

ПРЕДОПЕРАЦИОННАЯ ЭМБОЛИЗАЦИЯ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ МЕТАСТАТИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ ПОЗВОНОЧНИКА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Назаров А. С., Орлов А. Ю., Улитин А. Ю., Кудзиев А. В., Беляков Ю. В.

РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиал ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова», Санкт-Петербург

PREOPERATIVE EMBOLIZATION IN SURGERY OF METASTATIC SPINAL DISEASE:
CURRENT STATE OF THE PROBLEM. A LITERATURE REVIEW

Nazarov A. S., Orlov A. Yu., Ulitin A. Yu., Kudziev A. V., Belyakov Yu. V.

RNSI n. a. prof. A. L. Polenov — branch of Almazov NMRC, Saint Petersburg

РЕЗЮМЕ: предоперационная эмболизация сосудистой сети опухоли является широко распространенным методом уменьшения интраоперационной кровопотери в хирургическом лечении метастазов в позвоночник, однако, до настоящего момента остаются дискуссионными многие аспекты практического применения данного метода. В статье приведен обзор доступной литературы в библиографических базах данных. Исследование проведено по следующим критериям включения: трансартериальная эмболизация, прямая эмболизация, интраоперационная кровопотеря, сроки хирургического лечения, эмболизирующий материал, гипervasкулярные метастазы, гиповаскулярные метастазы, осложнения. Дополнительное изучение проблемы проведено по спискам литературы найденных статей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метастаз, позвоночник, предоперационная эмболизация, хирургия позвоночника.

RESUME: presurgical embolization of the tumor bed is the widespread method of the blood loss prevention in surgery of spinal metastases, however, many aspects of the practical application are debatable to date. A review of available literature using a bibliographic database is carried out in this article. Inclusion criteria are: transarterial embolization, direct embolization, intraoperative blood loss, timing before surgery, embolic agent, hypervascular metastases, hypovascular metastases, complication. Additional searches were performed using references of the retrieved studies.

KEY WORDS: metastasis, spine, presurgical embolization, spine surgery.

Согласно данным Всемирной Организации Здравоохранения в 2018 г. злокачественные новообразования явились второй по частоте причиной смерти во всем мире — от них умерло 9,6 миллионов человек [1].

В Российской Федерации в 2018 г. злокачественные новообразования впервые в жизни были выявлены в 624 709 случаев, что на 1,2% больше по сравнению с 2017 г. На конец 2018 г. в территориальных онкологических учреждениях России состояли на учете 3 762 218 пациентов [2].

При метастатической болезни в 30–70% случаев скелетные метастазы локализуются в позвоночном столбе, а в 5–10% случаев прорастающая в эпидуральное пространство опухоль вызывает компрессию спинного мозга с развитием неврологического дефицита [3, 4, 5]. Благодаря улучшению лечения и увеличению выживаемости онкологических пациентов возросла частота «симптомных» метастазов в позвоночник [6].

В отличие от первичных опухолей, целью хирургического лечения метастазов в позвоночник является не тотальное удаление новообразования, а достижение локального контроля над опухолью, декомпрессии содержимого позвоночного канала и соз-

дание первично-стабильной фиксации позвоночника [6, 7]. Резекция пораженного тела позвонка с его протезированием позволяет достичь максимальной декомпрессии сосудисто-невральных образований, выполнить первичную стабилизацию позвоночно-двигательного сегмента и улучшить качество жизни. Guzik G. (2017) в ретроспективном анализе историй болезни 124 пациентов, которым была выполнена корпэктомия по поводу метастатического поражения, показал, что при условии тщательного отбора пациентов достигается значимое уменьшение боли, улучшение качества жизни и высокая выживаемость в течение 1 года, превышающая 90% [9].

Как правило, показания к резекции опухоли следующие: поражение одного позвонка на грудном и поясничном уровне при хорошо контролируемом первичном очаге методом химиотерапии или таргетной терапии, отсутствие висцеральных метастазов в жизненно важные органы, ожидаемая большая продолжительность жизни, 12–15 баллов по шкале выживаемости Tokuhashi [10, 11], согласно которой хирургическое лечение пациентов с метастатическим поражением позвоночника может быть рассмотрено при ожидаемой продолжительности жизни более 6 месяцев [12, 13]. Это означает, что пациенты с агрес-

сивной первичной опухолью могут получить только паллиативную хирургию [8, 14]. Однако в мультицентровом ретроспективном исследовании, включающем 580 пациентов, из которых 198 пациентов страдали раком легких, было показано, что комбинированное лечение (радиотерапия, химиотерапия и особенно таргетная терапия) значительно повышали выживаемость и улучшали качество жизни пациентов [15].

Одной из основных проблем при удалении опухоли позвоночника большинство клиницистов считают массивное интраоперационное кровотечение, ограничивающее объем операции, увеличивающее риск периоперационных осложнений, а также являющееся основным фактором изменения дизайна или завершения операции [16].

Применение предоперационной эмболизации сосудистой сети опухоли, как адъювантной терапии, продемонстрировало значительное уменьшение кровопотери при удалении гипervasкуляризированных образований [17, 18, 19, 20].

К факторам, влияющим на эффективность предоперационной эмболизации, многие авторы относят гистологический тип опухоли, её размеры и особенности распространения, возможность тотальности эмболизации сосудистой сети опухоли, сложность и объем хирургического вмешательства, а также временной интервал между выполнением эмболизации и удалением опухоли [21, 22, 23].

Влияние предоперационной эмболизации на интраоперационную кровопотерю

M.A. Wilson (2010) указывает, что на величину кровопотери влияют пол пациента, тотальность эмболизации сосудистой сети опухоли и временной промежуток между эмболизацией и декомпрессионно-стабилизирующим вмешательством в случае гипervasкулярных образований [24].

R. Thies (2013) считает, что агрессивность хирургического вмешательства в большей степени обуславливает объем интраоперационной кровопотери, чем гистологический тип опухоли и тотальность эмболизации [25]. Напротив, J. Zhang (2019) указывает, что именно гистологический тип опухоли предопределяет величину интраоперационной кровопотери: наибольшая кровопотеря в его наблюдениях была выявлена при гемобластомах с поражением позвоночника (множественная миелома, плазмоцитома) [26]. Ранее этот феномен был объяснен тем, что при миеломе невозможно выполнить достаточную для редукции кровотока эмболизацию в виду выраженности капиллярной сети, а не крупных питающих артерий [27]. Также J. Zhang (2019) в исследовании не находит корреляции между объемом оперативного вмешательства и интраоперационной кровопотерей [26].

На основании исследования Z. Qiao (2015) считает, что трансартериальная эмболизация не влияет на величину интраоперационной кровопотери, и предполагает, что, вероятнее всего, кровопотеря зависит от опыта хирурга [28].

Более того, Д. А. Пташников (2014) с соавт. в исследовании приходят к заключению, что различия в уменьшении интраоперационной кровопотери между предоперационной эмболизацией и применением местных гемостатических средств отсутствуют [29].

С другой стороны, некоторые авторы вообще не выявили при проведении эмболизации гиповаскулярных метастазов значимой редукции интраоперационной кровопотери [20, 21]. M.A. Wilson (2010) считает, что эффективность эмболизации гиповаскулярных образований сомнительна, однако, автор допускает возможность ее применения в лечении определенных видов опухолей, которые не были проанализированы в проведенном исследовании [24]. C.G. Hong (2017) с соавт. отмечают, что массивная кровопотеря возможна и при удалении заведомо гиповаскулярных метастазов: рак предстательной железы, рак молочной железы, некоторые герминогенные опухоли [30]. По мнению автора, рутинная ангиография является лучшим методом оценки сосудистой сети опухоли, предоперационная эмболизация сосудистой сети опухоли настоятельно рекомендуется для уменьшения интраоперационной кровопотери при удалении гипervasкулярных метастазов, а эмболизация гиповаскулярных метастазов может рассматриваться как опция.

S.L. Yoo (2019) указывает на неэффективность предоперационной эмболизации сосудистой сети гиповаскулярных метастазов с целью снижения интраоперационной кровопотери среди всей когорты пациентов, однако в группе пациентов, которым выполнялась корпэктомия, интраоперационная кровопотеря и количество гемотрансфузий были значительно ниже [31].

N. Robial (2012) в исследование включил 93 пациента, 35 из которых выполнена предоперационная эмболизация с применением микросфер, в подгруппе пациентов с метастазами рака почки эмболизация выполнена в 100% случаев. Проведенный анализ величины интраоперационной кровопотери не выявил значимого различия между всеми подгруппами. Автор приходит к выводу, что на кровопотерю в значительной степени оказывает влияние вид оперативного вмешательства; корпэктомия и вертебрэктомия увеличивает средний объем кровопотери по сравнению с декомпрессией и задней инструментацией на грудно-поясничном уровне и корпэктомией на шейном уровне [21].

C. Clausen (2015) в одностороннем слепом рандомизированном контролируемом исследовании установил, что предоперационная эмболизация существенно не влияет на уменьшение интраоперационной кровопотери при хирургическом лечении метастатических поражений позвоночника, осложненных компрессией спинного мозга [20]. Однако, анализ результатов хирургического лечения подгруппы пациентов с умеренно кровоснабжаемыми и гипervasкулярными образованиями позвоночника

выявил статистически значимое различие в объеме интраоперационной кровопотери среди пациентов анализируемой подгруппы (645 мл) и пациентов контрольной группы (902 мл). Автор отмечает, что в группе пациентов с метастазами в позвоночник из следующих первичных очагов — рак почки, молочной железы, легких, толстой кишки, меланома, опухоли головы и шеи — в 76%, по данным ангиографии, выявлена высокая гиперваскуляризация образований.

В техническом плане на уменьшение кровопотери может оказывать влияние дополнительная эмболизация сегментарных артерий выше и ниже пораженного уровня [26].

Выбор эмболизирующего материала

К основным эмболизирующим агентам, используемым для предоперационной эмболизации сосудистой сети опухоли, относятся микрочастицы, спирали и жидкие эмболизирующие материалы.

Трансартериальная окклюзия питающих сосудов эмболизирующими микрочастицами (желатиновая губка (гель-пена), поливиниловый спирт (polyvinyl alcohol, PVA), микросферы из трис-акрил-желатина) является самым распространенным и общепринятым методом деваскуляризации опухоли [32] ввиду возможности максимальной редукции кровотока на уровне микроциркуляторного русла, однако несет риск неуправляемой эмболизации.

Жидкие эмболизирующие материалы подразделяются на адгезивные (N-бутил-2-цианоакрилат (NBCA), липиодол) и неадгезивные (Onyx, Squid). Несмотря на то, что адгезивные клеевые композиции обладают возможностью тотального заполнения сосудов, их применение требует значительного опыта из-за быстрой полимеризации и ряда возможных осложнений [33]. В частности, использование адгезивных эмболизирующих материалов сопряжено с прилипанием микрокатетера к целевой артерии, рефлюксом и дистальным пассажем эмболизата, приводящими к нецелевой эмболизации, отмечается определенная сложность визуализации во время хирургического вмешательства, а также необходимость извлечения микрокатетера после каждого введения композита [33].

Неадгезивные клеевые композиции были созданы как безопасная альтернатива NBCA, однако, как и в случае адгезивных композиций, при невыраженной сосудистой сети новообразования их применение ограничено [32]. Идеальным считается применение неадгезивных клеевых композиций при умеренно васкуляризированных и гиперваскуляризированных образованиях, имеющих в своей структуре внутриопухолевые артерио-венозные шунты [32].

В историческом плане в качестве одного из первых искусственных эмболов стала применяться желатиновая губка [34].

Т.С.Несс в 1997 г. опубликовал исследование, в котором оценил эффективность предоперационной

эмболизации метастазов в позвоночник спиралью. В исследование вошли 17 пациентов, у которых в большинстве случаев были выявлены метастазы рака почки и щитовидной железы. По мнению автора, применение спиралей оправдано в случае выявления выраженной сосудистой сети опухоли [35].

Использование спиралей в качестве эмболизирующего агента является самой простой и безопасной методикой, однако, сопряженной с высоким риском реваскуляризации [36]. По мнению N. Omid-Fard (2019), применение спиралей показано в качестве прехирургической эмболизации сосудистой сети гиповаскулярных образований и в случае особенностей ангиоархитектоники и высокого риска окклюзии радикуло-медуллярной артерии Адамкевича другими эмболизирующими агентами [32]. Применение спиралей в качестве ассистирующей методики уменьшения интраоперационной кровопотери при выполнении блок-резекций новообразований позвоночного столба следует рассматривать и для окклюзии артерий, окружающих, но напрямую не принимающих участия в их кровоснабжении [32].

В 1999 г. J. Berkefeld сообщил, что применение желатиновой губки и PVA для эмболизации более эффективно, чем использование спиралей, поскольку проксимальное позиционирование спирали не способно полностью выключить кровоток на уровне микроциркуляторного русла [37].

J. W. Smit (2000) сообщил об успешном применении PVA при эмболизации гиперваскулярных метастазов рака щитовидной железы в позвоночник [38].

Использование микросфер может быть предпочтительным для более тотальной эмболизации и замедления темпов реваскуляризации опухоли [39].

M. A. Wilson (2010) выдвинул идею, что мелкие частицы эмболизирующего материала обеспечивают более дистальную эмболизацию сосудистой сети опухоли, что, в свою очередь, уменьшает интраоперационную кровопотерю [24]. С этой целью в своем исследовании он провел сравнение использования поливинилового спирта (polyvinyl alcohol, PVA) с размерами частиц до 250 мкм и от 250 мкм и больше и пришел к выводу, что размер частиц для эмболизации сосудистой сети опухоли не играет существенной роли, а мелкие частицы могут вызвать дополнительный риск неуправляемой эмболизации. К подобному выводу склоняется и C. Clausen (2015), изучив результаты применения частиц поливинилового спирта размером 300 и 500 мкм [20].

G. M. Ghobrial (2013) выполнял трансартериальную эмболизацию с использованием PVA, NBCA, эмбосфер и Onyx-18 (эмболизирующий агент — кополимер этилена с виниловым спиртом, растворитель — диметилсульфоксид) [40]. В исследование вошли 30 пациентов, у большинства из которых были диагностированы метастазы рака с выраженной сосудистой сетью (рак почки, рак щитовидной железы). Автор сообщает, что средняя интраопера-

ционная кровопотеря при использовании в качестве эмболизирующего агента Опух-18 была значительно ниже (750 мл) по сравнению с другими материалами (1844 мл). Кроме того, использование Опух-18 было ассоциировано с более высокой степенью облитерации сосудистой сети опухоли по данным ангиографии.

P. Cernoch (2015), провел сравнительный анализ применения спиралей, микрочастиц (PVA и микросферы) и их комбинации у пациентов с метастазами в позвоночник, которым выполнялась гемикорпэктомия или корпэктомия с протезированием тела и задняя инструментация, и не выявил статистически значимой разницы в использовании данных эмболизирующих материалов [41].

Каковы сроки резекции опухоли после проведения эмболизации?

Многие авторы считают, основываясь на своем опыте, что удаление опухоли должно выполняться не позднее 24 часов после эмболизации [42,43,44]. Более того, предполагается, что раннее выполнение хирургического пособия коррелирует с лучшими результатами [23,24].

Следует отметить, что S. Kato (2013) пришел к выводу, что хирургическое вмешательство должно быть запланировано в день эмболизации, поскольку анализ группы пациентов, которым выполнена тотальная эмболизация сосудистой сети опухоли, выявил значимое увеличение интраоперационной кровопотери при выполнении оперативного пособия уже на следующий день [23]. Однако небольшая выборка наблюдений (37 случаев) делает данное заключение несколько уязвимым.

M. A. Wilson (2010) в группе пациентов с метастазом почечно-клеточного рака (гиперваскуляризированные новообразования) установил статистически значимую корреляцию между эмболизацией и удалением опухоли: объем интраоперационной кровопотери при проведении операции в течение 2 суток после эмболизации и в период свыше 2 суток составил соответственно 2608 мл и 3282 мл соответственно, тогда как в группе пациентов с гиповаскулярными образованиями статистически значимой корреляции не наблюдалось [24].

N. A. Quraishi (2013) не выявил статистически значимого различия между объемом интраоперационной кровопотери при удалении опухоли сразу после эмболизации и при проведении отсроченной операции [45]. По убеждению автора, удаление опухоли, проведенное незамедлительно даже после неполной эмболизации приводит к значительному уменьшению интраоперационной кровопотери.

Z. Qiao (2015), проведя оценку влияния временного промежутка между эмболизацией и резекцией опухоли (24 часа, 1 день, 2 дня, 3 дня и более 3 дней) на степень интраоперационной кровопотери, не выявил статистически значимого различия объема последней в каждой из указанных групп. Более того,

было показано, что использование желатиновой губки имеет одинаковое влияние на редукцию кровотока в течение 7 суток [28].

По мнению B. Tang (2018), хирургическое вмешательство должно выполняться на следующий день после эмболизации прежде всего для выявления и лечения возможных осложнений самой эмболизации, чтобы они не были интерпретированы как осложнения проводимой резекции новообразования [46]. Кроме того, на основе полученных результатов, автором не было выявлено статистически значимой разницы по объему кровопотери при выполнении оперативного вмешательства сразу после эмболизации и на следующий день после нее.

Влияние тотальности трансартериальной эмболизации новообразований позвоночника на объем интраоперационной кровопотери

M. A. Wilson (2010) в исследовании сравнил две группы пациентов вторичными новообразованиями позвоночника: с метастазами рака почки (гиперваскулярные опухоли) и метастазами опухолей других локализаций (гиповаскулярные опухоли) [24]. В случае частичной или тотальной эмболизации сосудистой сети опухоли в группе пациентов с гиповаскулярными метастазами не было выявлено статистически значимого различия в объеме интраоперационной кровопотери (2319 мл и 1945 мл соответственно), тогда как в группе пациентов с гиперваскулярными метастазами тотальность эмболизации была тесно связана с объемом кровопотери (3460 мл и 1821 мл соответственно). Также автор обращает внимание на тренд в уменьшении объема кровопотери при эмболизации сегментарных артерий выше и ниже пораженного уровня.

R. Schmidt (2011) в своей работе, проведя анализ результатов лечения 27 пациентов с метастазами в позвоночник, которым были выполнены ламинэктомия и задняя стабилизация, не выявил достоверных различий между частичной и тотальной эмболизацией сосудистой сети опухоли с применением NBCA, хотя большинство опухолей было представлено метастазами рака почки [47]. Однако автор отмечает, что интраоперационная кровопотеря была значительно меньше в подгруппе опухолей с выраженной сосудистой сетью при условии выполнения тотальной эмболизации.

S. Kato (2012), сравнивая частичную и тотальную эмболизацию сосудистой сети опухоли PVA и желатиновой губкой, не обнаружил различий в объеме интраоперационной кровопотери, однако, по сравнению с контрольной группой, отмечалась значимая редукция кровопотери в объеме до 600 мл [17].

S. Nair (2013) проанализировал 188 случаев метастазов в позвоночник, из которых почти половина приходилась на метастазы рака почки и щитовидной железы, и не выявил отличий в объеме интраоперационной кровопотери между тотальной и частичной эмболизацией опухоли [18].

На отсутствие существенного различия в кровопотере между пациентами, которым была выполнена тотальная и субтотальная эмболизация ссылается в своей работе С. Clausen (2015) [20].

В исследовании А. Patsalides (2016) из 42 наблюдений опухолей шейного отдела позвоночника прехирургическая эмболизация не была выполнена в 16 случаях [48]. Анализ результатов показал, что в 8 случаях на этапе ангиографии была выявлена слабо развитая сосудистая сеть новообразования, в связи с чем, риск эмболизации превышал ожидаемые положительные эффекты от нее. В 2 случаях питающие опухоль сосуды, отходящие от доминантной позвоночной артерии, имели очень малый диаметр и были слишком извитыми, чтобы их можно было безопасно катетеризировать для предотвращения рефлюкса. Исходя из этого, исследователи сочли, что риск развития нарушения мозгового кровообращения в вертебро-базиллярном бассейне в данной ситуации довольно высок, а особенности строения позвоночной артерии препятствовали ее полноценной окклюзии. Несмотря на достигнутую суперселективную катетеризацию малых по диаметру питающих опухоль артерий, в трех случаях эмболизация не могла быть проведена в виду высокой вероятности рефлюкса в трех наблюдениях: в 2 случаях противопоказанием к эмболизации послужило выявление передней спинальной артерии, отходящей от основного ствола питающего опухоль сосуда, и в одном обнаружено заполнение сосудистой сети опухоли через множественные извитые, малые по диаметру сосуды из обеих позвоночных артерий.

Также Patsalides А. (2016) сообщил, что тотальная эмболизация в его исследовании была проведена в 36%, субтотальная — в 44% и частичная — в 20% случаях. При оценке величины интраоперационной кровопотери автор указал, что не удалось выявить статистически значимых различий по данному параметру между группами пациентов с эмболизированными и неэмболизированными опухолями при их хирургическом удалении. Однако такое различие было установлено при сравнении группы пациентов с прехирургической эмболизацией опухолей с умеренно выраженной и выраженной сосудистой сетью с группой пациентов с неэмболизированными опухолями [48].

С. G. Hong с соавт. (2017) в исследовании, включавшем 52 пациента с гипervasкулярными метастазами в позвоночник, отмечают, что в 6 случаях эмболизация не была выполнена по следующим причинам: невозможность катетеризации малых по диаметру или значительно деформированных и извилистых питающих артерий, а также высокий риск нарушения спинального кровообращения [30]. Авторы указывают, что тотальная или близкая к тотальной эмболизация (более 80% сосудистой сети опухоли) была достигнута в 72,2%, в 5 случаях выполнена частичная эмболизация в виду риска ишемии спинного мозга или труднодоступной для эмболизации локализации опухоли.

Окклюзия позвоночной артерии

Вовлечение в опухолевый процесс позвоночной артерии значительно усложняет проведение хирургического лечения. Повреждение позвоночной артерии потенциально может приводить к развитию грубых ишемических нарушений в вертебро-базиллярном бассейне, а также к летальному исходу. Тем не менее, анализ публикаций, посвященных данной тематике, свидетельствует об относительно редкой частоте развития нарушений мозгового кровообращения после односторонней окклюзии позвоночной артерии [49,50]. Формирование базиллярной артерии из двух позвоночных артерий, множественные потенциальные коллатерали к дистальным отделам позвоночных артерий от шейных и наружных сонных артерий, а также ретроградный ток крови из Виллизиева круга — все это является определенными факторами предупреждения ишемических повреждений головного мозга при повреждении одной из позвоночных артерий [49, 50].

G. H. Zoarski и R. Seth (2014) провели ретроспективный анализ 59 случаев односторонней окклюзии шейного сегмента позвоночной артерии без предшествующего баллон-окклюзионного теста для лечения интракраниальных аневризм, профилактики тромбоэмболических осложнений и прехирургической эмболизации опухолей шейного отдела позвоночника [50]. Ни в одном случае авторы не отметили развития ишемических нарушений.

А. Ogungbemi (2015) с соавт. использовали для окклюзии вовлеченной в опухолевый узел позвоночной артерии отделяемые баллоны без использования баллон-окклюзионного теста. Из 18 случаев авторы сообщили об одном осложнении (5,6%): развитие инфаркта мозжечка через 11 дней после проведения эмболизации [51].

В исследовании А. Patsalides (2016) деструкция позвоночной артерии была выполнена у 5 пациентов с целью предоперационной эмболизации первичных и метастатических опухолей шейного отдела позвоночника [48]. У двух из них окклюзия осуществлялась спиралями и у трех — отделяемыми баллонами. Во всех случаях перед деструкцией использовался баллон-окклюзионный тест. Основными показаниями к окклюзии артерии явились: 1) наличие выраженной сосудистой сети опухоли, кровоснабжаемой из ветвей позвоночной артерии, с высоким риском рефлюкса эмболизирующего материала, несмотря на селективную эмболизацию питающих артерий; 2) наличие анастомозов между питающими опухоль артериями и позвоночной артерией, которые не могут быть селективно окклюзированы; 3) вовлечение в опухолевый процесс позвоночной артерии, повышающее риск ее интраоперационного повреждения; 4) наличие кодминантных позвоночных артерий или контралатеральной доминантной позвоночной артерии. Во всех случаях автор не отмечал развития серьезных осложнений.

Осложнения трансартериальной эмболизации

Осложнения, связанные с проведением эмболизации сосудистой сети метастазов в позвоночный столб, могут развиваться как непосредственно во время процедуры, так и отсроченно (минуты и часы) [16]. J. L. Finstein (2006) сообщил, что во время эмболизации сосудистой сети гигантоклеточной опухоли пациент предъявил жалобы на боли в животе, а вскоре развилась кишечная непроходимость вследствие инфаркта спинного мозга [52]. R. Fernandez-Torron (2012) продемонстрировал случай развития синдрома Броун-Секара через 15 минут после окончания эмболизации [53]. В наблюдениях К. Kobayashi (2012) у 2 пациентов неврологический дефицит развился через 2 и 6 часов после эмболизации [22].

К возможным осложнениям предоперационной эмболизации сосудистой сети опухоли относят осложнения, связанные: 1) с сосудистым доступом (гематома, псевдоаневризма); 2) с внутрисосудистыми этапами доставки и позиционирования катетера (диссекция или разрыв сосуда); 3) с этапом внутрисосудистой эмболизации (острые нарушения церебрального и спинального кровообращения); 4) с негативным влиянием ионизирующего излучения; 5) с аллергическими реакциями на контрастное вещество [24].

Вместе с тем, на безопасность предоперационной эмболизации сосудистой сети опухоли указывают многие авторы [18, 22], однако, они же сообщают и о высоком риске нарушения спинального кровообращения.

Наиболее частым осложнением предоперационной эмболизации сосудистой сети опухоли является нарушение кровообращения в передней спинальной артерии с развитием ишемии спинного мозга [30].

Эксперименты на животных моделях с проведением билатерального лигирования сегментарных артерий на трех уровнях не приводили к возникновению неврологических осложнений [54]. Однако, лигирование более 4 сегментарных артерий у собак практически всегда приводило к грубому и стойкому нарушению спинального кровообращения [55].

На основании ретроспективного анализа 180 случаев выполнения тотальной en-bloc спондилэктомии Н. Murakami (2010) сделал вывод, что деструкция артерии Адамкевича не приводит к развитию неврологического дефицита, и рекомендовал безопасное пересечение парных сегментарных артерий до 3 уровней, включая и указанную артерию [56].

Многие авторы указывают на необходимость проведения спинальной ангиографии на предоперационном этапе планирования для уточнения локализации радикуло-медуллярной артерии при выборе хирургического доступа, если патологический очаг локализован на протяжении Th5–L2 [57–60]. Если радикуло-медуллярная артерия берет начало от сегментарной артерии, находящейся в зоне интереса, то при доступе к вентральным структурам позвоночника сегментарная артерия должна быть перевязана в первую очередь для оптимизации коллатерального кровообращения

(главным образом, за счет задних межреберных артерий). При задне-боковом или комбинированном доступах на грудном и верхнепоясничном отделах позвоночного столба, предполагающих работу в области foraminalных отверстий, существует высокий риск повреждения радикуло-медуллярной артерии с развитием нарушения спинального кровообращения, особенно при экстрадуральных образованиях [61]. По данным литературы, передняя спинальная артерия в 72 % формируется из единственной радикуло-медуллярной артерии [62, 63, 64].

В исследовании S. L. Yoo (2019) случайная эмболизация артерии Адамкевича у пациента с опухолью L2 позвонка и временное ее клипирование у пациента с опухолью Th6 позвонка приводили к выраженным изменениям характеристик (амплитуда и латентность) моторных вызванных потенциалов во время интраоперационного нейромониторинга без нарастания неврологического дефицита [31].

М. А. Wilson (2010) сообщил об инфаркте в мозжечке, развившемся после эмболизации сосудистой сети опухоли на уровне C6–Th1 [24].

C. Clausen (2015) наблюдаемые при предоперационной эмболизации осложнения распределил в соответствии с классификацией Американского общества интервенционной радиологии (Society of Interventional Radiology (SIR)). Среди малых осложнений (класс А) отмечалось 3 осложнения, к большим осложнениям (класс С) отнесен тромбоз правой общей бедренной артерии, потребовавший выполнения тромбэктомии, и транзиторное нарушение функции спинного мозга (класс Е) во временной промежуток между эмболизацией и хирургическим лечением [20].

A. Patsalides (2016) сообщил о развитии трех малых осложнений (6%) из 25 выполненных эмболизаций: анафилактическая реакция во время ангиографии, выраженный болевой синдром, вызванный некрозом опухоли, и гематома в области пункции бедренной артерии [48].

C. G. Hong (2017) выполнял эмболизацию сегментарных артерий билатерально на двух уровнях и унилатерально на трех уровнях без развития неврологических нарушений [30]. Автор в исследовании приходит к умозаключению, что предоперационная эмболизация сосудистой сети опухоли является относительно безопасным и эффективным методом контроля интраоперационного кровотечения без неврологических нарушений, и рекомендует использование метода как для гиперваскулярных, так и для гиповаскулярных метастазов.

A. Ogungbemi (2015) сообщил об отсроченном развитии инфаркта мозжечка на 11 сутки после предоперационной окклюзии позвоночной артерии отделяемыми баллон-катетерами по поводу хондросаркомы C4–C5 [51].

B. Tang (2018) сообщил о четырех больших осложнениях (3,2%) из 125 наблюдений: тяжелая гипертензия, транзиторная гемипарезия, инфаркт головного мозга и спинного мозга [46].

Перкутанная прямая эмболизация метастазов в позвоночник

В случае гиперваскулярных образований позвоночника даже технически успешная и субъективно тотальная эмболизация с окклюзией питающих опухоль артерий не позволяет избежать значительных интраоперационных кровотечений. Для полной деваскуляризации опухоли необходима окклюзия прекапилляров, капилляров и проксимальных отделов дренирующих вен в строме опухоли [65].

Неудовлетворительные результаты предоперационной эмболизации могут быть вызваны сочетанием нескольких факторов. Во-первых, если трансартериальная эмболизация выполняется микрочастицами, необходим адекватный антеградный кровоток для переноса микрочастиц в сосудистое русло, который уменьшается, если опухоль кровоснабжается несколькими питающими артериями. Во-вторых, жидкий клей NBCA может не достичь микрососудистой сети, (даже если смесь NBCA/липоидол достаточно разведена) из-за сложности введения вязкой смеси через диффузную артериальную сеть [66]. В-третьих, при метастазах рака почки в позвоночник часто выявляется патологическая, обширная сосудистая сеть опухоли [67]. L. Mariani (1997) в одном из своих исследований показал, что метастазы рака почки имеют высокие скоростные показатели кровотока с ранним венозным дренажом из-за развитой сети расширенных капилляров, предопределяющих невозможность тотальной трансартериальной эмболизации [65].

О прямой эмболизации гиперваскулярного метастаза феохромоцитомы в С6 позвонок с помощью спиртовой эмболизирующей эмульсии сделал сообщение J. Chiras (1993) как об альтернативе трансартериальной эмболизации при высоком риске ишемических нарушений в вертебро-базиллярном бассейне [68].

Впервые техника прямой эмболизации NBCA была описана D. Trystram (2000) при эмболизации опухоли Th10 позвонка в ситуации, когда передняя спинальная артерия имела единое кровоснабжение с сосудистой сетью опухоли [69].

C. M. Schirmer (2006) представил 5 наблюдений сочетанного использования трансартериальной эмболизации и прямой эмболизации NBCA с липоидолом гиперваскулярных метастазов рака почки в позвоночник [66]. Автор отмечает, что эмболизирующая смесь хорошо видна при введении, максимально заполняет множественные извитые сосуды опухоли и значительно уменьшает объем интраоперационного кровотечения.

Одним из осложнений прямой эмболизации опухоли является ретроградный заброс эмболизирующего материала в артериальную систему через питающие опухоль артерии [66]. Подобные наблюдения таких осложнений были сделаны A. Casasco (1994, 1999) при эмболизации ювенильных назофарингеальных ангиофибром: в одном случае определялся заброс NBCA в среднюю мозговую артерию с ее окклюзией,

приведшей к инфаркту головного мозга и летальному исходу, в другом случае имела место эмболия NBCA в ветви глазной артерии с утратой зрительной функции [70, 71].

C. M. Schirmer (2006) сообщает о двух случаях нецелевой эмболизации: у одного пациента при эмболизации опухоли С3 позвонка NBCA определялся в базивертебральных венах, эпидуральном венозном сплетении на уровне С2-С4 и позвоночном венозном сплетении, что, однако, не привело к нарастанию неврологического дефицита. У другого выявлена экстравазация эмболизирующего материала по ходу биопсийной иглы — в мышцы и под кожу [66].

В наблюдении N. El Hindy (2013) описана перкутанная прямая эмболизация метастаза интракраниальной гемангиоперицитомы в L1 позвонок [72]. В виду наличия по данным ангиографии крупных по диаметру дренирующих вен и артерио-венозных шунтов и высокого риска неуправляемой эмболизации, выполнена прямая эмболизация Опух-20 (10 мл) с достижением значимой редукции интраоперационного кровотечения (менее 50 мл).

F. Clarençon (2013) представил два наблюдения прехирургической прямой эмболизации Опух-20 сосудистой сети метастаза рака щитовидной железы и рака почки, однако, не указал объем интраоперационной кровопотери [73]. Автор подчеркнул, что причиной выбора данного метода послужила невозможность трансартериальной эмболизации из-за наличия единого источника кровоснабжения опухоли и передней спинальной артерии.

K. S. Yao (2013) сообщил об использовании NCBA при прямой транспедикулярной эмболизации сосудистой сети спинальных гемангиом под общей анестезией [74]. Из 4 наблюдений в 2 случаях прямая эмболизация была выполнена без ангиографического контроля.

K. Z. Lim (2017) сообщил о клиническом наблюдении пациента с метастазом рака почки в задние структуры Th10 позвонка и эпидуральной компрессией спинного мозга [75]. В условиях местной анестезии и седации автор выполнил прямую эмболизацию сосудистой сети опухоли Опух-34 при поддержке КТ-навигации и без ангиографического контроля. Кровопотеря во время операции, проведенной через 24 часа, составила 150 мл.

H. Mashaly (2018) выполнил интраоперационную прямую эмболизацию сосудистой сети метастаза гемангиоперицитомы в Th12 позвонок путем транспедикулярного введения Опух (2,5 мл). Интраоперационная кровопотеря составила 1700 мл. Автор полагает, что подобная техника имеет ряд преимуществ: во-первых, возможна прямая визуализация и дополнительный флюороскопический контроль затекания эмболизирующего материала в позвоночный канал; во-вторых, эмболизирующий материал может быть незамедлительно удален из эпидурального пространства для предотвращения развития миелоишемии.

Заключение.

Анализ научной литературы позволяет сделать вывод, что предоперационная эмболизация сосудистой сети метастатической опухоли позвоночника является эффективным методом контроля интраоперационного кровотечения. На наш взгляд, ангиография, выполняемая на дооперационном этапе, должна стать рутинной процедурой оценки сосудистой сети опухоли с целью определения возможности проведения эмболизации. Вместе с тем остается ряд вопросов, требующих проведения дальнейших исследований, посвященных данной проблеме:

1. Перкутанная прямая эмболизация сосудистой сети опухоли показала себя эффективным методом уменьшения интраоперационной кровопотери при удалении метастатических опухолей позвоночника, лишенным недостатков и грозных осложнений трансартериальной эмболизации. Кроме того, практическая значимость прямой эмболизации заключается в возможности выполнения открытой прямой эмболизации во время хирургического вмешательства без ангиографического контроля. Однако, научные источники, посвященные данной тематике, описывают либо единичные клинические наблюдения, либо представлены нерепрезентативной выборкой. Следовательно, оценка эффективности данного метода требует проведения исследования (возможно, многоцентрового), включающего большой клинический материал для получения результатов, обладающих статистической достоверностью.

2. Вызывают определенную дискуссию выборы оптимальных методов эмболизации гиповаскулярных метастазов вследствие невозможности дистальной эмболизации сосудистой сети опухоли, а также эмболизации гиперваскулярных метастазов с наличием выраженных артерио-венозных шунтов.

3. Не разработан метод сохранения доминантной позвоночной артерии, вовлеченной в опухолевый процесс, при условии максимальной эмболизации сосудистой сети метастаза.

4. Практически не разработан и не применяется в клинической практике метод химиоэмболизации метастазов в позвоночник при паллиативных хирургических вмешательствах в комплексной терапии метастатической болезни.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

ORCID авторов:

Назаров Александр Сергеевич — 0000-0002-5727-5991

Орлов Андрей Юрьевич — 0000-0001-6597-3733

Улитин Алексей Юрьевич — 0000-0002-8343-4917

Кудзиев Андрей Валерьевич — 0000-0001-9061-501

Беляков Юрий Владимирович — 0000-0001-8772-5781

Список используемой литературы

- World Health Organization. 2018 Sep 12. Cancer 2018 URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer> [accessed 2019-11-06].
- Каприн А. Д. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). — А. Д. Каприн, В. В. Старинский, Г. В. Петрова. — М.: МНИОИ им. П. А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. — илл. — 250 с.
- National Collaborating Centre for Cancer (UK): National Institute for Health and Clinical Excellence: Guidance. In metastatic spinal cord compression: diagnosis and management of patients at risk of or with metastatic spinal cord compression. Cardiff (UK): National Collaborating Centre for Cancer (UK), 2008.
- Barzilai, O. Integrating evidence-based medicine for treatment of spinal metastases into a decision framework: neurologic, oncologic, mechanical stability, and systemic disease / O. Barzilai, I. Laufer, Y. Yamada, et al. // J Clin Oncol. — 2017. — Vol. 35. — P. 2419–2427.
- Barzilai, O. Predictors of quality of life improvement after surgery for metastatic tumors of the spine: prospective cohort study / O. Barzilai, L. McLaughlin, M. K. Amato, et al. // Spine J. — 2018. — Vol. 18. — P. 1109–1115.
- Yoshihara, H. Trends in the surgical treatment for spinal metastasis and the in-hospital patient outcomes in the United States from 2000 to 2009 / H. Yoshihara, D. Yoneoka // Spine J. — 2014. — Vol. 14. — P. 1844–1849.
- Sohn, S. A nationwide epidemiological study of newly diagnosed spine metastasis in the adult Korean population / S. Sohn, J. Kim, C. K. Chung, et al. // Spine J. — 2016. — Vol. 16. — P. 937–945.
- Pennington, Z. Minimally invasive versus conventional spine surgery for vertebral metastases: a systematic review of the evidence / Z. Pennington, A. K. Ahmed, C. A. Molina, J. Ehresman, I. Laufer, D. M. Sciubba // Ann Transl Med. — 2018. — Vol. 6. — P. 103.
- Guzik, G. Outcomes of Corpectomy in Patients with Metastatic Cancer / G. Guzik // Orthop Traumatol Rehabil. — 2017. — Vol. 19(1). — P. 23–32.
- Murakami, H. Total en bloc spondylectomy for lung cancer metastasis to the spine / H. Murakami, N. Kawahara, S. Demura, S. Kato, K. Yoshioka, K. Tomita // J Neurosurg Spine. — 2010. — Vol. 13. — P. 414–417.
- Oka, S. Total or partial vertebrectomy for lung cancer invading the spine / S. Oka, H. Matsumiya, S. Shinohara, et al. // Ann Med Surg (Lond). — 2016. — Vol. 12. — P. 1–4.
- Kaloostian, P. E. Current paradigms for metastatic spinal disease: an evidence-based review / P. E. Kaloostian, A. Yurter, P. L. Zadnik, D. M. Sciubba, Z. L. Gokaslan // Ann Surg Oncol. — 2014. — Vol. 21. — P. 248–262.
- Zadnik, P. L. Prolonged survival following aggressive treatment for metastatic breast cancer in the spine / P. L. Zadnik, L. Hwang, D. G. Ju, et al. // Clin Exp Metastasis. — 2014. — Vol. 31. — P. 47–55.
- Goodwin, C. R. A systematic review of clinical outcomes for pa-

- tients diagnosed with skin cancer spinal metastases / C.R. Goodwin, E. W. Sankey, A. Liu, et al. // *J Neurosurg Spine*. — 2015. — Vol. 24. — P. 837–849.
15. Yang, L. Patient Characteristics Following Surgery for Spinal Metastases: A Multicenter Retrospective Study / L. Yang, F. Wang, H. Zhang, et al. // *Orthop Surg*. — 2019. — Vol. 11(6). P. 1039–1047.
 16. Tang, B. Risk factors for major complications in surgery for hypervascular spinal tumors: an analysis of 120 cases with adjuvant preoperative embolization / B. Tang, T. Ji, X. Tang, L. Jin, S. Dong, W. Guo // *Eur Spine J*. — 2015. — Vol. 24. — P. 2201–2208.
 17. Kato, S. Preoperative embolization significantly decreases intraoperative blood loss during palliative surgery for spinal metastasis / S. Kato, H. Murakami, T. Minami, et al. // *Orthopedics*. — 2012. — Vol. 35. — P. e1389–95.
 18. Nair, S. Preoperative embolization of hypervascular thoracic, lumbar, and sacral spinal column tumors: technique and outcomes from a single center / S. Nair, Y.P. Gobin, L.Z. Leng, et al. // *Interv Neuro-radiol*. — 2013. — Vol. — 19. — P. 377–385.
 19. Mavrogenis, A. F. Palliative embolization for osteosarcoma / A. F. Mavrogenis, G. Rossi, E. Rimondi, et al. // *Eur J Orthop Surg Traumatol*. — 2014. — Vol. 8. — P. 1351–1356.
 20. Clausen, C. Preoperative embolization in surgical treatment of spinal metastases: single-blind, randomized controlled clinical trial of efficacy in decreasing intraoperative blood loss / C. Clausen, B. Dahl, S. C. Frevert, et al. // *J Vasc Interv Radiol*. — 2015. — Vol. 26. — P. 402–412.
 21. Robial, N. Is preoperative embolization a prerequisite for spinal metastases surgical management? / N. Robial, Y.P. Charles, I. Bogorin, et al. // *Orthop Traumatol Surg Res*. — 2012. — Vol. 98. — P. 536–542.
 22. Kobayashi, K. Preoperative embolization of spinal tumors: variables affecting intraoperative blood loss after embolization / K. Kobayashi, E. Ozkan, A. Tam, et al. // *Acta Radiol*. — 2012. — Vol. 53. — P. 935–942.
 23. Kato, S. Optimal schedule of preoperative embolization for spinal metastasis surgery / S. Kato, T. Hozumi, Y. Takaki, et al. // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2013. — Vol. 38. — P. 1964–1969.
 24. Wilson, M. A. Retrospective analysis of preoperative embolization of spinal tumors / M. A. Wilson, D. L. Cooke, B. Ghodke, et al. // *AJNR Am J Neuroradiol*. — 2010. — Vol. 31. — P. 656–660.
 25. Thiex, R. The role of preoperative transarterial embolization in spinal tumors. A large single-center experience / R. Thiex, M. B. Harris, C. Sides, C. M. Bono, K. U. Frerichs // *Spine J*. — 2013. — Vol. 13. — P. 141–149.
 26. Zhang, J. Pre-operative embolisation of spinal tumours: neither neglect the neighbour nor blindly follow the gold standard / J. Zhang, N. S. Kumar, B. W. L. Tan, L. Shen, G. Anil // *Neurosurg Rev*. — 2019. — Vol. 42(4). — P. 951–959.
 27. Prabhu, V. C. Results of preoperative embolization for metastatic spinal neoplasms / V. C. Prabhu, M. H. Bilsky, K. Jambhekar, et al. // *J Neurosurg*. — 2003. — Vol. 98(2 Suppl). — P. 156–164.
 28. Qiao, Z. Does preoperative transarterial embolization decrease blood loss during spine tumor surgery? / Z. Qiao, N. Jia, Q. He // *Interv Neuroradiol*. — 2015. — Vol. 21. — P. 129–35.
 29. Ptashnikov, D. Preoperative embolization versus local hemostatic agents in surgery of hypervascular spinal tumors / D. Ptashnikov, N. Zaborovskii, D. Mikhaylov, S. Masevnin // *Int J Spine Surg*. — 2014. — Vol. 8.
 30. Hong, C. G. Preoperative embolization in patients with metastatic spinal cord compression: mandatory or optional? / C. G. Hong, J. H. Cho, D. C. Suh, et al. // *World J Surg Oncol*. — 2017. — Vol. 15. — P. 45.
 31. Yoo, S. L. Clinical significance of preoperative embolization for non-hypervascular metastatic spine tumors / S. L. Yoo, et al. // *J Korean Neurosurg Soc*. — 2019. — Vol. 62 (1). — P. 106–113.
 32. Omid-Fard, N. The evolution of pre-operative spine tumour embolization / N. Omid-Fard, C. G. Fisher, M. K. Heran // *Br J Radiol*. — 2019. — Vol. 92(1100). — P. 20180899.
 33. Vaidya, S. An Overview of Embolic Agents / S. Vaidya, K. R. Tozer, J. Chen // *Semin Intervent Radiol*. — 2008. — Vol. 25(3). — P. 204–215.
 34. Feldman, F. Selective intra-arterial embolization of bone tumors. A useful adjunct in the management of selected lesions / F. Feldman, W. J. Casarella, H. M. Dick, et al. // *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*. — 1975. — Vol. 123. — P. 130–139.
 35. Hess, T. Use of preoperative vascular embolisation in spinal metastasis resection / T. Hess, B. Kramann, E. Schmidt, et al. // *Arch Orthop Trauma Surg*. — 1997. — Vol. 116. — P. 279–282.
 36. Heran, M. K. Preoperative embolization of spinal metastatic disease: rationale and technical considerations / M. K. Heran // *Semin Musculoskelet Radiol*. — 2011. — Vol. 15(02). — P. 135–142.
 37. Berkefeld, J. Hypervascular spinal tumors: influence of the embolization technique on perioperative hemorrhage / J. Berkefeld, D. Scale, J. Kirchner, T. Heinrich, J. Kollath // *AJNR Am J Neuroradiol*. — 1999. — Vol. 20. — P. 757–763.
 38. Smit, J. W. Embolization of skeletal metastases in patients with differentiated thyroid carcinoma / J. W. Smit, T. P. Links, G. M. Hew, et al. // *Ned Tijdschr Geneesk*. — 2000. — Vol. 144. — P. 1406–1410.
 39. Basile, A. Trisacryl gelatin microspheres versus polyvinyl alcohol particles in the preoperative embolization of bone neoplasms / A. Basile, T. Rand, F. Lomoschitz, et al. // *Cardiovasc Intervent Radiol*. — 2004. — Vol. 27. — P. 495–502.
 40. Ghobrial, G. M. Preoperative spinal tumor embolization: An institutional experience with Onyx / G. M. Ghobrial, N. Chalouhi, J. Harrop, et al. // *Clin Neurol Neurosurg*. — 2013. — Vol. 115. — P. 2457–2463.
 41. Cernoch, P. Pre-operative embolisation of spinal metastasis: technique, complication rate and outcome-clinical experience / P. Cernoch, L. Hechelhammer, A. von Hessling, et al. // *Int Orthop*. — 2015. — Vol. 39(7). — P. 1399–1404.
 42. Wirbel, R. J. Preoperative embolization in spinal and pelvic metastases / R. J. Wirbel, R. Roth, M. Schulte, et al. // *J Orthop Sci*. — 2005. — Vol. 10. — P. 253–257.
 43. Radeleff, B. Transarterial embolization of primary and secondary tumors of the skeletal system / B. Radeleff, M. Eiers, R. Lopez-Benitez, et al. // *Eur J Radiol*. — 2006. — Vol. 58. — P. 68–75.
 44. Ozkan, E. Embolization of spinal tumors: vascular anatomy, indications, and technique / E. Ozkan, S. Gupta // *Tech Vasc Interv Radiol*. — 2011. — Vol. 14. — P. 129–140.
 45. Quraishi, N. A. Outcome of embolised vascular metastatic renal cell tumours causing spinal cord compression / N. A. Quraishi, S. Purushothamdas, S. R. Manoharan, et al. // *Eur spine J*. — 2013. — Vol. 22. — P. 27–32.
 46. Tang, B. Which is the better timing between embolization and surgery for hypervascular spinal tumors, the same day or the next day? A retrospective comparative study / B. Tang, T. Ji, W. Guo, et al. // *Medicine (Baltimore)*. — 2018. — Vol. 97(23). — P. e10912.
 47. Schmidt, R. Surgical therapy of vertebral metastases. Are there predictive parameters for intraoperative excessive blood loss despite preoperative embolization? / R. Schmidt, G. Rupp-Heim, F. Dammann, C. Ulrich, J. Nothwang // *Tumori*. — 2011. — Vol. 97. — P. 66–73.

48. Patsalides, A. Preoperative catheter spinal angiography and embolization of cervical spinal tumors: Outcomes from a single center / A. Patsalides, L. Leng, D. Kimball, et al. // *Interv Neuroradiol.* — 2016. — Vol. 22(4). — P. 457–465.
49. Albuquerque, F. C. Endovascular management of intracranial vertebral artery dissecting aneurysms / F. C. Albuquerque, D. J. Fiorella, P. P. Han, et al. // *Neurosurg Focus.* — 2005. — Vol. 18. — P. E3.
50. Zoarski, G. H. Safety of unilateral endovascular occlusion of the cervical segment of the vertebral artery without antecedent balloon test occlusion / G. H. Zoarski, R. Seth // *Am J Neuroradiol.* — 2014. — Vol. 35. — P. 856–861.
51. Ogungbemi, A. Permanent endovascular balloon occlusion of the vertebral artery as an adjunct to the surgical resection of selected cervical spine tumors: A single center experience / A. Ogungbemi, V. Elwell, D. Choi, F. Robertson // *Interv Neuroradiol.* — 2015. — Vol. 21. — P. 532–537.
52. Finstein, J. L. Postembolization paralysis in a man with thoracolumbar giant cell tumor / J. L. Finstein, K. R. Chin, F. Alvandi, et al. // *Clin Orthop Relat Res.* — 2006. — Vol. 453. — P. 335–340.
53. Fernandez-Torron, R. Brown-sequard syndrome after endovascular embolization of vertebral hemangioma / R. Fernandez-Torron, J. A. Palma, M. Riverol, et al. // *Spinal Cord.* — 2012. — Vol. 50. — P. 636–637.
54. Ueda, Y. Influence on spinal cord blood flow and function by interruption of bilateral segmental arteries at up to three levels: experimental study in dogs / Y. Ueda, N. Kawahara, K. Tomita, et al. // *Spine.* — 2005. — Vol. 30. — P. 2239–2243.
55. Kato, S. Effects on spinal cord blood flow and neurologic function secondary to interruption of bilateral segmental arteries which supply the artery of Adamkiewicz: an experimental study using a dog model / S. Kato, N. Kawahara, K. Tomita, et al. // *Spine.* — 2008. — Vol. 33. — P. 1533–1541.
56. Murakami, H. Does interruption of the artery of Adamkiewicz during total en bloc spondylectomy affect neurologic function? / H. Murakami, N. Kawahara, K. Tomita, S. Demura, S. Kato, K. Yoshioka // *Spine.* — 2010. — Vol. 35. — P. E1187–E1192.
57. Kieffer, E. Spinal cord arteriography: a safe adjunct before descending thoracic or thoracoabdominal aortic aneurysmectomy / E. Kieffer, S. Fukui, J. Chiras, et al. // *J Vasc Surg.* — 2002. — Vol. 35. — P. 262–268.
58. Orchowski, J. Neurological deficit from a purely vascular etiology after unilateral vessel ligation during anterior thoracolumbar fusion of the spine / J. Orchowski, K. H. Bridwell, L. G. Lenke // *Spine.* — 2005. — Vol. 30. — P. 406–410.
59. Tsirikos, A. I. Segmental vessel ligation in patients undergoing surgery for anterior spinal deformity / A. I. Tsirikos, S. P. Howitt, M. J. McMaster // *J Bone Joint Surg Br.* — 2008. — Vol. 90–B. — P. 474–479.
60. Charles, Y. P. Relevance of the anatomical location of the Adamkiewicz artery in spine surgery / Y. P. Charles, B. Barbe, J. P. Steib, et al. // *Surg Radiol Anat.* — 2011. — Vol. 33(1). — P. 3–9.
61. Ram, S. Spinal cord infarction secondary to intervertebral foraminal disease / S. Ram, A. Osman, V. N. Cassar-Pullicino, et al. // *Spinal Cord.* — 2004. — Vol. 42. — P. 481–484.
62. Rowland, J. W. Current status of acute spinal cord injury pathophysiology and emerging therapies: promise on the horizon / J. W. Rowland, G. W. Hawryluk, B. Kwon, et al. // *Neurosurg Focus.* — 2008. — Vol. 25(5). — P. E2.
63. Martirosyan, N. L. Blood supply and vascular reactivity of the spinal cord under normal and pathological conditions / N. L. Martirosyan, J. S. Feuerstein, N. Theodore, et al. // *J Neurosurg Spine.* — 2011. — Vol. 15. — P. 238–251.
64. Grelat, M. Aim and indications of spinal angiography for spine and spinal cord surgery: Based on a retrospective series of 70 cases / M. Grelat, R. Madkouri, J. Tremlet, et al. // *Neurochirurgie.* — 2015. — Vol. 62. — P. 38–42.
65. Mariani, L. Arteriovenous shunt measurement during endovascular therapy for cerebrospinal lesions / L. Mariani, A. R. Haldemann, G. Schroth // *AJNR Am J Neuroradiol.* — 1997. — Vol. 18. — P. 1679–1689.
66. Schirmer, C. M. Preoperative embolization of hypervascular spinal metastases using percutaneous direct injection with n-butyl cyanoacrylate: technical case report / C. M. Schirmer, A. M. Malek, E. S. Kwan, D. A. Hoit, S. J. Weller // *Neurosurgery.* — 2006. — Vol. 59(2). — P. E431–432.
67. Lorincz, T. Alterations of microvascular density in bone metastases of adenocarcinomas / T. Lorincz, J. Timar, M. Szendroi // *Pathol Oncol Res.* — 2004. — Vol. 10. — P. 149–153.
68. Chiras, J. Percutaneous injection of an alcoholic embolizing emulsion as an alternative preoperative embolization for spine tumor / J. Chiras, C. Cognard, M. Rose, et al. // *AJNR Am J Neuroradiol.* — 1993. — Vol. 14. — P. 1113–1117.
69. Trystram, D. Preoperative devascularization of a vertebral metastasis with a spinal artery at the same level / D. Trystram, A. Aymard, S. Godon Hardy, et al. // *J Radiol.* — 2000. — Vol. 81. — P. 250–253.
70. Casasco, A. Devascularization of craniofacial tumors by percutaneous tumor puncture / A. Casasco, D. Herbreteau, E. Houdart, et al. // *AJNR Am J Neuroradiol.* — 1994. — Vol. 15. — P. 1233–1239.
71. Casasco, A. Major complications of percutaneous embolization of skull-base tumors / A. Casasco, E. Houdart, A. Biondi, et al. // *AJNR Am J Neuroradiol.* — 1999. — Vol. 20. — P. 179–181.
72. El Hindy, N. Spinal metastasis from malignant meningeal intracranial hemangiopericytoma: one-staged percutaneous Onyx™ embolization and resection — a technical innovation / N. El Hindy, A. Ringelstein, M. Forsting, U. Sure, O. Mueller // *World J Surg Oncol.* — 2013. — Vol. 11. — P. 152.
73. Clarençon, F. Onyx injection by direct puncture for the treatment of hypervascular spinal metastases close to the anterior spinal artery: initial experience / F. Clarençon, F. Di Maria, E. Cormier, et al. // *J Neurosurg Spine.* — 2013. — Vol. 18(6). — P. 606–610.
74. Yao, K. C. Transpedicular N-butyl cyanoacrylate-mediated percutaneous embolization of symptomatic vertebral hemangiomas / K. C. Yao, A. M. Malek // *J Neurosurg Spine.* — 2013. — Vol. 18. — P. 450–455.
75. Lim, K. Z. Pre-operative embolization of hypervascular spinal metastasis using percutaneous direct intra-tumoural injection with Onyx under local anesthesia / K. Z. Lim, T. Goldschlager, R. V. Chandra // *J Clin Neurosci.* — 2017. — Vol. 44. — P. 306–309.
76. Mashaly, H. Intraoperative transpedicular Onyx injection to reduce vascularity of a thoracic hemangiopericytoma after unsuccessful pre-operative endovascular embolization: a technical report / H. Mashaly, Z. Zhang, A. Shaw, P. Youssef, E. Mendel // *Oper Neurosurg (Hagerstown).* — 2018. — Vol. 14(2). — P. E17–E22.