

## КТ-перфузия у пациентов после наложения экстра-интракраниального микрохирургического анастомоза в отдаленном послеоперационном периоде

Е.В. ГРИГОРЬЕВА\*, В.А. ЛУКЬЯНЧИКОВ, А.С. ТОКАРЕВ, В.В. КРЫЛОВ

НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Москва; ООО «Медикал Клуб Консилиум», Москва

### CT perfusion in patients after EICMA in the postoperative period

E.V. GRIGOREVA, V.A. LUKYANCHIKOV, A.S. TOKAREV, V.V. KRYLOV

Sklifosovsky Scientific Research Institute of Emergency Care, Moscow; «Medical Club Consilium», Moscow

**Цель исследования** — оценка влияния экстра-интракраниального микрохирургического анастомоза (ЭИКМА) на кровоток головного мозга у пациентов с односторонней окклюзией внутренней сонной артерии (ВСА) в отдаленном послеоперационном периоде с помощью компьютерно-томографической перфузии (КТ-перфузия). **Материалы и методы.** Были обследованы 10 пациентов с односторонней окклюзией внутренней сонной артерии и стенозом противоположной ВСА 50—60%, с однократными ишемическими инсультами в анамнезе. Всем пациентам в до- и послеоперационном периоде проведена компьютерно-томографическая ангиография (КТ-ангиография) брахицефальных и интракраниальных артерий и КТ-перфузия головного мозга. Сравнивали также данные неврологических осмотров до операции и в течение 1 года после вмешательства. **Результаты.** По данным неврологических осмотров в течение 1-го года после операции было отмечено улучшение неврологического статуса и качества жизни у всех пациентов. По данным КТ-перфузии у всех пациентов на стороне окклюзии до операции отмечено неоднородное снижение объемной скорости кровотока (CBF) до 18 мл/100 г/мин (при средней норме 44—56 мл/100 г/мин) и увеличение среднего времени транзита (МТТ) до 7,2 с (при норме менее 6 с). При этом наиболее подверженной хроническим ишемическим изменениям оказалась лобная область, в меньшей степени — височная и теменно-затылочная. Минимальная CBF коры противоположного полушария (со стороны стеноза ВСА) составила 24 мл/100 г/мин, а МТТ было увеличено до 5,6 с. Через 6 мес после наложения ЭИКМА у всех пациентов отмечали улучшение показателей перфузии на стороне анастомоза: увеличение CBF (не менее 44 мл/100г/мин) и снижение МТТ (до 6,1 с в лобной области), а также «синхронизацию» правого и левого полушария в виде выравнивания показателей CBF и объема кровотока на аналогичных участках коры головного мозга. **Заключение.** Сделан вывод, что выполнение шунтирующих операций путем наложения ЭИКМА по поводу односторонней окклюзии ВСА в отсроченном послеоперационном периоде приводит не только к изменению показателей перфузии коры головного мозга на стороне окклюзии, но и к активизации коллатерального кровотока коры в обоих полушариях, что снижает эффект «обкрадывания» и существенно улучшает кровоток головного мозга в целом уже через 6—12 мес после операции.

**Ключевые слова:** перфузия, компьютерная томография, анастомоз, реваскуляризация, КТ-перфузия после наложения ЭИКМА.

**Objective.** To evaluate the influence of the EICMA on the circulation of the brain in patients with unilateral occlusion of the internal carotid artery (ICA) in the late postoperative period using CT perfusion. **Material and methods.** Ten patients with unilateral internal carotid artery occlusion and stenosis of the opposite ICA 50—60%, with a history of a single ischemic stroke were examined. All patients underwent pre-and postoperative CT angiography of the brachiocephalic and intracranial arteries and CT perfusion. We also compared the results of neurological examinations preoperatively and during the year after the intervention. **Results.** The neurological data during the first year after surgery demonstrated an improvement of neurological status and quality of life in all patients. Preoperative CT perfusion showed the patchy decrease in the cerebral blood flow (CBF) to 18 ml/100 g/min (average of 44—56 ml/100 g/min) and increase in the mean transit time (MTT) to 7.2 s (normally less 6s) in all cases on the side of occlusion. The most susceptible to chronic ischemic changes was the frontal region, temporal and parietooccipital regions were affected to a lesser extent. Due to stenosis of the opposite ICA, minimum CBF of the cortex in the opposite hemisphere was 24 ml/100 g/min and MTT was increased to 5.6 s. Six months after the applying of EICMA, the significant improvement of CT perfusion was noted on the side of the anastomosis in all patients: an increase in CBF (at least 44 ml/100 g/min) and MTT reduction (up to 6.1s in the frontal region), as well as the «synchronization» of CBF and CBV in similar areas of the cerebral cortex of the right and left hemisphere. **Conclusion.** CT perfusion in the late postoperative period after applying EICMA in patients with unilateral ICA occlusion demonstrates not only changes of the cerebral perfusion on the side of the occlusion, but also the increased collateral blood flow of the cortex in both hemispheres, which significantly improves brain blood flow generally within 6—12 months after surgery.

**Key words:** CT perfusion, computed tomography, anastomosis, revascularization, EICMA.

Основная цель шунтирующих операций в виде создания экстра-интракраниального микрохирургического анастомоза (ЭИКМА) — профилактика ишемического инсульта у пациентов с окклюзионно-стенозирующими заболеваниями брахицефальных артерий, поэтому их в основном выполняют у больных с окклюзией прецеребральной или интракраниальной артерии (как правило, внутренняя сонная артерия — ВСА) при наличии ишемического инсульта либо транзиторной ишемической атаки в анамнезе [1, 2]. В большей части исследований оценка эффективности ЭИКМА в отдаленном периоде после операции определялась по частоте развития повторных ишемических инсультов [1]. Несмотря на большое количество работ, описывающих положительное влияние ЭИКМА у пациентов с окклюзией магистральной артерии и нарушением цереброваскулярного резерва [3–9], проведенные крупные рандомизированные международные исследования (ЕС-IC Bypass Trial, COSS) не смогли доказать их превосходство перед консервативным лечением в профилактике повторных инсультов [2, 10]. Тем не менее продолжают работы по изучению влияния ЭИКМА на функциональные исходы, мнестико-интеллектуальные расстройства у пациентов с перенесенными ишемическими инсультами [1]. Недостаточно исследованы изменения регионарного мозгового кровотока, возникающие после церебральной реваскуляризации [8], а посвященные динамике перестройки микроциркуляторного русла и мозгового кровообращения в целом в отдаленном периоде после наложения ЭИКМА наблюдения единичны [8, 11, 12].

## Материал и методы

В 2013–2014 гг. наблюдали 10 пациентов с окклюзионно-стенозирующими заболеваниями брахицефальных артерий до и через 6–12 мес после выполнения ЭИКМА.

Каждому пациенту в предоперационном периоде была выполнена компьютерно-томографическая ангиография (КТ-ангиография) брахицефальных и интракраниальных артерий, а также компьютерно-томографическая перфузия (КТ-перфузия) головного мозга. Исследования выполняли на аппарате Siemens Definition Flash 128, КТ-ангиографию проводили на фоне болюсного введения 70 мл йодсодержащего контрастного вещества со скоростью 5 мл/с, толщиной среза 5 мм с реконструкцией по 0,6 мм, сканирование от уровня дуги аорты до мозолистого тела включительно, степень стеноза артерий определяли по критериям оценки стенозов Европейского исследования каротидной хирургии (ESCT) [9]. КТ-перфузию выполняли на фоне внутривенного болюсного введения 30 мл йодсодержащего контрастного вещества со скоростью 5,5–6 мл/с, проводили сканирование от уровня основания головного мозга (уровень артериального круга большого мозга), протяженностью 8 см, что позволило оценить перфузию практически всей коры больших полушарий.

Всем пациентам было выполнено наложение ЭИКМА между ветвями поверхностной височной артерии и корковыми ветвями средней мозговой артерии со стороны окклюзии ВСА по стандартной методике. Интраоперационный контроль проходимости микроанастомозов осуществляли с помощью контактной доплерографии и инфракрасной флюоресценции.

У всех пациентов послеоперационный период протекал без особенностей. Осложнений не было. Проходимость анастомозов при контрольной КТ-ангиографии, выполненной в первые 3 сут после операции, составила 100%. Через 7–14 дней пациенты были выписаны под наблюдение невролога по месту жительства.

Через 6–12 мес после операции пациентам выполняли контрольную КТ-ангиографию и КТ-перфузию по методике, аналогичной исследованиям до вмешательства. При сравнительной оценке данных КТ-ангиографии в послеоперационном периоде обращали внимание на функционирование анастомоза, развитие дополнительных мелких артериальных сосудов на стороне операции.

Для оценки данных КТ-перфузии до и после операции, учитывая небольшое число наблюдений, сравнивали как показатели перфузии (объемная скорость кровотока — СВФ, мл/100 г/мин; объем кровотока — СВВ, мл/100 г; среднее время транзита — МТТ, с) на аналогичных участках коры обоих больших полушарий (всего 288), так и средние значения этих показателей в коре лобных, височных и теменно-затылочных областей с обеих сторон. При измерении показателей КТ-перфузии очаговые изменения белого вещества и постишемические кисты не оценивались. Нормальными показателями КТ-перфузии считали СВФ не менее 39 мл/100 г/мин (показатель СВФ варьирует от 45 до 110 мл/100 г/мин), СВВ — не менее 1–1,5 мл/100 г (в норме 2,5–5 мл/100 г), МТТ — не более 6 с (в норме 3–4,5 с).

## Результаты

По данным КТ-ангиографии до операции у всех пациентов была выявлена окклюзия одной из ВСА и стеноз противоположной ВСА не менее 50% по ESCT (рис. 1, см. на цв. вклейке).

При КТ-ангиографии интракраниальных артерий на стороне окклюзии отмечено незначительное ретроградное контрастирование кавернозного отдела соответствующей ВСА, ослабление контрастирования соответствующих средней и передней мозговых артерий, а также асимметричное обеднение сосудистого рисунка корковых ветвей средней и задней мозговых артерий (рис. 2, см. на цв. вклейке).

Средние показатели КТ-перфузии пациентов до операции представлены в табл. 1.

Согласно данным табл. 1, на стороне окклюзии ВСА наблюдали умеренное снижение СВФ: в среднем в лобной области на 35%, в височной — на 14%, в теменно-затылочной — на 26%. Минимальный показатель СВФ на стороне окклюзии ВСА, не соответствующий зоне постишемических кистозно-глиозных изменений, составил 18 мл/100 г/мин, максимальный — 58 мл/100 г/мин. Отмечено увеличение показателей МТТ со стороны окклюзии ВСА в лобной области в среднем на 39%, в височной — на 14%, в теменно-затылочной — на 19%. Минимальное значение МТТ на стороне окклюзии ВСА — 3,3 с, максимальное — 7,2 с. Снижение показателей СВВ со стороны окклюзии ВСА, независимо от локализации кистозно-глиозных изменений, составило в лобных областях в среднем 11%, в височных — 3%, в теменно-затылочных — 10%. Минимальное значение СВВ на стороне окклюзии — 1,5 мл/100 г, максимальное — 3,9 мл/100 г.

Таблица 1. Показатели КТ-перфузии пациентов до операции

Показатель КТ-перфузии	Область головного мозга					
	лобная		височная		теменно-затылочная	
	на стороне окклюзии	на противоположной стороне	на стороне окклюзии	на противоположной стороне	на стороне окклюзии	на противоположной стороне
СВФ, мл/100 г/мин	18—44	34—65	27—58	31—66	24—55	29—64
СВУ, мл/100 г	1,5—3,7	2,4—3,8	1,7—3,9	2,1—3,8	1,8—3,8	2—4
МТТ, с	4,7—7,2	3,9—5,6	4,2—4,7	3,2—4,1	3,4—7,2	3,3—4,2

Таблица 2. Показатели КТ-перфузии пациентов через 6—12 мес после наложения ЭИКМА

Показатель КТ-перфузии	Область головного мозга					
	лобная		височная		теменно-затылочная	
	на стороне окклюзии	на противоположной стороне	на стороне окклюзии	на противоположной стороне	на стороне окклюзии	на противоположной стороне
СВФ, мл/100 г/мин	47—71	50—73	59—79	59—87	42—67	54—84
СВУ, мл/100 г	3,5—4,3	2,9—3,8	4,2—4,5	3,4—4,5	2,8—4,5	3,1—4,3
МТТ, с	3,6—6,1	3,3—4,2	3,6—5,1	3,3—4	4,1—5,9	3,2—4,1

В ходе повторных неврологических осмотров в течение 1-го года после операции было отмечено улучшение неврологического статуса и качества жизни у всех пациентов. Показатели по шкале NIHSS до операции в среднем составляли 3—5 баллов, после операции — 1—3 балла, по шкале Рэнкина общий балл изменился с 2—3 до 1—2, по шкале Ривермид — с 10—12 до 13—14.

КТ-ангиография в послеоперационном периоде подтвердила функционирование ЭИКМА. У всех пациентов через 6—12 мес после ЭИКМА отмечено улучшение контрастирования периферических ветвей средней и задней мозговых артерий на уровне окклюзии и развитие мелких коллатеральных сосудов на уровне операции (см. рис. 2).

Средние показатели КТ-перфузии пациентов через 6—12 мес после операции представлены в табл. 2.

В отдаленном послеоперационном периоде у всех пациентов сохранялась асимметрия показателей СВФ: в среднем на стороне окклюзии скорость кровотока была на 9—12% ниже в лобной и височной областях и на 24% — в теменно-затылочной. Однако минимальное значение СВФ на стороне окклюзии составило 41 мл/100 г/мин (до операции 18 мл/100 г/мин), максимальное — 79 мл/100 г/мин (до операции 58 мл/100 г/мин). Сохранялось также асимметричное увеличение МТТ: в среднем на 32% в лобной области, на 21% — в височной, на 28% — в теменно-затылочной. Минимальное значение МТТ на стороне окклюзии — 3,6 с (до операции 3,3 с), максимальное — 6,1 с (до операции 7,2 с).

СВУ увеличился у всех пациентов на стороне окклюзии, независимо от бассейна артерии-реципиента. СВУ после операции составлял в среднем на 11% больше в лобной области, на 9% — в височной, сохранилось асимметричное снижение СВУ в теменно-затылочной области, в среднем на 4% (рис. 3, см. на цв. вклейке). Минимальное значение СВУ на стороне окклюзии — 2,8 мл/100 г (до операции 1,5 мл/100 г), максимальное — 4,5 мл/100 г (до операции 3,9 мл/100 г).

## Обсуждение

Уже после первых наблюдений выполнения шунтирующих операций путем наложения ЭИКМА у пациентов с

окклюзионно-стенозирующими заболеваниями брахицефальных артерий их оценка как метода профилактики ишемических инсультов была неоднозначной. Исследование D. Barnett и соавт. [10] показало, что инсульты среди оперированных пациентов возникали даже чаще, чем в группе пациентов, получавших консервативное лечение. По данным проспективного исследования COSS, частота повторных инсультов у пациентов после ЭИКМА была лишь незначительно ниже, чем в группе неоперированных пациентов (21% против 22,7%) [1]. Основываясь на этих данных, эффективность ЭИКМА в профилактике повторных ишемических изменений головного мозга казалась сомнительной.

Тем не менее в 1998—2004 гг. другое крупное исследование JET, используя не только неврологические критерии наблюдения, но и данные однофотонной позитронно-эмиссионной томографии (ОФЭКТ), доказало, что в течение 2 лет после наложения ЭИКМА частота повторных инсультов в группе оперированных пациентов составила 5%, в то время как у лечившихся консервативно — 14%. Кроме того, по данным того же исследования, в группе оперированных пациентов впервые отметили значительное улучшение перфузии головного мозга по данным ОФЭКТ [1, 9].

Применение перфузионных методик (в первую очередь ОФЭКТ и КТ-перфузия) открыло новые возможности для оценки влияния ЭИКМА на микроциркуляцию головного мозга, позволив неинвазивно и с применением минимального количества контрастного вещества изучать состояние кровотока коры больших полушарий при хронических ишемических изменениях как в пред- так и послеоперационном периоде.

Впервые ОФЭКТ применили для оценки мозгового кровотока в 1986 г. [13]. Метод использует радиофармакологические препараты на основе изотопа технеция —  $^{99m}\text{Tc}$  (чаще гексаметилпропиленаминоксим — НМРАО), который в сочетании с липофильным комплексом легко проникает через гематоэнцефалический барьер, трансформируется в гидрофильную форму и задерживается в мозговом кровотоке (период полураспада 24—48 ч), позволяя проводить отсроченное сканирование. С помощью ОФЭКТ можно вычислить объемную скорость кровотока

головного мозга в выбранном участке, но полученные показатели считаются относительными, так как рассчитываются в сравнении со «здоровым» участком мозга, за который обычно принимается ткань мозжечка, либо соответствующей структуры противоположного полушария. Это снижает достоверность метода, так как при распространенном атеросклерозе нарушения перфузии могут встречаться в обоих полушариях.

Основное применение ОФЭКТ нашла в оценке ауторегуляции кровотока и выявлении зоны гипоперфузии головного мозга при окклюзиях и стенозах ВСА в дооперационном периоде, так как метод позволяет изучать изменение СВФ до и после пробы с ацетазоламидом. Многие исследователи использовали данные ОФЭКТ при оценке резерва мозгового кровотока для определения показаний к реваскуляризирующим хирургическим вмешательствам у пациентов с окклюзией ВСА [8]. В послеоперационном периоде метод часто применяют для оценки эффективности функционирования анастомоза [9, 13].

Клиническое применение КТ-перфузии головного мозга отчасти облегчило предоперационное обследование пациентов с окклюзией ВСА, так как стало возможным в течение одного исследования с внутривенным введением 100 мл йодсодержащего контрастного вещества получить изображение брахицефальных, интракраниальных артерий и одновременно оценить состояние мозгового кровотока с помощью КТ-перфузии [8, 13]. В зависимости от метода обработки данных, показатели КТ-перфузии могут вычисляться как в сравнении со «здоровым» полушарием, так и независимо от него, что дает методу явное преимущество перед ОФЭКТ при обследовании пациентов с распространенным атеросклерозом и поражением обеих ВСА. Так же как и при ОФЭКТ, в предоперационном периоде КТ-перфузию можно сочетать с пробой с ацетазоламидом для уточнения состояния ауторегуляции кровотока.

Большинство исследований, использовавших КТ-перфузию для оценки состояния кровотока головного мозга после наложения ЭИКМА, проведены в раннем послеоперационном периоде, и их целью была оценка эффективности функционирования анастомоза. По данным S. Eisker и соавт. [11], улучшение показателей перфузии в виде увеличения СВФ и СВV, снижения МТТ на стороне операции в сравнении с предоперационными данными наблюдается уже через 6 ч после вмешательства, а локальное увеличение МТТ в послеоперационном периоде может считаться предиктором гиперперфузии и сопровождается неврологическими нарушениями (как в раннем, так и отсроченном периоде). По данным Т.А. Немировской и соавт. [8], в течение 6 мес после операции у пациентов с ЭИКМА отмечали не только улучшение показателей перфузии коры полушария на стороне окклюзии, но и «синхронизацию» СВФ и СВV с показателями противоположной, «здоровой» стороны, что, по мнению автора, свидетельствовало о системном воздействии ЭИКМА на микроциркуляцию головного мозга.

В нашем исследовании была подобрана максимально однородная группа пациентов с аналогичным поражением брахицефальных артерий (односторонняя окклюзия, стеноз противоположной ВСА) и сходными неврологическими нарушениями. У всех пациентов с односторонней

окклюзией ВСА в предоперационном периоде отмечено неоднородное снижение СВФ до 18 мл/100 г/мин и увеличение МТТ до 7,2 с на стороне окклюзии, при этом наиболее подверженной хроническим ишемическим изменениям оказалась лобная область, в меньшей степени — височная и теменно-затылочная. У наших пациентов, помимо окклюзии одной из ВСА, выявлен стеноз противоположной ВСА до 50—60%, что также сказывалось на показателях перфузии. Минимальная СВФ со стороны стеноза составила 24 мл/100 г/мин (при средней норме 44—56 мл/100 г/мин), а МТТ было увеличено до 5,6 с (при норме менее 6 с). Через 6 мес после наложения ЭИКМА у всех пациентов отмечали улучшение показателей перфузии на стороне анастомоза с увеличением объемной скорости кровотока, которая практически достигла нормальных значений (не менее 44 мл/100 г/мин), и снижением МТТ, хотя и не до нормы (максимальное значение 6,1 с в лобной области). Интересно, что СВV, до операции асимметрично сниженный на стороне окклюзии в сравнении с противоположной стороной (на 11% в лобной области), вырос в течение 6 мес после операции и превысил показатели «здоровой» стороны на 11%. Таким образом, в совокупности рост объема кровотока в лобной области составил 22% и свидетельствовал об активно развитом коллатеральном кровотоке в регионе, который особенно страдал от хронической ишемии по данным предоперационной КТ-перфузии. Аналогичные изменения произошли в височной и теменно-затылочной областях, хотя разница в показателях СВV и СВФ на этом уровне была не настолько значительной.

Помимо улучшения показателей перфузии, в наших наблюдениях также отмечена «синхронизация» правого и левого полушария после наложения ЭИКМА. Так, до операции показатели СВФ в лобной доле на стороне окклюзии колебались в пределах 18—44 мл/100 г/мин, а на противоположной стороне — 34—65 мл/100 г/мин. После операции разница показателей практически нивелировалась (СВФ 47—71 мл/100 г/мин на стороне анастомоза, 50—73 мл/100 г/мин с противоположной стороны). Это свидетельствует о том, что наложение ЭИКМА вызывает не только развитие коллатерального кровотока на стороне окклюзии, но и уменьшает эффект обкрадывания противоположного полушария, что подтверждается данными неврологического статуса. Механизм такого воздействия остается неясным, однако доказанное улучшение перфузии обоих полушарий головного мозга после операции в дальнейшем может привести к пересмотру и расширению показаний для ЭИКМА.

Таким образом, применение КТ-перфузии у пациентов с окклюзионно-стенозирующими заболеваниями брахицефальных артерий помогает не только определить объем и локализацию хронических ишемических изменений до операции, но и оценить эффективность вмешательства в отдаленном периоде. Выполнение шунтирующих операций путем наложения ЭИКМА по поводу односторонней окклюзии ВСА в отсроченном послеоперационном периоде приводит не только к изменению показателей перфузии коры головного мозга на стороне окклюзии, но и активизации коллатерального кровотока коры в обоих полушариях, что снижает эффект обкрадывания и существенно улучшает кровоток головного мозга в целом уже через 6—12 мес после операции.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Abdulrauf S.* Cerebral revascularization: techniques in extracranial-to-intracranial bypass surgery. Philadelphia, PA: Saunders 2011; 155–160.
2. *Amin-Hanjani S., Barker F.D., Charbel F.T., Connolly E.S., Morcos J.J., Thompson B.G.* Extracranial-intracranial bypass for stroke — is this the end of the line or bump in the road? *Neurosurgery* 2012; 71: 557–561.
3. *Крылов В.В., Годков И.М.* Хирургия аневризм головного мозга. Под ред. В.В. Крылова. М: Новое время 2011; 1: 23–35.
4. *Крылов В.В., Нахабин О.Ю., Полунина Н.А., Лукьянчиков В.А., Винокуров А.С., Куксова Н.С., Григорьева Е.В., Хамидова Л.Т., Ефременко С.В.* Первый опыт выполнения широкопросветных экстра-интракраниальных анастомозов для лечения больных с гигантскими аневризмами внутренней сонной артерии. *Нейрохирургия* 2013; 2: 25–39.
5. *Крылов В.В., Лемнев В.Л., Мурашко А.А., Лукьянчиков В.А., Далибальдян В.А.* Лечение пациентов с атеросклеротическим поражением брахицефальных артерий в сочетании с интракраниальными аневризмами. *Нейрохирургия* 2013; 2: 80–85.
6. *Лемнев В.Л., Асланян Л.С., Ахметов В.В., Шамилин А.А.* Шейная симпатэктомиа в лечении больных с ишемией головного мозга. *Нейрохирургия* 2011; 1: 66–70.
7. *Нахабин О.Ю., Лукьянчиков В.А., Крылов В.В.* Методика наложения широкопросветного экстра-интракраниального анастомоза при гигантских аневризмах внутренней сонной артерии. *Нейрохирургия* 2012; 4: 57–65.
8. *Немировская Т.А., Немировский А.М., Данилов В.И., Михайлов М.К., Ибатуллин М.М., Алексеев А.Г.* Оценка влияния стенозов и окклюзий внутренней сонной артерии на церебральную гемодинамику при помощи перфузионной рентгеновской компьютерной томографии. *Казанский мед журн* 2011; 92: 3: 360–363.
9. *Schaller B.* Imaging of carotid artery stenosis. Springer Wien, New York 2007; 41–44.
10. *Barnett D.W., Barrow D.L., Joseph G.J.* Combined extracranial-intracranial bypass and intraoperative balloon occlusion for the treatment of intracavernous and proximal carotid artery aneurysms. *Neurosurgery* 1994; 35: 92–98.
11. *Eicker S.O., Beseoglu K., Ertinan N., Turowski B., Steiger H.J., Hänggi D.* The impact of early perfusion CT measurement after extracranial-intracranial bypass surgery: results of a pilot study. *Acta Neurochir Suppl* 2011; 112: 25–9.
12. *Langner S., Fleck S., Seipel R., Schroeder H.W., Hosten N., Kirsch M.* Perfusion CT scanning and CT angiography in the evaluation of extracranial-intracranial bypass grafts. *J Neurosurg* 2011; 114: 4: 978–983.
13. *Mills J.N., Mehta V., Russin J., Amar A.P., Rajamohan A., Mack W.J.* Advanced Imaging Modalities in the Detection of Cerebral Vasospasm. *Neurology Research International* 2012; 2013: 15.