

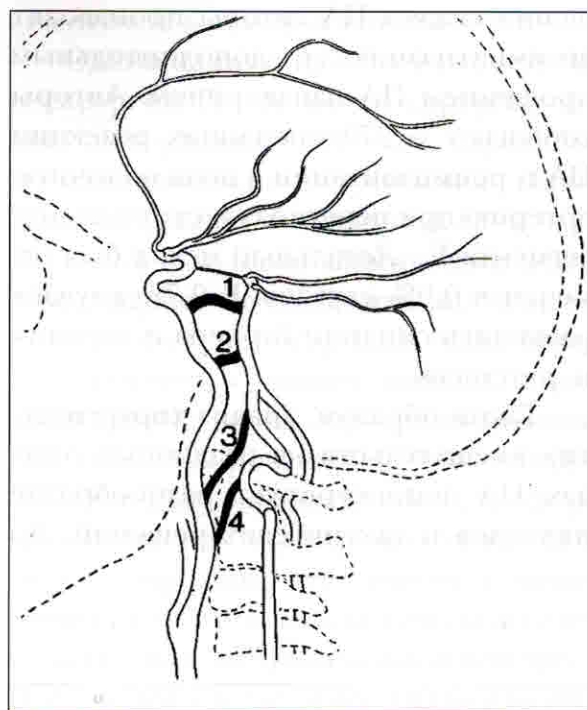
## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Список сокращений.....                                                                                                                                                                        | 5   |
| Предисловие.....                                                                                                                                                                              | 8   |
| Введение.....                                                                                                                                                                                 | 9   |
| <b>Глава 1.</b>                                                                                                                                                                               |     |
| История хирургии поражений экстракраниального отдела<br>позвоночной артерии.....                                                                                                              | 11  |
| <b>Глава 2.</b>                                                                                                                                                                               |     |
| Рентгено-хирургические аспекты анатомии<br>вертебрально-базилярной системы.....                                                                                                               | 22  |
| <b>Глава 3.</b>                                                                                                                                                                               |     |
| Вопросы патогенеза и методы диагностики нарушений<br>мозгового кровообращения в вертебрально-базилярной системе.....                                                                          | 44  |
| <b>Глава 4. (совместно с Микиашвили С. Ж.)</b>                                                                                                                                                |     |
| Нейрорадиологическая диагностика поражений<br>экстракраниального отдела позвоночных артерий.....                                                                                              | 85  |
| 1. Диагностика деформаций позвоночной артерии (ПА).....                                                                                                                                       | 85  |
| 2. Диагностика стенозирующих поражений ПА.....                                                                                                                                                | 109 |
| 3. Диагностика аномалий ПА и их сочетаний с деформациями<br>и стенозирующими поражениями ПА.....                                                                                              | 123 |
| 4. Возможности КТ-перфузии в оценке гемодинамических изменений<br>в проекции ствола, мозжечка и затылочных долях головного мозга<br>у больных с вертебрально-базилярной недостаточностью..... | 133 |
| <b>Глава 5.</b>                                                                                                                                                                               |     |
| Хирургическое лечение аномалий и деформаций позвоночной артерии<br>(клиническая картина, показания, хирургическая техника и результаты).....                                                  | 140 |
| Список литературы.....                                                                                                                                                                        | 161 |

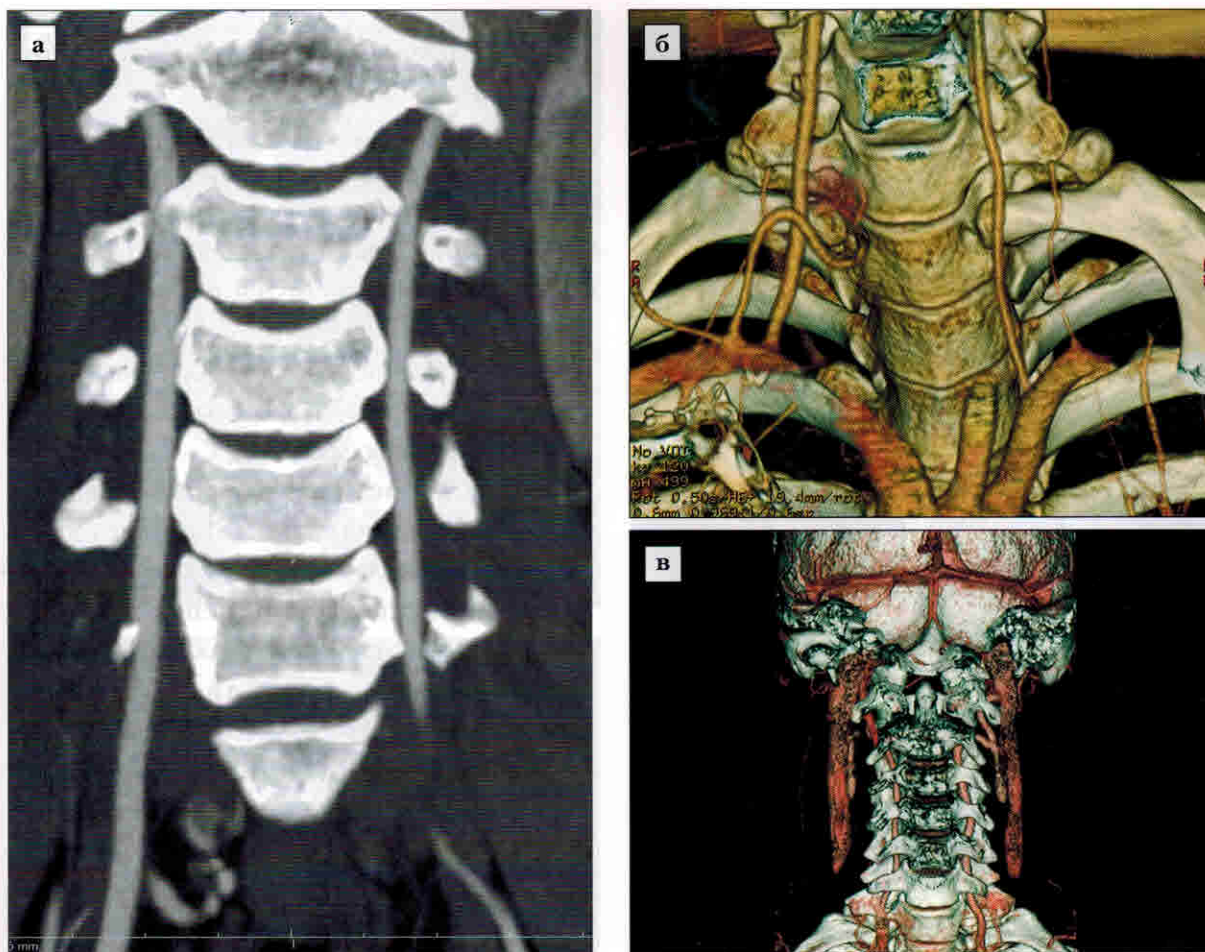
## Глава 2

### РЕНТГЕНО-ХИРУРГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАТОМИИ ВЕРТЕБРАЛЬНО-БАЗИЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ

**З**адняя мозговая артерия (ЗМА) эмбриологически развивается из внутренней сонной артерии (ВСА) на уровне задних соединительных артерий (Winn H., 2011). Эти примитивные ЗМА соединяются с основной артерией на уровне ее бифуркации. В большинстве случаев отрезок P1 ЗМА постепенно увеличивается, чтобы образовать проксимальную часть артерии, однако, в 25% случаев этот сегмент остается не полностью развитым или даже атрофируется. Связь с передней циркуляцией через заднюю соединительную артерию (ЗСА) функционирует только у 65% людей. У некоторых индивидуумов после рождения могут существовать четыре эмбриологических артериальных анастомоза. К каким артериям относятся: тригеминальная артерия (a. trigemina primitive), которая связывает интракавернозную часть сонной артерии с дистальной частью основной артерии (Калмыков М. Ю., 2014); ушная артерия (a. acustica primitive), которая связывает интрапетрозную часть сонной артерии со средней частью основной артерии; гипоглоссная артерия (a. hypoglossica primitive), которая связывает экстракраниальную ВСА с интракраниальной частью позвоночной артерии; 4 — проатлантная артерия (a. proatlantica) соединяет экстракраниальную ВСА с ПА на уровне C<sub>2</sub>.



**Рис. 2.1.** Схема эмбриологических артериальных анастомозов позвоночной артерии: 1 — тригеминальная артерия (a. trigemina primitive) связывает интракавернозную часть сонной артерии с дистальной частью основной артерии; 2 — ушная артерия (a. acustica primitive) связывает интрапетрозную часть сонной артерии со средней частью основной артерии; 3 — гипоглоссная артерия (a. hypoglossica primitive) связывает экстракраниальную ВСА с интракраниальной частью позвоночной артерии; 4 — проатлантная артерия (a. proatlantica) соединяет экстракраниальную ВСА с ПА на уровне C<sub>2</sub>.



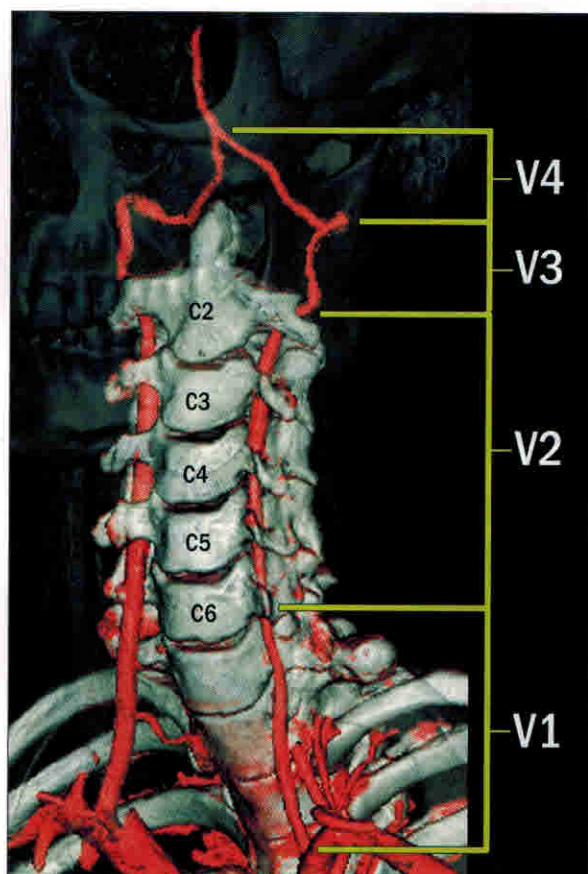
**Рис. 2.2.** КТ-ангиограммы (3 разных набл.): а — КТ-ангиограмма ( МИП обработка) с визуализацией двух позвоночных артерий с одинаковым диаметром, б — 3D-обработка данных КТ-ангиографии, где правая позвоночная артерия больше левой, в — 3D КТ-ангиография демонстрирует более широкую левую позвоночную артерию.

ВСА с интракраниальной частью позвоночной артерии (ПА), и проатлантная артерия (a. proatlantica), которая соединяет экстракраниальную ВСА с ПА на уровне  $C_2$  (рис. 2. 1).

Правая ПА является первой ветвью правой подключичной артерии, которая берет начало от плече-головного ствола, в то время как левая является первой ветвью левой подключичной артерии, начинающейся непосредственно от дуги аорты. Обе ПА обычно отличаются по диаметру — левая

ПА больше правой (Kraenbuhl Н., Yasargil М., 1957, Fisher М., 1992). Диаметр ПА колеблется от 0,5 до 5,5 мм, а длина — от 5 до 35 см (Anson J., Spetzler R., 1995). В 51% случаев левая ПА больше, а в 41% — больше правая ПА. Размеры артерий сопоставимы только в 8% случаев (рис. 2. 2).

Позвоночная артерия обычно отходит от верхней поверхности подключичной артерии. Многие авторы (Верещагин Н. В., 1961, Гусева Г. Д., 1966, Антонов И. П., 1976; Луцик А. А.,



**Рис. 2.3.** Схема сегментов позвоночной артерии.

$V_1$  — от места отхождения артерии до вступления в канал поперечных отростков на уровне  $C_5$  или  $C_6$  позвонков (превертебральный или проксимальный участок артерии),  $V_2$  — в канале отверстий поперечных отростков от  $C_5$ – $C_6$  до второго шейного позвонка,  $V_3$  — (субокципитальный сегмент) от места выхода артерии из отверстия поперечного отростка второго шейного позвонка до вхождения в полость черепа;  $V_4$  — от места прободения артерией атлanto-окципитальной мембраны до слияния с противоположной позвоночной артерией и формирования основной артерии.

1977, 1997, Бассиль Т. Э., 1989; Anson J. и Spetzler R., 1995, Warlow C., 1996) делят позвоночную артерию на четыре отрезка (сегмента). Это разделение важно как с точки зрения различных хирургических доступов к различным сегментам, так и с точки зрения терми-

нологии и методологии оценки уровня поражений ПА:

— первый сегмент ( $V_1$ ) — от места отхождения артерии до вступления в канал поперечных отростков на уровне  $C_5$  или  $C_6$  позвонков (превертебральный или проксимальный участок артерии);

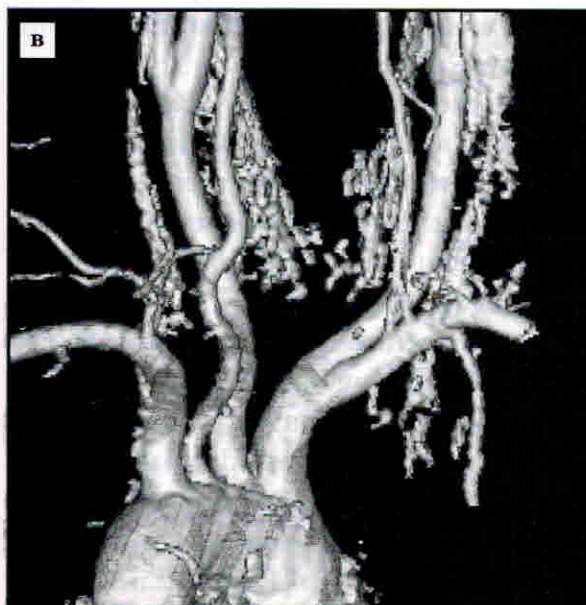
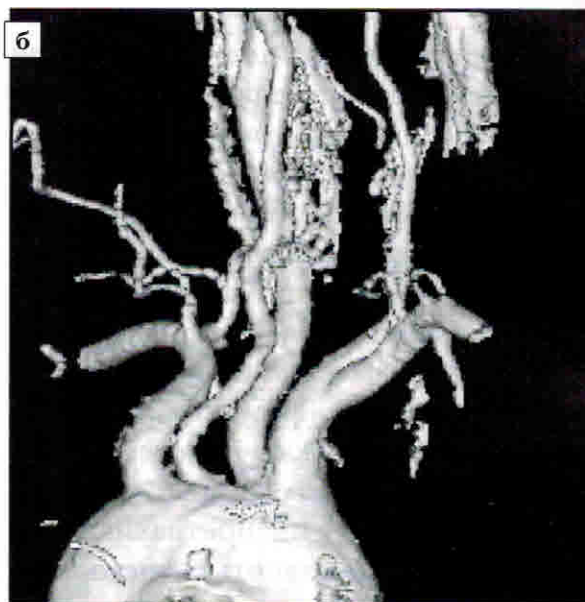
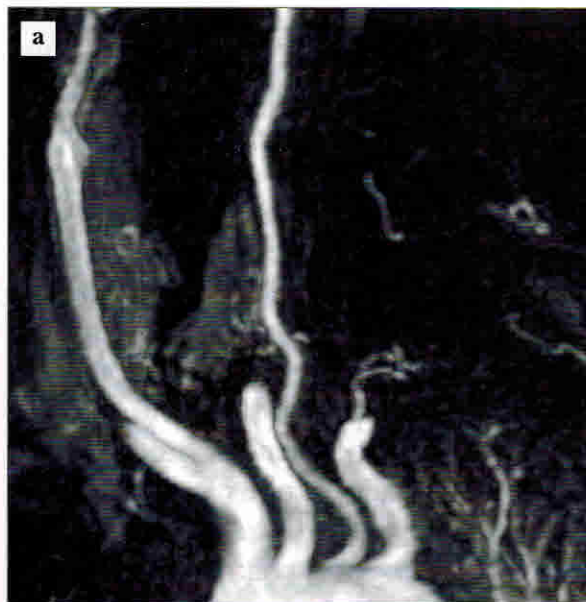
— второй сегмент ( $V_2$ ) — в канале отверстий поперечных отростков от  $C_5$ – $C_6$  до второго шейного позвонка;

— третий сегмент ( $V_3$  субокципитальный сегмент) — от места выхода артерии из отверстия поперечного отростка второго шейного позвонка до вхождения в полость черепа;

— четвертый интракраниальный сегмент ( $V_4$ ) — от места прободения артерией атлanto-окципитальной мембраны до слияния с противоположной позвоночной артерией и формирования основной артерии (рис. 2. 3).

Сегмент  $V_1$  отличается большой вариабельностью. Е. Daseler и В. Anson (1959) в своей фундаментальной работе, посвященной хирургической анатомии подключичной артерии и ее ветвей, на основании 693 случаев секционных наблюдений приводят следующие варианты отхождения позвоночных артерий:

- от 0,5 см. до 2 см. медиальнее отхождения щито-шейного ствола — 83,12%;
- смещение устья позвоночной артерии более чем на 2 см. медиальнее щито-шейного ствола — 8,37%;
- отхождение общим с щито-шейным стволом или латеральнее последнего — 3,03%;
- левая позвоночная артерия, как непосредственная ветвь дуги аорты, располагающаяся между левой сонной и левой подключичной артериями — 2,46% (рис. 2. 4);



**Рис. 2.4.** Вариант отхождения позвоночной артерии слева. Болюсная контрастная МР-ангиография с построением изображений в режиме МИП (а) и 3D (б, в, под разными углами обзора) демонстрирует отхождение левой позвоночной артерии непосредственно от дуги аорты. При этом позвоночная артерия располагается между левой сонной и левой подключичной артериями (до 2,46% всех аномалий по данным E. Daseler и B. Anson (1959)).

- правая позвоночная артерия, отходящая от места бифуркации безымянной артерии на подключичную и общую сонную артерии — 1,11%;
- правая позвоночная артерия, отходящая непосредственно от правой сонной артерии — 0,28%;
- раздвоенные вертебральные артерии, при этом одна основная, отходящая от дуги аорты, а другая от щитовидного ствола — 0,72%.

Наиболее часто, по мнению авторов, доминантная позвоночная арте-

рия отходит от левой подключичной артерии.

Другие авторы отмечают также возможность отхождения позвоночной артерии от нижней щитовидной артерии или от реберно-шейного ствола (Баркаускас Э. М., 1982).

Проксимальный сегмент ( $V_1$ ) позвоночной артерии отходит от верхней стенки подключичной артерии напротив внутренней грудной артерии (a. thoracica interna). Устье позвоночной артерии и превертебральная ее часть находятся в лестнично-позвоночном треугольнике, вершиной которого является «сонный бугорок», т. е. передний бугорок реберно-поперечного отростка  $C_6$  позвонка. Медиальную границу этого треугольника составляет

## Глава 4

### НЕЙРОРАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОРАЖЕНИЙ ЭКСТРАКРАНИАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНЫХ АРТЕРИЙ

- деформации  
(в том числе на фоне остеохондроза шейного отдела позвоночника)
- стенозирующие поражения
- аномалии развития

#### Диагностика деформаций позвоночных артерий (ПА)

В ходе выполнения работы нами был проведен анализ исследований у 57 больных с рентгенологической картиной соответствующей различным видам деформаций ПА. Среди них с учетом существующих классификаций мы выделили три основных группы патологии:

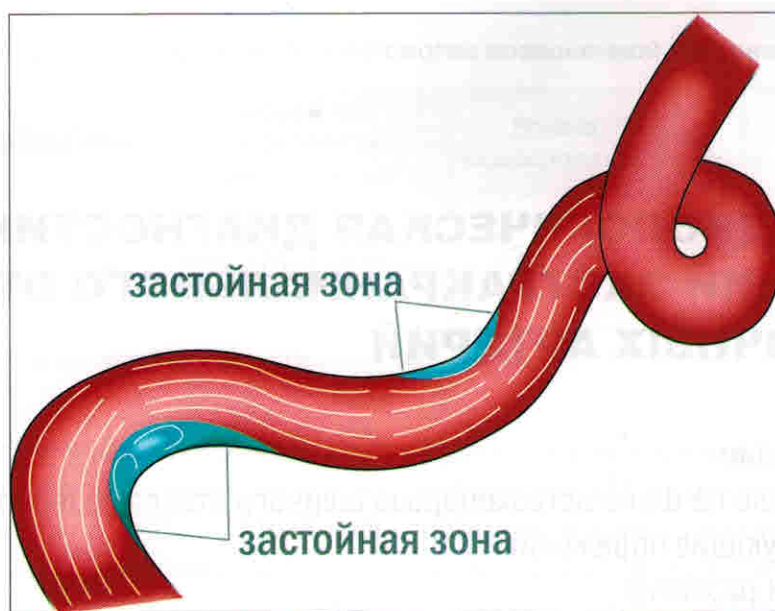
1. извитость (tortuosity) (n=16);
2. перегибы (kinking) (n=33);
3. петлеобразование и спиралевидное скручивание (coiling, ringing-кольцеобразование) (n=8).

Проведено сравнение двух первых видов деформаций — извитостей и перегибов, так как их общее количество составили 49 наблюдений. Это позволило нам адекватно сравнивать результаты диагностики и лечения. Петлеобразование и спиралевидное скручивание в нашей серии встречалось гораздо

реже, всего 8 наблюдений из 57 обследуемых больных.

При сопоставлении первой и второй групп деформаций ПА было выявлено, что число больных с перегибами заметно преобладало над числом больных с извитостью ПА с соотношением — 33:16. В случае перегибов ПА — патология чаще выявлялась с левой стороны, реже справа. В случаях извитости ПА сторонность поражения распределялась следующим образом: S:D — 6:10 (приблизительно 40% и 60% соответственно). Таким образом извитость в нашей серии наблюдений, наоборот чаще визуализировалась справа.

Особый интерес, с нашей точки зрения, представляла локализация патологии в зависимости от анатомического деления ПА. Оказалось, что по нашим данным, чаще всего в патологический процесс вовлекаются сегменты V1 (начальный отдел, над устьем) и V2, причем, чаще слева. В двух остальных



**Рис. 4.1.** Схематическое изображение застойных зон потока жидкости в местах изгибов (экспериментальные данные), где МР-сигнал снижен.

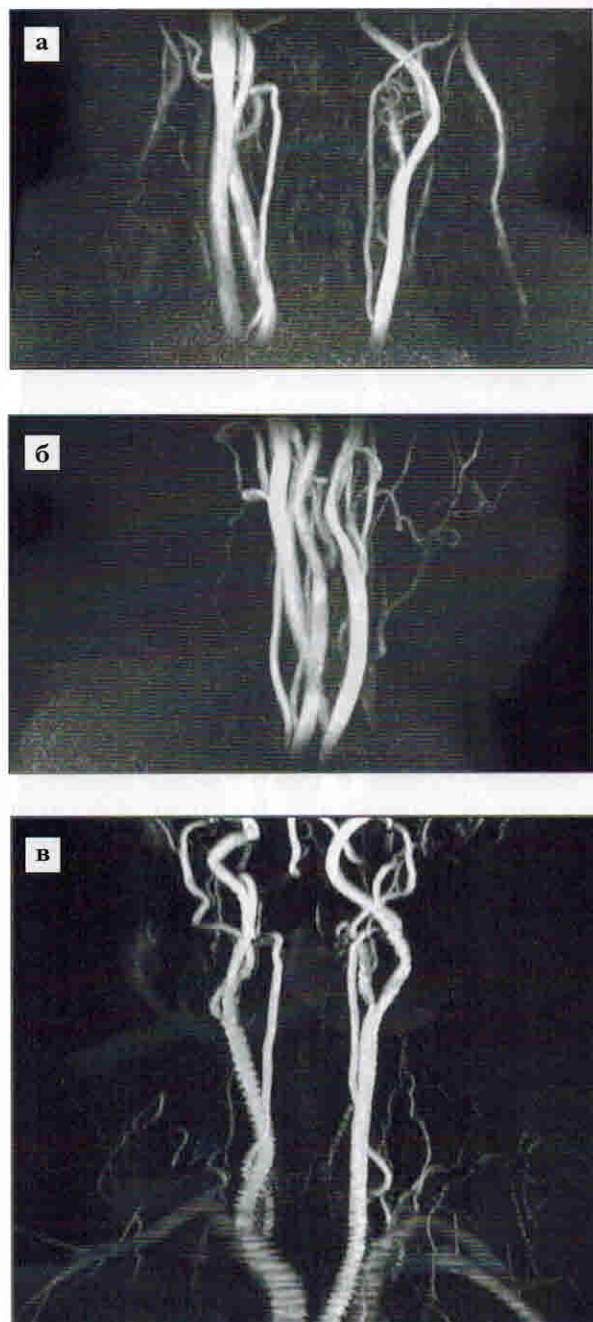
анатомических сегментах ПА (V3 и V4) патологии в нашей серии наблюдений не было выявлено. Оценить частоту вовлечения сегментов позвоночной артерии с образованием спиралевидного скручивания и петлеобразование было затруднительным из-за малого числа наблюдений. Тем не менее, из 8 случаев чаще всего выявленный тип деформации диагностировался в сегментах V1–V2 с одинаковой частотой справа и слева ( $n=4 \times 4$ ).

Полученные в ходе экспериментальных и клинических исследований данные (Bradley W. G., (1992), Белова Т. В., (1998)) по изучению физических характеристик ламинарного и турбулентного тока жидкости в сосудах различного диаметра и при различных видах деформаций в условиях МРТ, выявили характерные участки снижения или потери МР-сигнала в зависимости от формы и величины перегибов (рис. 4.1).

Экспериментальные исследования показали, что изменения кровотока на

уровне перегибов позволяют предположить возможность временного стеноза или даже окклюзии просвета сосуда на уровне максимального перегиба (Bradley W., 1992).

В современных условиях визуализация деформаций ПА основана главным образом на комбинации таких методов как 2D TOF MPA, болюсная МРА (БОМРА) и СКТА. При этом у каждого метода есть свои положительные и отрицательные стороны. Применение в исследовании сосудов шеи таких МР-ангиографических технологий как 3D TOF (трехмерной время-пролетной ангиографии) и 3D PC (трехмерной фазо-контрастной ангиографии) существенно ограничено. В первом случае сложно получить изображение больших анатомических пространств, например, от дуги аорты до виллизиева круга, за клинически адекватное время сканирования, а при второй технологии ограничением является важный составной компонент импульсной пос-



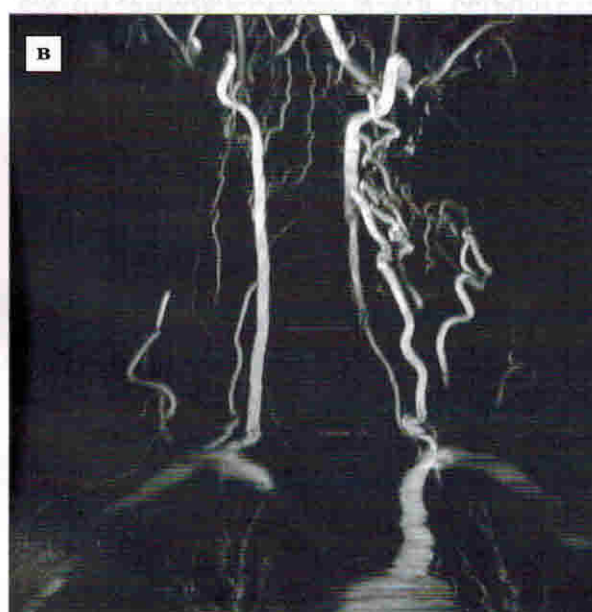
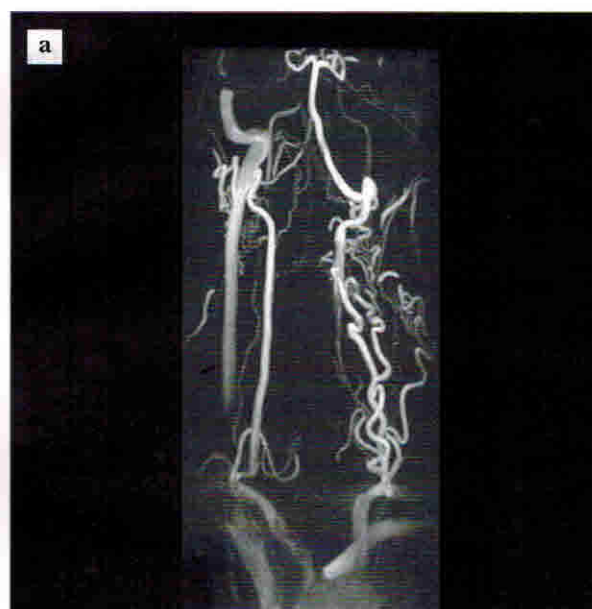
**Рис. 4.2.** МР-ангиография в режиме 3D TOF (а, б) и 2D TOF (в) у пациента с извитостью отрезка V1 обеих позвоночных артерий. Трехмерная и двухмерная МР-ангиографии получены за приблизительно одинаковое время, при этом 2D TOF позволил визуализировать весь пробег МАГ, а 3D TOF лишь частично.

ледовательности — параметр VENC (velocity encoding, кодирование скорости кровотока), от которого зависит качество отображения сосудов с различными объемными скоростями потока крови. Так как скоростные характеристики потока крови могут существенно видоизменяться в условиях патологии, даже на протяжении пробега одного сосуда, например одной ПА, то при 3D PC важным является подбор VENC для каждой конкретной ситуации (стеноз, извитость, деформация), что может приводить к увеличению времени сканирования за счет повторения программы с разными VENC (рис. 4.2, 3).

Поэтому в нашем исследовании, как правило, использовали комбинацию двух МР-ангиографических технологий, которые по нашему мнению, позволяют получить оптимальное качество МР-изображения сосудов шеи за приемлемое для пациентов время сканирования без потери в конечном итоге финальной диагностической информации.

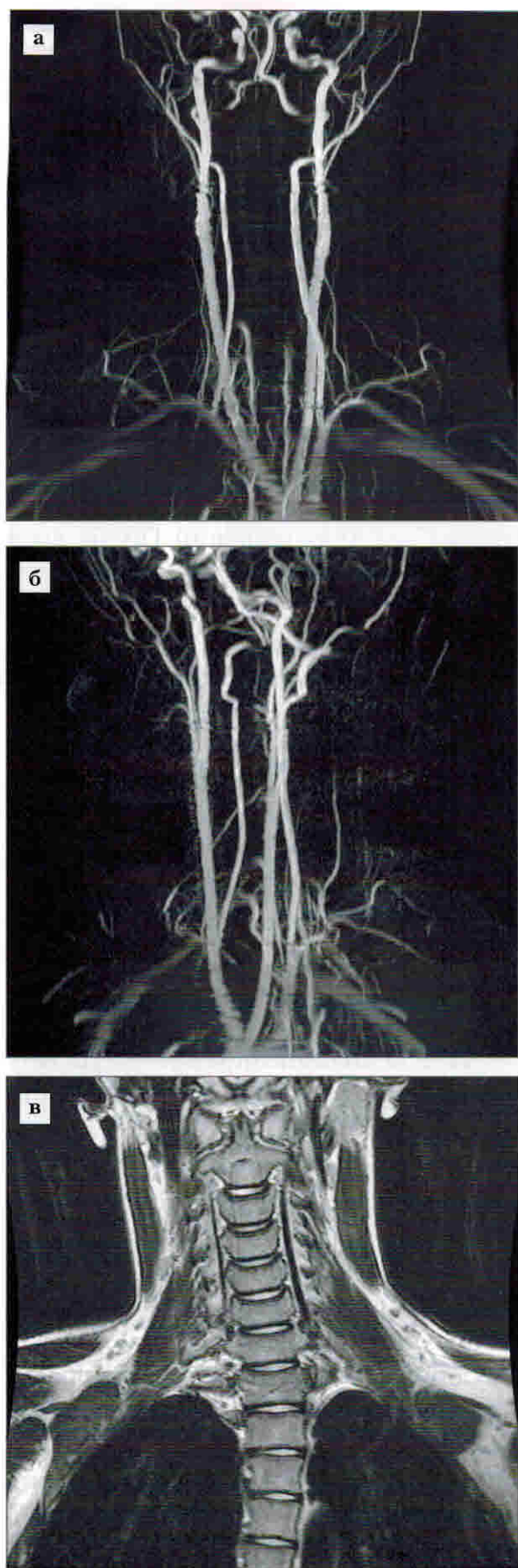
У всех 57 пациентов с деформациями ПА были использованы 2D TOF и болюсная МРА. Спиральная КТА выполнена в 19 случаях.

Использование 2D TOF МРА позволило визуализировать пробег МАГ от места отхождения от дуги аорты до виллизиева круга (обязательная область визуализации). Методика занимала относительно небольшое количество времени (макс. 10–12 мин.) и требовала параллельного использования сатурационного объема для подавления МР-сигнала от венозных образований в области шеи. Артериальные сосуды на изображениях этого типа имели высокий сигнал и хорошо контурировались на фоне низко-



**Рис. 4.3.** Аномалия позвоночной артерии слева с множественными перетоками между позвоночной артерией и ветвями аномально гипертрофированного щито-шейного ствола и восходящей артерии шеи. 3D фазо-контрастная (а, б) и 2D TOF (в) МР-ангиографии по-разному демонстрируют особенности кровотока на уровне шеи между указанными артериями, в частности, 2D TOF метод лучше визуализирует отрезки V1, V2 измененной позвоночной артерии.

го сигнала от окружающих структур. Для определения точной топической локализации патологии ПА на уровне костных каналов шейного отдела позвоночника требовалось предварительное сканирование в стандартных МРТ (T1 и T2) режимах в аксиальной, сагиттальной и фронтальной проекциях (рис. 4.4). В большинстве случаев при использовании 2D TOF режима адекватное изображение было получено в основном на сегменте V2-V4 ПА. При этом недостатком данного протокола являлось наличие артефактов от пульсации дуги аорты (преимущественно у пациентов с короткой шеей), приводящих к снижению качества изображений устья ПА практически у 50% наших пациентов. Более того, снижение качества изображения отхождения ПА от ПКА слева и брахиоцефального ствола справа становилось клинически значимым у 25% пациентов, не позволяя провести оценку начального отрезка ПА (рис. 4.5). Недостатком 2D TOF протокола является наличие у части пациентов артефактов от глотания, что приводит к появлению локальных смещений в пробеге сосуда, делая затруднительным оценку реальных деформаций ПА (рис. 4.6). Кроме того, типичным для этой техники МР-ангиографии является отсутствие сигнала от отрезков ПА в области анатомически обусловленных деформаций на уровне C1-C2 позвон-



**Рис. 4.4.** Реб. 12 лет, обследованный по поводу головных болей. При МР-ангиографии магистральных артерий шеи и головы, выполненной в режиме 2D TOF (а, б), определяется асимметрия в размерах позвоночных артерий (S больше D). Фронтальная МР-томограмма в режиме T2 (в) позволяет оценить пробег позвоночных артерий по отношению к шейным позвонкам.

ков. Некоторой компенсацией пульсационных артефактов служит использование синхронизации с сердечным ритмом и дыханием, позволяющая повысить качество изображения МАГ. Однако, при этом может увеличиваться время сканирования, что само по себе нежелательно, так как приводит к появлению артефактов от движения пациента. Или как компромисс приходится уменьшать зону анатомического захвата сосудистой системы шеи. В нашем исследовании, учитывая сочетанное использование двух, а иногда и трех ангиографических протоколов, которые взаимно компенсировали недостатки каждой из методик, добиваясь необходимой для выработки лечебной тактики диагностической информации, мы не использовали кардиосинхронизации или синхронизации с дыханием.

Болюсная контрастная МР-Ангиография (БОМРА), особенно в динамической модификации – TRICKS (GE), в отличие от 2D TOF метода при деформациях ПА продемонстрировала целый ряд преимуществ. В данном протоколе, где время сканирования составляет около одной минуты, отсутствуют артефакты от пульсации дуги аорты, глотательные и дыхательные артефакты, что не требует применения синхронизации с физиологически обусловленными движениями. При этом, внутрисосудистое контрастирование позволяло нивели-

**Диагностика стенозирующих поражений позвоночной артерии**

Из нашей серии клинических наблюдений (116 случаев) 23 пациента имели рентгенологически выявляемые стенозирующие поражения ПА и ВСА. Пациентам было проведено комплексное обследование с использованием КТ- и МР-ангиографии, а также дуплексного сканирования. 10 пациентам в условиях рентгенологического отделения НЦИ проведена прямая ангиография. Анализ сторонности поражения продемонстрировал, что у 14-ти пациентов стенозирующие поражения диагностировались слева и у 9-ти больных — справа.

В большинстве случаев стенозы ПА локализовались в сегменте V1, и лишь в отдельных наблюдениях — в других анатомических сегментах ПА. В частности, у двух пациентов — в сегменте V3 и у одного — в V4 (интракраниальный сегмент). Кроме того, в одном случае была диагностирована окклюзия ПА в сегменте V3 с развитием ишемического инсульта в области левой гемисферы мозжечка (рис. 4.21), а в другом в сегменте V1 с восходящим тромбозом позвоночной артерии и разви-

ем инсульта в проекции ствола мозга (рис. 4.22). Дополнительно в нашей серии наблюдений было диагностировано два случая с субокклюзией дистального сегмента основной артерии, который был хорошо визуализирован по данным МР- и КТ-ангиографии (рис. 4.23, 24).

В 3-х случаях было выявлено дополнительное стенозирование подключичной артерии: в 2 случаях в дистальном отделе, в одном случае — в проксимальном отделе (критический стеноз >75%) до места отхождения ПА.

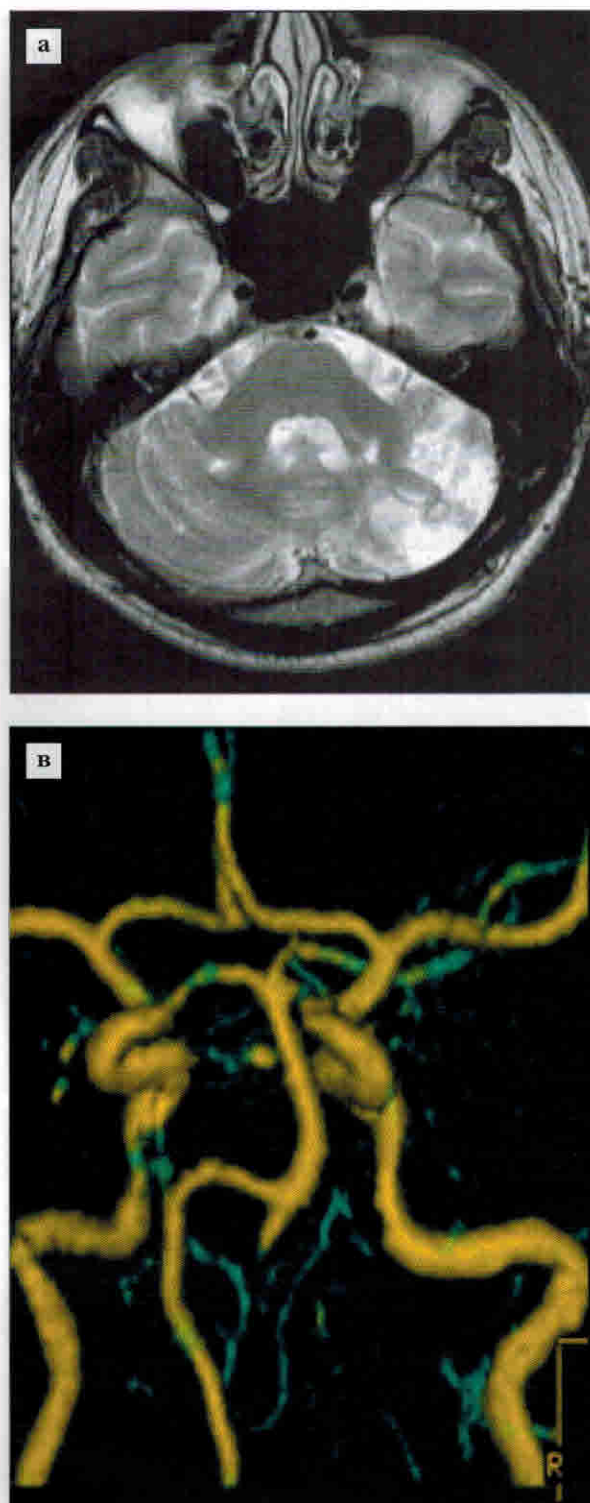
При анализе результатов КТ- и МР-ангиографических методов исследования у пациентов со стенозирующими поражениями ПА, кроме визуальной оценки локализации стеноза, проводилось определение степени стеноза пораженной артерии, используя ручной и полуавтоматический методы измерения. Методология измерения степени стеноза ПА была основана на методе NASCET. Результаты измерения представлены в таблице 4.

При проведении исследования с помощью МР-ангиографии в режиме 2D TOF во всех случаях была зарегистрирована переоценка протяженности стенотического сужения в сторону увели-

Табл. 4

**Степень выраженности стеноза позвоночной артерии**  
(23 наблюдения)

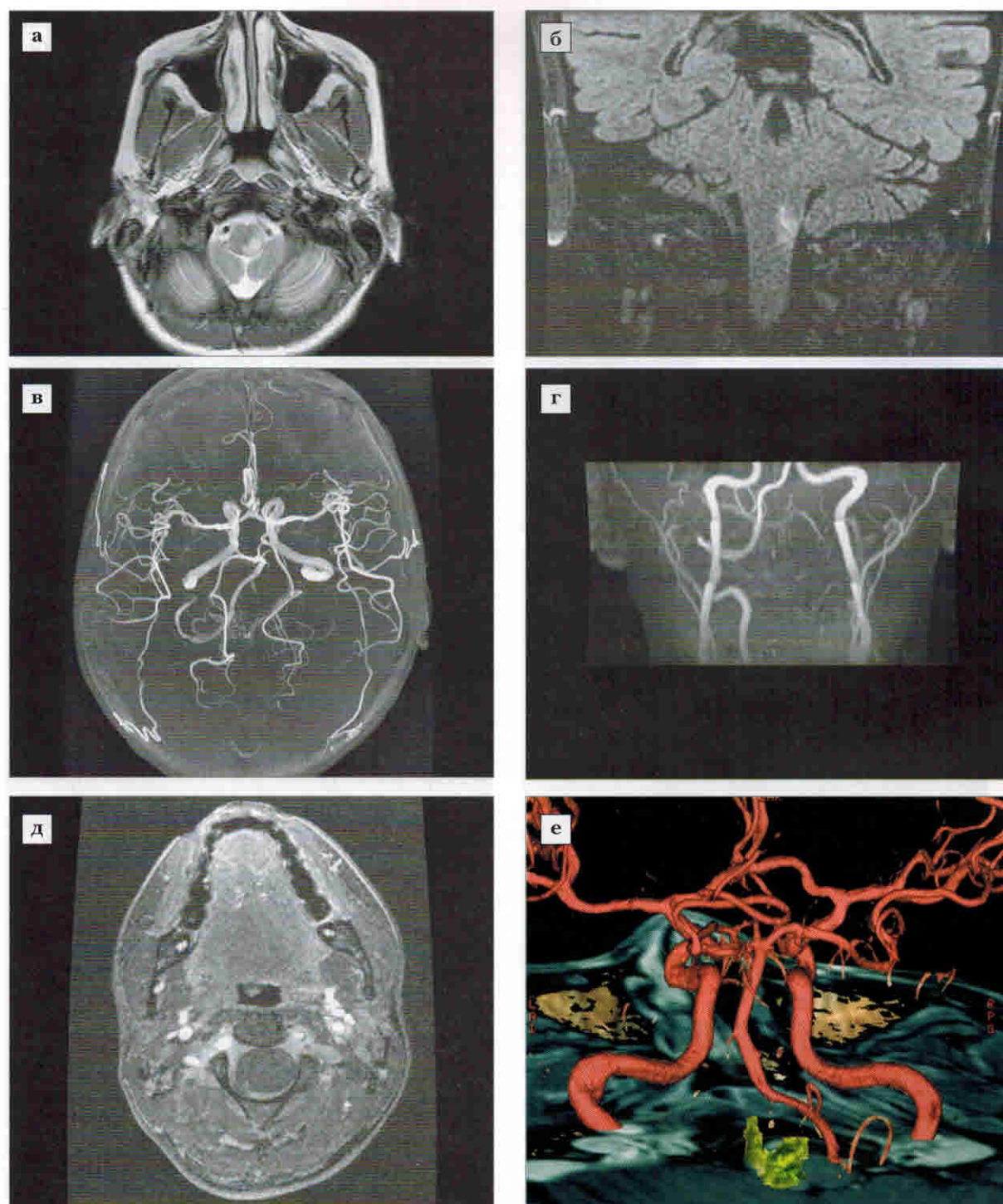
| Выраженность стеноза        | Количество больных (n=23) |
|-----------------------------|---------------------------|
| Незначительный (30% и ниже) | 10 (48%)                  |
| Умеренный (от 31% до 69%)   | 8 (38%)                   |
| Выраженный (70 % и выше)    | 3 (14%)                   |
| Окклюзия                    | 2                         |



**Рис. 4.21.** Пац., 55 л., с диагнозом: нарушение мозгового кровообращения в вертебрально-базиллярном бассейне. При исследовании выявлены: тромбоз левой ПА на уровне  $C_3-C_4$ ; а — ишемический очаг в области мозжечка слева; 2D TOF (б) МИП и объемная реконструкция (в — 3D TOF) выявляют тромбоз (отсутствие сигнала) левой ПА на участке  $V_3-V_4$ .



чения. В таких случаях потеря сигнала определялась не только от стенозированного участка, но и от прилежащего (дистального по отношению к стенозу) сегмента ПА. Это было обусловлено хорошо известным феноменом влияния на МР-визуализацию турбулентного возмущения (ускорения, движения высоких порядков, завихрения) кровотока и дополнительных фазовых сдвигов с потерей сигнала на уровне стеноза и сразу за ним (рис. 4.25). Проведенные в отделении нейрорентгенологии НИИ нейрохирургии экспериментальные исследования в условиях различных видов и протяженности стенозирующих поражений (Белова Т. В., 1998), наглядно продемонстрировали, что полная потеря сигнала, характерная для выраженного стеноза (сужение просвета 70% и более), обусловлена повышением турбулентности течения



**Рис. 4.22.** Подострый инсульт в проекции продолговатого мозга слева у пациента с повторяющимися транзиторными атаками в бассейне вертебрально-базилярной системы. МРТ в режиме T2 (а) и T2-FLAIR (б) выявляет небольших размеров участок патологического повышения МР-сигнала в левой половине продолговатого мозга. При МР-ангиографии, выполненной на двух уровнях в режиме 3D TOF (в, г) отсутствует визуализация левой позвоночной артерии. Аксиальная МРА на фоне внутривенного контрастирования выявляет практически полное отсутствие МР-сигнала от просвета левой позвоночной артерии на уровне С3–С4 (д). 3D объемная реконструкция с наложением данных ангиографии на анатомические МР-изображения определяет взаимоотношения между сосудами, мозговыми и костными структурами основания черепа (е — сосуды выделены красным цветом, область инсульта зеленым цветом).