



<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-3-244-250>

Кровохарканье как осложнение криобаллонной абляции устьев легочных вен с использованием проводника для позиционирования баллона при сложной анатомии: серия клинических случаев

И.Н. Сорокин, С.А. Айвазьян, К.Г. Горшенин, С.И. Буслаева, М.И. Дворникова, А.А. Серегин*

Сорокин Илья Николаевич —
отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения,
orcid.org/0000-0002-7350-8353

Айвазьян Сергей Артемович —
к.м.н., отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения,
orcid.org/0000-0002-9642-9754

Горшенин Константин Геннадьевич —
отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения,
orcid.org/0000-0002-4840-7331

Буслаева Светлана Игоревна —
отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения,
orcid.org/0000-0002-4860-217X

Дворникова Майя Игоревна —
отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения,
orcid.org/0000-0001-9029-4302

Серегин Андрей Анатольевич —
отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения,
orcid.org/0000-0001-6967-6488

Приволжский окружной медицинский центр Федерального медико-биологического агентства России, Россия, Нижний Новгород

* **Контакты:** Сорокин Илья Николаевич, e-mail: isorockin@mail.ru

Аннотация

Введение. Криобаллонная абляция устьев легочных вен является эффективным методом лечения фибрилляции предсердий. Как интервенционный метод она сопровождается риском развития осложнений, в том числе кровохарканья. В серии описанных клинических случаев обнаружены свежие данные, позволяющие по-новому взглянуть на механизм возникновения таких событий.

Материалы и методы. Ретроспективно был проведен анализ четырех случаев криобаллонной абляции устьев легочных вен, осложнившихся кровохарканьем. Вмешательства были завершены согласно принятому в клинике протоколу, послеоперационный период протекал без других осложнений.

Результаты. По данным флюорографии было отмечено, что конец проводника, который использовался для создания поддержки баллона, находился на периферии нижней доли правого легкого в виде петли. При сопоставлении с данными послеоперационной компьютерной томографии органов грудной клетки оказалось, что основной объем крови в легочной ткани также локализовался в нижней доле правого легкого, что свидетельствует о повреждении легочной ткани проводником.

Обсуждение. Анатомия легочных вен переменна и может значительно усложнять выполнение процедуры криобаллонной абляции. Это связано с особенностью навигации баллона в левом предсердии. Для достижения оптимальной окклюзии устья легочной вены могут применяться проводники, но это сопряжено с развитием осложнений в виде кровохарканья.

Выводы. Продвижение инструмента к периферии легких сопряжено с повышенными рисками развития кровохарканья и кровотечения. Периоперационное кровохарканье и кровотечение наиболее вероятно связаны с механическим повреждением вен малого диаметра, но это требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: фибрилляция предсердий, криобаллонная абляция, легочные вены, кровохарканье, легочное кровотечение, осложнения, гидрофильный проводник

Для цитирования: Сорокин И.Н., Айвазьян С.А., Горшенин К.Г., Буслаева С.И., Дворникова М.И., Серегин А.А. Кровохарканье как осложнение криобаллонной абляции устьев легочных вен с использованием проводника для позиционирования баллона при сложной анатомии: серия клинических случаев. Креативная хирургия и онкология. 2021;11(3):244–250. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-3-244-250>

Haemoptysis as Complication of Wire-Guided Pulmonary Vein Orifice Cryoballoon Ablation in Complex Anatomy: a Clinical Case Series

Ilya N. Sorokin*, Sergey A. Ayvazyan, Konstantin G. Gorshenin, Svetlana I. Buslaeva, Maya I. Dvornikova, Andrey A. Seregin

Privolzhsky Medical Centre of the Federal Medical and Biological Agency, Nizhny Novgorod, Russian Federation

* **Correspondence to:** Ilya N. Sorokin, e-mail: isorockin@mail.ru

Ilya N. Sorokin —
Department of Interventional
Radiology,
orcid.org/0000-0002-7350-8353

Sergey A. Ayvazyan —
Cand. Sci. (Med.), Department
of Interventional Radiology,
orcid.org/0000-0002-9642-9754

Konstantin G. Gorshenin —
Department of Interventional
Radiology,
orcid.org/0000-0002-4840-7331

Svetlana I. Buslaeva —
Department of Interventional
Radiology,
orcid.org/0000-0002-4860-217X

Maya I. Dvornikova —
Department of Interventional
Radiology,
orcid.org/0000-0001-9029-4302

Andrey A. Seregin —
Department of Interventional
Radiology,
orcid.org/0000-0001-6967-6488

Abstract

Background. Cryoballoon ablation of pulmonary vein orifices is an effective measure in atrial fibrillation but associates with risks of interventional complications, including haemoptysis. The described clinical case series presents novel evidence to revisit the complication sources.

Materials and methods. Four haemoptysis-complicated cryoballoon ablations of pulmonary vein orifice have been analysed retrospectively. Interventions completed in a common clinical protocol with no additional postoperative complications.

Results. Fluoroscopy revealed a loop-formed balloon-supporting end of guidewire located in peripheral lower lobe of right lung. Postoperative chest computed tomography also depicted the main lung blood volume confined in right lower lobe, thus indicating pulmonary damage by the guidewire.

Discussion. Pulmonary vein anatomy is diverse and can greatly sophisticate the cryoballoon ablation procedure with a peculiar balloon navigation in left atrium. An optimal pulmonary vein orifice occlusion can be attained with guidewire, albeit incurring complications in form of haemoptysis.

Conclusions. The appliance advancement towards lung periphery associates with a higher risk of haemoptysis and bleeding. Perioperative haemoptysis and bleeding are most likely associated with mechanical injury to minor veins and require further investigation.

Keywords: atrial fibrillation, cryoballoon ablation, pulmonary veins, haemoptysis, pulmonary bleeding, complications, hydrophilic guidewire

For citation: Sorokin I.N., Ayvazyan S.A., Gorshenin K.G., Buslaeva S.I., Dvornikova M.I., Seregin A.A. Haemoptysis as complication of wire-guided pulmonary vein orifice cryoballoon ablation in complex anatomy: a clinical case series. *Creative Surgery and Oncology*. 2021;11(3):244–250. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-3-244-250>

Введение

Криобаллонная абляция (КБА) устьев легочных вен (УЛВ) является эффективным современным методом интервенционного лечения фибрилляции предсердий (ФП) [1]. Как любой метод инвазивного лечения, КБА имеет риски развития различных осложнений, в их числе: повреждение диафрагмального нерва, стенозы легочных вен, повреждение пищевода и предсердно-пищеводные фистулы, гемоперикард и тампонада сердца, парез желудка, инсульт [2]. Также в литературе описаны воздушная эмболия в коронарные артерии [3], гематомы и псевдоаневризмы в области доступа [4, 5], легочные кровотечения и кровохарканье [6–10].

Механизм развития большей части перечисленных осложнений достаточно изучен, и, соответственно, разработаны алгоритмы, позволяющие снизить риск их возникновения. Например, с целью профилактики осложнений доступа в бедренную вену рекомендовано использовать дуплексное сканирование [4], а для безопасности выполнения пункции межпредсердной перегородки — внутрисердечную эхокардиографию [11]. Для профилактики повреждений пищевода применяется контроль температуры в пищеводе специально предназначенными для этого устройствами [12]. Для предотвращения повреждения диафрагмального нерва также предложен комплекс мер, позволяющих минимизировать данное осложнение [13].

При этом в литературе представлены единичные данные о легочных кровотечениях и кровохарканье при выполнении КБА УЛВ, сведения о возможных причинах этих событий, вариантах их профилактики и лечения остаются скудными, без четких алгоритмов и рекомендаций [6–10].

Особенностью выполнения КБА УЛВ является использование баллонного катетера семейства Arctic Front (Medtronic, США) совместно с циркулярным электрофизиологическим катетером Achieve / Achieve Advance (Medtronic, США), что позволяет отслеживать электрическую активность в легочных венах непосредственно во время воздействия и ориентироваться на время (момент) изоляции легочных вен. Длительность воздействия до сих пор обсуждается. Оно может быть 180,

240 сек, либо предлагается использовать протокол ТТИ (time to isolation) [14].

Однако есть данные об эффективном применении проводника вместо электрофизиологического циркулярного катетера Achieve или Achieve Advance при КБА УЛВ, в этом случае при дозировании воздействия ориентируются на скорость снижения температуры в баллоне до -40°C в течение первой минуты, а также на качество окклюзии устья легочной вены баллонным катетером, позиционированным на проводнике [15].

В литературе описаны случаи кровохарканья и легочного кровотечения, связанные с использованием циркулярного электрофизиологического катетера Achieve при КБА УЛВ [6–10]. Также опубликован клинический случай перфорации легочной вены проводником, сопровождавшейся кровотечением, но при радиочастотной баллонной абляции [16]. На момент написания работы данных о кровохарканье и легочных кровотечениях при КБА УЛВ с применением проводника в литературе не обнаружено.

Материалы и методы

Ретроспективно были проанализированы 4 случая КБА УЛВ с применением гидрофильного проводника Roadrunner (Cook Medical, США), сопровождающиеся кровохарканьем или кровотечением. Данные пациентов представлены в таблице 1.

КБА УЛВ выполнялась по принятому в клинике алгоритму. В условиях внутривенной аналгезии (седации) под местной анестезией выполнялась пункция левой бедренной вены дважды, устанавливались интродьюсеры 7F, через них в коронарный синус проводился 10-полюсный электрод, а в правый желудочек — 4-полюсный электрод. Для доступа в левое предсердие осуществлялась трансseptальная пункция по стандартной методике под флюороскопическим контролем. Затем внутривенно вводили гепарин в дозе 100 Ед на 1 кг массы тела. После производили смену интродьюсера 8F на управляемый интродьюсер Flexcath 12F (Medtronic, США) на жестком проводнике Amplatz Super Stiff (Boston Scientific, США). При стимуляции желудочков 4-полюсным электродом с частотой 180 стимулов в минуту

№	Пол	Возраст	Диагноз	Сопутствующие заболевания	Вариант КБА	ИМТ (кг/м ²)	Минимальная температура в баллоне (°C)			
							ЛЛВ	ЛНЛВ	ПНЛВ	ПВЛВ
1	м	46	Пароксизмальная ФП	Гипертоническая болезнь	КБА УЛВ	28,7	-58	-47	-42	-36
2	м	56	Длительно персистирующая ФП	Гипертоническая болезнь, ожирение	КБА УЛВ + ЗС	37,33	-56	-51	-42	-45
3	ж	63	Пароксизмальная ФП	СССУ, скорректированный ЭКС DR, гипертоническая болезнь, сахарный диабет 2-го типа	КБА УЛВ	35,63	-52	-46	-43	-54
4	ж	63	Персистирующая ФП	Сахарный диабет 2-го типа, состояние после струмэктомии, медикаментозный эутиреоз	КБА УЛВ + ЗС	33,65	-48	-43	-40	-38

Таблица 1. Общая характеристика выполненных вмешательств
Table 1. General intervention description

выполнялась неселективная ангиография левого предсердия и легочных вен, таким образом визуализировалась анатомия.

Через просвет интродьюсера Flexcath 12F (Medtronic, США) в полость левого предсердия проводился баллонный катетер семейства Arctic Front (Medtronic, США) и электрофизиологический катетер Achieve Advance. Катетер Achieve Advance помещали в устье легочной вены, фиксировали исходные электрические сигналы, затем по нему подводили баллонный катетер Arctic Front (Medtronic, США) диаметром 28 мм и раздували его подле устья легочной вены, затем подавливая к периферии. Через внутренний просвет подавали контрастное вещество для оценки окклюзии легочной вены. В случае если определялось стравливание контрастного вещества, окклюзия считалась неудовлетворительной. С целью улучшения качества окклюзии выполняли сначала репозиционирование катетера Achieve Advance с проведением его в одну из ветвей легочной вены, затем по нему повторный маневр баллонным катетером Arctic Front. Если качественной окклюзии достичь не удавалось, производили смену электрофизиологического катетера Achieve Advance на проводник Amplatz Super Stiff (Boston Scientific, США), который удавалось провести несколько дальше. Если же и в этом случае достичь необходимого результата не удавалось, то меняли проводник Amplatz Super Stiff на проводник Roadrunner. Последний, обладая иными техническими характеристиками (гидрофильный, кончик сформирован под углом 45°), позволял легко провести его дальше к периферии легкого и оптимально расположить баллонный катетер Arctic Front, чем достигалась приемлемая окклюзия устья легочной вены.

После достижения окклюзии легочной вены, подтвержденной стагнацией контрастного вещества в легочной вене, начинали криоабляцию. Стандартная длительность аппликации составляла 180 сек, но если в течение первой минуты температура в баллоне не снижалась до -40 °С, время увеличивали до 240 сек. Если температура в баллоне достигала значения -60 °С, криовоздействие останавливали.

Последовательность изоляции устьев легочных вен была следующая: начинали с левой верхней легочной вены (ЛВЛВ), затем левая нижняя легочная вена (ЛНЛВ), следом правая нижняя легочная вена (ПНЛВ) и завершали правой верхней легочной веной (ПВЛВ). После, если выполнялась изоляция задней стенки левого предсердия, сначала производилась серия аппликаций по крыше, а затем нижняя линия, длительностью 150 сек каждое воздействие. В случае выраженной брадикардии производилась стимуляция правого желудочка 4-полюсным электродом. Контроль функции диафрагмального нерва во время воздействия в правых легочных венах осуществлялся путем стимуляции нерва из верхней полой вены 4-полюсным электродом.

После абляции устьев легочных вен и задней стенки левого предсердия, если регистрировалась фибрилляция предсердий, выполнялась кардиоверсия с энергией до 300 Дж. Изоляция устьев легочных вен

контролировалась путем стимуляции с электродов электрофизиологического катетера Achieve Advance частотой, превышающей на 20 % частоту сердечных сокращений на фоне синусового ритма (блок выхода). В случае обнаружения «прорыва» в виде навязывания ритма производилось повторное воздействие в компрометированном устье легочной вены. После завершения абляции все катетеры извлекались и осуществлялся тщательный гемостаз с наложением гемостатических швов.

Все представленные случаи связаны с интраоперационным возникновением кровохарканья на фоне воздействия в области устья правой нижней легочной вены. После прекращения аппликации выраженное кровохарканье купировалось, признаки продолжающегося кровотечения отсутствовали. Максимальное количество активно аспирированной крови из дыхательных путей в одном случае составило 250 мл. Процедура была полностью завершена согласно стандартному протоколу у всех пациентов. Изоляция УЛВ и при необходимости задней стенки (ЗС) левого предсердия достигнута в 3 случаях из 4. Нарушений гемодинамики не отмечалось ни в одном случае. Криоизоляция ЗС левого предсердия выполнялась в случаях персистирующей ФП [17].

В двух случаях с целью верификации диагноза кровотечения и поиска источника выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). По данным МСКТ основным местом скопления крови была нижняя доля правого легкого.

С целью профилактики развития пневмонии была назначена антибиотикотерапия. Никому из пациентов не потребовалось оперативное лечение и гемотрансфузии. Трое пациентов выписаны с синусовым ритмом в удовлетворительном состоянии через 4–5 суток после операции. Одному пациенту с длительно персистирующей формой ФП восстановить синусовый ритм не удалось, он был выписан в удовлетворительном состоянии, рекомендована торакоскопическая изоляция УЛВ.

Результаты

При сопоставлении данных МСКТ, выполненной после процедуры, и интраоперационной флюорографии, выполняемой для фиксации и оценки качества окклюзии устья легочной вены, удалось установить, что проводник в форме петли располагался в просвете периферических вен малого диаметра в той же области, где визуализировался основной объем крови, попавшей в легочную ткань. Таким образом можно заключить, что кровохарканье и легочное кровотечение ассоциированы с дистальным расположением проводника Roadrunner в форме петли, применяемого для навигации по легочным венам, в периферических ветвях ЛВ, а также для обеспечения устойчивого положения баллонного катетера во время воздействия в устье правой нижней легочной вены (рис. 1).

Обсуждение

Анатомия легочных вен достаточно разнообразна [18], что в сочетании с вариантами расположения сердца

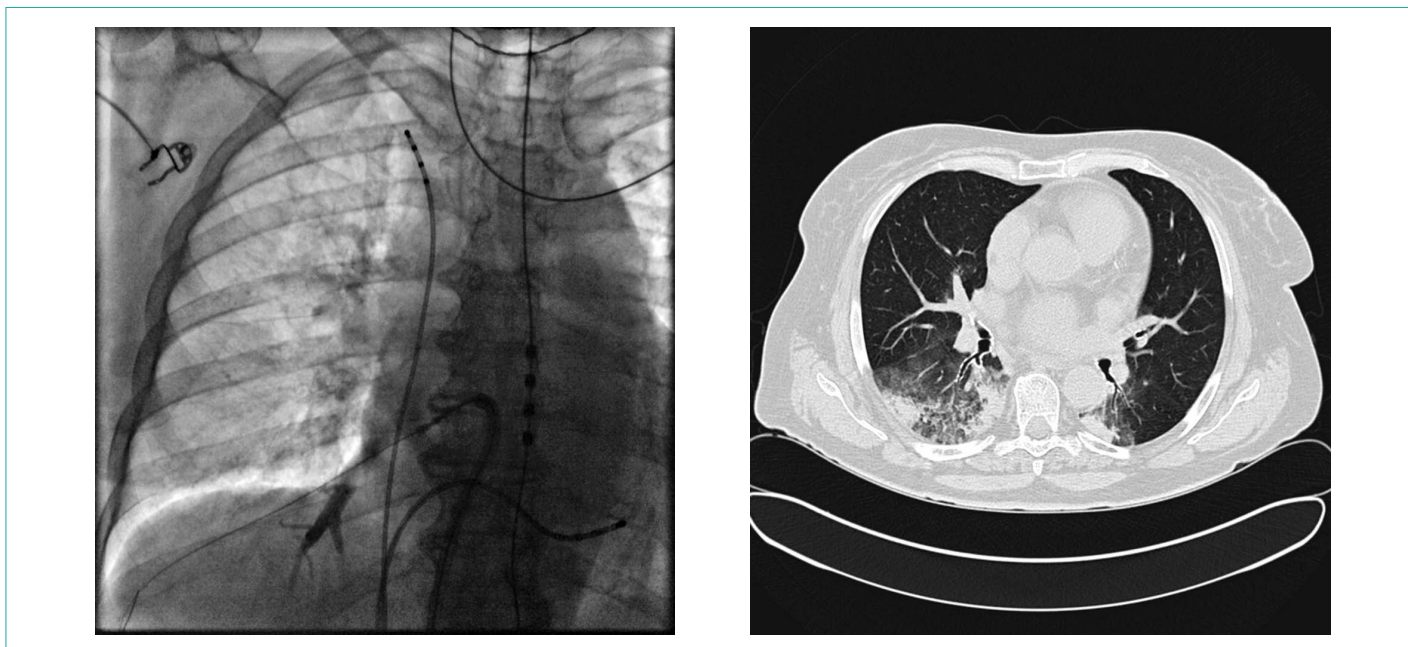


Рисунок 1. Интраоперационная рентгенография (слева). МСКТ органов грудной клетки (справа)
 Figure 1. Intraoperative X-ray (left), chest MSCT (right)

и местом пункции межпредсердной перегородки создает трудность при катетеризации для достижения качественной окклюзии устьев легочных вен при выполнении КБА. Применение циркулярного электрофизиологического катетера Achieve подразумевает расположение его кольца в относительной близости к устью, при этом его опорной функции может быть недостаточно для достижения и сохранения соосного стабильного положения раздутого баллона с плотным прилеганием к ткани по всей окружности. Это затрудняет эффективное охлаждение ткани и изоляцию устья легочной вены. Конструкция циркулярного катетера Achieve позволяет провести его в одну из ветвей легочной вены для достижения более устойчивого положения баллона, но это может быть сопряжено с риском повреждения вены и развитием кровотечения [7, 9]. Рядом авторов [15] предложена методика использования проводника 0.32 Fr Emerald exchange wire (Cordis, Johnson and Johnson, Diamond Bar, CA, USA) вместо циркулярного катетера при КБА УЛВ, что позволяет стабильнее позиционировать баллон в устье вены за счет заведения проводника в одну из ветвей и перенаправления оси системы при необходимости. Данный проводник обладает большей управляемостью, чем циркулярный катетер Achieve, но значительно уступает в этом проводнику Roadrunner.

При выполнении КБА УЛВ в условиях нашей клиники стартовой методикой всегда является использование циркулярного электрофизиологического катетера Achieve. В случае затруднения катетеризации вены и достижения стабильной окклюзии производится замена циркулярного катетера на проводник. Сначала используется Amplatz SuperStiff, который исходно применяется для смены многофункционального катетера

на систему доставки Flex Cath после пункции межпредсердной перегородки. При затруднении навигации проводника Amplatz Super Stiff в необходимую ветвь легочной вены производится смена на проводник Roadrunner. Последний легче управляется за счет более точной передачи момента вращения, что позволяет провести его в интересующую ветвь легочной вены. Как отмечают авторы [7, 9], они не встретили значительного сопротивления при проведении катетера Achieve к периферии легкого, что затем привело к перфорации вены. Аналогично, проводник Roadrunner легко, без сопротивления сворачивается петлей на уровне конfluence сегментарных вен и проходит в субсегментарные ветви. Петля проводника имеет значительный размер (4–5 мм) и может превосходить диаметр периферических субсегментарных вен. Учитывая податливую структуру этой сосудистой стенки, препятствие продвижению проводника не ощущается. Поэтому можно предположить, что происходит деформация мелких периферических вен, изменение их структуры и проницаемости, что на фоне окклюзии и увеличенного давления приводит к кровотечению в альвеолы и бронхиолы с последующим кровохарканьем. Эту версию подтверждают особенности гистологического и анатомического строения легких: интимное расположение бронхов и сосудов (рис. 2), сложное пространственное ветвление легочных вен с извитым, не прямолинейным, ходом (рис. 3).

Учитывая этот опыт, мы стали избегать формирования петли проводником Roadrunner и при необходимости заводим проводник в периферические отделы прямым мягким концом. Навигация в этом случае осуществляется труднее, что можно связать с извитостью и ветвистостью венозного дерева легких, но безопаснее.

Проанализировав следующие 5 случаев применения проводника Roadrunner при КБА УЛВ, мы не выявили признаков легочного кровотечения и кровохарканья в периоперационном периоде.

Оценивая вклад криовоздействия в риск развития кровотечения и кровохарканья, мы не выявили значительного снижения температуры в баллонном катетере в серии аппликаций в области устья правой нижней легочной вены, которые сопровождалась кровохарканьем. Если рассматривать теорию о повреждении бронхов холодом как источнике кровотечения, то сомнительно выглядит острое начало кровотечения и его остановка после воздействия во время процедуры, а не в послеоперационном периоде. Также не в пользу данной теории говорят данные скопления крови по МСКТ на периферии легких в области локализации проводников, а не в проксимальных отделах, где производилось криовоздействие и локализовался баллон.

Выводы

Использование проводников при КБА УЛВ может быть альтернативой применения электрофизиологического катетера для достижения эффективного воздействия. Это связано с вариабельностью анатомии левого предсердия и устьев легочных вен, а также с вариантом пункции межпредсердной перегородки. В некоторых случаях плотно прижать баллонный катетер к устью легочной вены крайне сложно, но именно качественная окклюзия устья легочной вены баллоном является залогом эффективного циркулярного воздействия, которое необходимо для изоляции каждой легочной вены. Для достижения результата могут применяться различные техники и методики позиционирования баллонного катетера, в том числе использование проводников. Важно отметить, что продвижение инструмента к периферии легких сопряжено с повышенными рисками развития кровохарканья и кровотечения, это обусловлено анатомией легочных вен: их выраженной извитостью, частыми бифуркациями и тесным расположением с бронхами. В связи с этим можно сделать вывод, что периоперационное кровохарканье и кровотечение наиболее вероятно связано с механическим повреждением вен малого диаметра, нежели с действием холода на бронхи, но это требует дальнейшего изучения.

Информация о конфликте интересов.

Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве.

Данная работа не финансировалась.

Список литературы / References

- Hoffmann E., Straube F., Wegscheider K., Kuniss M., Andresen D., Wu L.Q., et al. Outcomes of cryoballoon or radiofrequency ablation in symptomatic paroxysmal or persistent atrial fibrillation. *Europace*. 2019;21(9):1313–24. DOI: 10.1093/europace/euz155.
- Miyazaki S., Tada H. Complications of cryoballoon pulmonary vein isolation. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2019;8(1):60–4. DOI: 10.15420/aer.2018.72.2
- Kuwahara T., Takahashi A., Takahashi Y., Kobori A., Miyazaki S., Takei A., et al. Clinical characteristics of massive air embolism complicating left atrial ablation of atrial fibrillation: lessons from five cases. *Europace*. 2012;14(2):204–8. DOI: 10.1093/europace/eur314

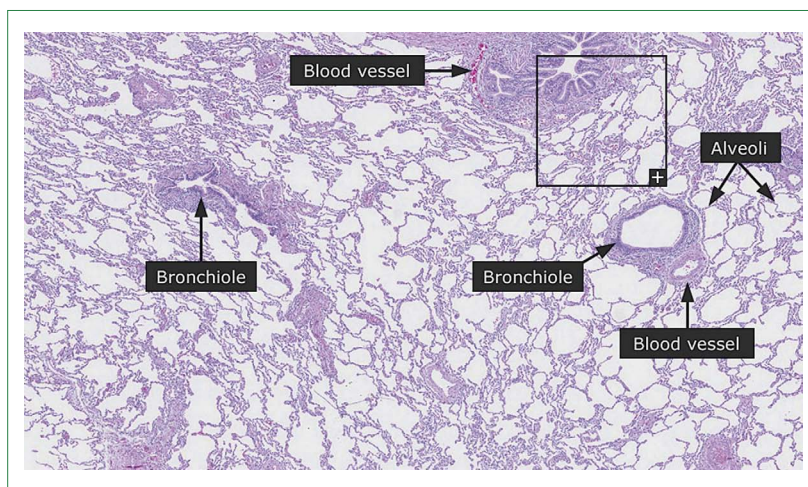


Рисунок 2. Морфология нормальной легочной ткани [19]
Figure 2. Intact lung tissue morphology [19]

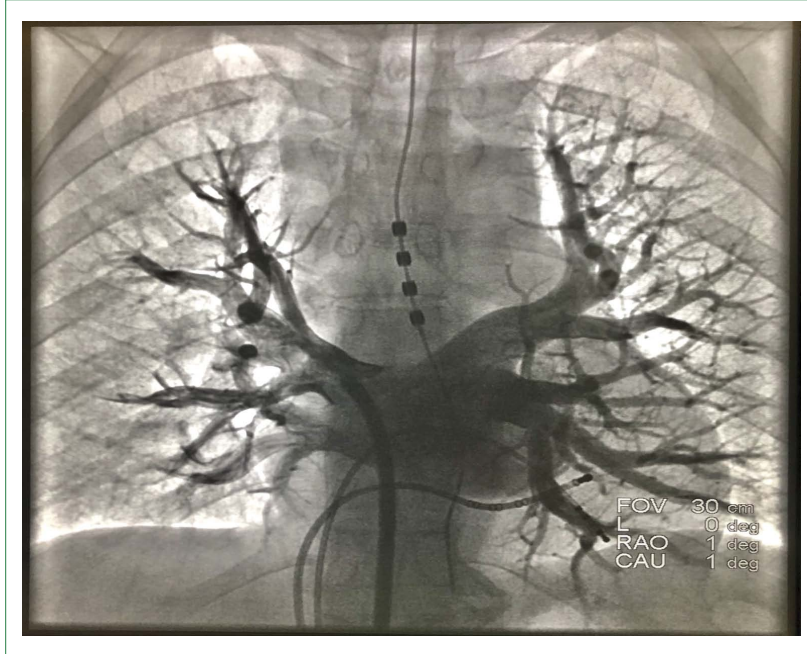


Рисунок 3. Ангиограмма левого предсердия и легочных вен
Figure 3. Left atrium and pulmonary vein angiography

- Ströker E., de Asmundis C., Kupics K., Takarada K., Mugnai G., De Cocker J., et al. Value of ultrasound for access guidance and detection of subclinical vascular complications in the setting of atrial fibrillation cryoballoon ablation. *Europace*. 2019;21(3):434–9. DOI: 10.1093/europace/euy154
- Calkins H., Hindricks G., Cappato R., Kim Y.H., Saad E.B., Aguinaga L., et al. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHRS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: Executive summary. *Europace*. 2018;20(1):157–208. DOI: 10.1093/europace/eux275
- Aksu T., EbruGolcuk S., Yalin K. Haemoptysis and pulmonary haemorrhage associated with cryoballoon ablation. *Europace*. 2015;17(8):1240. DOI: 10.1093/europace/euu407
- Yoshizawa R., Owada S., Sawa Y., Deguchi H. Successful removal of a circular mapping catheter which perforated the pulmonary vein during cryoballoon ablation by lateral thoracotomy: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2020;4(4):1–5. DOI: 10.1093/ehjcr/ytaa140

- 8 Andrade J.G., Cheung C.C., Deyell M.W. Hemoptysis and cryoballoon ablation: is it crystal clear? *JACC Clin Electrophysiol.* 2020;6(7):783–5. DOI: 10.1016/j.jacep.2020.05.033
- 9 Fukunaga H., Higuchi R., Tanizaki K., Isobe M. Pulmonary vein perforation into bronchi: a rare but life-threatening complication of cryoballoon ablation. *Eur Heart J Case Rep.* 2019;3(1):ytz022. DOI: 10.1093/ehjcr/ytz022
- 10 Schweigert M., Almeida A.B. Life-threatening pulmonary haemorrhage during cryoballoon ablation for atrial fibrillation. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018;54(4):789–91. DOI: 10.1093/ejcts/ezy160
- 11 Rosu R., Cismaru G., Muresan L., Puiu M., Gusetu G., Istratoaie S., et al. Intracardiac echocardiography for transeptal puncture. A guide for cardiac electrophysiologists. *Med Ultrason.* 2019;21(2):183–90. DOI: 10.11152/mu-1827
- 12 Miyazaki S., Nakamura H., Taniguchi H., Takagi T., Iwasawa J., Watanabe T., et al. Esophagus-related complications during second-generation cryoballoon ablation-insight from simultaneous esophageal temperature monitoring from 2 esophageal probes. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2016;27(9):1038–44. DOI: 10.1111/jce.13015
- 13 Ghosh J., Sepahpour A., Chan K.H., Singarayar S., McGuire M.A. Immediate balloon deflation for prevention of persistent phrenic nerve palsy during pulmonary vein isolation by balloon cryoablation. *Heart Rhythm.* 2013;10(5):646–52. DOI: 10.1016/j.hrthm.2013.01.011
- 14 Aryana A., Kenigsberg D.N., Kowalski M., Koo C.H., Lim H.W., O'Neill P.G., et al. Verification of a novel atrial fibrillation cryoablation dosing algorithm guided by time-to-pulmonary vein isolation: Results from the Cryo-DOSING Study (Cryoballoon-ablation DOSING Based on the Assessment of Time-to-Effect and Pulmonary Vein Isolation Guidance). *Heart Rhythm.* 2017;14(9):1319–25. DOI: 10.1016/j.hrthm.2017.06.020
- 15 Iacopino S., Mugnai G., Takarada K., Paparella G., Ströker E., De Regibus V., et al. Second-generation cryoballoon ablation without the use of real-time recordings: A novel strategy based on a temperature-guided approach to ablation. *Heart Rhythm.* 2017;14(3):322–8. DOI: 10.1016/j.hrthm.2016.11.023
- 16 Okano T., Okada A., Tabata H., Kobayashi H., Shoin W., Yoshie K., et al. Wire perforation causing cardiopulmonary arrest during radiofrequency hot balloon ablation for pulmonary vein isolation. *J Cardiol Cases.* 2019;19(5):169–72. DOI: 10.1016/j.jccase.2019.01.001
- 17 Aryana A., Baker J.H., Espinosa Ginic M.A., Pujara D.K., Bowers M.R., O'Neill P.G., et al. Posterior wall isolation using the cryoballoon in conjunction with pulmonary vein ablation is superior to pulmonary vein isolation alone in patients with persistent atrial fibrillation: A multicenter experience. *Heart Rhythm.* 2018;15(8):1121–9. DOI: 10.1016/j.hrthm.2018.05.014
- 18 Kandathil A., Chamarthy M. Pulmonary vascular anatomy & anatomical variants. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2018;8(3):201–7. DOI: 10.21037/cdt.2018.01.04
- 19 The Human Protein Atlas [Internet]. Stockholm. From 2005. [cited 2021 June 8]. Available from: <https://v15.proteinatlas.org/learn/dictionary/normal/lung+1>