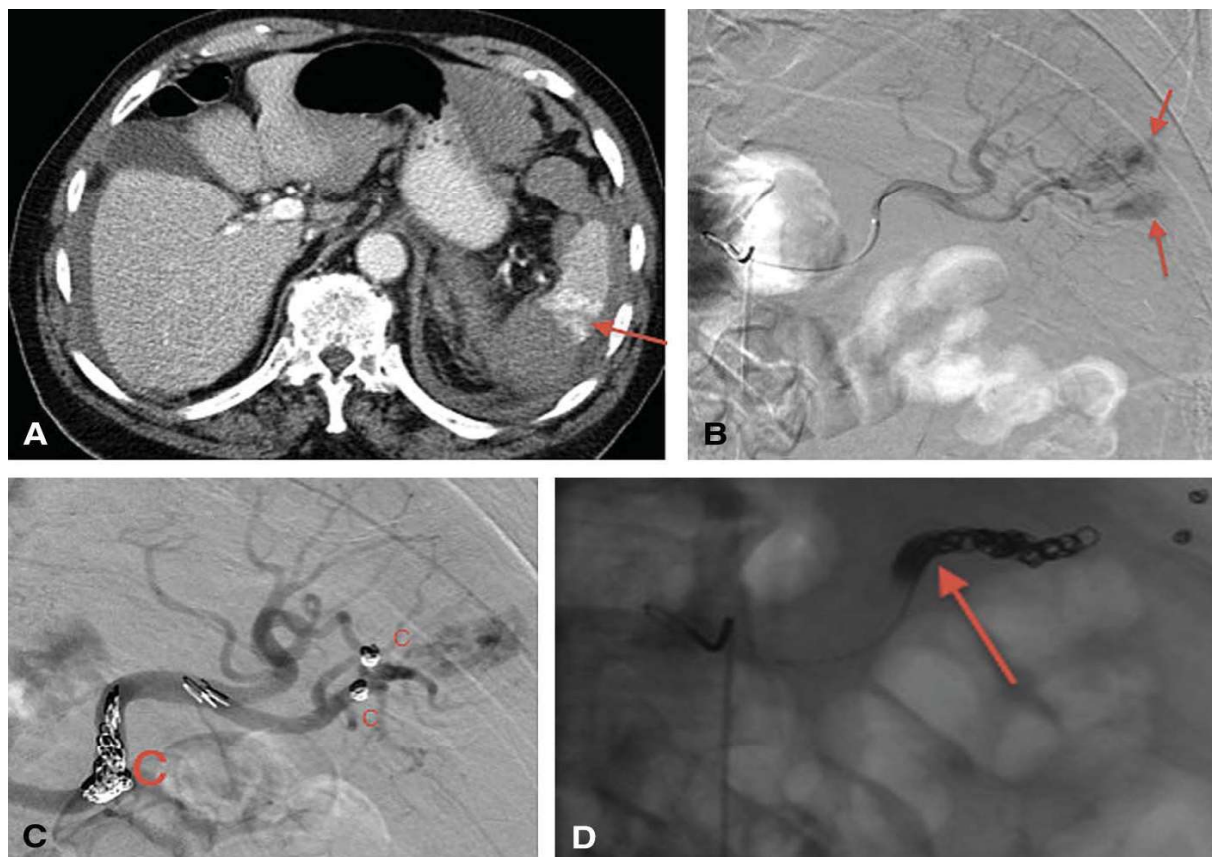


Fig. 7. Traumatic splenic laceration. (A) A single computed tomographic angiogram image, demonstrating a splenic laceration (arrow) with irregular hyperdensity along the margin of the splenic parenchyma, consistent with active extravasation. (B) Active extravasation (arrows) from splenic arterial branches on the digital subtraction angiography image. (C) Coils (c) in the main splenic artery, and 2 divisions of the lower splenic arterial branch with persistent flow in the splenic arterial system. (D) Complete cessation of flow after Gelfoam augmentation (arrow) of the coil mass.

Рис. 7. Травматический разрыв селезенки. (А) КТ-ангиограмма демонстрирует разрыв селезенки (стрелка) с неравномерной гиперплотностью вдоль края паренхимы селезенки, что соответствует активному кровоизлиянию. (В) Активное кровоизлияние (стрелки) из ветвей селезеночной артерии на цифровой субтракционной ангиограмме. (С) Спираль в главной селезеночной артерии и в 2 отделах нижней селезеночной артериальной ветви с перманентным кровотоком в селезеночной артериальной системе. (Д) Полная остановка кровотока после наполнения катушки «гель-пеной» (стрелка).

injury. The traditional treatment of blunt splenic trauma was splenectomy; however, there is more emphasis on splenic salvage through nonoperative endovascular management given the important role that the spleen plays in immune function. The most common technique is embolization of the splenic artery just distal to the dorsal pancreatic artery and proximal to the pancreatic magna artery to decrease the pressure head and preserve distal collateral blood flow. This approach is reported to have a successful splenic salvage rate of 84% [19]. Selective coil embolization is indicated if there is evidence of active extravasation, pseudoaneurysm formation, or an AV fistula (Fig. 7).

The liver is the second most commonly injured solid abdominal organ in blunt trauma, with liver lacerations half as frequent as splenic lacerations, but resulting in greater morbidity [20, 21]. Hepatic vascular trauma is present in approximately 20% and

ется эмболизация селезеночной артерии дистальнее дорсальной артерии поджелудочной железы и проксимальнее большой артерии поджелудочной железы для уменьшения напора антеградного кровотока и сохранения дистального коллатерального кровотока. Сообщается, что этот подход успешен и позволяет в 84% сохранить селезенку [19]. Селективная эмболизация спиралями показана, если есть признаки активной экстравазации, образования псевдоаневризмы или АВ-фистулы (рис. 7).

Печень является вторым, наиболее часто поражаемым большим органом брюшной полости при тупой травме. Разрыв печени встречается в вдвое реже, чем разрыв селезенки, но приводит к высокой заболеваемости [20, 21]. Сосуды печени повреждаются примерно при 20 и 25% тупых и проникающих травм брюшной полости, соответственно [22]. До 20% повреждений печени могут сопровождаться отсроченными со-

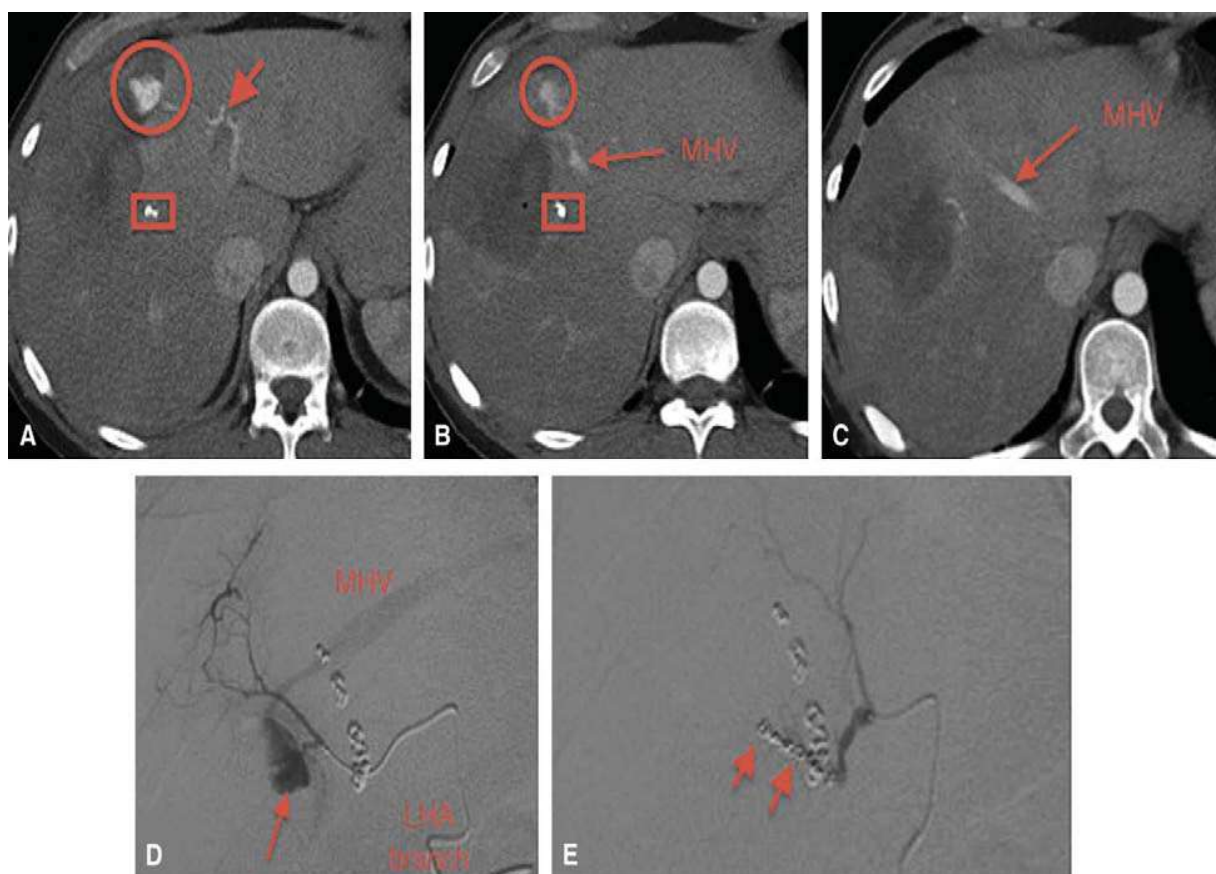


Fig. 8. Delayed traumatic hepatic arteriovenous (AV) fistula. (AeC) Selected computed tomographic angiogram images, demonstrating a left hepatic arterial (LHA) (short arrow) branch pseudoaneurysm (circles) with an associated AV fistula as the middle hepatic vein (MHV) fills in the arterial phase. Previous coils (rectangles) within the branch of the right hepatic artery related to previous embolization. (D) Digital subtraction angiography image, demonstrating the pseudoaneurysm (arrow) and the AV fistula. (E) Successful coil embolization (arrows) of the branch of the LHA feeding the pseudoaneurysm AV fistula.

Рис. 8. Отсроченная артериовенозная (АВ) фистула после травмы печени (АеС). Выбранные изображения КТ-ангиограммы демонстрируют псевдоаневризму ветви левой печеночной артерии (ЛПА) (короткая стрелка) (кружки) и связанную с ней АВ-фистулу, т.к. средняя печеночная вена (МНВ) заполняется в артериальную фазу. Старые катушки (прямоугольники) внутри ветви правой печеночной артерии связаны с предыдущей эмболизацией. (D) Цифровое субтракционное ангиографическое изображение демонстрирует псевдоаневризму (стрелка) и АВ-фистулу (E) Успешная эмболизация спиралями (стрелки) ветви ЛПА (ЛПА), наполняющая псевдоаневризму АВ-фистулы.

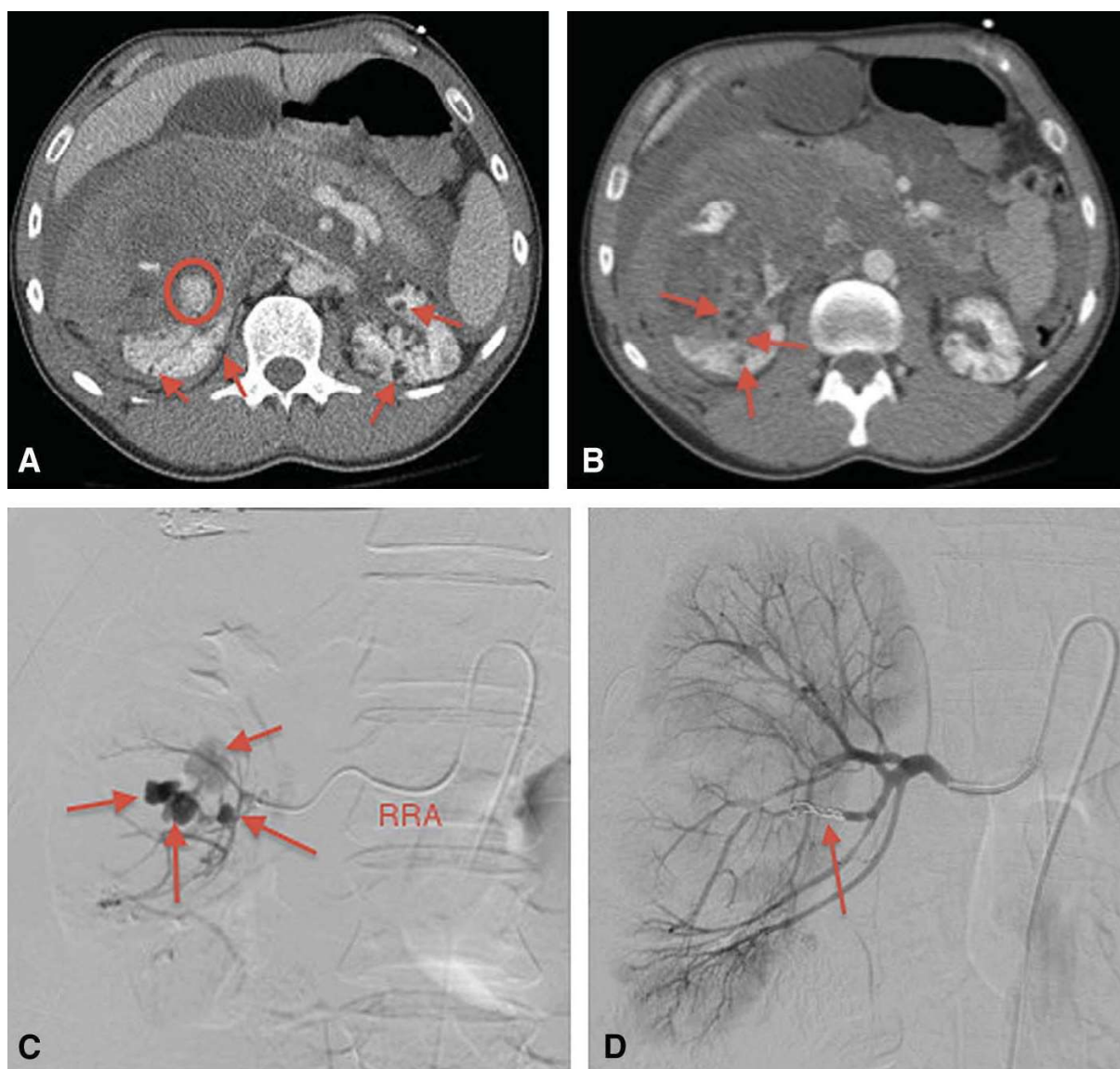


Fig. 9. Traumatic renal injury in a patient with incidental angiomyolipomas. (A, B) A single computed tomographic angiogram (CTA) image, demonstrating active contrast extravasation (circle) from right renal laceration; note multiple angiomyolipomas (arrows) in both kidneys. (C) Single digital subtraction angiography (DSA) image, demonstrating active contrast extravasation (short arrow) and multiple angiomyolipomas (long arrows). RRA 1/4 right renal artery. (D) Post-coil embolization (arrow) DSA image, showing complete hemostasis with no further extravasation.

Рис. 9. Травматическое повреждение почек у пациента со случайными ангиомиолипомами. (А, В) Изображение КТ-ангиограммы, демонстрирующее активно накапливающее контраст кровотечение (круг) от разрыва правой почки; обратите внимание на множественные ангиомиолипомы (стрелки) в обеих почках. (С) Цифровая субтракционная ангиограмма (DSA) демонстрирует активно накапливающее контраст кровотечение (короткая стрелка) и множественные ангиомиолипомы (длинные стрелки). RRA 1/4 правая почечная артерия. (D) После эмболизации спиралями (стрелка) DSA-изображение, показывающее полную остановку кровотечения без дальнейшей экстравазации.

25% of blunt and penetrating abdominal injuries, respectively [22]. Delayed vascular complications such as AV fistula and pseudoaneurysm formation can occur in up to 20% of liver injuries [19]. AV fistulas can appear as early and intense contrast enhancement of the portal hepatic/portal vein, whereas pseudoaneurysms appear as rounded focal areas of intense enhancement adjacent to arteries. Intra-arterial catheter angiography and embolization is indicated when CT demonstrates a hepatic injury with contrast extravasation in a patient who is clinical unstable or if

судистыми осложнениями: формированием АВ-фистул и псевдоаневризмом [19]. АВ-фистулы могут проявляться ранним и интенсивным контрастированием воротной вены печени/портальной вены, тогда как псевдоаневризмы проявляются как округлые очаговые области интенсивного усиления, прилегающие к артериям. Внутриа-териальная катетерная ангиография и эмболизация показана когда у клинически нестабильного пациента при КТ выявляется повреждение печени с контрастной экстравазацией, а также при нали-



Fig. 10. Traumatic "pseudo" May-Thurner syndrome. (A) A single computed tomographic angiogram image, demonstrating an ovoid hyperdensity (arrow) medial to the distal left common iliac artery, consistent with active extravasation from a left common iliac venous injury; note the surrounding retroperitoneal hematoma. **(B)** A left iliac venogram, demonstrating focal active contrast extravasation of the left common iliac vein near the origin of the left internal iliac vein. In addition, there is a mass effect on the left common iliac vein (arrow) from the regional hematoma, which resulted in May-Thurner-like physiology. **(C)** Post-stent graft (arrows) placement venogram, demonstrating no further extravasation with improved flow through the left iliac veins.

Рис. 10. Травматический «псевдосиндром» Мей-Тернера. (А) изображение КТ-ангиограммы, демонстрирующее овальную гиперплотность (стрелка), медиальную к дистальной левой общей подвздошной артерии, связанную с активным кровотечением из поврежденной левой общей подвздошной вены; обратите внимание на забрюшинную гематому рядом. (В) Венограмма левой подвздошной вены, демонстрирующая очаговое, активно накапливающее контраст кровоизлияние из левой общей подвздошной вены около начала левой внутренней подвздошной вены. Кроме того, имеется давление на левую общую подвздошную вену (стрелка) от регионарной гематомы, что привело к проявлениям, подобным синдрому Мей-Тернера. (С) Венограмма после установки стент-графта (стрелки) демонстрирует отсутствие дальнейшей экстравазации и улучшение кровотока в левых подвздошных венах.

AV fistula or pseudoaneurysm formation is present (Fig. 8). Hepatic artery embolization is usually well tolerated because there is a dual blood supply to the liver, which makes postembolization infarction unlikely.

Renal injury occurs in approximately 7% of penetrating and in 4%-5% of blunt abdominal trauma [19]. Most traumatic renal injuries consist of parenchymal contusions and minor superficial lacerations, which can be managed conservatively [20]. However, significant active hemorrhage and renovascular injury are not uncommon findings and often require more definitive therapy (Fig. 9). Distal super-selective arterial embolization may be used to treat patients who are hemodynamically unstable if there is clinical or CT evidence of ongoing hemorrhage. Stents can be successfully used for treatment of main renal arterial injuries. Endovascular management of renovascular trauma is advantageous in that it is less invasive than surgery and preserves more renal tissue.

Patients with pelvic trauma are a challenging cohort, with reported mortality rates that range from 18-40% [23]. Active bleeding after an acute pelvic fracture may be secondary to venous (Fig. 10), osseous, or arterial injury. Superior gluteal, internal pudendal, lateral sacral, iliolumbar, and inferior gluteal arteries are the most common arteries injured

при АВ-фистулы или образовании псевдоаневризмы (рис. 8). Эмболизация печеночной артерии, как правило, переносится хорошо благодаря двойному кровоснабжению печени, что делает инфаркт после эмболизации маловероятным.

Повреждение почек встречается примерно в 7% случаев проникающей и в 4% -5% случаев тупой травмы живота [19]. Большинство травматических повреждений почек представлены ушибами паренхимы и небольшими поверхностными разрывами, которые можно вести консервативно [20]. Тем не менее значительное активное кровотечение и повреждение сосудов почек не являются редкостью и часто требуют более решительной терапии (рис. 9). Дистальная суперселективная артериальная эмболизация может использоваться для лечения гемодинамически нестабильных пациентов при наличии клинических или КТ-признаков продолжающегося кровотечения. Стенты могут быть успешно использованы для лечения большинства повреждений почечных артерий. Преимуществом эндоваскулярного лечения реноваскулярной травмы по сравнению с хирургическим является его малоинвазивность и возможность сохранить больше почечной ткани.

Пациенты с травмой таза представляют сложную когорту с уровнем смертности от 18 до 40% [23]. Активное кровотечение после острого перело-



Fig. 11. Pelvic trauma and arterial extravasation. (A) Pelvic radiograph, demonstrating an open-book fracture. (B) A single digital subtraction angiography image, demonstrating a large focus of active contrast extravasation (circle) that involves the left internal iliac artery. Multiple other foci of contrast extravasation (arrows) are noted that involve the left internal iliac artery. Note the intense vasospasm that involves the right external iliac and left common iliac arteries secondary to shock. (C) Coil embolization (arrow) of right internal iliac artery. The proximal left internal iliac artery was embolized with Gelfoam (not shown).

Рис. 11. Артериальное кровотечение при травме таза. (А) Рентгенограмма таза, демонстрирующая открытый перелом. (В) Цифровая ангиограмма, демонстрирующая большую область активного накопления контраста – кровоизлияние (круг) из левой внутренней подвздошной артерии. Отмечено множество других очагов контрастной экстравазации (стрелки) по ходу левой внутренней подвздошной артерии. Обратите внимание на выраженный, вызванный шоком спазм сосудов: правой наружной подвздошной артерии и левых общих подвздошных артерий. (С) Эмболизация спиралями (стрелка) правой внутренней подвздошной артерии. Левая внутренняя подвздошная артерия была эмболизирована проксимально «гель-пенной» (не показана).

in pelvic trauma [24]. Embolization for active hemorrhage after pelvic trauma is usually less selective (Fig. 11) than in other vascular beds, particularly if there is hemodynamic instability. In fact, empirical embolization of both internal iliac arteries may be performed if no bleeding site is identified on angiography but if there is clinical or CT evidence of hemorrhage. Arterial dissections and pseudoaneurysms are typically managed with stent-graft placement or coil embolization.

Extremities

In penetrating trauma, partial or complete arterial disruption can result in active hemorrhage. Blunt trauma usually involves shearing and direct compression forces, which result in vascular dissection, pseudoaneurysm formation, or even complete transection. AV fistula formation is another potential complication after vascular injury (Fig. 12). The brachial artery is the most commonly injured vessel in the body and is classically associated with shoulder and/or elbow dislocations and humeral fractures [25]. The majority of traumatic injuries to the extremities can be controlled with directed tamponade. More patients who are unstable may be treated by embolization or stent and/or stent-graft placement.

Summary

Interventional radiology with its minimally invasive catheter-based therapies offers attractive emer-

ма таза может быть следствием венозного (рис. 10), костного или артериального повреждения. Верхние ягодичные, внутренние половые, латеральные крестцовые, подвздошные и нижние ягодичные артерии являются наиболее часто повреждаемыми артериями при травме таза [24]. Эмболизация при активном травматическом тазовом кровотечении обычно не является методом выбора (рис. 11), по сравнению с другими сосудистыми бассейнами, особенно при наличии гемодинамической нестабильности. В действительности, опыт показывает, что эмболизация обеих внутренних подвздошных артерий может быть выполнена, если при ангиографии не выявлено место кровотечения, но имеются клинические или КТ-признаки кровотечения. Расслоения артерий и псевдоаневризмы обычно устраняются путем установки стент-графта или эмболизации спиралями.

Конечности

При проникающей травме частичное или полное разрушение артерии может привести к активному кровотечению. Тупая травма обычно возникает под действием сдвигающей и прямой компрессионной силы, которые приводят к расслоению сосудов, образованию псевдоаневризм или даже к полному разрыву. Другое возможное осложнение повреждения сосуда — формирование АВ-фистулы (рис. 12). Плечевая артерия является наиболее часто поражаемым сосудом в организме и классиче-

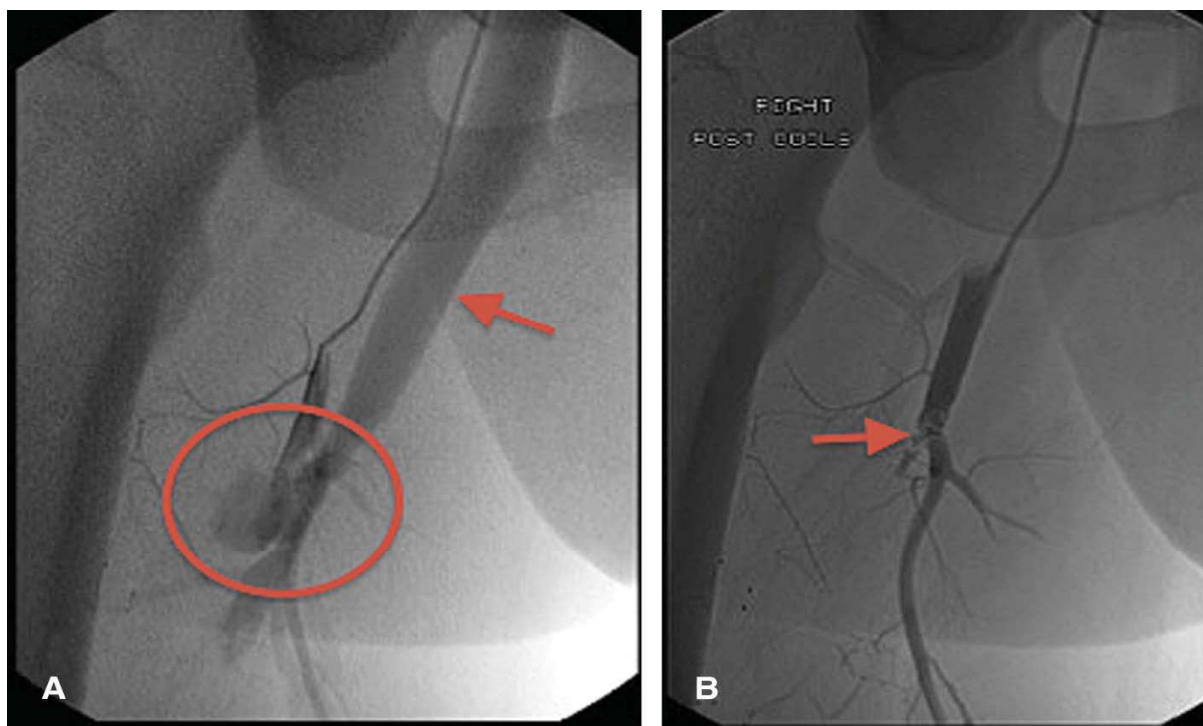


Fig. 12. Traumatic arteriovenous (AV) fistula of a muscular branch of the right profunda femoral artery. (A) A single digital subtraction angiography image, demonstrating an AV fistula (circle) between a muscular branch of the profunda femoris and the adjacent superficial femoral vein (arrow). At the point of communication, there is an irregular false aneurysm. (B) Complete occlusion of the feeding vessel and the AV fistula was accomplished with controlled release coil embolization (arrow).

Рис. 12. Травматическая АВ-фистула мышечной ветви правой глубокой бедренной артерии. (А) цифровая субтракционная ангиограмма демонстрирует АВ-фистулу (круг) между мышечной ветвью глубокой бедренной артерии и прилегающей поверхностной бедренной веной (стрелка). В результате этого соединения возникает нестандартная ложная аневризма. (В) Полная окклюзия кровоснабжающего сосуда и АВ-фистулы была достигнута с помощью эмболизации спиралями с контролируемым высвобождением (стрелка).

gency management options for vascular and solid organ trauma. Even in patients who are unstable, interventionalists use rapid, safe, and efficient techniques to treat vascular injury while maximizing organ preservation. It is for these reasons that development and maintenance of an active interventional radiology program is essential to the delivery of modern trauma care.

References / Литература

1. Lawrence PF, Bell RM, Dayton MT. *Essentials of General Surgery*. 3rd ed. Philadelphia (PA): Williams & Wilkins; 2000.
2. Munera F, Soto JA, Palacio D, Velez SM, Medina E. Diagnosis of arterial injuries caused by penetrating trauma to the neck: comparison of helical CT angiography and conventional angiography. *Radiology*. 2000; 216: 356-362.
3. Ray Jr CE, Spalding SC, Cothren CC, Wang WS, Moore EE, Johnson SP. State of the art: non-invasive imaging and management of neurovascular trauma. *World J Emerg Surg*. 2007; 2(1): 1.
4. Kandarpa K, Gardiner Jr GA, Keller FS. Diagnostic arteriography. In: Kandarpa K, Machan LS, editors. *Handbook of Interventional Radiologic Procedures*. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 61- 83.
5. Willinsky RA, Taylor SM, terBrugge K, Farb RI, Tomlinson G, Montanera W. Neurologic complications of cerebral angiography: prospective analysis of 2,899 procedures and review of the lit-

ски связана с вывихами плеча и / или локтя и переломами плечевой кости [25]. Большинство травматических повреждений конечностей можно лечить с помощью направленной тампонады.

Эдоваскулярная эмболизация или установки стента и / или стент-графта могут применяться у большего числа нестабильных больных.

Заключение

Интервенционная радиология с минимально инвазивной, основанной на катеризации терапией предлагает интересные варианты неотложной помощи при травмах сосудов и висцеральных органов. Даже у нестабильных пациентов интервенционисты используют быстрые, безопасные и эффективные органосохраняющие методы лечения травм сосудов. Именно поэтому развитие и поддержка интервенционной радиологии имеют важное значение для оказания современной травматологической помощи.

erature. *Radiology*. 2003; 227: 522-528.

6. Selecki BR, Ring IT, Simpson DA, Vanderfield GK, Sewell MF. Trauma to the central and peripheral nervous systems: part I: an overview of mortality, morbidity, and costs; N.S.W 1977. *Aust N Z J Surg*. 1982; 52(1): 93-102.

7. Stringer WL, Kelly DL. Traumatic dissection of the extracranial internal carotid artery. *Neurosurgery*. 1980; 6: 123-130.

8. Morgan MK, Besser M, Johnston I, Chaseling R. Intracranial carotid artery injury in closed head trauma. *J. Neurosurg*. 1987; 66(2):192-197.

9. Norwood S, Myers MB. Outcomes following injury in a predominantly rural-population-based trauma center. *Arch. Surg*. 1994; 129: 800-805.

10. Malek AM, Higashida RT, Phatouros CC, Lempert TE, Meyers PM, Smith WS et al. Endovascular management of extracranial carotid artery dissection achieved using stent angioplasty. *Am. J. Neuroradiol*. 2000; 21: 1280-1292.

11. Redekop G, Marotta T, Weill A. Treatment of traumatic aneurysms and arteriovenous fistulas of the skull base by using endovascular stents. *J. Neurosurg*. 2001; 95: 412-419.

12. Duane TM, Parker F, Stokes GK, et al. Endovascular carotid stenting after trauma. *J. Trauma*. 2002; 52: 149-153.

13. Smith RS, Chang FC. Traumatic rupture of the aorta: still a lethal injury. *Am. J. Surg*. 1986; 152: 660-663.

14. Steenburg SD, Ravenel JG, Ikonmidis JS, Schönholz C, Reeves S. Acute traumatic aortic injury: imaging evaluation and management. *Radiology*. 2008; 248: 748-762. doi: 10.1148/radiol.2483071416.

15. Mirvis SE, Shanmuganathan K, Miller BH, White CS, Turney SZ. Traumatic aortic injury: diagnosis with contrast-enhanced thoracic CT: five-year experience at a major trauma center. *Radiology*. 1996; 200: 413-422.

16. Xenos ES, Abedi NN, Davenport DL, Minion DJ, Hamdallah O, Sorial EE. Meta-analysis of endovascular vs open repair for traumatic descending thoracic aortic rupture. *J. Vasc. Surg*. 2008; 48: 1343-1351. doi: 10.1016/j.jvs.2008.04.060.

17. Rosenberg JM, Bredenberg CE, Marvasti MA, Bucknam

C, Conti C, Parker FB Jr. Blunt injuries to the aortic arch vessels. *Ann. Thorac. Surg*. 1989; 48: 508-513.

18. Doody O, Lyburn D, Geoghegan T, Govender P, Munk PL, Torreggiani WC. Blunt trauma to the spleen: ultrasonographic findings. *Clin. Radiol*. 2005; 60:968-976.

19. Salazar GMM, Walker TG. Evaluation and management of acute vascular trauma. *Tech Vasc Interv Radiol*. 2009; 12:102-116. doi: 10.1053/j.tvir.2009.08.004.

20. Shuman WP. CT of blunt abdominal trauma in adults. *Radiology*. 1997; 203:297-306.

21. Shanmuganathan K, Mirvis SE. CT evaluation of the liver with acute blunt trauma. *Crit. Rev. Diagn. Imaging*. 1995; 36:73-113.

22. Steichen FM. Hepatic trauma in adults. *Surg. Clin. North. Am*. 1975; 55: 387-407.

23. Cothren CC, Osborn PM, Moore EE, Morgan SJ, Johnson JL, Smith WR. Preperitoneal packing for hemodynamically unstable pelvic fractures: a paradigm shift. *J. Trauma*. 2007; 62:3834-3842.

24. Dondelinger RF, Trotteur G, Ghaye B, Szapiro D. Traumatic injuries: radiological hemostatic intervention at admission. *Eur. Radiol*. 2002; 12: 979-993.

25. Arthurs ZM, Sohn VY, Starnes BW. Vascular trauma: endovascular management and techniques. *Surg. Clin. N. Am*. 2007; 87:1179-1192.

Конфликт интересов отсутствует