

ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ • REVIEWS

СТЕНТИРОВАНИЕ СОННЫХ АРТЕРИЙ В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ ВЫСОКОГО ПЕРИОПЕРАЦИОННОГО РИСКА

Кричман М.Д.*¹, Травин Н.О.³, Газарян Г.Г.¹, Семитко С.П.²,
Климовский С.Д.¹

DOI: 10.25881/20728255_2022_17_4_2_93

¹ ГБУЗ «Городская клиническая больница
им. А.К. Ерамишанцева ДЗМ», Москва² Научно-практический центр интервенционной кардиоангиологии
ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ, Москва³ ФКУ «Центральный военный клинический госпиталь
им. П.В. Мандрыка Минобороны РФ», Москва

Резюме. Представлен обзор современных тенденций в лечении пациентов с поражением каротидных артерий, имеющих высокий периоперационный риск. Обзор включает изложение клинических особенностей пациентов «высокого» риска, методов, применяемых для их выявления, выбора оптимальной тактики лечения, а также анализ осложнений, сопровождающих вмешательство, и способов их профилактики.

Ключевые слова: сонная артерия, стеноз, инсульт, каротидное стентирование, каротидная эндартерэктомия, периоперационный риск.

По результатам ряда исследований смертность от цереброваскулярных заболеваний уступает лишь смертности от болезней сердца и опухолей всех локализаций и достигает в экономически развитых странах 11–12% [1]. Так, из 128 стран, представляющих данные в ВОЗ, наибольшая смертность отмечается в Казахстане, Болгарии и Греции [2]. В РФ, по данным Федеральной службы государственной статистики, заболевания сосудов мозга занимают второе место в структуре смертности от болезней системы кровообращения (39%) и общей смертности населения (23,4%). При этом инсульты или острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) являются одной из наиболее частых причин инвалидности и смертности. Механизмы инсульта включают тромботическую окклюзию, тромбоэмболию, атероэмболию и диссекцию или субинтимальную гематому [3]. За последние десятилетия структура сосудистых заболеваний мозга меняется за счет нарастания ишемических форм. По данным ВОЗ инсульт ежегодно поражает около 80 млн. человек, он

STENTING OF THE CAROTID ARTERIES IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH HIGH PERIOPERATIVE RISK

Krichman M.D.*¹, Travin N.O.³, Gazaryan G.G.¹, Semitko S.P.², Klimovsky S.D.¹¹ Moscow Municipal Clinical Hospital named after A.K. Yeramishantsev, Moscow² Scientific and Practical Center for Interventional Cardioangiology of the First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Moscow³ Central Military Clinical Hospital named after P.V. Mandryka, Moscow

Abstract. The article provides an overview of current trends in the treatment of patients with carotid artery disease who have a high perioperative risk. The review includes a presentation of the clinical features of «high» risk patients, the methods used to detect them, the choice of optimal treatment tactics, as well as an analysis of the complications that accompany the intervention and ways to prevent them.

Keywords: carotid artery, stenosis, stroke, carotid stenting, carotid endarterectomy, perioperative risk.

уносит более чем 6,2 млн. человеческих жизней, а более 50 млн. выживших имеют ту или иную форму инвалидности [4]. Согласно данным регистров инсульта в России происходит более 400 тыс. ОНМК ежегодно (374 на 100 тыс. населения), летальность при них достигает 45% [5]. Особое место инсульта среди наиболее актуальных проблем сегодняшней медицины обусловлено также и тем, что ОНМК заметно «помолодело». Так, порядка 20% всех случаев цереброваскулярных патологий, зарегистрированных в РФ в последние десятилетия, составляют люди трудоспособного возраста — 20–59 лет [6; 7], из них к труду без ограничений возвращаются не более 15–17% пациентов [8].

В свете исследований, проводимых в различных странах, до 90% всех инсультов можно предотвратить. Поэтому в настоящее время на первый план выходят стратегии профилактики инсульта [9]. Поскольку примерно 25% инсультов связаны со стенозирующим поражением сонной артерии (СА), одной из стратегий

* e-mail: krichman7@gmail.com

лечения «симптомных» пациентов является выполнение эндартерэктомии. Привычную современному хирургу технику эверсионной каротидной эндартерэктомии (КЭА) описали Kasprzak и Raithel в 1989 г. Другой стратегией, альтернативной медикаментозной терапии или открытой операции, могут быть эндоваскулярные вмешательства, которые были внедрены в клиническую практику практически одновременно с эверсионной КЭА, также в 1989 г. [10], и стали применяться значительно шире в последние годы в качестве метода лечения или профилактики инсульта [11; 12]. С развитием интервенционных технологий, совершенствованием стентов, устройств доставки и защиты головного мозга каротидное стентирование (КС) из паллиативного вмешательства у неоперабельных пациентов постепенно трансформировалось в эффективный метод лечения стенотических поражений СА [13]. Эта минимально инвазивная процедура уменьшает количество хирургических осложнений и значительно облегчает послеоперационный период, не снижая при этом эффективности [14].

Brott T.G. и соавт. [15] проанализировали результаты лечения 2502 пациентов, которым были осуществлены КС или КЭА. Наблюдение велось в течение 10 лет каждые 6 месяцев. В частоте осложнений перипроцедурального периода (инсульт, инфаркт миокарда или летальный исход) значительных различий между группой КС (11,8%) и группой КЭА (9,9%) не было выявлено. Также не было обнаружено существенной разницы в отношении риска в течение 10 лет.

В соответствии с обновленными Рекомендациями Американской кардиологической ассоциации / Американской ассоциации инсульта КС указывается в качестве альтернативы КЭА для ведения пациентов с симптомами стеноза сонной артерии. Согласно этим рекомендациям КС является предпочтительным методом по сравнению с КЭА у пациентов, имеющих специфические технические, анатомические или физиологические характеристики, которые делают этих людей подверженными «высокому риску» хирургического вмешательства (например, контралатеральная окклюзия сонной артерии, предшествующая лучевая терапия области шеи, рецидивирующий стеноз сонной артерии и другие) [16].

Результаты КС подтверждают эффективность этого вмешательства у пациентов с высоким хирургическим риском как со значительными симптоматическими, так и бессимптомными заболеваниями СА. Однако, до настоящего времени выбор оптимального метода лечения стенозов СА остается открытым для дискуссии [17].

Выявление пациентов «высокого» риска и отбор для проведения КС

Отбор пациентов, которые действительно нуждаются в проведении КС, это динамический процесс, который постоянно пересматривается [18]. Во многих клинических исследованиях основным средством оценки риска для пациентов служило определение степени стеноза

СА [19]. Однако, с улучшением методов визуализации сосудов, таких как КТ-ангиография и МР-ангиография, УЗИ и ПЭТ/КТ, начался новый этап в формировании групп пациентов для последующего лечения, и стало возможным ранжировать риски не только по степени стеноза, но и по степени уязвимости бляшки к разрыву (изъязвление бляшки, неоваскулярность бляшки, утолщение фиброзного слоя и наличие богатого липидами некротического ядра, которые способны приводить к ишемическому инсульту) [20]. В настоящее время МРТ и КТ позволяют получать изображения с высоким разрешением и помогают точно обнаружить изъязвление и кальцификацию бляшки. ПЭТ/КТ — эффективный метод выявления активного воспаления внутри бляшки, но он не позволяет оценить анатомию, изъязвление, нестабильность бляшки. УЗИ с контрастным усилением является экономически эффективным методом оценки морфологии и характеристик бляшек, но оно ограничено по чувствительности и специфичности для выявления кровоизлияния в бляшки и изъязвления по сравнению с МРТ [21].

Значимость транскраниальной доплерографии была продемонстрирована в двух проспективных исследованиях (одно с 468, другое — с 467 пациентами) [22], чтобы идентифицировать пациентов с высоким риском и отличить их от тех, для кого оптимальнее было бы продолжение медикаментозной терапии. Наилучшим подтвержденным таким индикатором считают выявление церебральной микроэмболии на транскраниальной доплерографии. Так, исследование, включавшее 468 пациентов, показало, что признаком бессимптомного стеноза высокого риска являются микроэмболы; это было подтверждено другим проспективным многоцентровым международным исследованием с участием 467 пациентов: повышенный риск развития микроэмболии сохранялся несмотря на интенсивную медикаментозную терапию.

Отдельной, не до конца решенной проблемой, является тактика в отношении бессимптомного стеноза. В США до 90% каротидных вмешательств проводится при бессимптомном стенозе СА, хотя 90% пациентов лучше лечить интенсивной медикаментозной терапией, при которой ежегодный риск ишемического инсульта при бессимптомном стенозе СА в настоящее время составляет $\approx 0,5\%$, в связи с чем даже относительно низкие риски, отмеченные в исследовании Carotid Revascularization Endarterectomy versus Stenting Trial (CREST), не оправдывают рутинного вмешательства у большинства пациентов с данной патологией. Это мотивируется сравнением рисков инсульта или смерти при медикаментозной терапии (примерно 2% в год) «... во время клинических исследований, завершенных десятилетия назад, с рисками КС или КЭА в недавних исследованиях; такие экстраполяции, проще говоря, некорректны» [15]. Несмотря на то, что в двух недавно опубликованных работах, сравнивающих КС с КЭА, сообщается, что долгосрочный риск (после первого вычета перипроцедуральных рисков) аналогичен таково-

му при медикаментозной терапии (приблизительно 0,5% в год), когда рассматриваются перипроцедуральные риски (приблизительно 3% при КС, 1,5% при КЭА), большинству пациентов лучше назначить интенсивную медикаментозную терапию. Кроме того, следует признать, что риски, наблюдаемые в клинических исследованиях с участием хирургов и интервенционных кардиологов с многолетним опытом, намного ниже. Поэтому необходимо иметь способы выявления среди пациентов с бессимптомным стенозом СА тех немногих (от 10% до 15%), которые могли бы извлечь выгоду из вмешательства [23]. С этой целью разрабатываются индикаторы «уязвимой» бляшки, такие как изъязвление, слизисто-просветная бляшка, кровоизлияние, выявленное при МРТ, а также воспаление бляшки (по данным КТ). Venkatachalam S. et al. [24] на основании нескольких рандомизированных клинических исследований было показано, что реваскуляризация СА снижает риск развития инсульта в будущем у лиц с тяжелым бессимптомным стенозом СА. По мнению Spence J.D. et al. [25], пациентам с бессимптомным стенозом сонной артерии не следует предлагать КС или КЭА, если не был подтвержден высокий риск развития инсульта в обозримом будущем. КС или КЭА, в дополнение к оптимальной медикаментозной терапии, вдвое снижают риск ишемического инсульта у бессимптомных пациентов со стенозом СА. Поскольку абсолютные преимущества после успешного вмешательства являются умеренными, выявление бессимптомных пациентов с высоким риском будущего инсульта может максимизировать эффективность каротидных вмешательств [26].

С целью выявления пациентов, которым целесообразно выполнение КС, Hicks C.W. et al. [27] проанализировали критерии высокого риска осложнений, определенные в качестве таковых Центрами услуг США Medicare и Medicaid, на основании национальной репрезентативной когорты пациентов, перенесших КС или КЭА. В выборку были включены все пациенты, вошедшие в базу данных «Инициативы качества сосудов» (Vascular Quality Initiative) (2013–2016), перенесшие КС (с защитой от эмболии) или КЭА. В результате, были сформированы две группы пациентов: имеющих «нормальный» или высокий риск КЭА. Далее проведено сравнение обеих групп через 30 суток и через 2 года от момента проведения оперативного вмешательства. За период исследования, в общей сложности 51942 пациента перенесли каротидную реваскуляризацию (КС — 7030; КЭА — 44912). После сопоставления 2920 пар пациентов по 18 предоперационным переменным риск 30-суточного и 2-летнего инсульта оставался более высоким после КС в группе высокого риска, но был аналогичным по сравнению с проведением КЭА в группе «нормального» риска. Пациенты со «средним» хирургическим риском с бессимптомным стенозом сонной артерии 60–99% и повышенным риском позднего инсульта должны рассматриваться как для КЭА, так и для КС. У пациентов, которые считаются «высокорисковыми» для КЭА, показано КС [28].

Каротидное стентирование у пациентов высокого риска

Анатомическими критериями, определяющими пациентов высокого риска, являются высокий или низкий стеноз СА, рестеноз после КС/КЭА, предшествующее радикальное рассечение тканей шеи или их облучение, контрлатеральный паралич гортанного нерва и трахеостомия. Однако большинство из перечисленных критериев основаны на мнении экспертов, поэтому необходим индивидуальный подход для определения метода лечения в каждом конкретном случае [29].

Scott A Meyer et al. [30], по результатам одного нейрососудистого центра, оценили безопасность и эффективность КС у пациентов с высоким хирургическим риском. Был выполнен ретроспективный анализ клинических показателей и результатов лечения 101 пациента со стенозом СА (109 стентов). Симптоматические и бессимптомные стенозы изучались у пациентов с высоким хирургическим риском, как определено в исследовании SAPHIRE («Стентирование и ангиопластика с защитой у пациентов с высоким риском эндартерэктомии»). У 74% пациентов (n = 81) были симптомы, средняя степень стеноза у пациентов с симптомами составила 83%. Причины стентирования включали сердечный / легочный / медицинский риск (60%), окклюзию контрлатеральной внутренней СА (8%), рецидивирующий стеноз после КЭА (11%), расслоение СА (6%), возраст старше 80 лет (7%), предыдущую радикальную операцию на шее (7%) и предыдущую лучевую терапию шеи (1%). Имплантация стента выполнена в 108 из 109 сосудов (99%). Устройства для защиты от дистальной эмболии использовались в 72%. Общая частота внутрибольничных осложнений (транзиторная ишемическая атака, внутричерепное кровоизлияние, малый инсульт, большой инсульт, инфаркт миокарда и смерть) составила 8,3% (9 из 109). Из этих событий, 2 пациента (1,8%) испытали транзиторную ишемическую атаку (неврологические симптомы, которые исчезли в течение 24 часов), у 2 других (1,8%) был транзиторный синдром острой реперфузии. Риск 30-суточного инсульта / смерти / инфаркта миокарда составил 4,6% (n = 5). Из этих пациентов у 3 были незначительные инсульты (2,7%), оцененные как менее 3 баллов по модифицированной шкале Рэнкина (mRS) при последующем наблюдении через год; у 1 (0,9%) был большой инсульт, определенный как 3 балла или более по mRS через 1 год наблюдения, и 1 пациент (0,9%) умер вследствие перипроцедурального инфаркта миокарда.

Цель исследования, проведенного Ravindra V.M. et al. [31], состояла в том, чтобы проанализировать серию пациентов, которых лечили по поводу стеноза СА с выполнением КС, чтобы оценить его безопасность и эффективность при сопутствующем аортальном стенозе, корригированном транскатетерной имплантацией аортального клапана (ТИАК). Были обследованы 5 пациентов (4 мужчины, 1 женщина; средний возраст 83 года, диапазон 72–88 лет), перенесших КС в предоперационном периоде или после ТИАК. Средняя степень стеноза СА

составила 80% (75–90%), но все пациенты были бессимптомными, и диагноз стеноза ВСА был установлен случайно. У 4 пациентов КС выполнено в сроки от 2 суток до 3 месяцев перед ТИАК; у 1 пациента развилась острая сердечная недостаточность во время КС, что потребовало неотложной ТИАК. Все пациенты были выписаны, немедленных или отсроченных неврологических осложнений не отмечено.

Фибрилляция предсердий является распространенным сопутствующим заболеванием среди пациентов, подвергающихся КЭА или КС. Watanabe M. et al. [32] исследовали влияние фибрилляции предсердий на результаты КС. Были проанализированы данные за период с 2005 по 2009 годы из Национальной выборки стационаров (NIS), которая является репрезентативной для всех случаев госпитализации в США. Первичными конечными точками были послеоперационный инсульт, сердечные осложнения, послеоперационная смертность и их совокупность. Для определения ассоциации, во-первых, фибрилляции предсердий (по сравнению с пациентами с синусовым ритмом) и, во-вторых, вида оперативного вмешательства (КЭА или КС) у пациентов, имевших фибрилляцию предсердий, с возникновением послеоперационного инсульта, сердечных осложнений или летального исхода, были выполнены одномерные и многомерные регрессионные анализы. Признаками, используемыми для анализа, были пол пациента, возраст, раса / этническая принадлежность, сопутствующие заболевания, статус симптомов (симптоматический или бессимптомный) и характеристики лечебного учреждения. Из 672074 пациентов, перенесших КС или КЭА, 8,8% процедур были выполнены у пациентов с фибрилляцией предсердий. Установлено, что фибрилляция предсердий была связана с повышенным риском послеоперационного инсульта у пациентов, перенесших КС ($n = 879$; $p < 0001$), но не у пациентов, которым выполнена КЭА. Относительный риск конечной точки в виде послеоперационного инсульта, сердечных осложнений и смертности на фоне фибрилляции предсердий был повышен как у пациентов, перенесших КЭА, так и у пациентов, перенесших КС. После введения поправки на потенциальные факторы риска вероятность развития послеоперационного инсульта, сердечных осложнений и смертности у пациентов с фибрилляцией предсердий были значительно выше среди тех, которым было проведено КС по сравнению с теми, кому выполнена КЭА. У пациентов без фибрилляции предсердий ситуация была диаметрально противоположной: риск этих осложнений в послеоперационном периоде был ниже у перенесших КС.

КС было рекомендовано в качестве альтернативы КЭА для пациентов со значительной степенью стенозирования СА. Только в нескольких исследованиях были проанализированы клинические / анатомические и технические переменные, которые влияют на периоперационные результаты КС. После всестороннего поиска в Medline было сообщено, что клинические факторы, в том

числе возраст >80 лет, хроническая почечная недостаточность, сахарный диабет, наличие симптомов и процедуры, выполняемые в течение 2 недель с момента транзиторной ишемической атаки, связаны с высоким риском периоперационного инсульта и смертью. Также подчеркнуто, что ангиографические переменные, например, изъязвленные и кальцинированные бляшки, вмешательство на левой СА, стеноз $>90\%$, длина поражения артерии-мишени >10 мм, дуга аорты типа III, ВСА и общая СА с углом поворота >600 — являются предикторами увеличения частоты инсультов. Технические факторы, связанные с повышенным периоперационным риском инсульта, включают чрескожную транслюминальную ангиопластику без устройств для защиты от эмболии, ангиопластику перед установкой стента и использование нескольких стентов [33].

Стентирование сонных артерий по экстренным показаниям

КС применяется не только в плановом, но и в экстренном порядке, при остром ишемическом инсульте. Zhu F. et al. [34] провели обзор данных из многоцентрового международного наблюдательного нерандомизированного реестра TITAN, включающего пациентов с острым ишемическим инсультом, обусловленным тандемными повреждениями (окклюзия проксимального отдела внутричерепной артерии в сочетании с окклюзией СА или ее стенозом $>90\%$), которых лечили тромбэктомией, с КС или без него. Проведение КС в комбинации с применением антитромботических агентов и внутричерепной тромбэктомией дало более высокую скорость реперфузии и хороший результат (0–2 баллов через 90 суток по оценке с использованием модифицированной шкалы Рэнкина (mRS)) по сравнению с другими стратегиями (КС и тромбэктомия без антитромботической терапии, ангиопластика и тромбэктомия или только тромбэктомия).

Behme D. et al. [35] сообщают о благоприятных клинических исходах при экстренной имплантации стента в сочетании с механической тромбэктомией во внечерепной части ВСА при остром инсульте. При этом были проанализированы базы данных 4 немецких «инсультных» центров в период между 2007 и 2014 годами. Первичным критерием оценки была частота симптоматического внутричерепного кровоизлияния в соответствии с «Европейскими совместными критериями по исследованию острого инсульта»; вторичным критерием являлись результаты ангиографического исследования и клинический исход. Были проанализированы результаты лечения 170 пациентов со средним возрастом 64 года (25–88 лет), которым было проведено экстренное КС в сочетании с тромбэктомией. Симптоматические внутричерепные кровоизлияния имели место у 15 (9%) пациентов; при этом 36% пациентов имели благоприятный исход при последующем наблюдении, показатель внутрибольничной смертности составил 19%.

Seguchi M. et al. [36] оценили эффективность КС в острой фазе инсульта. В исследование включены 105 пациентов, которые были разделены на 2 группы:

«раннюю» (40 человек, интервал между инсультом и вмешательством составил менее 3 суток) и «позднюю» (65 человек, интервал составил более 3 суток). Проводилось сравнение осложнений, возникающих в этих группах. Было показано, что КС, проведенное в течение 3 суток от момента ОНМК, не увеличивает риск перипроцедурных осложнений.

В ретроспективном исследовании, проведенном Adachi K. et al. [37], были оценены результаты КС, выполненного в течение 2 недель после острого ишемического инсульта 16 пациентам. Из выборки были исключены случаи окклюзии или расслоения ВСА или окклюзии магистрального артериального русла внутричерепного пространства. 5 пациентам выполнено КС во время сверхострой фазы (в течение 24 часов после начала инсульта), 3 — в поздней фазе (в течение 24 часов после инсульта в развитии после госпитализации) и 8 — в острой фазе (от 24 часов до 2 недель после начала). Пациенты не имели серьезных осложнений после КС, то есть вмешательство было эффективным и безопасным для лечения ишемического инсульта в течение 2 недель после начала заболевания.

Атеросклеротический стеноз сонных артерий, связанный с подвижной бляшкой, является относительно редким явлением, наблюдаемым менее чем в 1 из 2000 ультразвуковых исследований СА. В публикациях, связанных с данной патологией, описывалось лечение, варьирующее от антикоагулянтной терапии до КЭА и КС. Вае E. et al. [38] представили отчет о двух пациентах с каротидным стенозом, сопровождавшимся подвижной атеросклеротической бляшкой. Наличие данного образования было диагностировано на ультразвуковом исследовании. Интраоперационное внутрисосудистое ультразвуковое исследование подтвердило наличие подвижной бляшки. У обоих пациентов было выполнено успешное КС.

Каротидная паутина, или сеть сонной артерии, является редкой и, следовательно, часто неправильно диагностируемой анатомической аномалией. Это — сужение СА в том месте, где ОСА расщепляется на ВСА, кровоснабжающую мозг, и наружную СА. Данная аномалия все чаще признается в качестве вероятной причины повторного инсульта. Haussen D.C. et al. [39] сообщают о клинических результатах в первой серии КС в когорте пациентов с инсультами и симптомами данного варианта строения сонных артерий. Были проанализированы данные пациентов моложе 65 лет с криптогенным инсультом, произошедшим в период с сентября 2014 по май 2017 гг. Аномалия строения была определена с помощью КТ ангиографии. Были выявлены 24 пациента (91,6% инсультов / 8,4% транзиторных ишемических атак). Средний возраст составлял 46 (41–59) лет, 61% были женщинами. Средний балл по Шкале инсульта, разработанной Американским Национальным институтом здоровья (NIHSS), составил 10,5 (3,0–16,0). Рецидив инсульта либо транзиторная ишемическая атака, затрагивающие территорию аномалии строения, установлены у 7 (32%) пациентов: 6 инсультов

/ 1 ТИА. 3 эпизода имели место в срок менее недели после КС, 2 — в течение первого года и 3 — в срок свыше 1 года после вмешательства. Два рецидива произошли на фоне двойной антитромбоцитарной терапии, 3 — при антиагрегантной монотерапии, 1 — в течение 24 часов после тромболитика и 1 — в процессе антитромболитической терапии. 16 (66%) пациентам выполнено КС в среднем через 12 (7,0–18,7) суток после инсульта без перипроцедурных осложнений. У стентированных лиц повторных инсультов / ТИА не наблюдалось (длительность наблюдения 4 (2,4–12,0) месяца).

Осложнения при каротидном стентировании

Общепризнанной проблемой КС является риск перипроцедурального, в том числе эмболического, инсульта, возникающего в связи с данным вмешательством, смерти или инфаркта миокарда. Также осложнения могут развиваться и в более позднем периоде. Частота осложнений при КС варьирует от 0,9 до 9,3% [40]. По анатомической локализации осложнения можно разделить на категории с соответствующими подразделами. Цервикальные осложнения возникают в экстракраниальной каротидной циркуляции, ОСА или ВСА ниже каменистой части (сифона). Они классифицируются на осложнения внутристента, проксимальные (если они возникают проксимальнее стента) и дистальные (если они возникают дистальнее стента). Внутричерепные осложнения включают сифон и внутричерепное кровообращение. Они подразделяются на эмболические, синдром гиперперфузии и контрастную энцефалопатию [41]. Все осложнения можно условно разделить на «малые» и «большие». К «большим» осложнениям относят перипроцедуральный инсульт, внутричерепное кровоизлияние, гиперперфузионный синдром, перфорацию сонной артерии, острый тромбоз стента, осложнения со стороны сосудистого доступа. К «малым» осложнениям относятся: ангиоспазм, устойчивая гипотония/брадикардия, диссекция сонной артерии, транзиторная ишемическая атака, контраст-индуцированная энцефалопатия [42].

В исследование, проведенное Fanous A.A. [43], был включен 221 пациент. Совокупная частота перипроцедуральных осложнений составила 7,2%, включая инсульт (3,2%), инфаркт миокарда (3,2%) и смерть (1,4%). Заболевание почек повышало риск развития всех осложнений. Оценка по шкале NIHSS ≥ 10 баллов, трудный бедренный доступ и кальцинированная дуга аорты увеличивали риск инсульта и всех осложнений. Дуга аорты III типа коррелировала с повышенным риском развития инсульта. Псевдоокклюзия и концентрическая кальцификация СА повышали риск развития инфаркта миокарда, смерти и всех осложнений. Извитость сонных артерий и их анатомия, препятствующие разворачиванию дистальных защитных устройств, повышали риск инсульта, инфаркта миокарда, смерти и всех осложнений.

Wieker C.M. et al. [44] провели оценку осложнений после КС. Частота перипроцедурального инсульта в течение

30 суток составила 3,3% (один ишемический инсульт, одно внутримозговое кровоизлияние); еще 2 (3,3%) пациента перенесли транзиторную ишемическую атаку. Ни у одного из пациентов не было инфаркта миокарда во время операции, также не было летальных исходов. Процедуры КС были завершены в 90% (n = 54) случаев, исключены в связи с морфологическими причинами (например, изгиб СА) 8,3% (n = 5). Частота интраоперационных осложнений составила 1,7% (n = 1) — интраоперационный разрыв сосуда, через который выполняли доступ. Частота рестеноза после КС за время наблюдения составила 3,3%.

Хотя причина позднего инсульта после КС неизвестна, одной из вероятных может быть протрузия атеросклеротической бляшки. Целью исследования, проведенного Kotsugi M et al., явилось уточнение частоты и прогноза протрузии атеросклеротической бляшки при КС [45]. Ретроспективному анализу были подвергнуты результаты обследования и лечения 328 пациентов (285 мужчин, 43 женщины; возрастной диапазон от 51 до 97 лет, средний возраст 73,6 года; 158 симптоматических случаев; степень стенозирования от 50 до 99% (среднее значение 81%)), которым было проведено КС в период с 2007 по 2016 годы. Протрузию бляшки внутри просвета стента определяли с помощью цифровой ангиографии либо при внутрисосудистом ультразвуковом исследовании. Протрузия наблюдалась в 9 случаях (2,6%); ишемический инсульт произошел в 6 из них (67%). Ишемические поражения наблюдались на диффузионно-взвешенных изображениях в 8 из 9 случаев (89%). Фактором, повышающим риск формирования протрузии, был тяжелый стеноз СА.

Синдром церебральной гиперперфузии, то есть усиление кровотока в бассейне стенозированной артерии, значительно превышающее метаболические потребности мозга, является серьезным и частым осложнением у пациентов, подвергающихся КС, но наиболее часто данное осложнение встречается в очень раннем постпроцедуральном периоде после КЭА [46; 47]. Частота развития этого синдрома, по данным различных авторов, составляет 0,2–18%, из которых геморрагические осложнения отмечаются лишь в 0,4–1,8% случаев, однако, учитывая степень выраженности неврологического дефицита и уровень летальности (36–63%), возникающие в результате кровоизлияния, трудно переоценить значимость своевременной диагностики и его лечения. В 2017 г. Huibers A.E. et al. [48] провели систематический поиск в базах данных MEDLINE, EMBASE и Cochrane по показателям развития данного синдрома после КС. Последующий мета-регрессионный анализ позволил определить влияние потенциальных факторов риска. Суммарный риск его развития в 33 исследованиях, касающихся 8731 пациента, составил 4,6% (3,1–6,8%); инсульт произошел у 47 пациентов, из которых у 54% наступил летальный исход или инвалидность, среднее время от проведения КС до появления симптомов составило 12 ч (8–36 ч).

Серьезным осложнением КС является снижение церебральной вазореактивности вследствие длительной недостаточности кровоснабжения головного мозга [49]. Yoo D.H. et al. [50] выдвинули гипотезу, что частичная дилатация стеноза сонной артерии позволила бы восстановить мозговую вазореактивность, если после этого будет выполнена окончательная ангиопластика с КС. В своем исследовании авторы стремились оценить безопасность и эффективность поэтапного КС у пациентов с тяжелым стенозом сонной артерии и явным нарушением гемодинамики в отношении предотвращения синдрома гиперперфузии. С 2005 по 2016 гг. 53 пациентам с 55 тяжелыми поражениями СА было проведено КС в несколько стадий. Процедура состояла из начальной частичной баллонной ангиопластики, периода восстановления и отсроченного окончательного КС. Интервал между проведением манипуляций составлял 10 суток. Показано, что за время наблюдения не было никаких осложнений, за исключением ограниченной головной боли после процедур.

Данных о долгосрочной эффективности КС все еще мало. G. de Donato et al. [51] оценили отдаленные результаты после КС у большой группы пациентов. Ретроспективное исследование включало 3179 процедур КС, выполненных в четырех европейских центрах. Эходуплексное сканирование с использованием модифицированных скоростных критериев для распознавания рестеноза в стенке и неврологические обследования всех пациентов проводили каждые 6 месяцев после процедуры. Анализ таблиц смертности использовался для определения отсутствия смертности, смерти от инсульта, ипсилатерального фатального, большого или любого инсульта. Сообщалось также об отсутствии рестеноза и повторного вмешательства. Вторичной целью было выявить прогностические факторы риска неврологических осложнений и рестеноза. Через 5 лет, смерть, связанная с инсультом, ипсилатеральным смертельным / большим инсультом, а также частота инсультов составили 18%, 6,5%, 6,7% и 8,1%, соответственно. Отсутствие рестеноза через 1, 3 и 5 лет имело место в 98,4%, 96,1% и 94%, соответственно. Одно- и многовариантный анализ показал, что характеристики стента (материал / конструкция / площадь свободных ячеек) не были существенно связаны со временем до рестеноза внутри стента или временем до повторного вмешательства. Частота неврологических осложнений после КС оказалась сопоставимой с таковой после традиционной хирургии.

Таким образом, КС занимает все более значимое место в качестве метода профилактики инсульта у пациентов высокого риска, а результаты, основанные, в том числе, на крупных рандомизированных контролируемых исследованиях с участием больших когорт как симптоматических, так и бессимптомных пациентов, подтверждают эффективность этого вмешательства.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Стародубцева О.С., Бегичева С.В. Анализ заболеваемости инсультом с использованием информационных технологий // *Фундаментальные исследования*. — 2012. — №8-2. — С.424-427. [Starodubtseva OS, Begicheva SV. Analysis of stroke incidence of the use of information. Basic research. 2012; №8-2: 424-427. (In Russ).]
2. Thrift AG, Thayabaranathan T, Howard G, Howard VJ, Rothwell PM, Feigin VL, Norrving B, Donnan GA, Cadilhac DA. Global stroke statistics. *Int J Stroke*. 2017; 12(1): 13-32. doi: 10.1177/1747493016676285.
3. Cilingiroglu M, Marmagkiolis K, Wholey MH. Carotid artery stenting update. *Future Cardiol*. 2013; 9(2): 193-7. doi: 10.2217/fca.12.84.
4. Утеулиев Е.С., Коньсбаева К.К., Жангалиева Д.Р., Хабиева Т.Х. Эпидемиология и профилактика ишемического инсульта // *Вестник КазНМУ*. — 2017. — №4. — С.126-129. [Uteyev E, Konysbaeva K, Zhanqaliev D, Khabieva T. Epidemiology and prevention of ischemic stroke. Bulletin of KazNMU. 2017; 4: 126-129. (In Russ).]
5. Стаховская Л.В., Клочихина О.А. Характеристика основных типов инсульта в России (по данным территориально-популяционного регистра 2009-2013 гг.) // *Consilium Medicum*. — 2015. — Т.17. — №9. — С.8-11. [Stakhovskaya LV, Klochikhina OA. Characteristics of the main types of stroke in Russia (according to the population-based stroke register 2009-2013). *Consilium Medicum*. 2015; 17(9): 8-11. (In Russ).]
6. Литвинова М.А. Инсульт: современные тенденции развития и профилактическая работа врача // *Здоровье и образование в XXI веке*. — 2017. — Т.19. — №9. — С.105-107. [Litvinova M.A. The stroke: modern development trends and preventive work of the doctor. *Health and education in the XXI century*. 2017; 19(9): 105-107. (In Russ).]
7. Фейгин В.Л., Варакин Ю.Я., Кравченко М.А., Пирадов М.А., Танашия М.М., Гнедовская Е.В., Стаховская Л.В., Шамалов Н.А., Кришнамурти Р., Бхаттачарджи Р., Пармар П., Хуссейн Т., Баркеколло С. Новый подход к профилактике инсульта в России // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. — 2015. — №4. — С.19-23. [Feigin VL, Varakin YuYa, Kravchenko MA, Piradov MA, Tanashayan MM, Gnedovskaya EV, Stakhovskaya LV, Shamalov NA, Krishnamurthi R, Bhattacharjee R, Parmar P, Hussein T, BarkerColloS. A new approach for stroke prevention in Russia. *Annals of clinical and experimental neurology*. 2015; 4: 19-23. (In Russ).]
8. Костенко Е.В., Петрова Л.В., Рыльский А.В., Энеева М.А. Эффективность коррекции постинсультных двигательных нарушений с применением методов функциональной электростимуляции и БОС-стабилометрического пострального контроля // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. — 2019. — Т.119. — №1. — С.23-31. [Kostenko EV, Petrova LV, Rytsky AV, Eneeva MA. Effectiveness of correction of post-stroke motoric disorders using the methods of functional electrostimulation and BFB-stabilometric postural control. *Journal of Neurology and Psychiatry n.a. S.S. Korsakov*. 2019; 119(1): 23-31. (In Russ).]
9. Prabhakaran S, Chong JY. Risk factor management for stroke prevention. *Continuum (Minneapolis Minn)*. 2014; 20(2 Cerebrovascular Disease): 296-308. doi: 10.1212/01.CON.0000446102.82420.64.
10. Аналеев А.И., Семитко С.П. Эндovasкулярное лечение ишемического инсульта: история развития и первый опыт // *Consilium Medicum*. — 2017. — Т.19. — №1. — С.36-41. [Analeev AI, Semitko SP. Endovascular treatment of ischemic stroke: the history of development and first experience. *Consilium Medicum*. 2017; 19(1): 36-41. (In Russ).]
11. Trenkwalder P, Rüchardt A. Primär- und Sekundärprävention des Schlaganfalls [Primary and secondary prevention of stroke]. *Dtsch Med Wochenschr*. 2015; 140(21): 1593-8. doi: 10.1055/s-0041-103118.
12. Meschia JF, Klaas JP, Brown RD Jr, Brott TG. Evaluation and Management of Atherosclerotic Carotid Stenosis. *Mayo Clin Proc*. 2017; 92(7): 1144-57. doi: 10.1016/j.mayocp.2017.02.020.
13. Cilingiroglu M, Marmagkiolis K, Wholey MH. Carotid artery stenting update. *Future Cardiol*. 2013; 9(2): 193-7. doi: 10.2217/fca.12.84.
14. Pan J, Li X, Peng Y. Remote ischemic conditioning for acute ischemic stroke: dawn in the darkness. *Rev Neurosci*. 2016; 27(5): 501-10. doi: 10.1515/revneuro-2015-0043.
15. Brott TG, Howard G, Roubin GS, Meschia JF, Mackey A, Brooks W, Moore WS, Hill MD, Mantese VA, Clark WM, Timaran CH, Heck D, Leimgruber PP, Sheff AJ, Howard VJ, Chaturvedi S, Lal BK, Voecks JH, Hobson RW. Long-Term Results of Stenting versus Endarterectomy for Carotid-Artery Stenosis. 2nd; CREST Investigators. *N Engl J Med*. 2016; 374(11): 1021-31. doi: 10.1056/NEJMoa1505215.
16. Paraskevas KI, Veith FJ. The indications of carotid artery stenting in symptomatic patients may need to be reconsidered. *Ann Vasc Surg*. 2015 Jan; 29(1): 154-9. doi: 10.1016/j.avsg.2014.08.010.
17. Кавтеладзе З.А., Былов К.В., Дроздов С.А., Карташов Д.С. Каротидное стентирование или эндартерэктомия // *Международный журнал интервенционной кардиоангиологии*. — 2011. — №24. — С.53-54. [Kavteladze ZA, Bylov KV, Drozdov SA, Kartashov DS. Carotid stenting or endarterectomy. *International Journal of Interventional Cardioangiology*. 2011; 24: 53-54. (In Russ).]
18. Oliveira PP, Vieira JLDC, Guimarães RB, Almeida ED, Savaris SL, Portal VL. Risk-Benefit Assessment of Carotid Revascularization. *Arq Bras Cardiol*. 2018; 111(4): 618-25. doi:10.5935/abc.20180208.
19. Чередниченко Ю.В. Выбор оптимального инструментария при каротидном стентировании // *Эндovasкулярная нейрорентгенохирургия*. — 2017. — №3(21). — С.53-66. [Cherednichenko YuV. The choice of the optimal instruments for carotid stenting. *Endovascular neuro-röntgenosurgery*. 2017; 3(21): 53-66. (In Russ).]
20. Foroughinia F, Tabibi AA, Javanmardi H, Safari A, Borhani-Haghighi A. Association between high sensitivity C-reactive protein (hs-CRP) levels and the risk of major adverse cardiovascular events (MACE) and/or microembolic signals after carotid angioplasty and stenting. *Caspian J Intern Med*. 2019; 10(4): 388-95. doi:10.22088/cjim.10.4.388.
21. Kotsugi M, Takayama K, Myouchin K, et al. Carotid Artery Stenting: Investigation of Plaque Protrusion Incidence and Prognosis. *JACC Cardiovasc Interv*. 2017; 10(8): 824-31. doi:10.1016/j.jcin.2017.01.029.
22. Spence JD. Transcranial Doppler Emboli Identifies Asymptomatic Carotid Patients at High Stroke Risk: Why This Technique Should be Used More Widely. *Angiology*. 2017; 68(8): 657-60. doi:10.1177/0003319716651525.
23. Шевченко Ю.Л., Боломатов Н.В., Виллер А.Г. Осложнения после стентирования артерий дуги аорты (обзор литературы) // *Международный журнал интервенционной кардиоангиологии*. — 2015. — №41. — С.57-66. [Shevchenko YuL, Bolomatov NV, Viller AG. Complications after stenting of the arteries of the aortic arch (literature review). *International Journal of Interventional Cardioangiology*. 2015; 41: 57-66. (In Russ).]
24. Venkatachalam S. Asymptomatic carotid stenosis: immediate revascularization or watchful waiting? *Curr Cardiol Rep*. 2014 Jan; 16(1): 440. doi: 10.1007/s11886-013-0440-9.
25. Spence JD. Transcranial Doppler monitoring for microemboli: a marker of a high-risk carotid plaque. *Semin Vasc Surg*. 2017; 30(1): 62-6. doi:10.1053/j.semvascsurg.2017.04.011.
26. Gaba K, Bulbulia R. Identifying asymptomatic patients at high-risk for stroke. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 2019; 60(3): 332-44. doi:10.23736/S0021-9509.19.10912-3.
27. Tsantilas P, Kuehnl A, Brenner E, Eckstein HH. Anatomic criteria determining high-risk carotid surgery patients. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 2017; 58(2): 152-60. doi:10.23736/S0021-9509.17.09882-2.
28. Hicks CW, Nejjim B, Locham S, Aridi HD, Schermerhorn ML, Malas MB. Association between Medicare high-risk criteria and outcomes after carotid revascularization procedures. *J Vasc Surg*. 2018; 67(6): 1752-61.e2. doi:10.1016/j.jvs.2017.10.066.
29. Gaba K, Ringleb PA, Halliday A. Asymptomatic Carotid Stenosis: Intervention or Best Medical Therapy? *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2018; 18(11): 80. doi:10.1007/s11910-018-0888-5.
30. Meyer SA, Gandhi CD, Johnson DM, Winn HR, Patel AB. Outcomes of carotid artery stenting in high-risk patients with carotid artery stenosis: a single neurovascular center retrospective review of 101 consecutive patients. *Neurosurgery*. 2010 Mar; 66(3): 448-53; discussion 453-4. doi: 10.1227/01.NEU.0000365008.17803.
31. Ravindra VM, Mazur MD, Kumpati GS, Park MS, Patel AN, Tandar A, Welt FG, Bull D, Couldwell WT, Taussky P. Carotid Artery Stenosis in the Setting of Transcatheter Aortic Valve Replacement: Clinical and Technical Considerations of Carotid Stenting. *World Neurosurg*. 2016 Feb; 86: 194-8. doi: 10.1016/j.wneu.2015.09.063.
32. Watanabe M, Chaudhry SA, Adil MM, Alqadri SL, Majidi S, Semaan E, Qureshi AI. The effect of atrial fibrillation on outcomes in patients undergoing carotid endarterectomy or stent placement in general practice. *Vasc Surg*. 2015 Apr; 61(4): 927-32. doi: 10.1016/j.jvs.2014.11.001.
33. Abu Rahma AF. Predictors of Perioperative Stroke/Death after Carotid Artery Stenting: A Review Article. *Ann Vasc Dis*. 2018; 11(1): 15-24. doi:10.3400/avd.ra.17-00136.

34. Zhu F, Bracard S, Anxionnat R, et al. Impact of Emergent Cervical Carotid Stenting in Tandem Occlusion Strokes Treated by Thrombectomy: A Review of the TITAN Collaboration. *Front Neurol*. 2019; 10: 206. Published 2019 Mar 11. doi:10.3389/fneur.2019.00206.
35. Behme D, Mpotsaris A, Zeyen P, Psychogios MN, Kowoll A, Maurer CJ, Joachimski F, Liman J, Wasser K, Kabbasch C, Berlis A, Knauth M, Liebig T, Weber W. Emergency Stenting of the Extracranial Internal Carotid Artery in Combination with Anterior Circulation Thrombectomy in Acute Ischemic Stroke: A Retrospective Multicenter Study. *Am J Neuroradiol*. 2015 Dec; 36(12): 2340-5. doi: 10.3174/ajnr.A4459.
36. Seguchi M, Shibata M, Sato Y, Maekawa K, Kitano Y, Sano T, Kobayashi K, Shimizu S, Miya F. J. The Safety of Carotid Artery Stenting for Patients in the Acute Poststroke Phase. *Stroke Cerebrovasc Dis*. 2018 Jan; 27(1): 83-91. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.08.008.
37. Adachi K, Sadato A, Hayakawa M, Maeda S, Hirose Y. Acute carotid artery stenting in symptomatic high-grade cervical carotid artery stenosis. *Neurosurg Rev*. 2017 Jan; 40(1): 45-51. doi: 10.1007/s10143-016-0737-4.
38. Bae E, Vo TD. Carotid Artery Angioplasty and Stenting for Atherosclerotic Plaque with Mobile Intimal Flap. *Ann Vasc Surg*. 2018; 49: 310.e1-310.e3. doi:10.1016/j.avsg.2018.01.071.
39. Haussen DC, Grossberg JA, Bouslama M, et al. Carotid Web (Intimal Fibromuscular Dysplasia) Has High Stroke Recurrence Risk and Is Amenable to Stenting. *Stroke*. 2017; 48(11): 3134-7. doi:10.1161/STROKEAHA.117.019020.
40. Farooq MU, Goshgarian C, Min J, Gorelick PB. Pathophysiology and management of reperfusion injury and hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy and carotid artery stenting. *Exp Transl Stroke Med*. 2016; 8(1): 7. doi:10.1186/s13231-016-0021-2.
41. Nicosia A, Nikas D, Castriota F, Biamino G, Cao P, Cremonesi A, Mathias K, Moussa I, Hopkins LN, Setacci C, Sievert H, Reimers BJ. Classification for carotid artery stenting complications: manifestation, management, and prevention. *Endovasc Ther*. 2010 Jun; 17(3): 275-94. doi: 10.1583/09-2943.1.
42. Клестов К.Б., Куликов Ю.В., Султанов И.П., Комисарова Н.В., Иванов А.В., Матвеев А.А., Морозов Д.В. Осложнения каротидного стентирования // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. — 2017. — №48-49. — С.49-50. [Klestov KB, Kulikov YuV, Sultanov IR, Komisarova NV, Ivanov AV, Matveev AA, Morozov DV. Complications of carotid stenting. *International Journal of Interventional Cardioangiology*. 2017; 48-49: 49-50. (In Russ).]
43. Fanous AA, Natarajan SK, Jowdy PK, et al. High-risk factors in symptomatic patients undergoing carotid artery stenting with distal protection: Buffalo Risk Assessment Scale (BRASS). *Neurosurgery*. 2015; 77(4): 531-43. doi:10.1227/NEU.0000000000000871.
44. Wieker CM, Demirel S, Attigah N, Hakimi M, Hinz U, Böckler D. Outcome of carotid artery stenting in the hands of vascular surgeons. *Langenbecks Arch Surg*. 2017; 402(5):805-10. doi:10.1007/s00423-017-1585-6.
45. Kotsugi M, Takayama K, Myouchin K, Wada T, Nakagawa I, Nakagawa H, Taoka T, Kurokawa S, Nakase H, Kichikawa K. Carotid Artery Stenting: Investigation of Plaque Protrusion Incidence and Prognosis. *JACC Cardiovasc Interv*. 2017; 10(8): 824-31. doi: 10.1016/j.jcin.2017.01.029.
46. Попова Л.А., Тобохов А.В., Николаев В.Н. Хирургическое лечение больных с патологией сонных артерий // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Медицинские науки. 2016. — №3(04). — С.82-84. [Popova LA, Tobokhov AV, Nikolaev VN. Surgical treatment of patients with pathology of carotid arteries. *Bulletin of the North-Eastern Federal University*. M.K. Ammosov. Series: Medical Sciences. 2016; 3(04): 82-84. (In Russ).]
47. Hayakawa M, Sugiu K, Yoshimura S, Hishikawa T, Yamagami H, Fukuda-Doi M, Sakai N, Iihara K, Ogasawara K, Oishi H, Ito Y, Matsumaru Y. Effectiveness of staged angioplasty for avoidance of cerebral hyperperfusion syndrome after carotid revascularization. *Neurosurg*. 2019 Jan 18: 1-11. doi: 10.3171/2018.8.JNS18887.
48. Huibers AE, Westerink J, de Vries EE, Hoskam A, den Ruijter HM, Moll FL, de Borst GJ. Eur J Editor's Choice — Cerebral Hyperperfusion Syndrome After Carotid Artery Stenting: A Systematic Review and Meta-analysis. *Vasc Endovasc Surg*. 2018 Sep; 56(3): 322-33. doi: 10.1016/j.ejvs.2018.05.012.
49. Белов Ю.В., Комаров Р.В., Каравайкин П.А. Хирургическое лечение больных с двусторонним поражением сонных артерий // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2014. — Т.7. — №5. — С.35-40. [Belov YuV, Komarov RV, Karavaykin PA. Surgical treatment of patients with bilateral lesions of the carotid arteries. *Cardiology and cardiovascular surgery*. 2014; 7(5): 35-40. (In Russ).]
50. Yoo DH, Roh HG, Choi SS, Moon J, Lee J, Cho YD, Han MH, Jung KH, Yoon BW, Kang HS. J Staged carotid artery stenting in patients with severe carotid stenosis: Multicenter experience. *Clin Neurosci*. 2018 Jul; 53: 74-8. doi: 10.1016/j.jocn.2018.04.007.
51. de Donato G, Setacci C, Delooste K, Peeters P, Cremonesi A, Bosiers M. Long-term results of carotid artery stenting. *J Vasc Surg*. 2008 Dec; 48(6): 1431-40; discussion 1440-1. doi: 10.1016/j.jvs.2008.07.012.