

Возможности фазо-контрастной МРТ в оценке гемодинамических нарушений при цереброваскулярной недостаточности

Богомякова О.Б., Станкевич Ю.А., Тулупов А.А.

к.м.н., врач отделения МРТ Технологии
ФГБУН Международный томографический центр СО РАН

VIII СЪЕЗД КАРДИОЛОГОВ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА
ОТ ПЕРВИЧНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ ДО ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В КАРДИОЛОГИИ

Кемерово, 2019

Инсульт: статистика

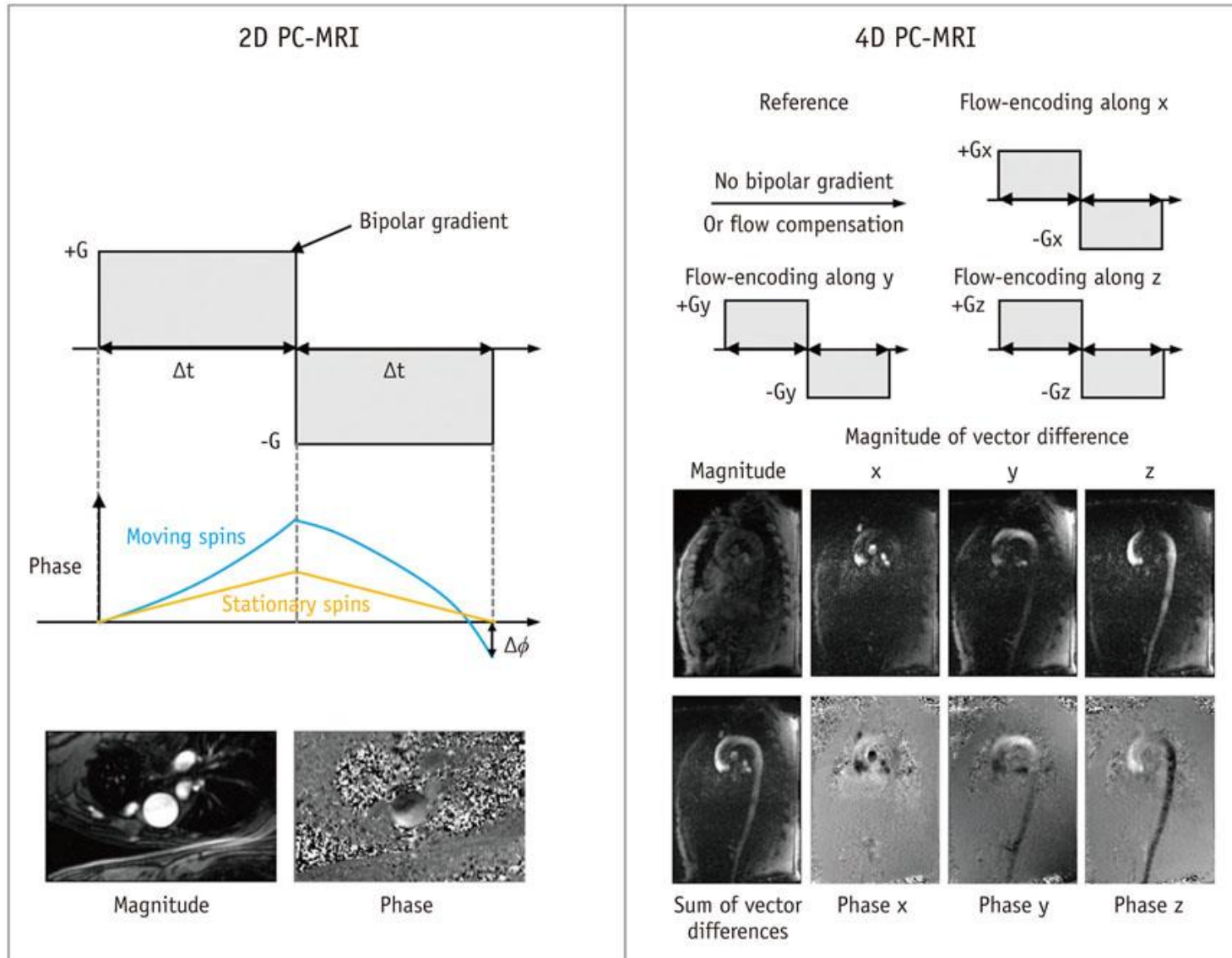
Инсульты являются вторыми среди причин смерти и третьими среди причин инвалидизации

Bulletin of the World Health Organization 2016;94:634-634A. doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.16.181636>

Global Health Estimates 2016: 20 Leading Causes of DALY globally, 2016 and 2000									
Global									
2016					2000				
Rank	Cause	DALYs (000s)	% DALYs	DALYs per 100,000 population	Rank	Cause	DALYs (000s)	% DALYs	DALYs per 100,000 population
0	All Causes	2 668 476	100,0	35 761	0	All Causes	2 813 785	100,0	45 821
1	Ischaemic heart disease	203 700	7,6	2 730	1	Lower respiratory infections	205 116	7,3	3 340
2	Stroke	137 941	5,2	1 849	2	Ischaemic heart disease	157 619	5,6	2 567
3	Lower respiratory infections	129 690	4,9	1 738	3	Diarrhoeal diseases	157 556	5,6	2 566
4	Preterm birth complications	101 397	3,8	1 359	4	Preterm birth complications	133 300	4,7	2 171
5	Road injury	82 538	3,1	1 106	5	Stroke	123 063	4,4	2 004
6	Diarrhoeal diseases	81 743	3,1	1 095	6	Birth asphyxia and birth trauma	104 379	3,7	1 700
7	Chronic obstructive pulmonary disease	72 512	2,7	972	7	HIV/AIDS	90 629	3,2	1 476
8	Diabetes mellitus	65 666	2,5	880	8	Chronic obstructive pulmonary disease	70 899	2,5	1 155
9	Birth asphyxia and birth trauma	63 928	2,4	857	9	Tuberculosis	70 474	2,5	1 148
10	Congenital anomalies	62 980	2,4	844	10	Road injury	69 837	2,5	1 137

Global Health Estimates 2016: Disease burden by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2016. Geneva, World Health Organization; 2018.

Фазо-контрастная МРТ



PC = phase-contrast, 2D = two-dimensional, 4D = four-dimensional

Korean J Radiol. 2016 Jul-Aug;17(4):445-462. <https://doi.org/10.3348/kjr.2016.17.4.445>

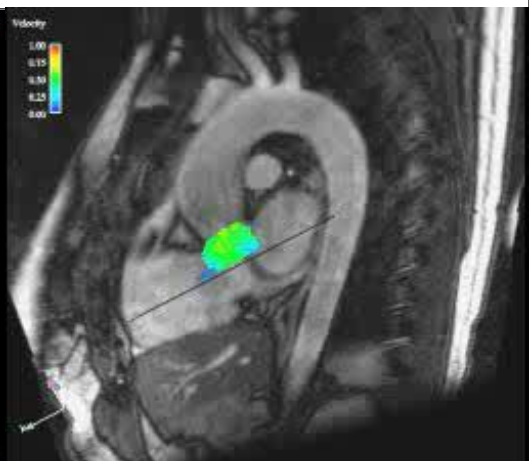
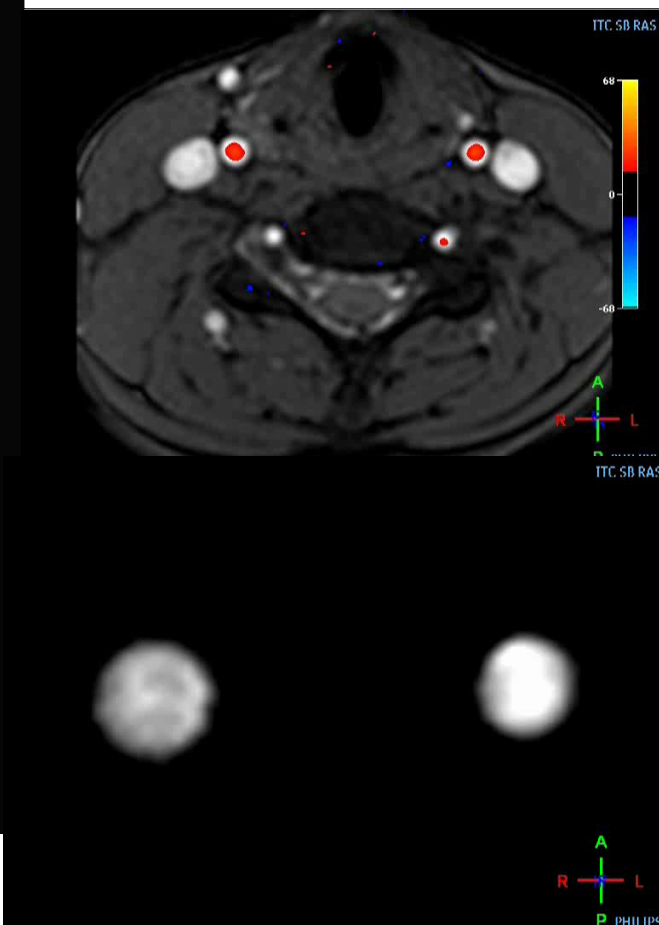
Copyright © 2016 The Korean Society of Radiology

Фазо-контрастная ангиография

Качественная оценка 3D



Количественная оценка
2D 4D



Michael Markl, Ph.D.,
Freiburg University, F Germany

2D Фазо-контрастная ангиография

ретроспективная кардиосинхронизация (15 фаз)

TR= 14 ms, TE = 8.3 ms

воксель = 0,59x0,59x5 мм

Venc = 80 см/с

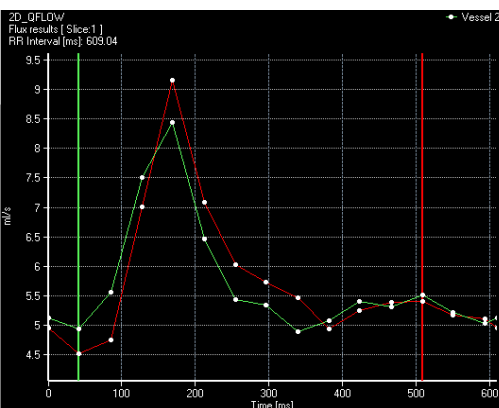
NSA = 2

FA = 15°

время = 1 мин 30 с

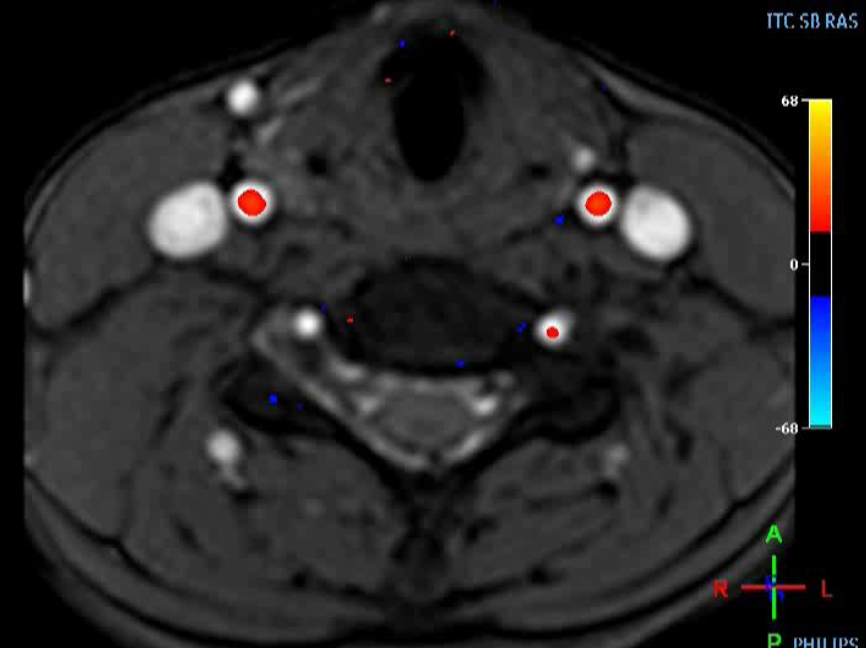
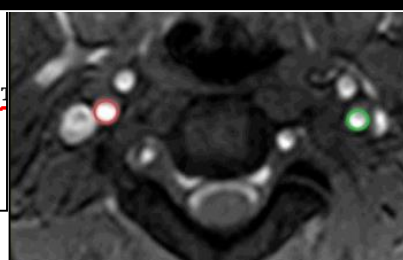
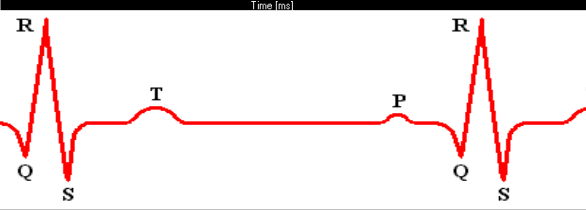
ориентация – перпендикулярно направлению

тока крови



→ Vessel 2 Slice1 Vessel 1

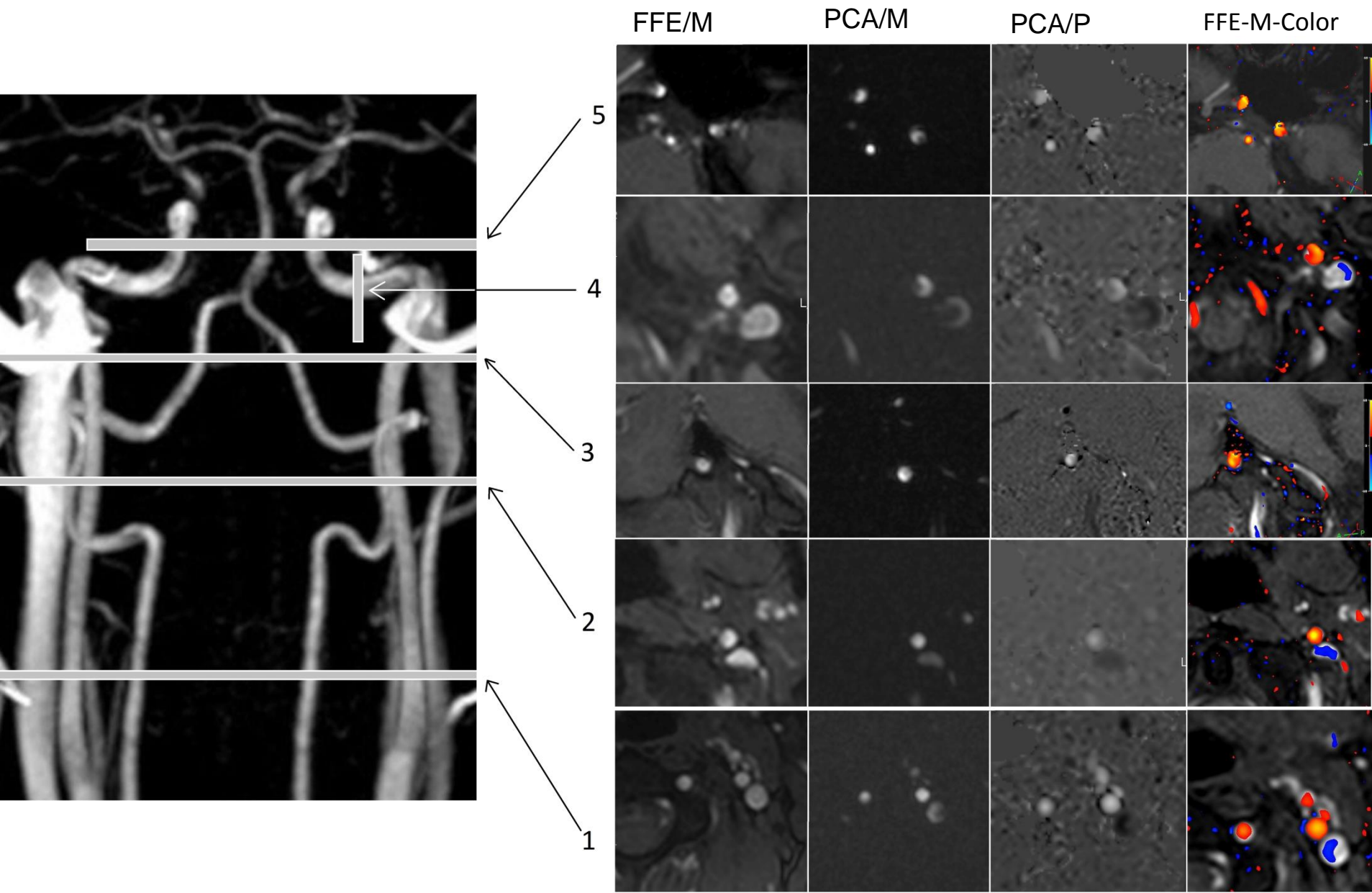
Nr	Trigger Delay [ms]	Flux [ml/s]	Area [cm²]	No. Of Pixels [pixels]	Mean Velocity [cm/s]	Max Velocity [cm/s]	Min Velocity [cm/s]	Peak Velocity [cm/s]	Vel Stdev [cm/s]
1	0	5.0	0.2	62	23.3	37.5	12.8	37.5	6.2
2	42	4.5	0.2	60	21.9	34.6	12.9	34.6	5.8
3	85	4.7	0.2	60	23.0	37.2	9.8	37.2	6.6
4	127	7.0	0.2	66	31.0	48.5	12.8	48.5	8.5
5	169	9.2	0.3	76	35.1	58.6	17.9	58.6	10.8
6	212	7.1	0.2	71	29.1	48.5	6.1	48.5	10.7
7	254	6.0	0.2	69	25.5	39.8	6.9	39.8	8.2
8	296	5.7	0.2	70	23.9	39.0	7.5	39.0	7.8
9	339	5.5	0.2	72	22.1	38.9	4.8	38.9	7.8
10	381	4.9	0.2	63	22.8	35.0	7.8	35.0	6.7
11	423	5.3	0.2	66	23.2	37.4	7.5	37.4	7.4
12	466	5.4	0.2	64	24.5	38.6	9.8	38.6	7.3
13	508	5.4	0.2	70	22.5	39.7	5.4	39.7	8.0
14	550	5.2	0.2	66	22.8	39.0	7.7	39.0	7.6
15	593	5.1	0.2	68	21.9	39.1	9.2	39.1	7.5
16	609	5.0	0.2	62	23.3	37.5	12.8	37.5	6.2



Получаемые характеристики

- 1) Изображение (FFE/M; PCA/M; PCA/P, FFE/M-color)
- 2) Скоростные характеристики
 - Линейная скорость – см/с
 - Объемная скорость – мл/с
 - Пиковая скорость – см/с
- 3) Распределение скоростных характеристик внутри ROI и в течение кардиоцикла
- 4) Площадь поперечного сечения

2D Фазо-контрастная ангиография

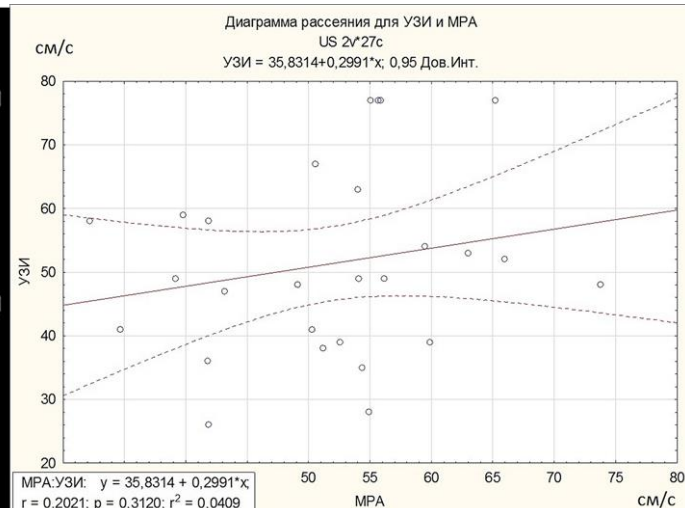
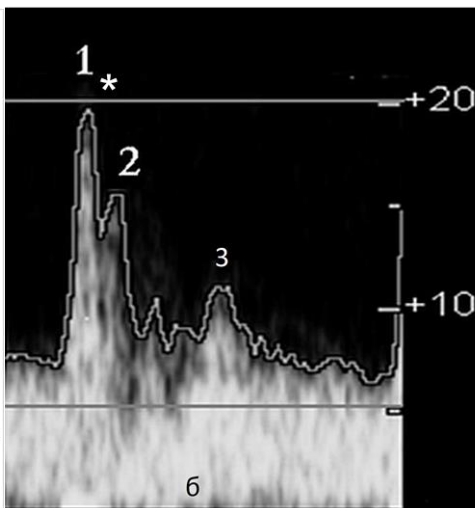
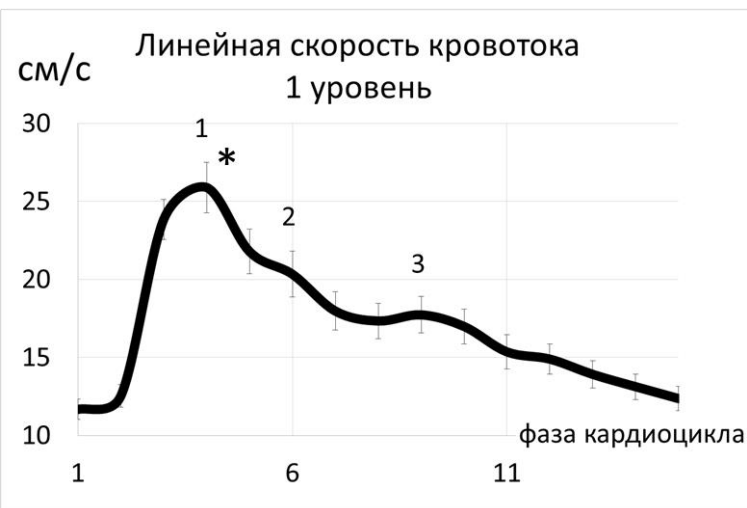


Результаты «in vivo». УЗИ

2D PCA



УЗДС



Соответствие пикам огибающей кривой при доплерографии:

- 1 систолический пик
- 2 катакrotический зубец
- 3 диастолический пик

Пиковая систолическая скорость*	*2D PCA	УЗДС (Vps)
Среднее (см/с)	52,3	51,3
Доверит. Интервал	3,8	5,5

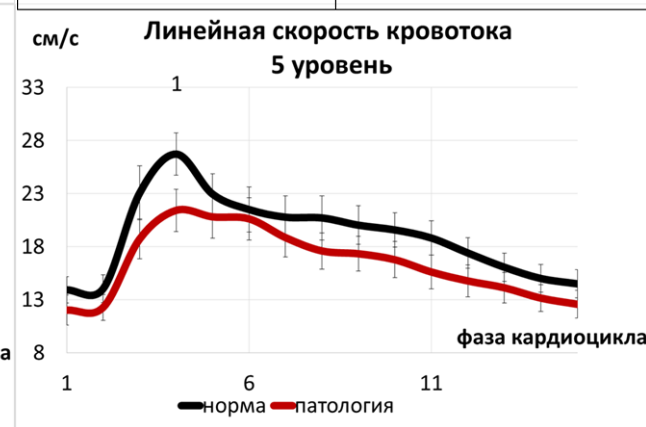
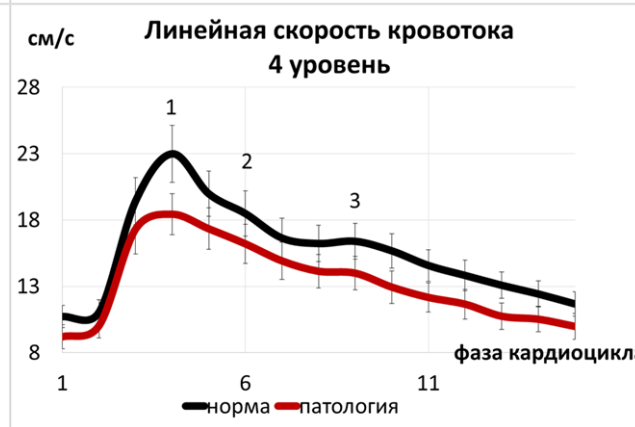
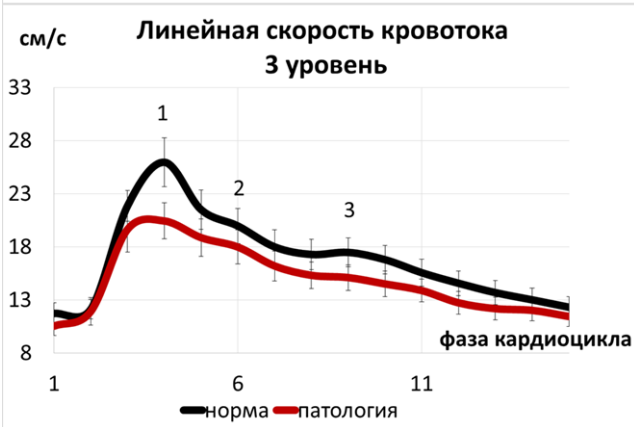
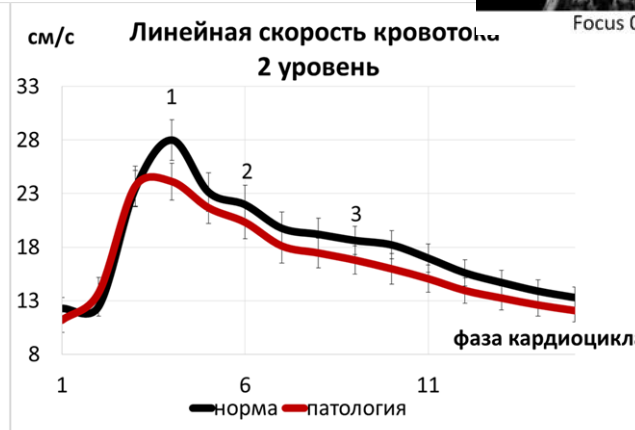
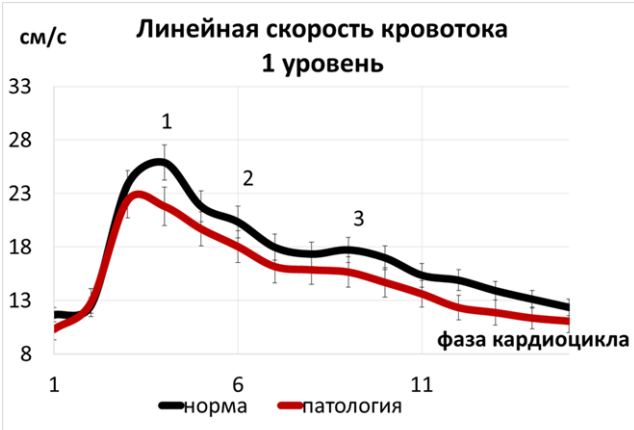
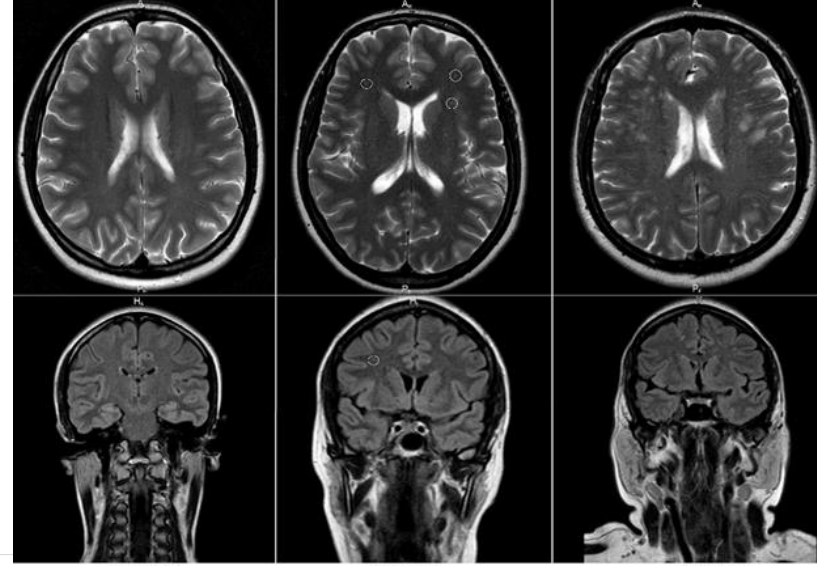
Патологическая извитость + дисциркуляторные очаги

Очаговая патология:

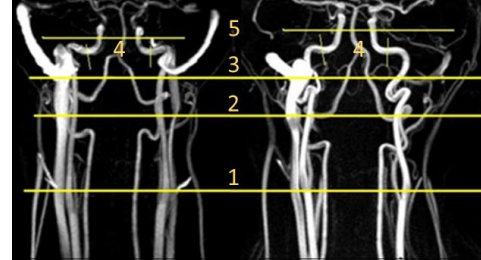
0 – нет

1 – единичные

2 – множественные дисциркуляторные очаги



Внутренние сонные артерии. Патологическая извитость + дисциркуляторные очаги



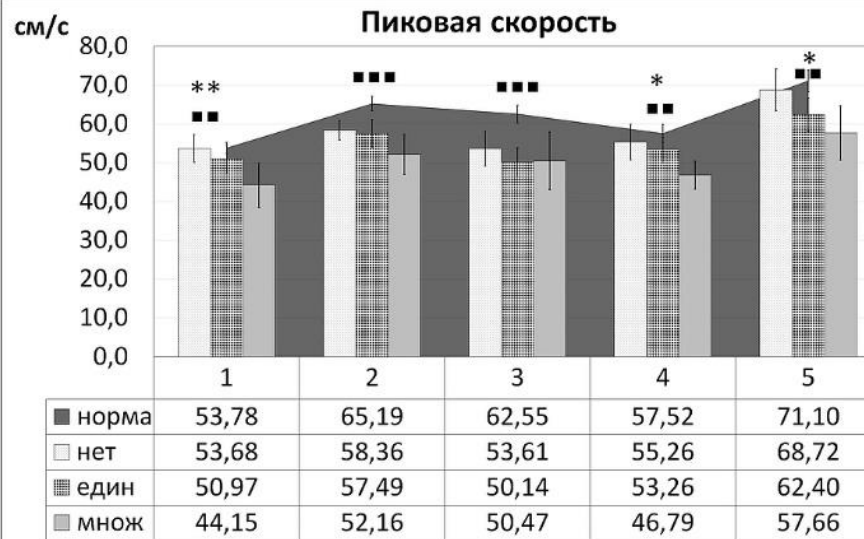
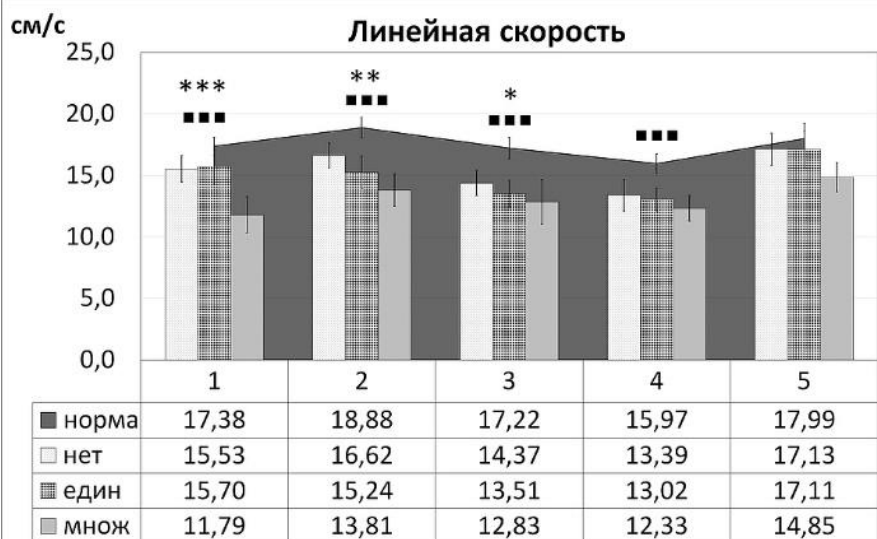
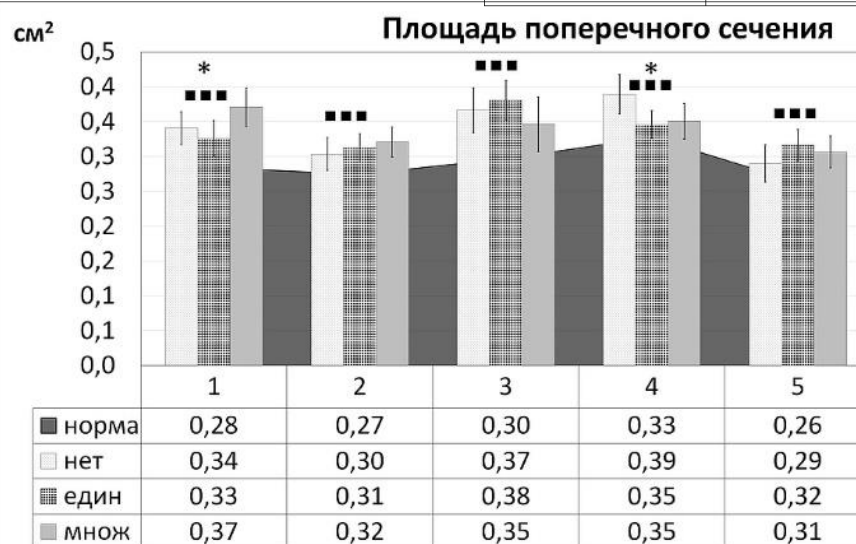
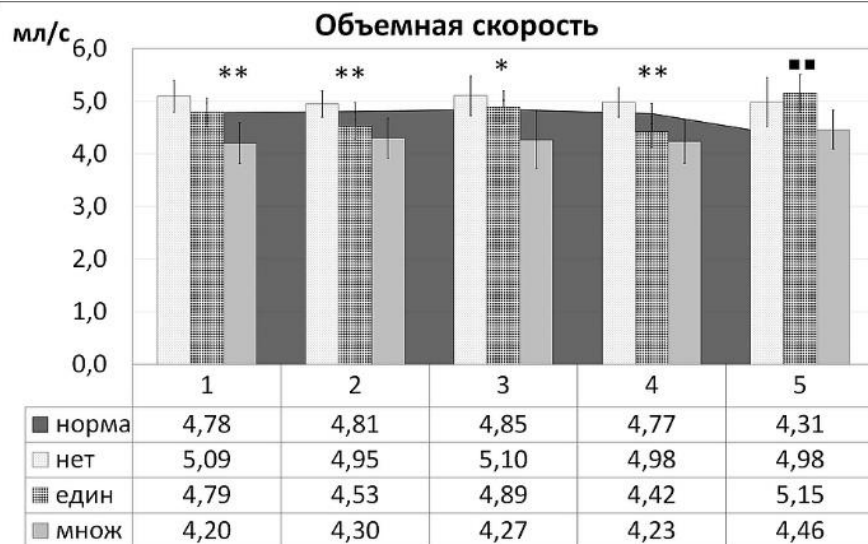
Норма

Извитость

Дисциркуляторные очаги по результатам дисперсионного анализа Краскела-Уолиса:

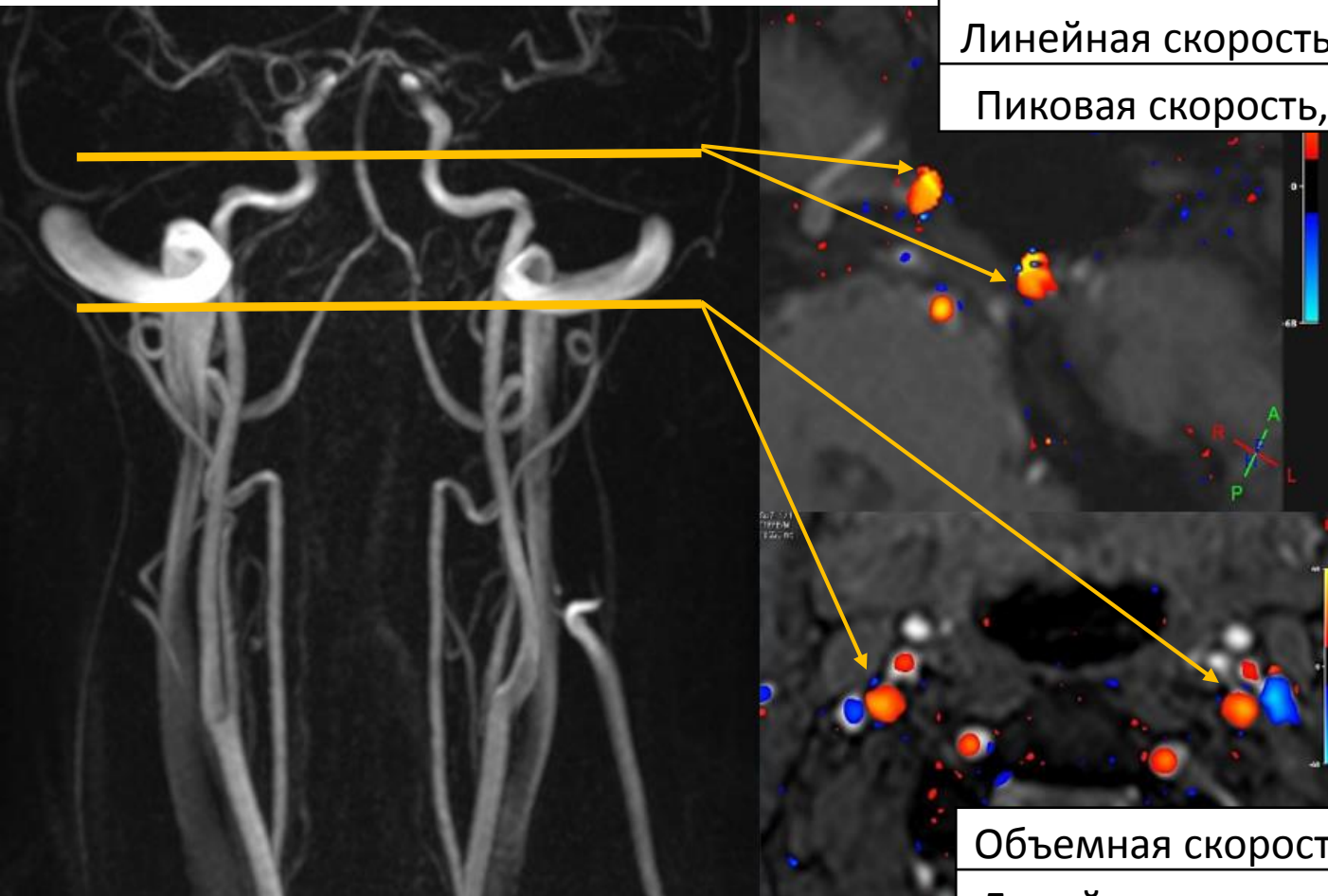
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Норма и патологическая извитость по результатам U-теста Манна-Уитни: ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$



Внутренние сонные артерии. Дисциркуляторная очаговая патология при патологической извитости

Объемная скорость, мл/с	4,31±1,48
Линейная скорость, см/с	17,99±6,64
Пиковая скорость, см/с	71,10±15,09

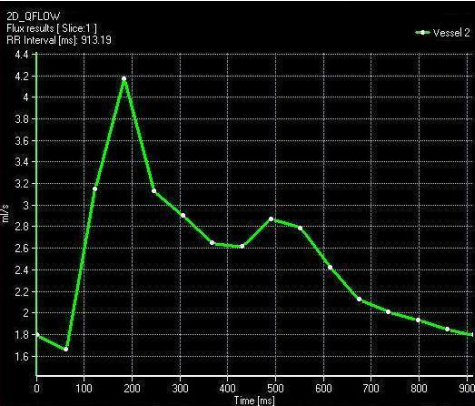
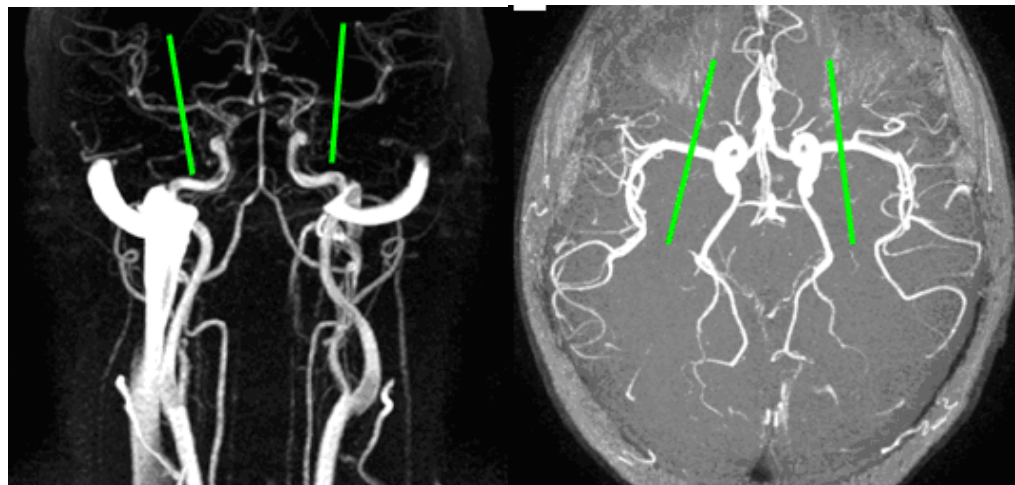


Объемная скорость кровотока имеет наиболее важное диагностическое значение в оценке гемодинамических изменений

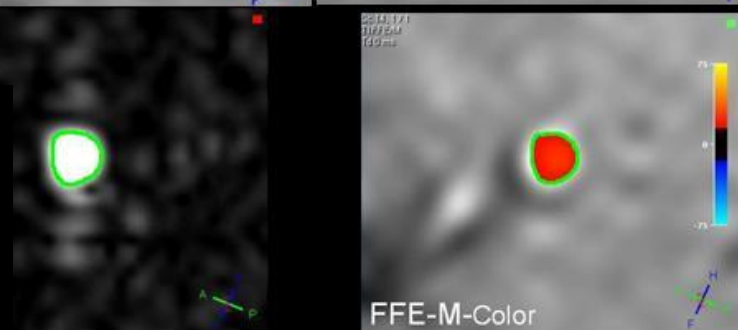
Объемная скорость, мл/с	4,85±0,96
Линейная скорость, см/с	17,22±4,89
Пиковая скорость, см/с	62,55±12,66

Средние мозговые артерии. Инсульт.

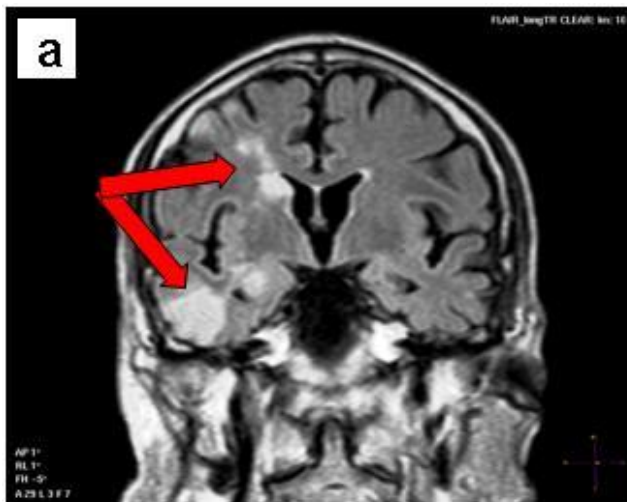
Параметры исследования	Значения параметров методики Q-Flow
TR	14 мс
TE	8,3 мс
FA	15 ⁰
Матрица	256 x 256
Толщина среза	5 мм
Количество срезов	1
Количество усреднений	2
Длительность исследования	1 мин 05 сек
Коэффициент скорости Venc	100 см/сек
Ориентация среза	Перпендикулярно ходу СМА



Nr	Trigger Delay [ms]	Flux [ml/s]	Area [cm ²]	Nr. Of Pixels	Mean Velocity [cm/s]	Max Velocity [cm/s]	Min Velocity [cm/s]	Peak Velocity [cm/s]	Vel Stdev [cm/s]
1	0.000	1.80	0.106	31	16.3	28.0	-3.81	28.0	6.23
2	61	1.67	0.103	30	16.2	24.3	7.72	24.3	4.79
3	123	3.15	0.134	38	23.5	42.9	-2.39	42.9	11.0
4	184	4.17	0.161	47	25.8	53.3	0.147	53.3	14.3
5	245	3.13	0.144	42	21.7	42.1	2.20	42.1	11.1
6	307	2.90	0.144	42	20.1	40.9	0.977	40.9	11.4
7	368	2.65	0.144	42	18.4	38.0	-2.64	38.0	10.8
8	430	2.62	0.134	39	19.5	38.0	0.440	38.0	10.3
9	491	2.87	0.148	43	19.4	37.7	4.30	37.7	9.60
10	552	2.79	0.148	43	18.9	36.3	1.12	36.3	9.95
11	614	2.43	0.127	37	19.1	34.9	2.83	34.9	9.19
12	676	2.13	0.127	37	16.8	31.0	1.71	31.0	8.23
13	736	2.01	0.127	37	15.8	29.8	-0.928	29.8	8.22
14	798	1.93	0.113	33	17.0	28.4	5.52	28.4	6.62
15	859	1.85	0.103	30	18.0	28.7	8.65	28.7	5.79
16	913	1.80	0.106	31	16.9	28.0	3.81	28.0	6.23



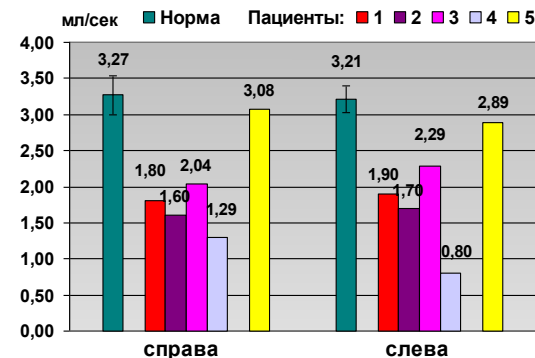
Клинические примеры. Инсульт в СМА



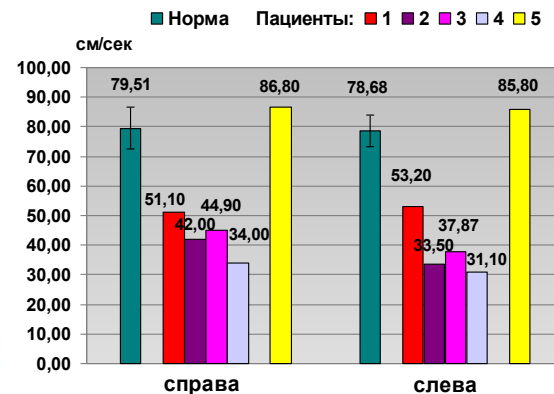
MP-томограмма (T2W_Flair) пациента 1 (а) и пациента 2 (б)

Объёмная скорость

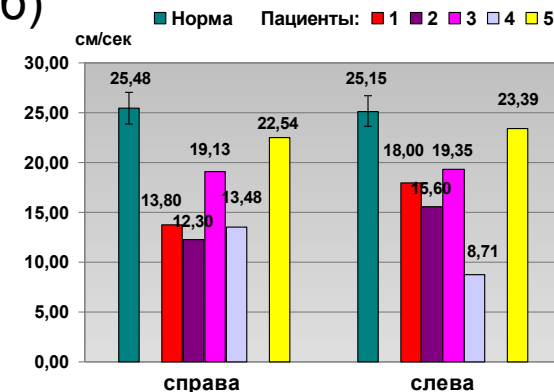
X⁺/-tsx (t=1,96; p=0,05; n=33) для нормы
и данные пациентов с ОНМК



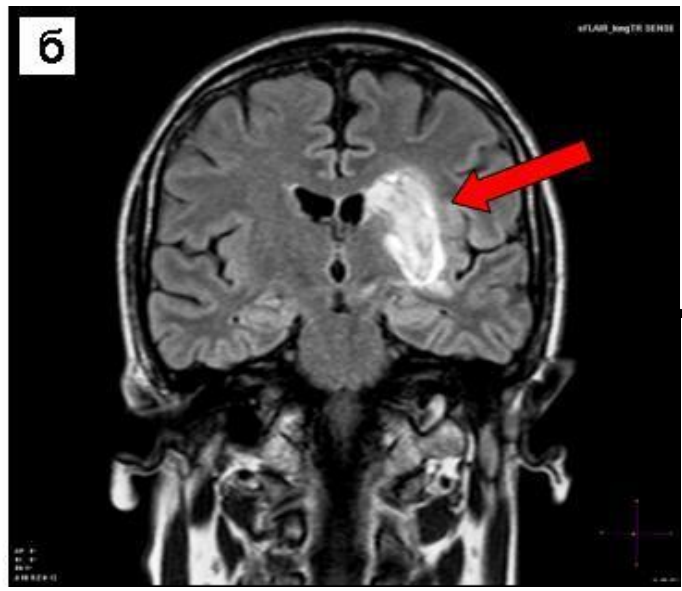
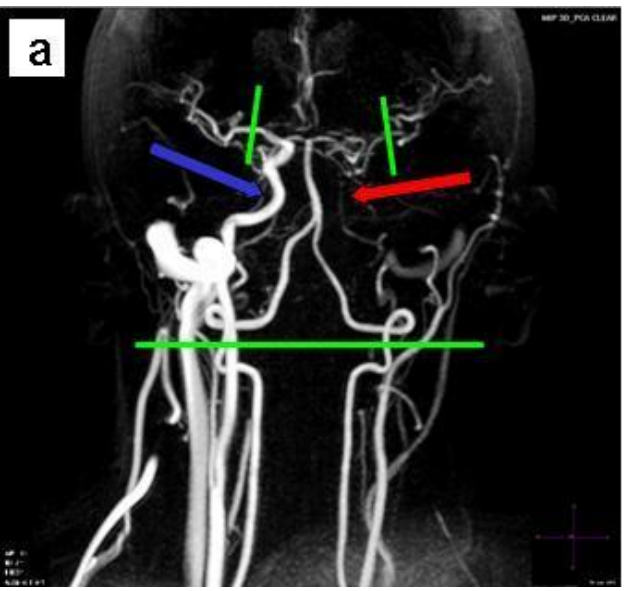
Пиковая скорость



Средняя скорость



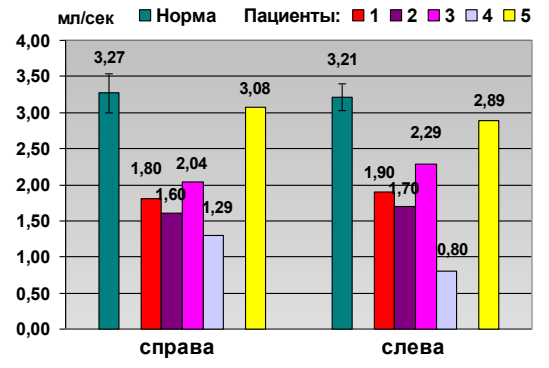
Клинические примеры



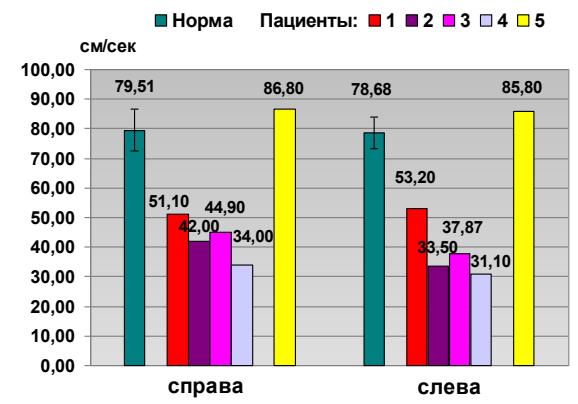
MR-томограммы пациента 3: 3D_PCA Sense (а) и T2W_Flair (б)

Объёмная скорость

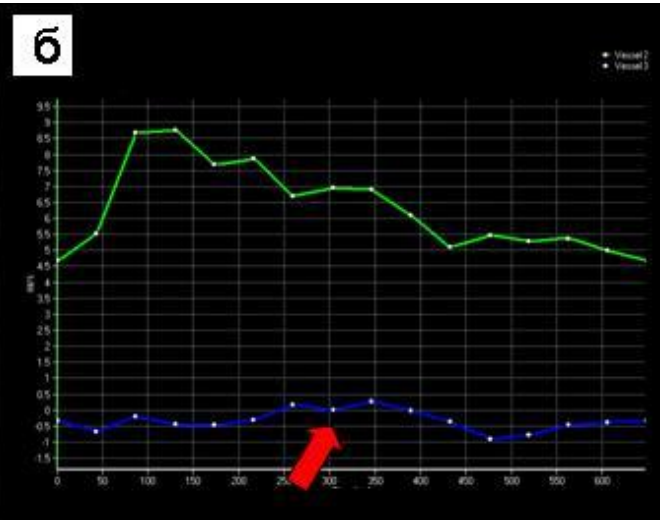
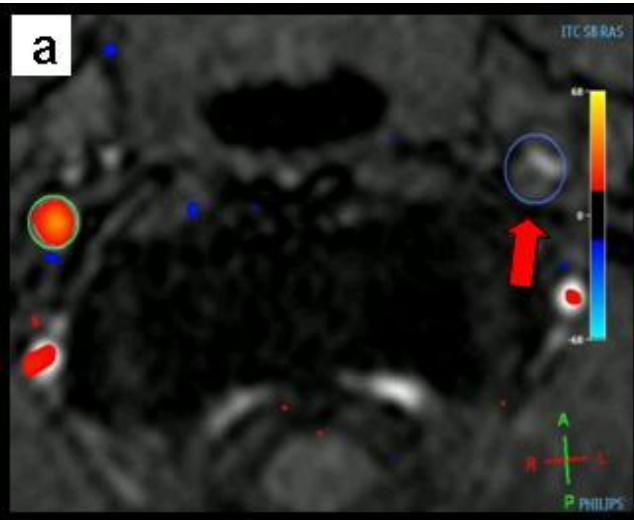
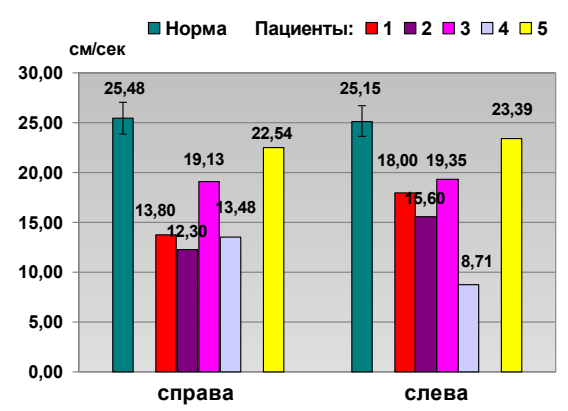
X⁺/tsx (t=1,96; p=0,05; n=33) для нормы и данные пациентов с ОНМК



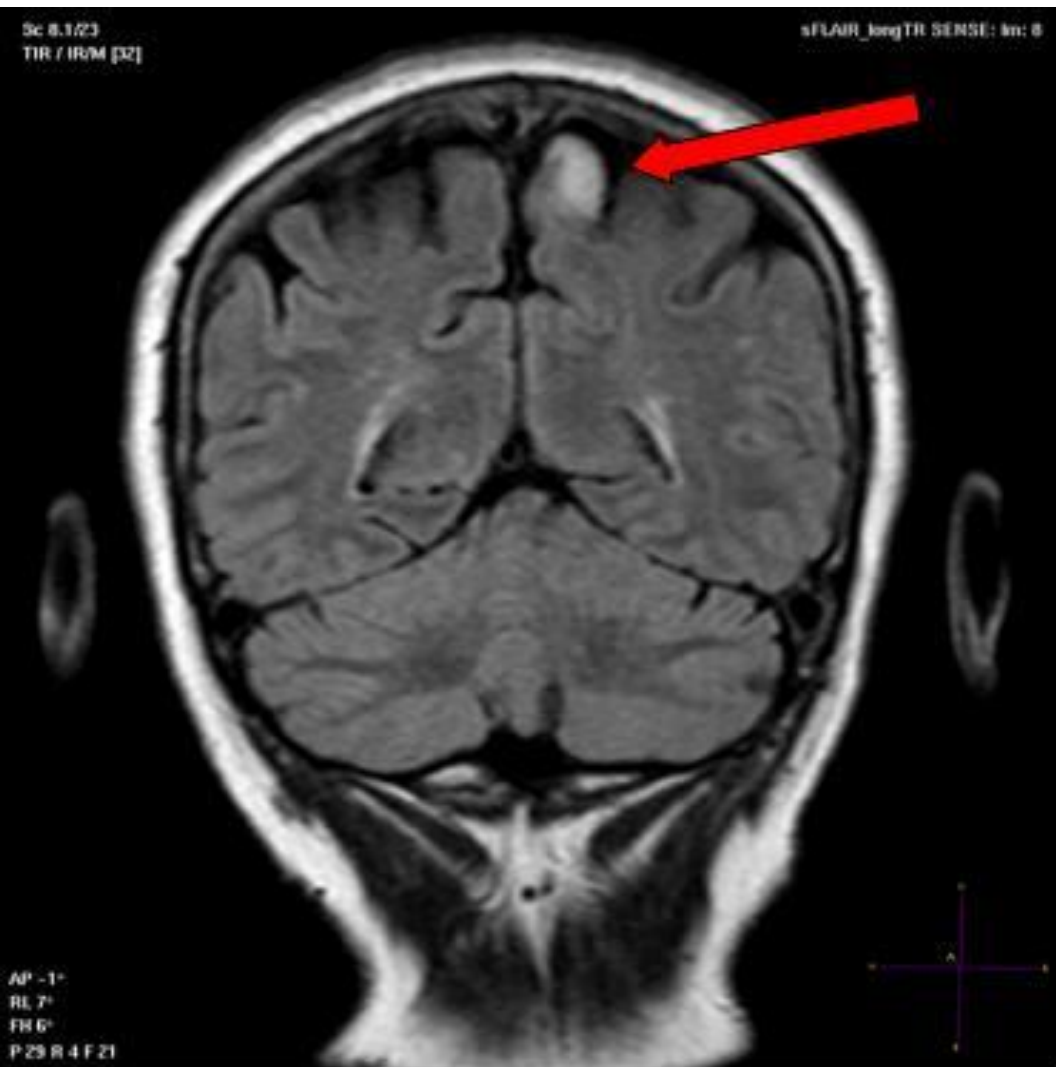
Пиковая скорость



Средняя скорость



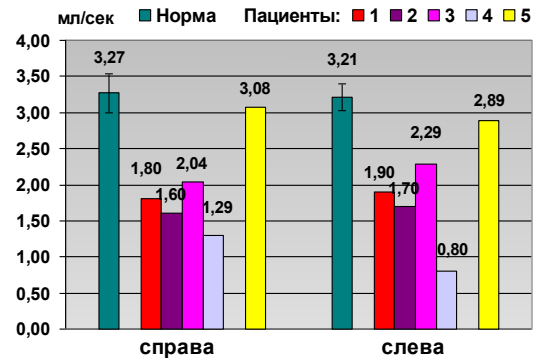
Клинические примеры



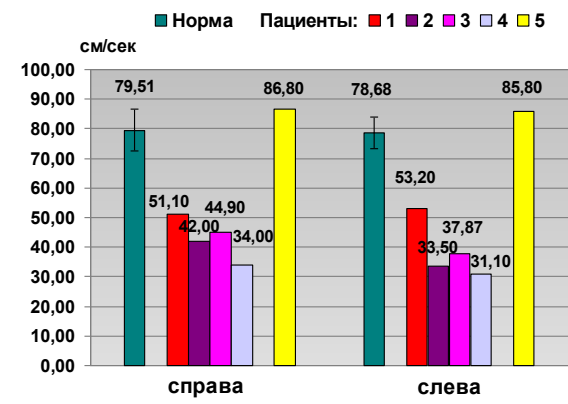
MP-томограмма пациента 5 (методика T2W_Flair)

Объёмная скорость

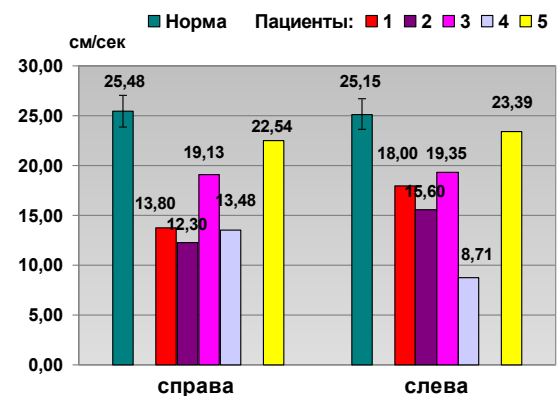
X+/-tsx (t=1,96; p=0,05; n=33) для нормы и данные пациентов с ОНМК



Пиковая скорость

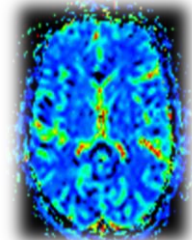
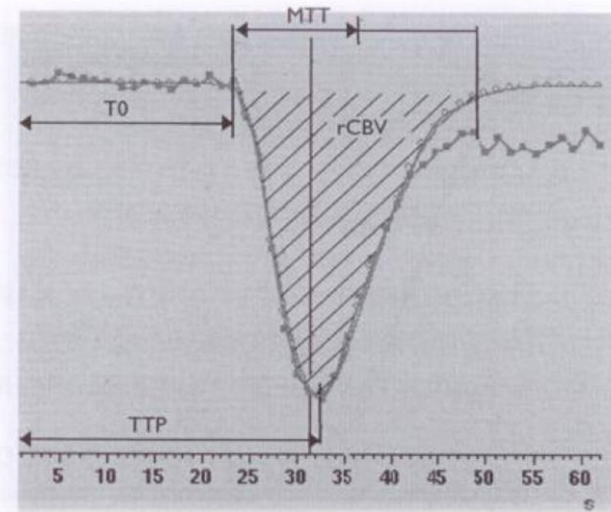


Средняя скорость

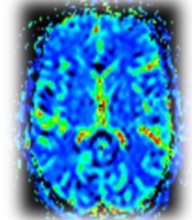


Перфузионная МРТ

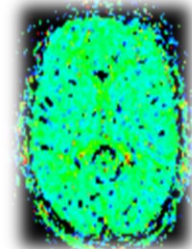
Dynamic susceptibility contrast



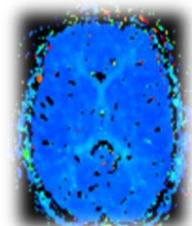
CBV (Cerebral blood volume) объем мозгового кровотока;



CBF (Cerebral blood flow) – скорость мозгового кровотока;



MTT (Mean transit time) – среднее время прохождения контрастного препарата;



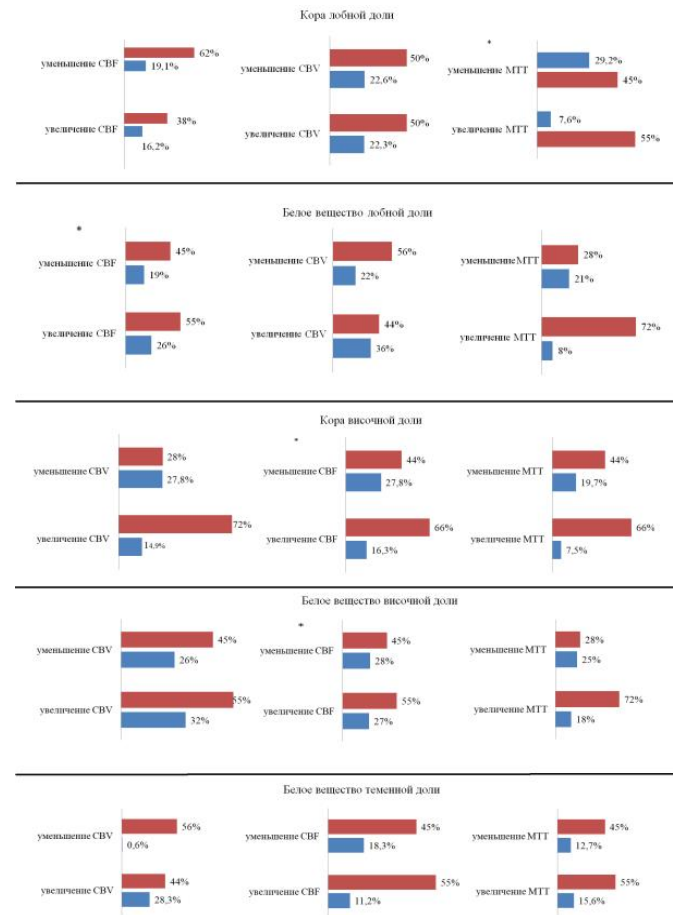
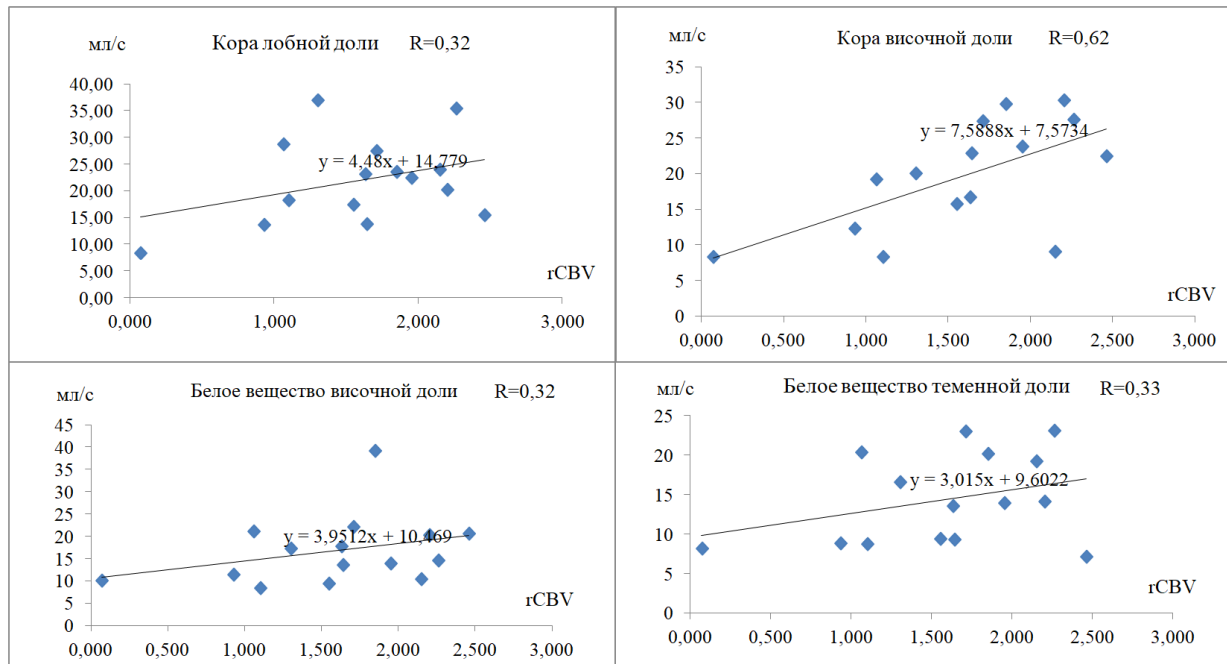
TTP (time to peak) время до достижения максимальной (пиковой) концентрации контрастного вещества.



DSC vs 2D PCA

	Объемная скорость (мл/сек)		Линейная скорость (см/сек)		Пиковая скорость (см/сек)		Ударный объем (мл)	
	Правая СМА	Левая СМА	Правая СМА	Левая СМА	Правая СМА	Левая СМА	Правая СМА	Левая СМА
Здоровые добровольцы	3,3±0,2	3,2±0,2	25,3±1,1	25,0±1,2	78,8±4,9	78±4,4	2,9±0,2	2,9±0,2
ХНМК	2,0±0,4	1,9±0,3	20,4±5,5	19,7±4,2	60,6±12	54,4±9,0	1,9±0,5	1,7±0,3
ОНМК справа	1,5±0,2	2,2±0,4	12,3±2,1	19,3±3,6	38,4±6,5	60,6±17,8	1,3±0,3	1,9±0,3
ОНМК слева	2,3±0,4	1,7±0,7	24,6±5,8	17,5±8,3	64,9±17	46,4±18,0	2,3±0,4	1,7±0,63

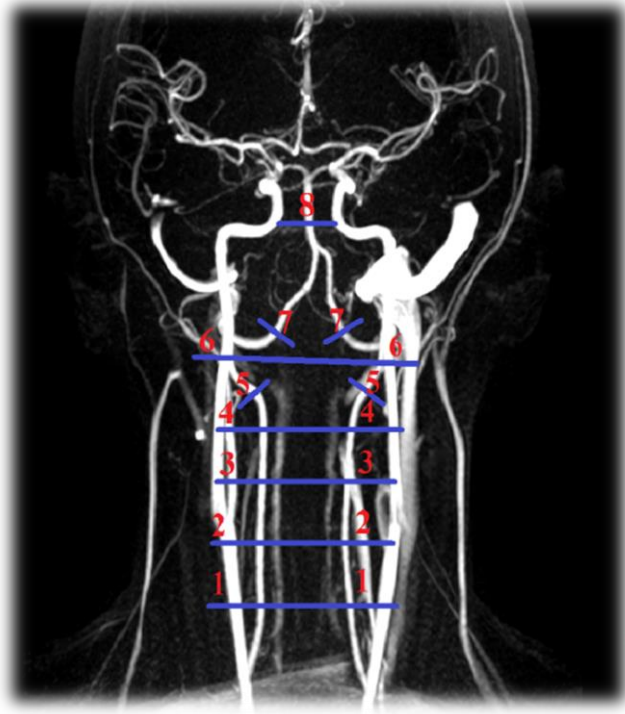
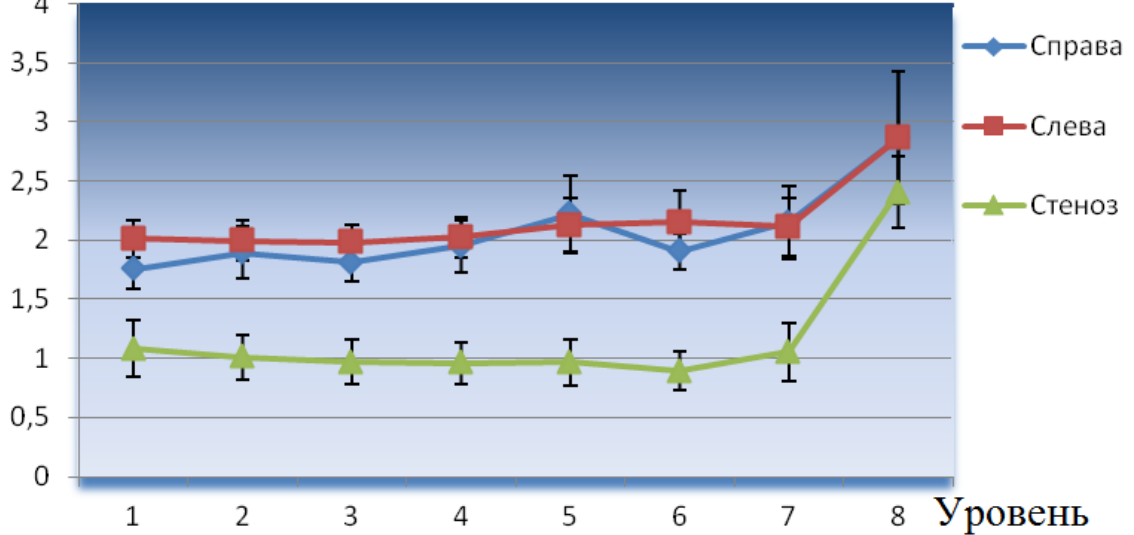
Корреляционные поля гемодинамических показателей



Позвоночные артерии, 2DРСА

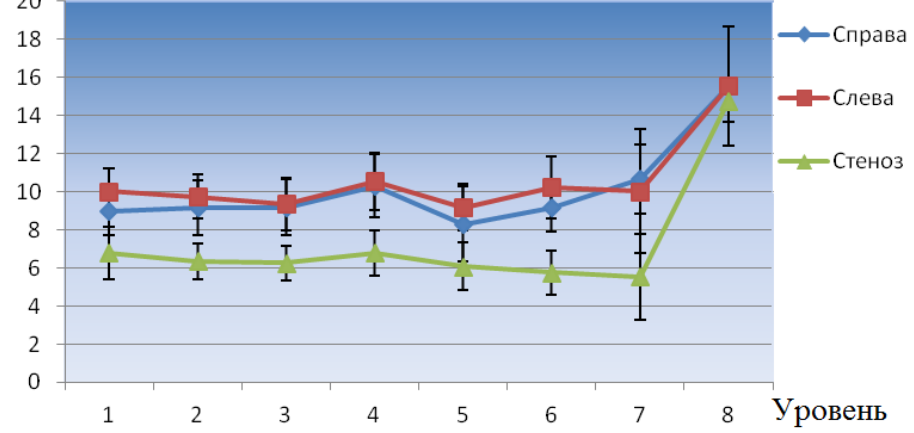
Объемная скорость

$\bar{X} \pm t_{s_{\bar{x}}}$, где $t=1,96$ для $P=0,05$ $n_1=25$; $n_2=20$;



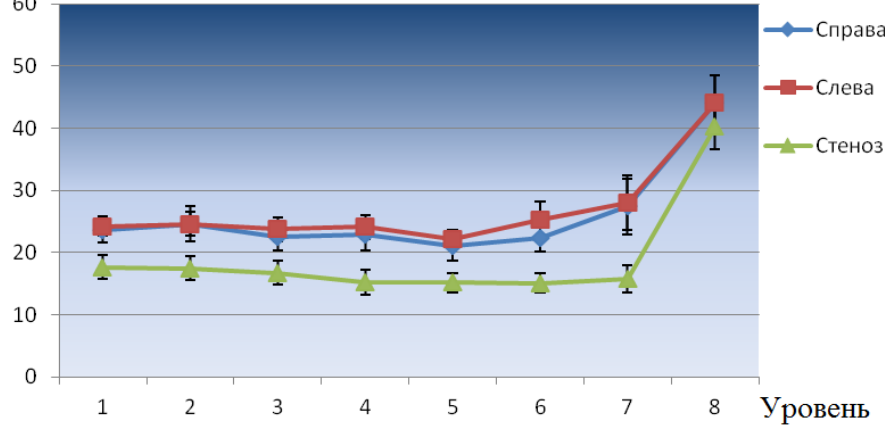
Линейная скорость

$\bar{X} \pm t_{s_{\bar{x}}}$, где $t=1,96$ для $P=0,05$ $n_1=25$; $n_2=20$;



Пиковая скорость

$\bar{X} \pm t_{s_{\bar{x}}}$, где $t=1,96$ для $P=0,05$ $n_1=25$; $n_2=20$;

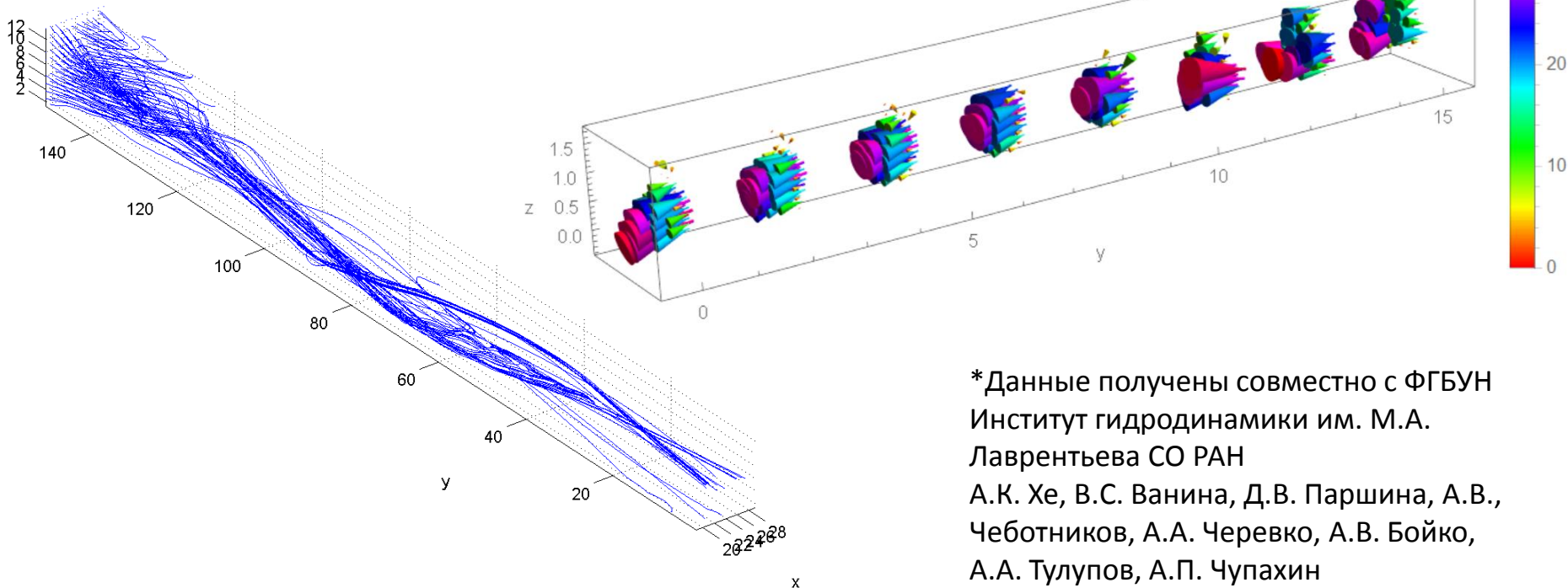


Снижение объемной скорости – на 52,8 %, линейной скорости – на 35,3 %, пиковой скорости – на 32,8 %
 Восстановление кровотока на уровне основной артерии

Модельный эксперимент 3T, 4D PCA

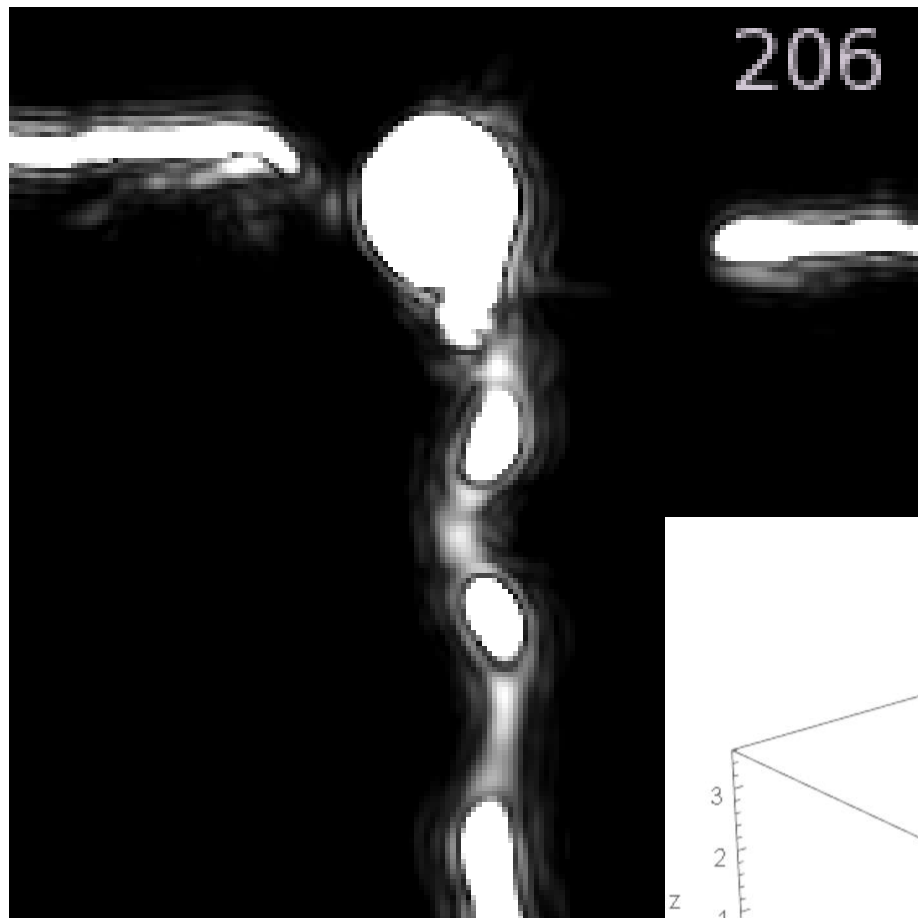
- MR scanner Philips Ingenia 3T (ITC SB RAS)
- Programmable pump CompuFlow 1000MR
- Silicone models
- Blood mimicking liquid

Matrix $160 \times 160 \times 11$

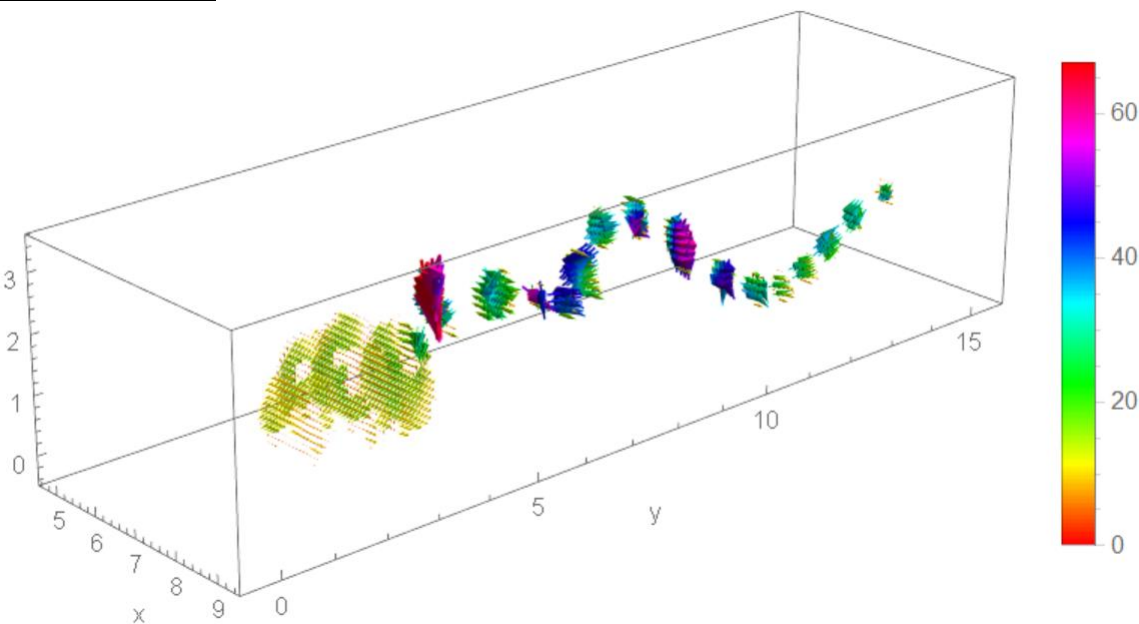


*Данные получены совместно с ФГБУН
Институт гидродинамики им. М.А.
Лаврентьева СО РАН
А.К. Хе, В.С. Ванина, Д.В. Паршина, А.В.,
Чеботников, А.А. Черевко, А.В. Бойко,
А.А. Тулупов, А.П. Чупахин

Модель аневризмы



Matrix $176 \times 176 \times 25$





Спасибо за внимание

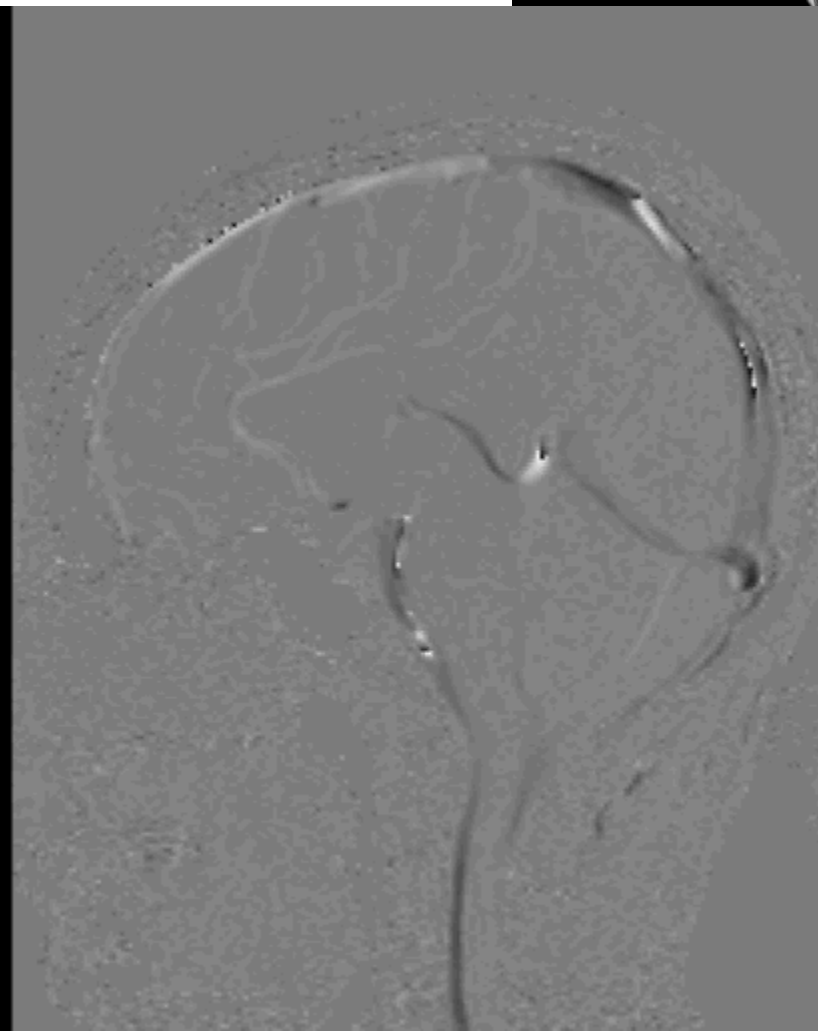
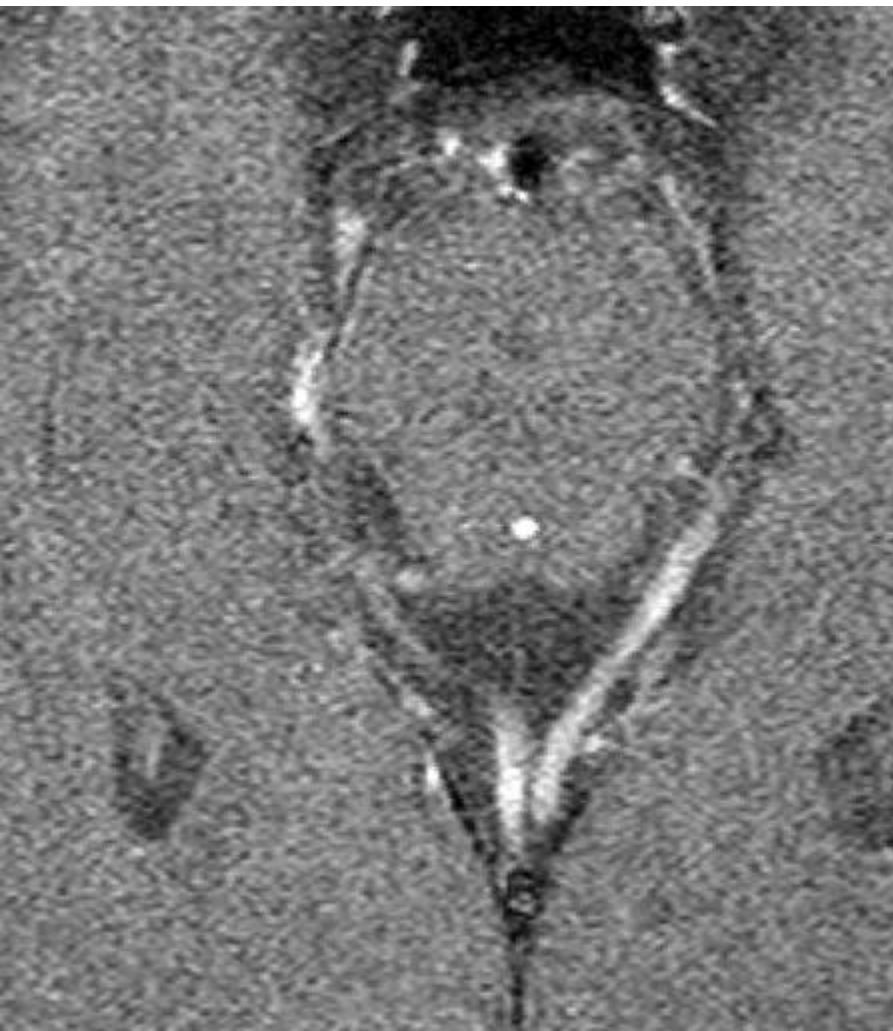
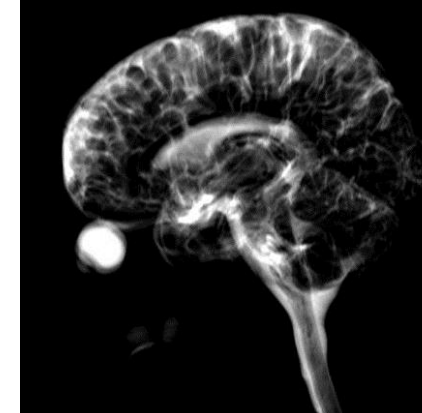
MP-томограф 1,5T (Philips), Рутинный протокол исследования головного мозга

	T1	T2	FLAIR	DWI	Myelo	PCA	Q-Flow
Ориентация срезов	сагиттальная	аксиальная	фронтальная	аксиальная	сагиттальная	фронтальная	аксиальная
Импульсная последовательность	TSE	TSE	TSE_IR	EPI single shot	TSE	3D FFE	2D FFE
TR/TE	549/15	5148/100	11675/140 TI 2800 ms	3090/60 b (1000)	8000/1000	20/4,4	13/8
матрица	256x180	372x247	300x165	112x89	512x256	256x194	128/88
Размер реконструируемого вокселя, мм, (сагит x попер x верт)	0,94x0,94 x5мм	0,49x0,49x 4 мм	0,84x0,84 x4 мм	0,9x0,9 x 5 мм	0,59x0,59 x8 мм	0,49x0,49 x1,3 мм	0,59x0,59 x5 мм
NSA	2	2	2	1	2	1	2
Время сканирования	1 мин 11с	2мин 29с	2мин 55с	0мин 55с	0мин 48с	5мин 11с	1мин 59с
FA	69°	90°	90°	90°	90°	15°	15°
Величина кодирования скорости						30 см/с	90 см/с

4,81+/-0,9 мл/с – в средней трети шейного сегмента ВСА

	Authors	Title	MR-device	MR-sequences		Volumetric (Flux), ml/s
1994	Enzmann DR	Blood flow in major cerebral arteries measured by phase-contrast cine MR.	1,5T GE	2D PCA, cardiac cycle trigger (16 phase)	10	5,03+/-0,35-R 5,6+/-0,31-L
1994	Bogren HG	Carotid and vertebral artery blood flow in left- and right-handed healthy subjects measured with MR velocity mapping.			12	4,41+/- 1
1997	Van Everdingen K	MRA flow quantification in patients with a symptomatic internal carotid artery occlusion.	1, 5T Philips	2D PCA, nontriggered	16	3,41
2004	De Boorder MJ	Phase-contrast magnetic resonance imaging measurements of cerebral autoregulation with a breath-hold challenge: A feasibility study.	1, 5T Philips	2DPCA, nontriggered, breathe-hold - 30 s	20	Rest: 4,21+/-1,63-R 4,0+/-0,9-L Breathe: 6,7+/-2,65-R 6,63+/-2-L
2004	Marshall I	Carotid flow rates and flow division at the bifurcation in healthy volunteers	1,5T GE	2DPCA, retrospectively ECG-gated (20 phase)	9	4,14
2005	Ford MD	Characterization of volumetric flow rate waveforms in the normal internal carotid and vertebral arteries	1,5T/3T GE	2D PCA, retrospective via finger (32 phase)	17	4,53+/-0,56-R 4,61+/-0,77- L
2006	Oktar SO,	Blood-Flow Volume Quantification in Internal Carotid and Vertebral Arteries: Comparison of 3 Different Ultrasound Techniques with Phase-Contrast MR Imaging	1T GE	2D nontriggered phase-contrast MRA	38	3,6+/-1.4
2007	Zhao M.	Regional cerebral blood flow using quantitative MR angiography.	1,5T/3T GE	2D PCA, retrospectively	83	4,2+/-0,9 -R 4,4+/-0,9 -L
2008	Cebra JR.	Flow-area relationship in internal carotid and vertebral arteries.	1,5T/3T GE	2D PCA retrospectively cardiac triggered (32 phase)	11	4,05+/-0.82
2012	Hartkamp NS	Time course of vascular reactivity using repeated phase-contrast MR angiography in patients with carotid artery stenosis.	3T Philips	2D PCA	18	4,15+/-0,25
2013	ElSankari S	Concomitant analysis of arterial, venous, and CSF flows using phase-contrast MRI: a quantitative comparison between MS patients and healthy controls.	3T Philips	2D PC-MRI retrospective peripheral (32 frames)	21	4,51+/-0,58-R 4,41+/-0,61-L
2014	Juan C-J	Measuring steady-state cerebral vasomotor reactivity using non-triggered phase-contrast magnetic resonance imaging.	1,5T Siemens	2D PCA, nontriggered	6	4,15+/-0,2-R 4,0+/-0,2-L
2015	MacDonald ME,	Phase contrast MR imaging measurements of blood flow in healthy human cerebral vessel segments.		2D PCA		7,7+/-1,7ml/s

2D Фазо-контрастная МР-томография в оценке ликворотока



Оценка ликворотока

Характеристики метода:

TR = 14 мс

TE = 8,3 мс

FA = 15°

коэффициент скорости потока ликвора = 5-15 см/сек

толщина среза = 4 мм

ретроспективная кардиосинхронизация (15 фаз)

Исследуемые уровни:

Сильвиев водопровод

межножковая цистерна

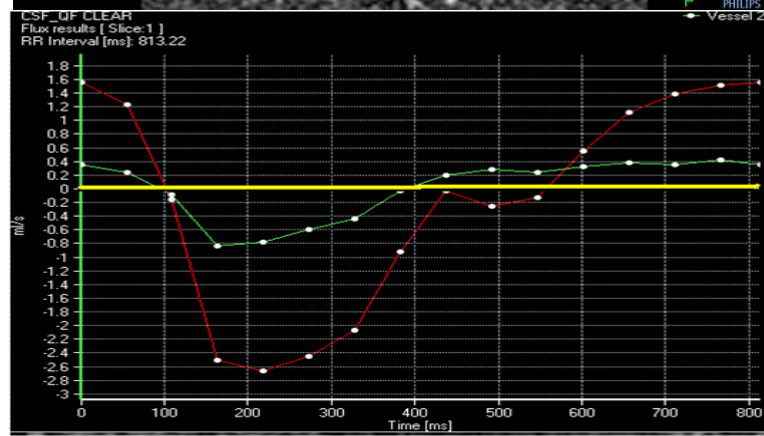
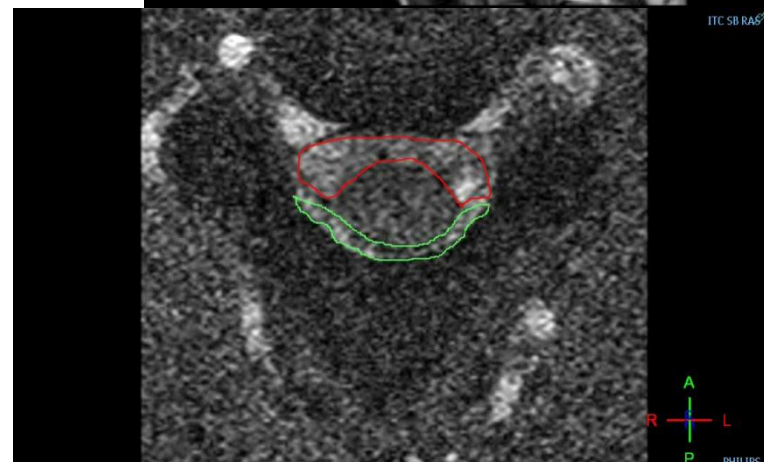
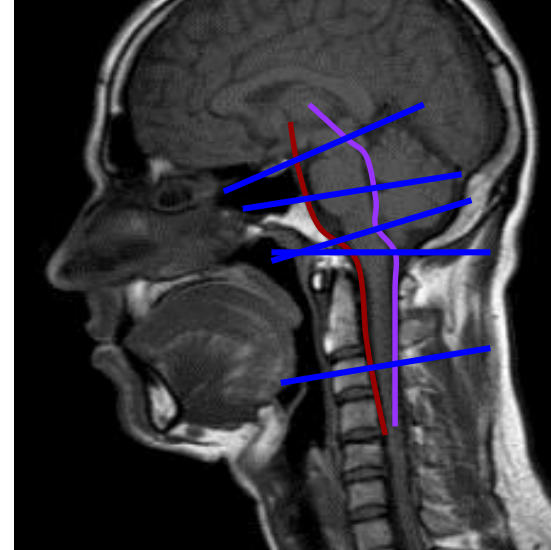
IV желудочек

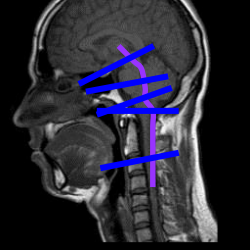
предмостовая цистерна

отверстие Мажанди

мозжечково-мозговая цистерна

субарахноидальное пространство большого затылочного отверстия и шейной области

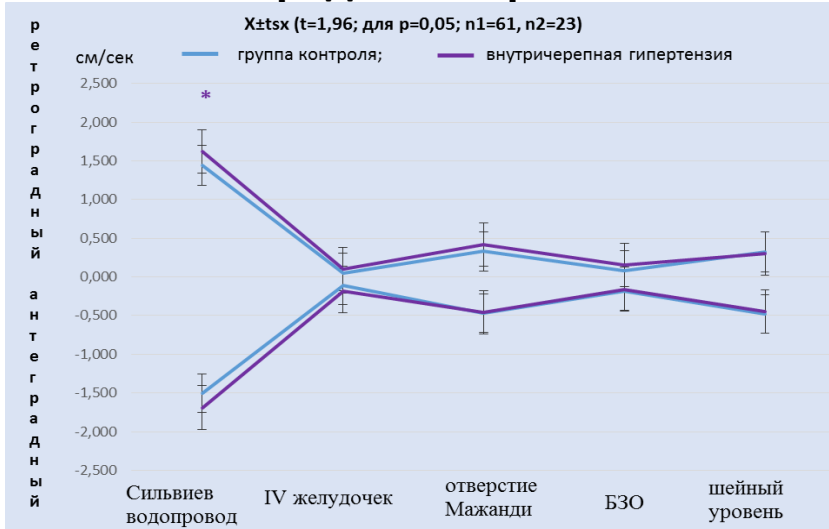




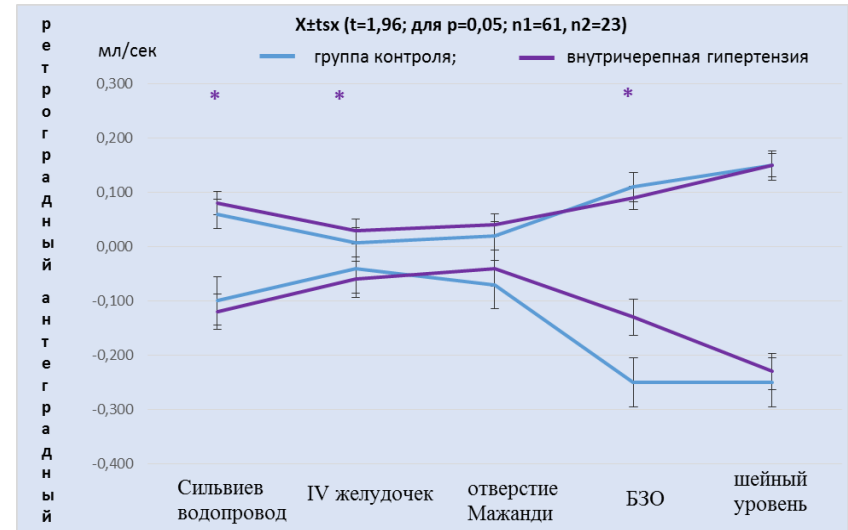
Показатели ликвородинамики у пациентов с синдромом внутричерепной гипертензии

Внутренняя система; * - $p < 0,05$

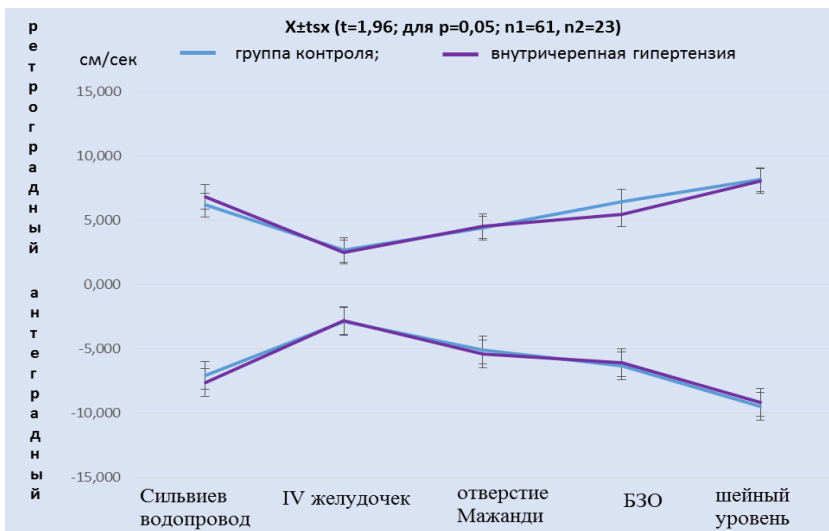
Средняя скорость



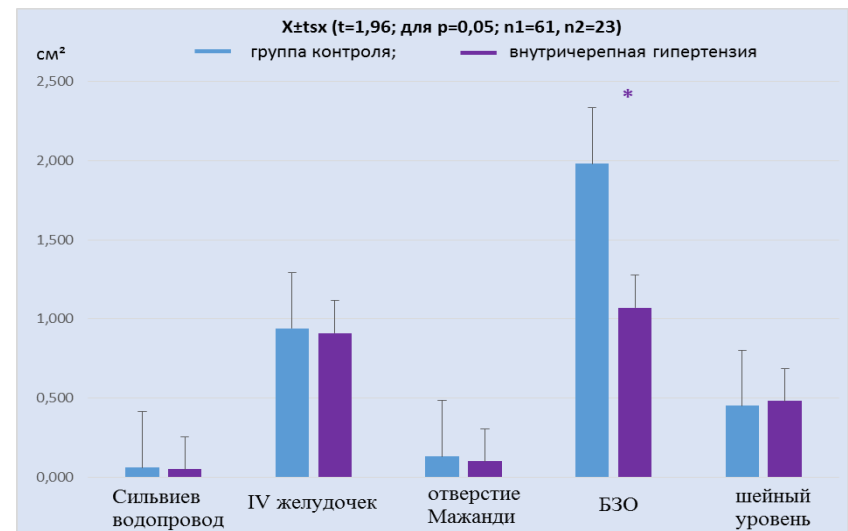
Объемная скорость

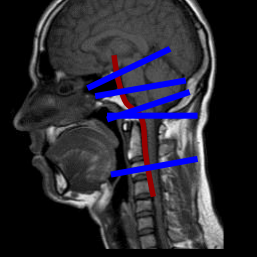


Пиковая скорость



Площадь поперечного сечения

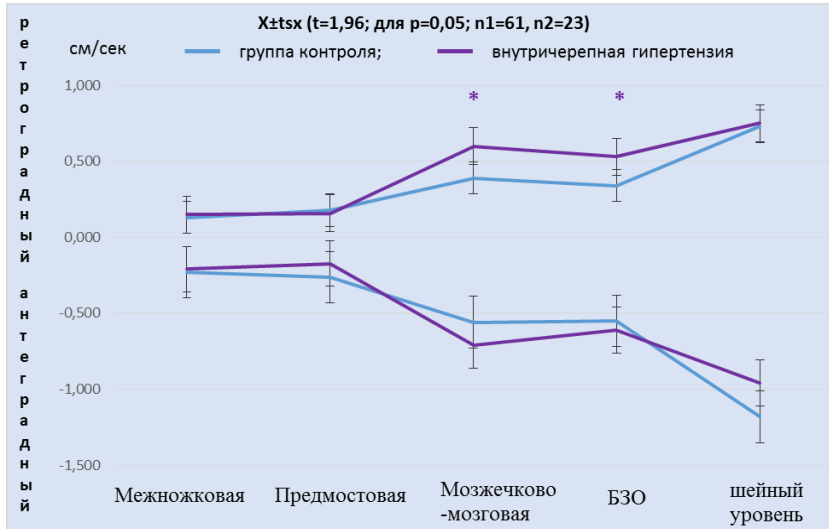




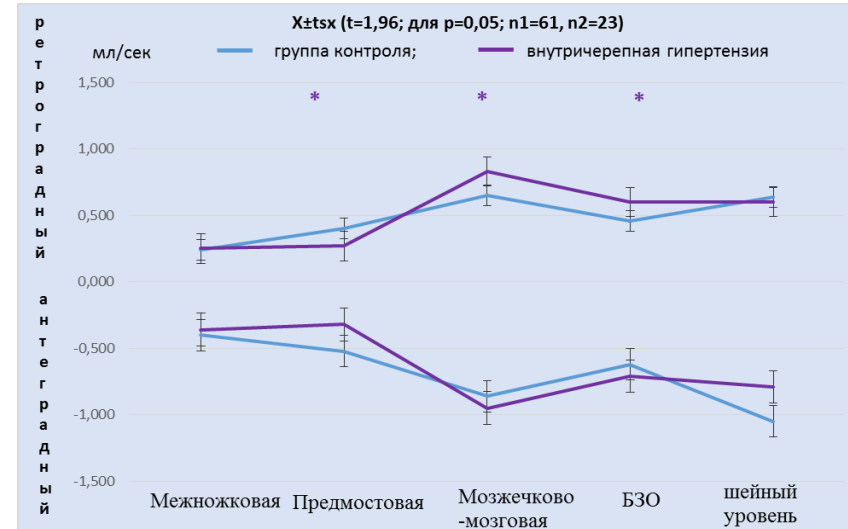
Показатели ликвородинамики у пациентов с синдромом внутричерепной гипертензии

Наружная система; * - $p < 0,05$

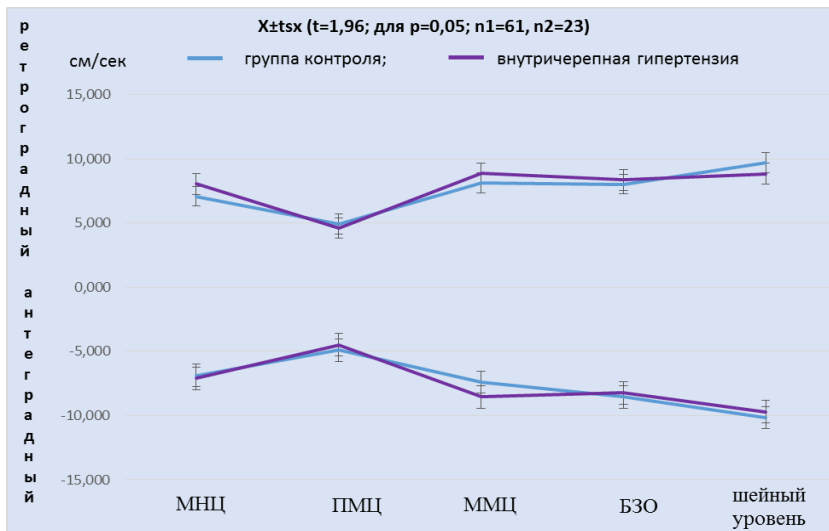
Средняя скорость



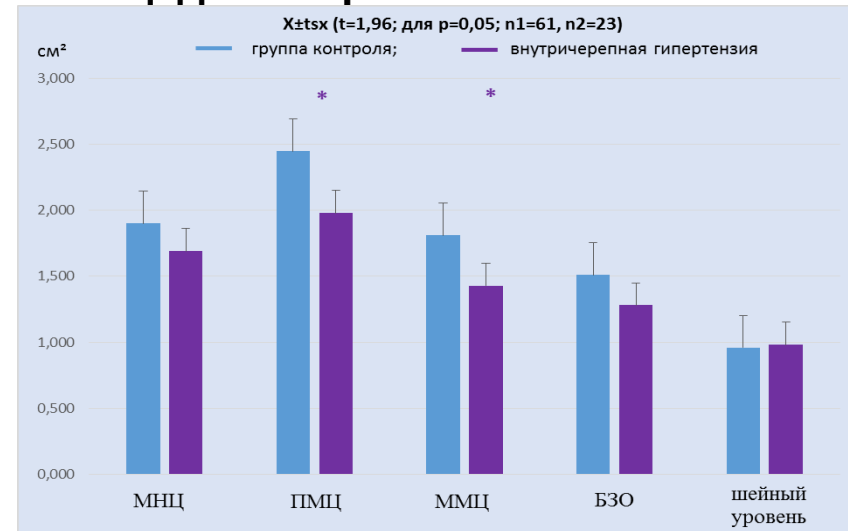
Объемная скорость



Пиковая скорость



Площадь поперечного сечения



Рассчитываемые индексы

Объемно-скоростные

Кровь

1) Пульсационный индекс PI, pulsatility index

$(F_{\max} - F_{\min}) / (T_{\min} - T_{\max}) / 2$; (Sankari E.S., 2011)

$(F_{\max} - F_{\min}) / F_{\max}$; (Sankari S. S.-E., 2013)

$(F_{\max} - F_{\min}) / F_{\text{mean}}$; (Rivera-Rivera L.A., 2016)

$(V_{\max} - V_{\min}) / V_{\text{mean}}$,

F – объёмная скорость кровотока

V – линейная скорость кровотока (максимальная систолическая – max, минимальная диастолическая – min, средняя - mean)

T – время пиков F_{\max} и F_{\min} .

2) Резистивный индекс RI, resistive index

3) Артериальный объёмный кровоток мозга

tCBFa, total cerebral blood flow – arterial

4) Венозный объёмный кровоток мозга

tCBFv, total cerebral blood flow – venous

Ликвор

1) Ударный объём SV, stroke volume

$(V_{\text{olsys}} + V_{\text{oldias}}) / 2$

меньший из объёмов V_{olsys} и V_{oldias}

V_{olsys} – объём ликвора в систолу

V_{oldias} – объём ликвора в диастолу

2) Результирующая объёмная скорость

net flow, net aqueductal flow

flush – fill = каудально, 0,015 +- 0,006 см/с

(Baledent O., 2004) (Oner Z., 2016).

Flush - каудально направленный поток

fill - краниально направленный ток

3) Шейно-водопроводное соотношение

CAR, cervico-aqueductal ratio

$SV_{\text{cerv}} / SV_{\text{aq}}$

SV_{cerv} – ударный объём на шейном уровне

SV_{aq} – ударный объём на уровне водопровода

Рассчитываемые индексы

Временные показатели

1) Артерио-венозная задержка

AVD, arterio-venous delay

разница между временем появления пиков линейных или объёмных скоростей на артериальном и венозном концах, измеряется в процентах от времени одного сердечного цикла

2) артерио-ликворная задержка

ALD, arterio-liquorous delay

разность появления пика скорости на артериальном конце и пика каудальной скорости на уровне водопровода или C2-C3.

3) Коэффициент ALD_{C2-C3}/AVD

взаимосвязь венозного и ликворного путей сброса систолического объёма крови

Индекс внутричерепного комплайнса

ICC, index of cranial complaince

величина, равная отношению изменения внутричерепного объёма к градиенту давления ликвора на уровне БЗО за определённое время

$$ICC = ICVC/P$$

Изменение внутричерепного объёма

$$ICVC = (F_{art} + F_{ven} + F_{CSF}) * T$$

F_{art} – сумма средних объёмных скоростей двух внутренних сонных и двух позвоночных артерий (положительная величина)

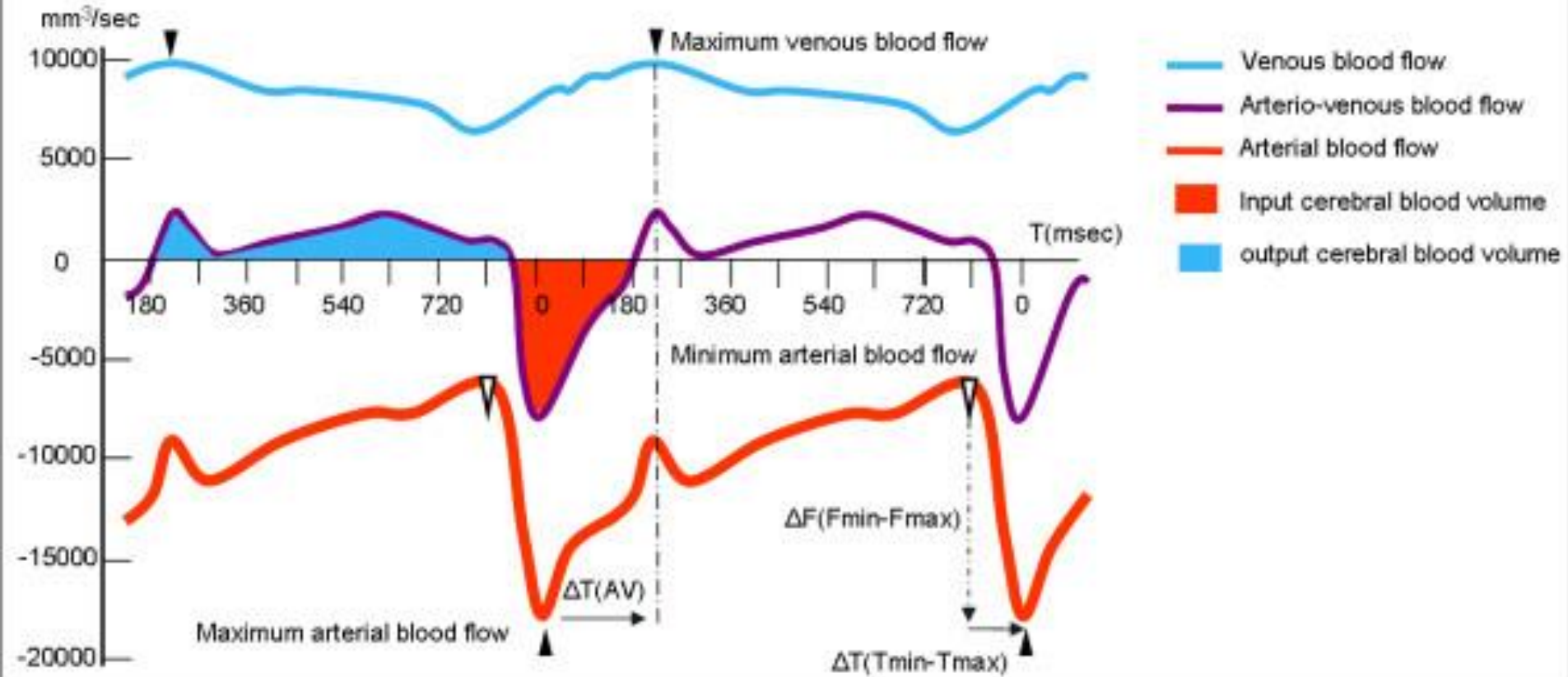
F_{ven} – аналогичная сумма для двух яремных вен (отрицательная величина)

F_{CSF} – net flow для БЗО (знак зависит от направления тока)

T - время.

В настоящее время исследователи нашли взаимосвязь ICVC и ICC с синдромом хронической усталости и ортостатической гипотензией (Finkelmeier A., 2018), идиопатической нормотензивной гидроцефалией (Lokossou A., 2018), спонтанной внутричерепной гипотензией (Tsai Y.H., 2018).

Рассчитываемые индексы



The difference in amplitude ($\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$) and latency ($\Delta T = T_{\min} - T_{\max}$) between these 2 features is also shown. The arterial **pulsatility index** (defined as $\Delta F/\Delta T$)

The difference in latency between the arterial and venous flow peaks (in milliseconds or as a percentage of the CC) corresponds to the **arteriovenous delay (AVD)**.

Sankari E.S. Gondry-Jouet C., Fichten A. Cerebrospinal fluid and blood flow in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: a differential diagnosis from idiopathic normal pressure hydrocephalus // Fluids and Barriers of the CNS. 2011 г. 8(12).

Рассчитываемые индексы

1. пульсационный индекс

водопровод мозга - 2,12 мл/с

БЗО - 2,97 мл/с

основная артерия - 0,53 мл/с

внутренние сонные артерии - 0,56-0,57 мл/с

внутренние яремные вены - 0,9-1,03 мл/с.

2. общий артериальный объемный приток интракраниальный

total cerebral blood flow art (tCBFa) - 13,426 мл/с

3. общий венозный отток интракраниальный

total cerebral blood flow ven (tCBFv) - 12,87 мл/с

4. артерио-венозная задержка на интракраниальном уровне

391 мс - между внутренней сонной артерией и верхним сагиттальным синусом

32,5 мс - между ВСА и прямым синусом

5. артерио-ликворная задержка на уровне БЗО

82 мс - между ВСА и ЦСЖ