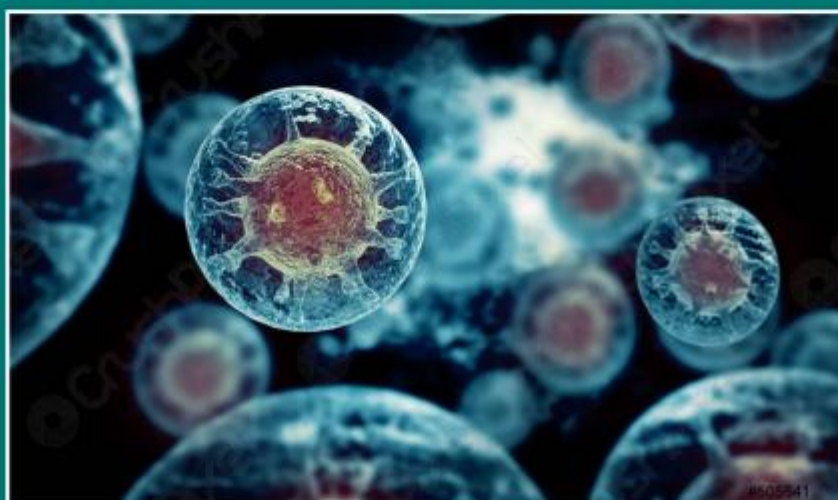


VII Съезд биофизиков России



Сборник научных трудов

Том. 2



17 - 23.04.2023 (г. Краснодар)

**Характеристики и интерпретация сигналов ЭМР в ткани СМ через 7 дней после его
травматического повреждения**

Юртаева С.В.^{1,4}, Яфарова Г.Г.^{1,2}, Язык И.В.¹, Гайнутдинов Х.Л.^{1,2}

¹Казанский физико-математический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН;

²Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет;
sustan.sish@rambler.ru

В последнее время изучение молекулярных механизмов повреждения нервных тканей и поиск путей восстановления возникающих нарушений после него ведутся очень интенсивно. Тяжелая травма позвоночника, осложненная повреждением спинного мозга (СМ) остается одной из актуальных медико-социальных проблем, т.к. ведет к глубокой инвалидизации пострадавших. Отсутствие в настоящее время эффективных методов лечения и реабилитации при данной патологии способствует интенсивному изучению молекулярных механизмов травмы нервных тканей. Одним из метаболитов, активно участвующих в развитии посттравматических состояний при повреждении нервной ткани является железо.

Известно, что повреждение СМ сопровождается гибелью клеток и кровотечением, что вызывает увеличение пула свободного железа. Считается, что избыточное количество ионы железа может инициировать вторичное повреждение тканей путем усиления свободно-радикальных процессов. В этом случае возможно усиление

процессов биоминерализации железа в тканях, результатом которых является образование кристаллических оксидов железа. Метод ЭМР позволяет зарегистрировать такие кристаллы.

К настоящему моменту известно о наблюдении сигналов электронного магнитного резонанса (ЭМР), зависящих от ориентации магнитного поля, в травмированных нервных тканях. Данные сигналы были зарегистрированы в травмированном седативном нерве дугишки [1] и травмированном СМ кошки [2]. Уже в первой работе, обнаружившей анизотропный сигнал в нервной ткани, высказывалось предположение о его ферромагнитном происхождении, однако источники этого типа сигналов и их характеристики не были установлены. Определение природы данных сигналов ЭМР может дать дополнительную информацию о молекулярных процессах, развивающихся после травмы нервной ткани, что может способствовать разработке новых методов коррекции возникающих метаболических сдвигов.

В данной работе методом ЭМР-спектроскопии было проведено изучение биоминерализации железа в тканях спинного мозга в условиях его травмирования. Исследована природа возникающих сигналов ЭМР в ткани травмированного СМ крысы через 7 дней после травмы. Проведено количественное сопоставление сигналов в травмированных и здоровых тканях.

Были изучены ткани СМ контрольные ($n=3$) и с экспериментальной моделью травмы спинного мозга (ТСМ) ($n=6$). Модернизирован ТСМ осуществлялся по методике Аллен [3]. В тканях СМ обнаружены два типа сигналов ЭМР, соответствующих кристаллическим оксидам железа, образующимся в результате биоминерализации. Изучены их температурные и угловые характеристики. Первый тип, характеризующийся зависимостью Нрес от ориентации в магнитном поле, отнесен нанокристаллическому магнетиту. Второй тип, характеризующийся суперпарамагнитным температурным поведением, отнесен кристаллическому ядру ферритина, ферригидрату. Первый тип сигналов преобладал в травмированных тканях, второй – в контрольных и преобладают в травме участках СМ. Были оценены интегральные интенсивности сигналов ЭМР в тканях. Обнаружено заметное увеличение сигнала ЭМР непосредственно в области травмы по сравнению с соседними областями СМ, а также по сравнению с аналогичными нетравмированными тканями СМ контрольных крыс, в среднем более чем в 2 раза, свидетельствующее о накоплении кристаллического железа в травмированной ткани. У крысы, с максимальным эффектом, сигнал в области травмы возрастал в 10 раз. Установленное увеличение количества кристаллических оксидов железа в травмированном СМ может быть связано с явлением «железо гомеостатического отклика» [4].

Обнаруженные в данной работе сигналы в тканях травмированного СМ и прилегающих отделах (выше и ниже травмы) обусловлены оксидами железа, в основном магнетитом и ферритином. Обнаружены разные виды угловой анизотропии Нрес, что свидетельствует о различной геометрии распределения накапливающегося кристаллических образований (в виде пленок, 3-х мерных структур, дисперсных наноразмерных зерен).

Следует отметить, что по данным литературы [5] период 7 дней после травмы характеризуется интенсивными процессами демиелинизации аксонов и увеличением количества макрофагов, которые способны утилизировать железо посредством ферритина и защищать клетки от гибели [6].

Изучение таких сигналов может быть важно, поскольку их амплитуда может отражать интенсивность патологического процесса демиелинизации нервных волокон, а оценка интенсивности сигналов в крови позволяет контролировать интенсивность этих процессов в ходе лечения спинальных травм. Обнаруженный нами эффект согласуется с известными в литературе предположениями механизма развития тканевых молекулярных процессов. При этом применение метода ЭМР-спектроскопии позволяет перейти к полуколичественной оценке наблюдаемого явления.

Исследования методом ЭМР-спектроскопии проводили в КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН в рамках выполнения госзаказа.

1. Comptone B., Woolam J.C., Larson E. Science 165, 703-704 (1969)
2. Milvy P., Kakan S. et al. Ann. of the New York Acad. of Sci. 222, 1102-1111 (1973)
3. Allen A.: JAMA (The Journal of The American Medical Association) 57, 878-80 (1911)
4. Rathore K. I., Kerr B.J. et al. Journal of Neuroscience, 28 (48) 12736-12747 (2008)
5. Planel J. R., Keough M.B. et al. Progress in Neurobiology 117, 54-72 (2014)
6. Mesquita G., Silva T., Gomes A.C. et al. Scientific Reports, 10, 3061 (2020)
