

Анализ объема церебральных структур пациентов с гипоксически-ишемической энцефалопатией

Ерохин Михаил Владимирович ¹
Плоткин Артем Владимирович ²

¹Санкт-Петербург, ИМЧ РАН

²Санкт-Петербург, СПбГУ

19-я Всероссийская конференция
«Математические методы распознавания образов»

27 ноября 2019 г.

Введение

Гипоксически-ишемическая энцефалопатия (ГИЭ) — повреждение головного мозга вследствие перенесенной перинатальной гипоксии (асфиксии) и недостаточного мозгового кровотока.

Встречаемость гипоксически-ишемической энцефалопатии у детей:

- ▶ доношенных: 15-30%
- ▶ недоношенных: 40-60%

До 20% детей с ГИЭ умирают в неонатальном периоде, а 25-30% страдают от необратимых психомоторных поражений.

МР-картина при ГИЭ

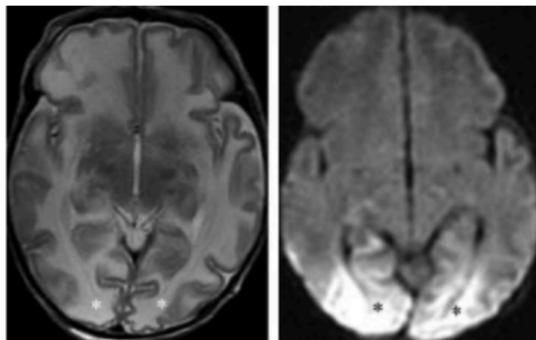


Рис.: Легкая или средняя степень тяжести ГИЭ. Парасаггитальное поражение белого вещества.

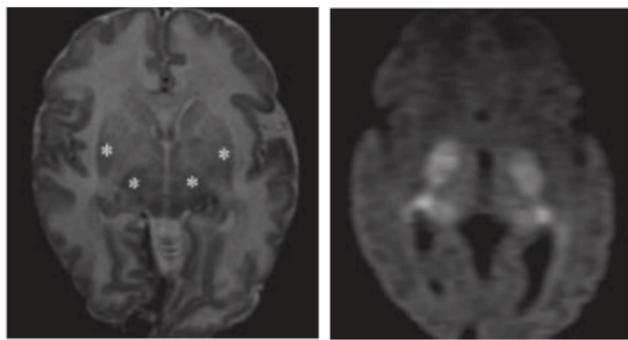


Рис.: Тяжелое поражение головного мозга с вовлечением таламуса и бледного шара билатерально.

Материалы и методы исследования

Распределение пациентов по возрасту и полу

Группа	Минимальный возраст	Максимальный возраст	Средний возраст	Мальчики	Девочки
Норма	8 мес	3 года	2 года	22	28
Патология	8,5 мес	3 года	1,9 лет	26	17

Патология, обнаруженная в группе ГИЭ по результатам МРТ

Перивентрикулярная лейкомаляция	Гидроцефалия			Атрофия мозолистого тела	Другие изменения вещества головного мозга
	Смешанная	Наружная	Внутренняя		
93%	37%	16%	11%	14%	16%

Материалы и методы исследования

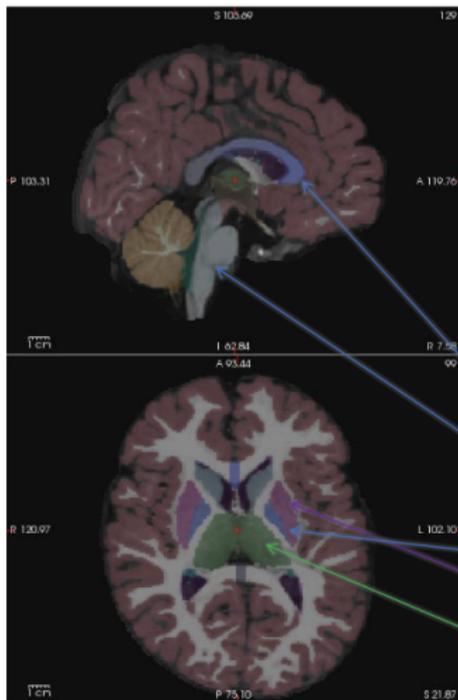
Протокол исследования пациентов

Последовательности	Параметры исследования					
	TR	TE	FOV	MTX	SN	VS
T1W_3D_TFE	7,3	3,4	256	244x216	133	1,1
T2W_SE	4433	100	230	288x175	22	0,8
FLAIR T2	11000	140	230	256x159	24	0,9
DWI	3155	82	199	132x89	25	1,5

TR (Repetition Time) время повторения в мс, TE (Echo Time) время эхо в мс, FOV (Field Of View) поле обзора в мм, MTX(Matrix) размер матрицы, S (Slice Number) количество срезов, VS (Voxel Size) объем вокселя в мм³.

Исследование проводилось на базе отделения лучевой диагностики СПбГПМУ (город Санкт-Петербург) на магнитно-резонансном томографе Philips Ingenia 1,5 T.

Сегментация коры и субкортикальных структур



← Ребенок из группы контроля

Ребенок из группы с ГИЭ →

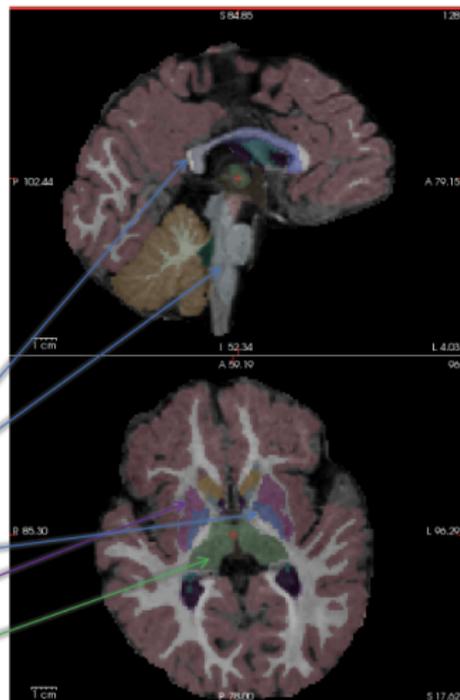
Мозолистое тело

Стол мозга

Бледный шар

Скорлупа

Таламус



Фрагмент таблицы данных полученных с помощью Freesurfer

E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Left-Lateral-Ventricle	Left-Inf-Lat-Ven	Left-Cerebellum-White-Matter	Left-Cerebellum-Cortex	Left-Thalamus-Proper	Left-Caudate	Left-Putamen	Left-Pallidum	3rd-Ventricle	4th-Ventricle	Brain-Stem	Left-Hippocampus	Left-Amygdala	CSF	Left-Accumbens-area	Left-Ventricl	Left-ventricl
6703.3	1341.6	5504.6	4117.3	2729.1	1814.7	1817.1	1021.2	1304.9	1509.0	8447.9	2178.8	902.5	909.9	303.7	2099.9	3.5
5093.9	746.5	5479.4	48151.9	3415.2	2513.8	2627.0	755.6	1051.7	1332.4	10039.8	1680.3	735	1065	341.3	2094.1	21.5
12690.2	1821.5	6151.8	37875.4	4034.2	3291.7	3853.5	1276.7	1758.5	1219	8912.4	2158.2	678	1109	315.7	2350.5	0
6353.1	404	9627.7	52105.5	6488	3059.5	4579	1354	976.5	1370.1	14019.9	3167.4	1231.9	618.4	640.3	2879.3	14.6
6350.5	182.5	6220.9	46500	4199.4	2953	2139.9	503.1	950.1	1206	9213.2	1007.9	382.7	941.6	278.2	2039.3	0
5514.8	321	4902.4	35341.8	2849.4	1619.2	1650.7	499.6	897.1	610.5	7115.4	1248.8	373.8	822.7	327.1	1596.7	0
3401.2	167.7	4781	43614.7	3262.2	1430.1	1764.5	821.9	559.1	1152.8	8058	1525.1	421.3	391.8	214.7	1689	0
8273.3	224.3	9352.8	57389.5	8783.1	3622.5	5396	1710.7	580.1	1426.3	13893.5	3079.1	1040.8	847.5	666.8	2898.6	17
10476.1	1785.1	18541.2	43425.9	6183.7	2932	3700.3	1187.9	1519.7	1586.7	11417.5	3350.1	659.5	1040	368.9	2657.5	68.2
15920	1236.5	8154.8	53026.0	6947.7	3172.8	4382.7	1279.8	1495.8	1862.3	12811.7	3439.8	1022.4	857.1	511.8	2985.1	20.5
29894.5	487	7188.1	4119.7	4197.1	3038.6	4927.0	1243.4	1105.7	2191.9	10319.4	2379.4	851.4	1285	384.7	2249	12
2625.4	107.8	4705.3	38795.8	2448.9	493.3	732	805.2	471	594.8	8839.3	1338.8	426.1	412.7	59.9	1535.0	0
5994.5	158.8	6440.3	38996.1	4900.1	2094.1	1693.7	463.8	944.5	2013.7	9713.8	2407.4	721.9	562.4	302.3	2338.2	0
4208.2	254.1	7514.6	45422.3	5331.2	2545.1	3795.1	1188.4	452.2	1638.1	11314.6	2800.3	753	811.2	437.9	2372.3	8
15058.8	920.7	7534.1	48997.5	6033.9	2663.2	4603.6	1359.7	1784.1	2194.6	11582.1	2741.9	1023.2	778.5	388.9	2805.0	16.9
6312.9	152.8	8878.7	48331	8086.3	2943.6	4606.7	1782.1	1048.7	1527.0	13850.3	3367.2	867.3	694	566.2	3376.1	0
8211.2	93.1	6608	45953.9	4180.3	2738	4306.4	1414.8	483.1	959.0	9178.5	2968.0	879.8	801.9	434.8	2053.8	36.3
9969.2	976.3	14230.8	39913.4	4307.5	1695.4	2096.4	309.3	1181.1	1025.7	9685.7	1938.3	617.3	1098	211.9	2210.5	0
4321.9	365.5	8245.4	48274.3	5074.8	2490.5	4812.2	1151.1	1458.4	1836.5	14112.6	3091.3	1039.1	896.1	538.3	3042.2	0
5150.9	484.6	7952.2	47372.6	6588.2	3364.2	4742.4	1354.1	968.5	963.9	14373.8	4063.1	1200	494.1	851.1	3188.9	12.3
8344.2	906.8	4529.1	20711.2	3265	1903.4	1606.8	968.4	1020	1111.0	7667.7	1639	352.1	1330	145.2	2100.3	0
47240.7	2196.3	9891.1	57301.1	4505.3	4248.4	5249.0	1547.9	2213.9	3052.1	12076.6	2480.3	1091.7	3021	519.1	2299	76.1
5486.7	368.7	7489.3	50749.8	5862.9	3158.1	5567.4	1466.5	1025.9	1300.1	11628.4	3177.9	1374.8	748.9	604.2	2465.5	68.7
12601.3	950.1	5832.1	39322.5	3684.2	2994.4	3140.4	1194.1	1950	3032.5	10445.6	2120.9	785.7	1478	493.5	2354	93.1
20245.8	633.2	14652.1	44020.3	4020.3	1895.3	2796.1	1214.7	1693.4	1301.9	8950.4	2191.0	730.6	2629	306.2	2274.7	8.6
3318.0	231	5424.9	41425.9	4158	2304.5	1705.8	823.9	584.2	600	8826.7	1716.7	414.2	677.1	159.9	1968	0
4371.2	404.6	9548.1	51605.3	6367	3897.3	5691.9	1804.7	794.9	1676.1	14006.6	3199.8	1198.8	915.4	664.8	2841.9	16.9
14042.8	528.4	41186.8	2347.3	893.3	818.8	963.1	1061.4	1802.9	9692.4	1174.3	363.6	1650	125	1571.3	0	
3710.2	348.2	8213.5	55758.9	6639	3247.8	4829.7	4493.4	980.5	1667.4	14268.2	3326.8	1333.6	658.2	628.8	2960.1	49.2
4248.9	510.2	7085.4	49299.7	6159.6	2466.6	2516.6	752.7	772.3	1007.4	11601.2	2519	607.8	610.6	491.2	2504	0
15403.8	1251.2	8463.1	3696.6	1889.3	2031.2	673.1	2253.1	1796.6	10756.6	1548.7	580.5	2121	289	1864.4	7.4	
6747.5	221.4	11634.4	41102.8	4500.3	2996.3	1699.8	615.1	1225.3	766.7	9810.4	2078.1	361.8	1268	339.6	2138.0	0
9478.2	632.1	5816.0	48037.1	4700	2269.1	2742.5	312.9	1332	1288	9690.7	1914.5	696.0	1198	220.6	2112.3	0
3833.8	428.3	10854.9	63425.4	7601.7	3715.3	5395.3	1613	808.8	2096.0	15734.4	3843.9	1254.9	777.5	817.9	3169.8	24.1
3969.7	320.4	7995.7	56860.4	5661.9	2336.8	4162.9	1302.1	1005.0	1375.9	12686.8	3162.5	970.8	1019	483.9	2780.4	22.3
18565.4	1519	7808.4	5656.4	5656.4	2867.5	2635.3	795	1176.1	1711.1	11768.1	2783	800.1	1040	2460.1	0	
3245.1	148.4	6547.8	40562.8	4548.1	2248.7	4077.6	1048.7	690.9	1098.8	9843.3	2645	841.3	873	457.2	2217.4	15.2
5947.9	305.9	5536.3	37510.4	3719	2812.2	3495.9	1283.9	887.7	1087.8	9079.7	2476.3	684.3	947.5	400.8	2065.8	13.5
3764.8	586.4	5294.7	40112.6	5006.6	2404.2	2594.5	463.9	500.9	547.4	9842.4	2088.3	425.1	986.4	404.6	2399.0	0
7712.5	461	3494.4	27279.4	3785	2317.1	3069.1	875.2	574.1	2119.1	7361.8	2474	740.4	519.4	465.8	1841.8	20.7
3606.7	254.9	6872.9	42013.7	4663.4	2424.3	3534.4	1066.8	548.9	1161	10331.8	2617.3	772.9	888	404.4	2142.0	24.9

Выделение признаков: предобработка

В результате были получены численные показатели 71 признака у 93 пациентов.

В связи с трудоемкостью сбора данных была рассмотрена задача выделения из общего списка наиболее важных признаков.

После выполнения начальной предобработки данных из общего списка признаков были выделены 53. Обозначим индексное множество этих признаков через I_0 .

Выделение признаков: жадный алгоритм

Утверждение

Множества пациентов A (с признаками ГИЭ: 43 человека) и B (без признаков ГИЭ: 50 человек) линейно отделимы по признакам из I_0 .

Алгоритм

Пусть множества A и B линейно отделимы по признакам из индексного множества I_k . Построим линейный классификатор [1]. Найдем индекс признака i , соответствующего коэффициенту классификатора с наименьшим по модулю значением. Обозначим $I_{k+1} := I_k \setminus \{i\}$. Если множества A и B линейны отделимы по множеству I_{k+1} , то перейдем к этому индексному множеству.

Выделение признаков: результат

В итоге работы жадного алгоритма было получено индексное множество признаков I_* , состоящее из 16 признаков.

Утверждение

Не существует подмножества $I \subsetneq I_*$, по которому множества A и B линейно отделимы.

Классификатор	Точность на I_0	Точность на I_*
Классификатор [1]	77.1%	82.0%
SVM	85.8%	83.2%

Выделение признаков: полученные признаки

Множество I_* состоит из следующих признаков:

'Age', 'Gender', 'Left-Cerebellum-White-Matter',
'Left-Pallidum', 'Left-Amygdala', 'Left-Accumbens-area',
'Left-vessel', 'Right-Lateral-Ventricle',
'Right-Thalamus-Proper', 'Right-Putamen',
'Right-Amygdala', 'Right-Accumbens-area',
'Optic-Chiasm', 'CC_Central', 'CC_Anterior',
'lhCortexVol'.

Выделение признаков: интерпретация результатов

Отобранные признаки соответствуют современным представлениям о природе поражений при ГИЭ — уменьшение объемов субкортикального серого вещества, коры, истончение мозолистого тела и некоторых других, уязвимых для гипоксии структур. Одним из отобранных признаков оказался пол пациента. Данная зависимость не описана в литературе и требует дальнейшего изучения.

Литература

-  Малоземов В. Н., Плоткин А. В. Строгое полиномиальное отделение двух множеств // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2019. Т. 6 (64). Вып. 2. — С. 232–240.
-  Ерохин М. В., Тащилкин А. И. О возможностях МР-морфометрии при диагностике гипоксически-ишемических поражений головного мозга у детей раннего возраста // Детская медицина Северо-Запада, 2018, Т. 7, 1. — С. 116–116.