

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СТОКА СИНУСОВ У ВЗРОСЛЫХ ЛЮДЕЙ

Малахова К. А., Трушель Н. А., Пасюк А.А.

Кафедра нормальной анатомии, Белорусский государственный медицинский университет,
Республика Беларусь, kplishch15@gmail.com

ABSTRACT

MORPHOLOGICAL AND MORPHOMETRIC FEATURES OF THE CONFLUENCE OF SINUSES STRUCTURE IN ADULTS

Background

Variants of the venous system structure of the brain should be taken into account when planning surgery for better assessment of the location and degree of tumor, vascular malformation, or other pathologies to be treated.

Material and methods

The research material consisted of computed tomographic angiography scan data from 98 patients. Reconstruction of the skull and vascular structures with 3D model construction was performed using Vidar Dicom Viewer 3 software.

The cross-sectional area of the dural venous sinuses was measured at various points and diameters were determined. The obtained data were processed using statistical methods.

Results

The types of confluence of sinuses structure have been identified and classified. Qualitative and quantitative characteristics of each type and subtype are presented. It was established that the most frequently encountered is the partial type of confluence of sinuses of the dura mater, with asymmetric structure in 55,1% of cases showing dominance of the right transverse sinus (38,78% of the total number of patients).

The occipital sinus was bifurcated in 55,1% of patients, and in 9,18% of cases was divided into multiple sinuses.

Statistically significant correlations were identified between the type of confluence of sinuses and the presence of certain forms of hypoplasia and aplasia.

Conclusions

Although anatomical variations of dural venous sinuses are frequently observed, classification by types of confluence of sinuses can help surgeons in preoperative assessment, treatment, as well as in the prevention of possible complications. Invasive procedures for patients with partial type of sinus drainage confluence or with “no confluence” type should be performed more carefully, due to possible unilateral jugular vein obstruction.

Key words: confluence of sinuses (torcular Herophili), dural venous sinuses, morphology.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Исследование венозного оттока от головы, в том числе по венозным синусам, образованным твердой оболочкой головного мозга (ТМО), представляет собой важную медицинскую задачу, так как своевременная диагностика поражения (тромбоз, разрыв) синусов ТМО, особенно на уровне стока синусов, может быть затруднена. Несвоевременное выявление патологии может привести к быстрому прогрессированию внутричерепной гипертензии, ишемии, геморрагическим осложнениям и, в ряде случаев, к летальному исходу [1, 2].

Несмотря на наличие современных методов нейровизуализации, таких как компьютерная томография с ангиоконтрастированием и магнитно-резонансная томография [3], диагностика поражений венозных синусов и прогнозирование их осложнений остаётся сложной медицинской задачей, особенно учитывая наличие анатомических вариантов синусов. В связи с этим, изучение строения и морфометрических характеристик венозных синусов, включая область их стока, у взрослого человека имеет высокую клиническую значимость.

Полученные результаты могут способствовать улучшению диагностики поражений венозных синусов и повышению точности интерпретации исследований венозной системы головы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили архивные данные сканов компьютерной томографии (КТ) с ангиоконтрастированием 98 пациентов (мужчины: 29 человек (29,59%), женщины: 69 человек (70,41%)), в возрасте от 19 до 87 лет, проходивших обследование в УЗ «Минский клинический консультативно-диагностический центр».

Средний возраст обследованных составил $58,28 \pm 14,45$ года. В исследование не включались пациенты при наличии одного из следующих критериев: 1) обнаружение образований, сдавливающих или проникающих в венозные синусы ТМО; 2) наложение анатомических структур, затрудняющих визуализацию; 3) наличие артериовенозных мальформаций; 4) тромбоз вен головного мозга в анамнезе.

Особенности слияния и размеры венозных синусов ТМО определялись на основании 3D-моделей, созданных с помощью реконструкции изображений КТ в программе Vidar DICOM Viewer 3 (Россия).

Поскольку форма венозных синусов ТМО далека от круглой и в зависимости от выбора точки отсчета при измерении диаметра значения варьируют, для более точного определения диаметра были проведены измерения площади поперечного сечения венозных синусов ТМО с помощью инструмента «кривая» в программе Vidar, полученные данные площади поперечного сечения были аппроксимированы площадью круга для вычисления эквивалентного диаметра сечения (D_s).

Измерения площади поперечного сечения каудального отдела верхнего сагиттального синуса (ВСС), прямого синуса (ПрС) и начальных отделов правого поперечного синуса (ППС) и левого поперечного синуса (ЛПС) проводилось на расстоянии 1 см от места формирования стока синусов.

Площадь сечения дистальных отделов ППС и ЛПС, а также сигмовидного синуса (СС) были оценены на расстоянии 1 см от места перехода поперечного синуса (ПС) в СС.

В описанных точках производилось рассечение синуса с помощью инструмента «нож» в программе Vidar по оси, перпендикулярной продольной оси изучаемого венозного синуса ТМО. Впоследствии на срезе изучаемого синуса проводилось измерение площади поперечного сечения.

Для парных венозных синусов ТМО, таких как поперечные и сигмовидные синусы, была проведена сравнительная оценка их диаметров на наличие гипоплазии и аплазии.

Если разница между диаметрами парных синусов была менее 25%, то размеры таких синусов считались равными; при различии диаметров синусов в диапазоне 25-75%, для меньшего из них отмечалось наличие легкой гипоплазии (ЛГ), при значении $>75\%$ отмечалась тяжелая гипоплазия, либо аплазия (при отсутствии синуса).

Помимо описанных параметров, оценивалось наличие нижнего сагиттального синуса (НСС) и затылочного синуса (ЗС).

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе «Microsoft Excel 2016».

Все значения были проанализированы с использованием методов описательной статистики: были рассчитаны среднее значение ($\bar{x}$), стандартное отклонение (s) и стандартная ошибка среднего (SEM).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования были оценены и проанализированы такие параметры, как место дренирования ВСС и ПрС, визуализация ПС, наличие анастомоза между поперечными венозными синусами.

В результате определены основные типы строения стока синусов: полное слияние ВСС, ПрС, ПС определялось как тип 1; частичное слияние, при котором один из синусов не участвовал в образовании стока синусов, классифицировалось как тип 2; отсутствие слияния между синусами отмечалось как тип 3.

Самым распространенным типом являлось частичное слияние синусов (тип 2), определенное у 91,84% пациентов. В 7,14% отмечался тип 1, в 1,02% – тип 3.

При частичном слиянии синусов (тип 2) было определено 9 подтипов с различными вариантами формирования стока синусов. Краткая характеристика каждого типа и подтипа представлена в таблице 1.

Среди всех подтипов при частичном слиянии синусов ТМО (тип 2) самыми частыми были 2.3 и 2.4 подтипы слияния стока синусов, отмеченные у 28,57% и 29,59% пациентов соответственно.

Тип 3 отмечался у 1 пациента, однако диаметры поперечного сечения венозных синусов ТМО данного пациента не были измерены из-за низкого качества венозной фазы в исследовании.

Таблица 1. Варианты классификации синусного стока

Тип 1	ВСС, ПрС и оба ПС соединяются в одной точке
Тип 2	Слияние трёх венозных синусов из 4 возможных
Подтип 2.1	ВСС впадает в один из ПС, ПрС впадает в место соединения ПС
Подтип 2.2	Агенезия одного из ПС, ВСС, ПрС впадают в общую точку с нормальным ПС
Подтип 2.3	ВСС и ПрС расщепляются и впадают отдельно в правый и левый ПС
Подтип 2.4	ВСС впадает в один из ПС, ПрС расщепляется и впадает в один из ПС и в точку соединения другого ПС с ВСС
Подтип 2.5	ПрС впадает в один из ПС, ВСС расщепляется и впадает в один из ПС и в точку соединения другого ПС с ПрС
Подтип 2.6	ВСС расщепляется и впадает отдельно в левый и правый ПС, ПрС впадает в место соединения ПС
Подтип 2.7	ПрС расщепляется и впадает отдельно в левый и правый ПС, ВСС впадает в место соединения ПС
Подтип 2.8	ВСС впадает в один из ПС, ПрС впадает в другой ПС; ПС между собой соединены
Подтип 2.9	ВСС имеет несколько точек соединения с ПС, ПрС впадает в место слияния ПС
Тип 3	Отсутствие слияния синусов, соединяются только два синуса из четырех

ЗС визуализировался у 90,81% пациентов. При исследовании ЗС были описаны частые случаи расщепления на 2 и более небольших синуса.

В 94,9% случаев у пациентов визуализировался НСС.

Среднее значение D_3 венозных синусов ТМО для каждого из типов и подтипов стока синусов представлено в таблице 2.

Таблица 2. Изменчивость диаметра венозных синусов ТМО по группам (мм)

Исследуемый признак \ Тип стока синусов		Тип 1	Тип 2.1	Тип 2.2	Тип 2.3	Тип 2.4	Тип 2.5	Тип 2.6	Тип 2.7	Тип 2.8	Тип 2.9
ВСС	D_3	6,34-7,33	5,9-7,52	4,63-7,24	5,65-7,95	4,56-7,64	6,18-7,43	6,47-7,22	5,38-7,1	5,11-8,35	6,31
		6,74	6,68	6,01	6,64	6,39	6,81	6,95	6,16	6,22	
	s	0,35	0,45	0,94	0,62	0,75	0,47	0,42	0,71	1,84	
	SEM	0,13	0,14	0,38	0,12	0,14	0,19	0,24	0,36	1,06	
ПрС	D_3	3,29-4,54	2,5-6,1	3,4-5,2	2,96-5,27	2,5-5,46	3,31-5,29	4,22-4,97	3,25-4,49	3,81-5,76	3,71
		4,01	4,16	4,19	4,29	4,20	4,35	4,66	4,10	4,68	
	S	0,50	1,07	0,69	0,63	0,75	0,79	0,39	0,57	0,99	
	SEM	0,19	0,34	0,28	0,12	0,14	0,32	0,23	0,28	0,57	
ППС1	D_3	3,55-8,06	5,83-8,89	5,61-9,23	4,15-9,33	1,89-8,94	4,92-7,54	5,63-8,1	5,52-7,48	5,46-9,52	4,71
		6,76	7,19	7,41	6,39	5,97	6,65	6,86	6,39	6,95	
	s	1,80	1,10	1,55	1,39	2,07	0,92	1,24	0,82	2,23	
	SEM	0,68	0,35	0,77	0,26	0,38	0,38	0,71	0,41	1,29	

ППС2	D ₃	4,82-8,53	6,28-9,4	3,57-9,4	2,65-10,62	3,57-9,7	3,4-8,48	7,18-8,42	6,1-7,92	5,98-7,56	6,94
		7,47	7,38	6,83	7,29	7,10	6,69	7,84	7,05	6,94	
	S	1,31	1,08	2,20	1,72	1,53	1,77	0,62	0,75	0,85	
	SEM	0,49	0,34	0,90	0,32	0,28	0,72	0,36	0,37	0,49	
ЛПС1	D ₃	5,14-8,19	3,29-8,05	7,99-8,54	3,55-8,51	3,59-9,44	4,71-7,7	6,45-7,18	3,66-8,08	1,64-5,12	5,73
		6,63	5,34	8,27	5,74	5,82	6,49	6,82	5,90	3,30	
	s	1,14	1,26	0,39	1,31	1,45	1,09	0,37	2,00	1,75	
	SEM	0,43	0,40	0,27	0,25	0,27	0,45	0,21	1,00	1,01	
ЛПС2	D ₃	6,65-8,22	5,16-8,48	3,09-8,51	2,65-8,79	4,04-9,52	5,47-8,26	7,88-8,81	5,39-8,6	2,47-10,19	6,97
		7,44	6,59	5,33	6,73	7,05	7,40	8,43	7,39	6,33	
	s	0,64	0,95	2,33	1,37	1,40	1,01	0,49	1,51	5,46	
	SEM	0,24	0,30	0,95	0,26	0,26	0,41	0,28	0,76	3,86	
ПСС	D ₃	4,01-9,23	6,18-9,79	3,96-9,88	4,43-10,57	2,83-9,33	5,98-8,12	6,72-8,04	6,33-8,27	6,23-7,28	7,08
		7,38	7,77	7,22	7,36	6,97	6,69	7,47	7,56	6,64	
	s	1,65	1,28	2,36	1,66	1,55	0,80	0,68	0,85	0,56	
	SEM	0,62	0,4	0,95	0,31	0,29	0,33	0,39	0,43	0,32	
ЛСС	D ₃	5,44-8,50	5,02-9,1	3,25-10,44	4,37-8,5	4,05-10,49	5,76-7,89	6,72-7,23	5,03-8,8	4,36-9,12	6,25
		7,19	6,31	5,91	6,53	7,05	6,90	7,02	6,82	6,74	
	s	1,14	1,16	3,34	1,10	1,76	0,77	0,27	1,69	3,37	
	SEM	0,43	0,39	1,36	0,21	0,33	0,31	0,15	0,84	2,38	

Примечание. Для типа 2.9 указаны только значения эквивалентного диаметра, поскольку в данной группе был один пациент.

Наибольшее среднее значение эквивалентного диаметра начальных отделов ПС отмечено в группе с подтипом 2.2, что было связано с компенсаторным увеличением при коллатеральном оттоке из-за агенезии одного из ПС. У пациентов с подтипом 2.6 отмечалось наибольшее среднее значение диаметров ВСС, дистальных отделов ППС и ЛПС.

Как было указано выше, группа, в которой наблюдалось соединение ВСС, ПрС и двух ПС в одной точке, была определена как истинное слияние (Тип I). Такой тип встречался в 7,14% случаев.

При данном слиянии ВСС и ПрС впадают в место соединения ПС (рис. 1а). Разница в диаметрах парных синусов варьировала от 4 до 35%. У 42,86% пациентов данной группы отмечалось наличие лёгкой гипоплазии начальных отделов ЛПС, у 28,57% – ППС.

По направлению к СС сохранялась лёгкая гипоплазия дистальных отделов ПС и самих сигмовидных синусов у 28,57% пациентов. ЗС визуализировался в 71,43% случаев у пациентов этого типа и был раздвоен. НСС визуализировался у всех пациентов за исключением одного (14,29%).

Для подтипа 2.1 характерно смещение ВСС относительно срединной линии в одну из сторон и дренирование в ППС или ЛПС соответственно. Прямой синус, в свою очередь, впадает в место соединения двух ПС (рис. 1б).

Данный подтип был определен у 10 человек (10,2%). Для 80% пациентов этого подтипа было характерно впадение ВСС в ППС, что в 50% случаев сопровождалось гипоплазией начальных отделов ЛПС, а в 62,5% наблюдений сопровождалось гипоплазией левого СС. У 10% пациентов этого подтипа описана агенезия левого СС. НСС и ЗС визуализировались во всех случаях.

Отмечалось раздвоение ЗС, также было выявлено разделение ЗС на множество мелких синусов у 1 пациента с гипоплазией ЛПС и ЛСС.

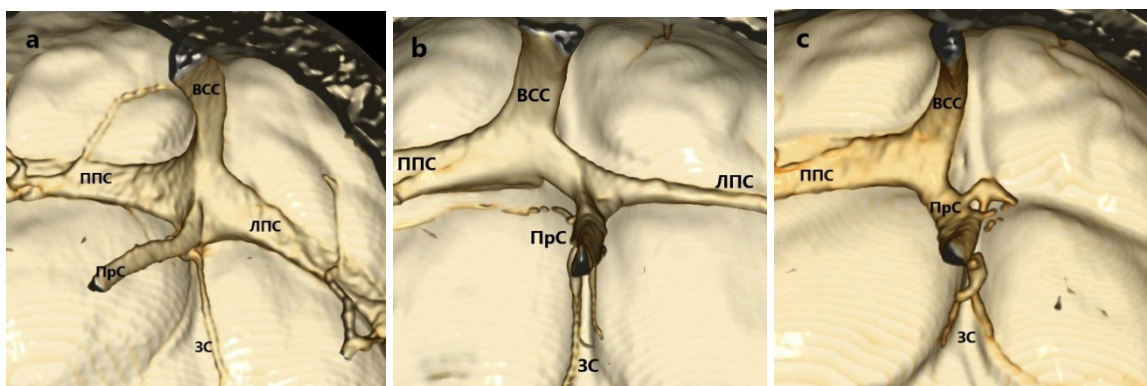


Рис. 1. Примеры строения стока синусов у взрослого человека. а – тип 1; б – подтип 2.1; с – подтип 2.2.

При наличии агенезии одного из ПС, случай классифицировался как подтип 2.2. При этом ВСС дренировался в противоположный ПС, а ПрС часто раздваивался с формированием двух небольших синусов, один из которых участвовал в формировании стока синусов, а второй был слепо замкнут вследствие агенезии соответствующего ПС (рис. 1с).

Данный подтип был описан у 6,12% исследуемых. Чаще обнаруживалась агенезия ЛПС (66,67%). НСС и ЗС присутствовали у всех пациентов, ЗС был в большинстве случаев раздвоен.

Несмотря на агенезию одного из ПС, сигмовидные синусы были выражены с обеих сторон, что обусловлено наличием притоков дистальнее места формирования ПС.

Подтип 2.3 характеризовался расщеплением ВСС и ПрС и впадением в оба поперечных синуса (рис. 2а).

Данный тип был одним из самых распространенных и описан у 28,57% человек. У половины пациентов данной группы отмечалось наличие лёгкой гипоплазии одного из ПС (в 32,14% случаев – ЛПС, в 17,86% случаев – ППС).

Практически у всех пациентов гипоплазия ПС сопровождалась гипоплазией соответствующего СС. НСС и ЗС визуализировались в 96,43% случаев. Среди пациентов данного подтипа отмечалось равное количество случаев наличия как одиночного, так и расщепленного ЗС.

Помимо этого, для подтипа 2.3 было характерно наличие стеноза ВСС, что было отмечено у 10,7% пациентов данной группы. У 10,71% людей наблюдалось раннее.

Данный вариант строения необходимо учитывать при интерпретации результатов нейровизуализации, поскольку он может быть воспринят как тромбоз ВСС, что приведет к диагностическим ошибкам [1]. У 1 исследуемого с фенестрированным ВСС наблюдалось его разделение на 4 отдельных синуса, дренирующих по 2 в каждый ПС (рис. 2б).

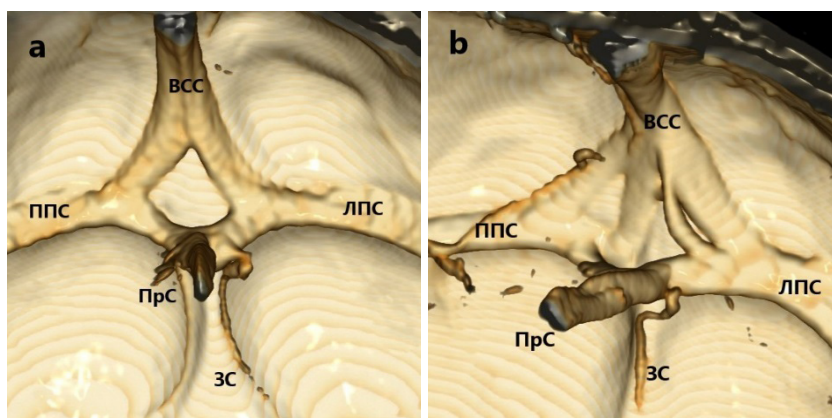


Рис. 2. Строение стока синусов у пациентов с типом 2.3. а – классический вариант строения с данным типом; б – наличие дополнительных анастомозов ВСС с ПС.

Для пациентов с подтипом синусного стока 2.4 было характерно смещение ВСС относительно срединной линии вправо либо влево, что сопровождалось его впадением исключительно в ППС или в ЛПС соответственно.

При этом ПрС расщеплялся на два синуса, дренирующихся в оба ПС (рис. 3).

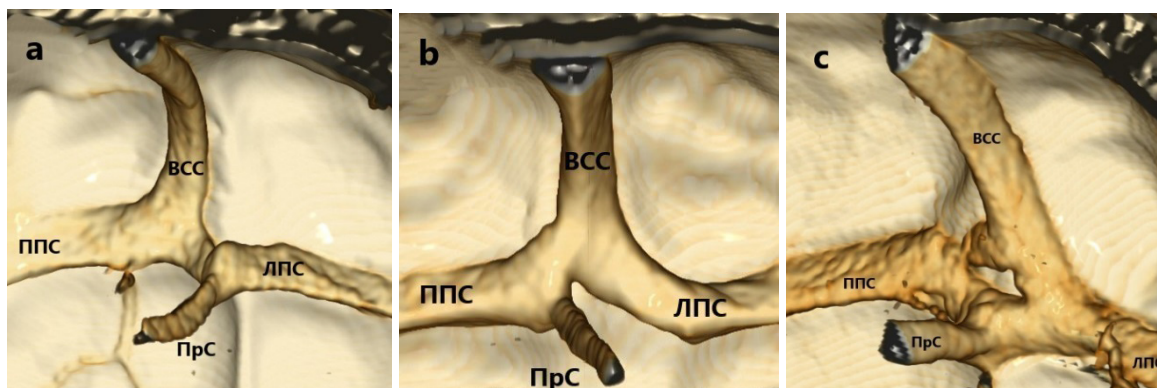


Рис. 3. Примеры строения стока синусов у взрослого человека. а – подтип 2.4; б – подтип 2.5; с – подтип 2.6.

Данный вид стока синусов был самым распространенным, на его долю приходилось 29,9% случаев от общего числа пациентов.

При таком типе соединения венозных синусов ТМО часто наблюдалась лёгкая гипоплазия одного из ПС: в 28,6% случаев описана гипоплазия правого ПС, в 34,5% – левого.

Данная тенденция сохранялась и для СС: у 24,14% исследуемых данной группы наблюдалась легкая гипоплазия ПСС, с гипоплазией левого СС определялось 28,57% случаев. У 24,14% пациентов этого подтипа формировался анастомоз между ПС. Практически во всех случаях визуализировался НСС и ЗС. ЗС был преимущественно раздвоенным.

При определении подтипа 2.5 обращалось внимание на наличие бифуркации ВСС и дренирование в оба ПС, а также отдельное впадение ПрС в один из ПС (рис. 3б).

В данной группе у 66,67% пациентов ПрС впадал в ППС. Несмотря на вариацию места дренирования ПрС, практически во всех случаях разница между диаметрами парных синусов не превышала 25%. НСС визуализировался во всех случаях. ЗС отсутствовал у одного пациента этого подтипа.

Подтип 2.6 представлял собой вариацию подтипа 2.5. Как и в предыдущей группе ВСС расщеплялся на два сосуда и впадал отдельно в правый и левый ПС, однако отличительной особенностью стало дренирование ПрС в место соединения ПС (рис 3с). У таких пациентов не было гипоплазии/аплазии парных синусов. НСС и ЗС визуализировались в 66,67% случаев.

У людей, имеющих подтип 2.7, наблюдалось впадение ВСС в точку соединения ПС и расщепление ПрС с оттоком венозной крови по двум ПС (рис. 4а). В 50% случаев была определена гипоплазия левого ПС. НСС и ЗС были выражены у всех пациентов. ЗС был одиночным у этого подтипа.

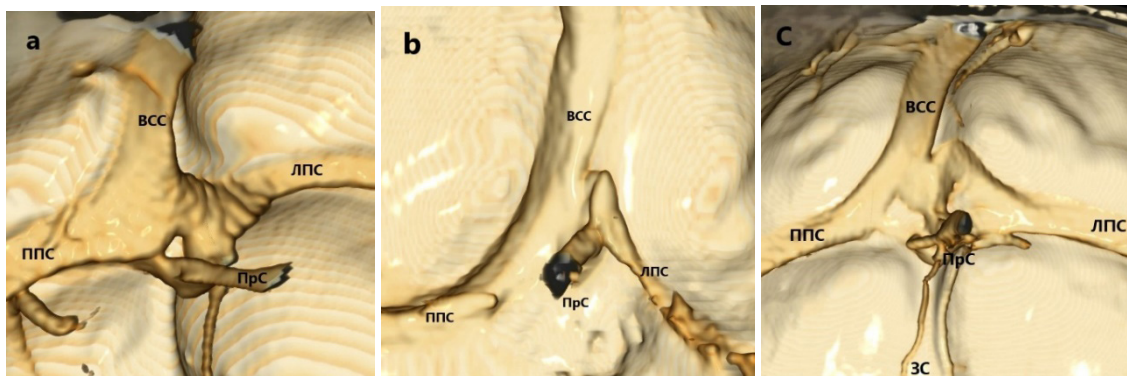


Рис. 4. Примеры строения стока синусов у взрослого человека. а – подтип 2.7; б – подтип 2.8; с – подтип 2.9.

Самое высокое среднее значение диаметра прямого синуса диагностировано у пациентов с подтипом стока синусов 2.8.

Характерной особенностью у таких людей является вариабельность места дренирования венозных синусов ТМО. ВСС и ПрС впадают в противоположные ПС (рис. 4б).

Была отмечена тенденция к наличию гипоплазии ЛПС у всех исследуемых в данной группе. В 66,67% случаев ВСС впадал в ППС. У 33,33% пациентов ВСС дренировался в ЛПС и отмечалась агенезия дистального отдела ЛПС, а также ЛСС.

Отличительной чертой подтипа 2.8 от типа 3 было наличие анастомоза между ВСС и ПрС. Отмечалось расположение ПС на разных уровнях. НСС и ЗС присутствовали у всех пациентов этого подтипа.

В отдельную группу с названием подтип 2.9 был вынесен случай с образованием нескольких мест дренирования ВСС с ПС (рис. 4с).

Различия в размерах парных синусов не превышало 25%, что дает возможность говорить о симметрии.

Во время исследования у одного из пациентов наблюдалось отсутствие стока синусов, что отмечалось как тип 3. В представленном случае диагностировалась агенезия соединения ПС и впадение ВСС и ПрС в разные ПС.

Из-за проблем с четкой визуализацией границ некоторых синусов и, соответственно, невозможностью провести точные измерения, у данного пациента не определялись диаметры венозных синусов ТМО.

Таким образом, подтип синусного стока был ассоциирован с наличием гипоплазии/аплазии ПС ($\chi^2 = 59,10$, $p < 0,05$), что говорит о наличии статистически значимой связи между подтипом синусного стока и состоянием венозных синусов ТМО.

Для подтипа 2.2 свойственна исключительно аплазия одного из ПС, а для групп с подтипом 2.3 и 2.4 доказано преобладание гипоплазии одного из ПС (преимущественно левого).

Статистическая обработка полученных морфометрических данных не выявила достоверной зависимости диаметра правого и левого ПС от наличия анастомоза между ними ($p > 0,05$).

Проверка связи между типом стока синусов и наличием расщепления ЗС показала отсутствие статистически значимых различий ($p > 0,05$).

ВЫВОДЫ

1. Частичное слияние ВСС, ПрС и ПС (тип 2) является доминирующим анатомическим вариантом строения стока синусов ТМО, наблюдаемым в 91,84% случаев. Среди подтипов частичного слияния наиболее распространены варианты 2.3 и 2.4 (28,57% и 29,59% соответственно).

2. Установлена значительная вариабельность диаметров венозных синусов ТМО в зависимости от типа стока. Для подтипа 2.2 характерно наибольшее среднее значение диаметров ППС и ЛПС, что связано с развитием коллатерального кровотока. Определено, что наличие дополнительных анастомозов между ПС не оказывает существенного влияния на их диаметр.

3. В 55,1% случаев наблюдается гипоплазия и аплазия одного из ПС, при этом в 70,37% случаев диаметр правого ПС был больше диаметра левого ПС более чем на 25%. Определенный вид синусного стока коррелировал с наличием гипоплазии/аплазии ПС ($\chi^2 = 59,10$, $p < 0,05$).

4. У 94,9% и 90,81% исследуемых визуализировался НСС и ЗС соответственно. Затылочный синус у 55,67% пациентов был раздвоен, а в 9,27% случаев был разделен более, чем на два отдельных синуса. Не установлена связь между наличием расщепления ЗС и другими параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anatomy imaging and hemodynamics research on the cerebral vein and venous sinus among individuals without cranial sinus and jugular vein diseases / L. Liu [et al.] // Front Neurosci. – 2022. – V. 16. – 16 p. – DOI: 10.3389/fnins.2022.999134.
2. Cerebral venous impairment and cerebral venous sinus thrombosis / J. Wang [et al.] // Brain Hemorrhages. – 2024. – P. 131-142. – DOI: 10.1016/j.hest.2024.03.002.
3. Factors influencing therapy choice and clinical outcome in cerebral venous sinus thrombosis / D. Krajíčková [et al.] // Sci Rep. – 2020. – V. 10. – №.1. – 8 p. – DOI: 10.1038/s41598-020-78434-8.