

**ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ
НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ
И ПЕЧЕНИ ЖИВОТНЫХ С РАЗНЫМИ КОНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМИ
ОСОБЕННОСТЯМИ**

Мартынюк С. Б., Овечкина З. А., Мартынюк В. С., Кучина Н. Б.

Введение

Проблема индивидуально-типологических (конституциональных) особенностей организмов, несмотря на многолетнее изучение, остается актуальной благодаря своей значимости как в теоретическом, так и в прикладном аспектах. Важным направлением этих исследований является поиск физиолого-биохимических механизмов, определяющих формирование и функциональное проявление индивидуально-типологических особенностей (ИТО) организма. Конституциональные характеристики играют существенную роль в реакции организма на действие различных внешних факторов, в том числе электромагнитных полей естественного и искусственного происхождения [1]. Такие интегральные показатели как чувствительность, реактивность и резистентность организма к воздействию фактору значительно варьируют в популяции. Они, как правило, отражают состояние отдельных функционально-метаболических систем организма и особенности их взаимодействия между собой.

Во многих работах, касающихся влияния магнитного поля на биологические системы, объектом исследования является нервная ткань, что связано с ее ключевой ролью в регуляции жизнедеятельности и высокой чувствительностью к данному физическому фактору [2]. В тоже время, в литературе имеются данные о магнито-чувствительности других органов и тканей, например, печени [3], которая, как известно, выполняет важные функции в осуществлении адаптивных реакций организма. Существенным элементом успешной адаптации к воздействию факторов окружающей среды является состояние энергетического обмена и, соответственно, энергообеспеченность тканей.

В связи с этим, целью данной работы являлось изучение активности ключевых ферментов цикла Кребса и электрон-транспортной цепи митохондрий в отдельных структурах головного мозга и ткани печени у интактных и подвергшихся однократному действию переменного магнитного поля (ПемП) животных с различными индивидуально-типологическими особенностями.

Методы исследований

Экспериментальная часть настоящей работы проведена на кафедре физиологии человека и животных и кафедре биохимии Симферопольского госуниверситета.

Эксперимент осуществляли на 38 беспородных крысах-самцах массой 180-200 г. Конституциональные особенности животных оценивали при помощи теста "открытого поля" [4]. По результатам тестирования крысы были разделены на 3 группы: животные с низкой (НДА), средней (СДА) и высокой двигательной активностью (ВДА). При этом выделенные группы животных характеризовались близки-

ми уровнями груминга и дефекации, различия между которыми носили недостоверный характер.

Активность сукцинатдегидрогеназы (СДГ) и НАД-зависимых дегидрогеназ (НАД-ДГ) в гомогенатах нервной ткани определяли феррицианидным методом [5,6] Активность α -кетоглутаратдегидрогеназы (α -КГДГ) определяли спектрофотометрически по скорости восстановления 2,6-дихлорфенолиндофенола [7].

В гомогенатах печени изучали активность α -КГДГ, сукцинатдегидрогеназы и НАД-зависимых дегидрогеназ электронтранспортной цепи митохондрий (НАД-ДГ). Активность КГДГ [7] и СДГ [8] определяли спектрофотометрически по скорости восстановления 2,6-дихлорфенолиндофенола. Активность НАДН-ДГ - по скорости восстановления гексацианоферрата калия [6].

Импульсное магнитное поле частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл создавали с помощью колец Гельмгольца. Параметры поля выбирали с учетом их геофизической, экологической и физиологической значимости [1]. Однократная экспозиция животных в магнитном поле составляла 3 часа.

Полученные результаты были обработаны с помощью параметрических статистических методов. В качестве критерия достоверности различий использовался критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Как видно из данных, представленных в таблице 1, печень низко активных животных, также как и кора больших полушарий, характеризуется незначительно повышенной активностью α -КГДГ. Активность данного фермента у этой группы животных приблизительно на 20% выше ($p < 0.1$), по сравнению с животными с высоким уровнем двигательной активности в «открытом поле». В тоже время, результаты эксперимента показали достоверно более высокую активность ($p < 0.05$) НАД-ДГ в печени у животных с низкой двигательной активностью в «открытом поле», что не характерно для нервной ткани. В головном мозге более высокая активность НАД-ДГ выявляется у активных в «открытом поле» животных. В отличие от данных о разной активности СДГ в мозге активных и неактивных животных, результаты нашего эксперимента показали практически одинаковую активность СДГ в печени крыс всех групп (табл.1).

Таким образом, анализ полученных результатов по группе интактных животных указывает на существование связи их поведения в «открытом поле» с активностью отдельных звеньев энергетического обмена как в центральной нервной системе, так и в периферических органах и тканях. Установить характер этих связей позволяет корреляционный анализ (табл.2). Как видно, наибольшая связь метаболических показателей с показателями горизонтальной двигательной активности животных свойственна для коры больших полушарий и гипоталамуса. При этом для НАД-ДГ она положительная и характеризуется высокими значениями $r = 0,5 \div 0,7$, а для СДГ – отрицательная. Это означает, что повышение активности животных в тесте «открытого поля» сопровождается увеличением активности НАД-ДГ в исследуемых отделах головного мозга и одновременно с этим компенсаторным снижением активности СДГ. Такие реципрокные отношения НАД-ДГ и СДГ давно описаны в литературе [9]. Необходимо отметить, что в противоположность нашим результатам в отдельных исследо-

ваниях [10,11] установлена положительная корреляция активности СДГ с активностью животных в « открытом поле». Возможно, основная причина такой противоречивости результатов носит методический характер. В упоминаемых исследованиях оценку активности СДГ проводили гистохимическими методами с использованием нитротетразолиевого синего в качестве красителя. Следует отметить, что данный гистохимический краситель хорошо восстанавливается различными НАД-ДГ тканей. Учитывая, что СДГ является одним из наиболее медленных ферментов [12] и абсолютная активность НАД-ДГ на два-три порядка превышает активность СДГ (табл. 1), гистохимическое определение активности СДГ скорее является интегральным методом оценки суммарной скорости использования таких энергетических субстратов как сукцинат и НАДН*Н⁺.

Таблица 1

Показатели активности ферментов энергетического обмена
в головном мозге и печени интактных животных

	НДА	СДА	ВДА
<i>Головной мозг</i>			
Кетоглутарат-дегидрогеназа, 0,001 нМ/мг ткани*мин	1) 0,016±0,001	0,016±0,002	0,014±
	2) 0,010±0,001	0,011±0,002	0,008±
Сукцинат-дегидрогеназа, 0,007 [MV1]нМ/мг ткани*мин	1) 0,070±0,012	0,050±0,005	0,038±
	2) 0,064±0,008	0,040±0,005	
НАДН-зависимые дегидрогеназы, нМ/мг ткани*мин	1) 12,2±0,5	16,1±0,9	16,7±0,9
	2) 13,8±0,3	15,9±0,7	16,2±0,6
	3) 16,4±0,9	16,8±0,13	15,6±1,2
	4) 20,1±0,5	21,5±0,6	21,7±0,4
<i>Печень</i>			
Кетоглутарат-дегидрогеназа, 0,034 нМ/мг ткани*мин	0,462±0,021	0,410±0,048	0,380±
Сукцинат-дегидрогеназа, нМ/мг ткани*мин	0,426±0,023	0,423±0,017	0,411±
НАДН-зависимые дегидрогеназы, нМ/мг ткани*мин	72,56±6,49	68,44±13,63	49,43±
	6,48		

Примечание: 1) и 2) - кора левого и правого полушария соответственно,
3) таламус, 4) гипоталамус.

Таблица 2

Корреляционные отношения активности ферментов энергетического обмена с показателем горизонтальной двигательной активности животных в «открытом поле»

ПеМП		Контроль	Воздействие
<i>Головной мозг</i>			
Кетоглутаратдегидрогеназа,	1)	-0,244±0,253	0,172±0,263
	2)	-0,320±0,245	-0,130±0,256
Сукцинатдегидрогеназа [MV2] 0,250	1)	-0,431±0,201*	-0,276±0,240
	2)	-0,465±0,209*	0,060±
НАДН-зависимые дегидрогеназы	1)	0,683±0,172*	0,356±0,234
	2)	0,661±0,177*	0,253±0,243
	3)	-0,172±0,232	-0,207±0,245
	4)	0,495±0,206*	0,580±0,280*
<i>Печень</i>			
Кетоглутаратдегидрогеназа,		-0,412±0,209	0,513±0,209*
Сукцинатдегидрогеназа		-0,025±0,229	-0,182±0,246
НАДН-зависимые дегидрогеназы		-0,364±0,219	-0,722±0,173*

Примечание: * - достоверная оценка коэффициента корреляции (P<0,05);

1) и 2) - кора левого и правого полушария соответственно,
3) таламус, 4) гипоталамус.

Необходимо обратить внимание на низкие значения коэффициента корреляции в таламусе. Отсутствие достоверно значимых корреляций в таламусе было обнаружено в наших исследованиях и для других метаболических показателей, таких как уровень продуктов перекисного липидов, концентрация тиолов и др. Возможно, это связано с тем, что таламус не принимает непосредственного участия в формировании и реализации программ мотивационного поведения животных.

В печени корреляционная связь активности исследуемых ферментов с показателями поведения животных имеет менее выраженный характер (табл.2).

Однократное воздействие ПеМП не привело к статистически значимым изменениям активности α-КГДГ в коре больших полушарий животных всех исследуемых групп (рис. 1). Изменение активности СДГ в данном отделе головного мозга в сторону увеличения было выявлено только в группе высокоактивных животных, тогда как активность НАД-ДГ практически не изменялась. Следует, однако, отметить одну интересную на наш взгляд особенность действия слабого переменного магнитного поля. Однократное воздействие данного фактора приводило к разруше-

нию исходных корреляционных связей между поведением животных в «открытом поле» и активностью исследуемых ферментов в коре больших полушарий и гипоталамусе (табл.2). При этом, метаболическая ситуация в таламусе принципиально не изменяется. Данные факты мы рассматриваем как свидетельство более высокой чувствительности и реактивности на действие ПеМП тех структур головного мозга, которые непосредственно участвуют в формировании эмоционального статуса организма и программ его поведения.

Воздействие ПеМП у разных группа животных в печени привело к различным, как по величине, так и по направлению изменениям в состоянии ферментов энергетического обмена (рис.2). Так, активность НАД-ДГ ЭТЦ у животных с ВДА под воздействием поля достоверно снизилась на 22%. Возможно, уменьшение активности НАД-дегидрогеназного участка ЭТЦ в некоторой степени может компенсироваться усилением потока восстановленного НАД на ЭТЦ, который поступает из метаболических путей, в т.ч. из ЦТК. В пользу этого допущения говорит повышение активности α -КГДГ у животных с ВДА.

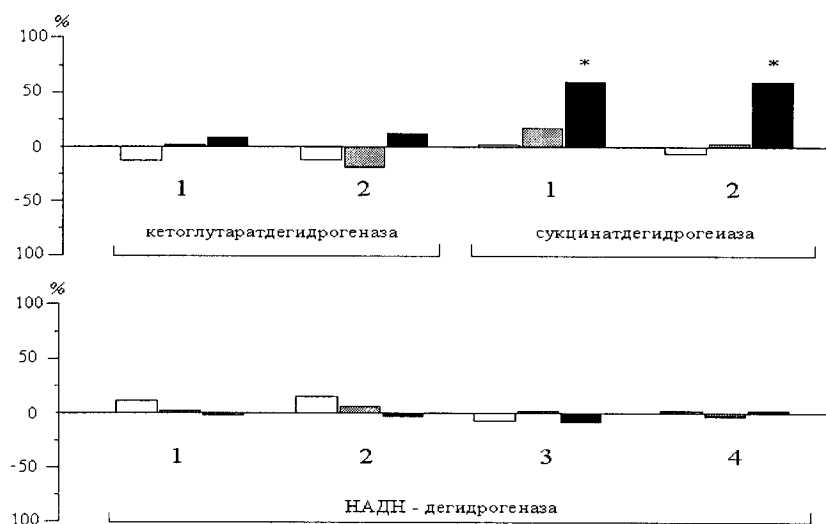


Рис. 1. Влияние ПеМП на активность ферментов энергетического обмена в головном мозге у животных с разным типом поведения в "открытом поле"

Обозначения:
 □ - низкая активность в "открытом поле"
 ■ (grey) - средняя активность в "открытом поле"
 ■ (black) - высокая активность в "открытом поле"
 1- кора левого полушария, 2- кора правого полушария,
 3 - таламус, 4 - гипоталамус
 * - достоверные изменения ($p < 0,05$)

Повышение активности НАД-ДГ ЭТЦ в печени у крыс с СДА сопровождается снижением активности СДГ, что свидетельствует об активности компенсаторного

механизма регуляции потока электронов в ЭТЦ. т.к. известно, что эти два входа в ЭТЦ в различных условиях могут реципрокно активироваться и дезактивироваться [19].

У крыс с НДА незначительная интенсификация НАД-дегидрогеназного участка ЭТЦ сопровождается малодостоверными изменениями активности СДГ и достоверно значимым снижением активности α -КГДГ.

В отличие от головного мозга, где воздействие ПеМП приводило к разрушению корреляционных отношений, характерных для интактных животных, в печени данное физическое воздействие приводило к заметному усилению корреляционных связей (табл. 2). Данная особенность влияния ПеМП пока трудно объяснима в рамках современных представлений о системных механизмах действия низкочастотных магнитных полей и поэтому остается в ранге феномена.

Таким образом, проведенные исследования показали, что у интактных крыс-

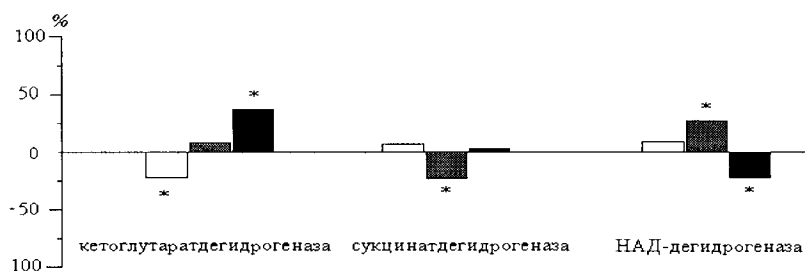


Рис. 2. Влияние ПеМП на активность ферментов энергетического обмена в печени у животных с разным типом поведения в "открытом поле"

Обозначения:
 □ - низкая активность в "открытом поле"
 ▨ - средняя активность в "открытом поле"
 ■ - высокая активность в "открытом поле"
 * - достоверные изменения ($p < 0,05$)

самцов с разным типом поведения в «открытом поле» существуют различия в активности α -кетоглутаратдегидрогеназы, сукцинатдегидрогеназы и NADH-дегидрогеназного комплекса ЭТЦ митохондрий. Воздействие поля частотой 8 Гц и индукцией 5 мкТл в разных группах животных приводит к различным по характеру изменениям в показателях энергетического метаболизма. Полученные результаты позволяют предположить, что под действием таких слабых внешних факторов как ПеМП в организме как единой целостной системе для наименьшего отклонения от устойчивого функционирования осуществляются адаптивные реципрокные изменения активностей ее отдельных звеньев.

Литература

1. Темурьянц Н.А., Грабовская Е.Ю. Реакция крыс с различными конституционными особенностями на действие слабых переменных магнитных полей сверхнизких частот // Биофизика.-1992. - Т.37, в.37. – С. 817.
2. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему.- Киев : Наукова думка., 1986. – 159 с.

3. Холодов Ю.А., Лебедева Н.П. Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля. -М.: Наука, 1992. – 135 с.
4. Маркель А.Л., Хусаинов Р.А. Метод комплексной регистрации поведенческих и вегетативных реакций у крыс при проведении теста «открытого поля» // ЖВНД. – 1976. – Т. 26, № 6. – С.1314.
5. Методы биохимических исследований. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. – С. 207.
6. Карузина И.И., Арчаков А.И. Выделение микросомной фракции печени и характеристика ее окислительных систем. // В кн.: «Современные методы в биохимии». - М.: Медицина, 1977. – С. 57.
7. Снечук М.А., Галемжа А.А. Изучение каталитических свойств альфа-кетоглутаратдекарбоксилазы из мозга быка // Биохимия. – 1976. – Т. 41, в. 3. – С.491.
8. Кривченкова Р.С. Определение активности сукцинатдегидрогеназы в суспензии митохондрий // В кн.: «Современные методы в биохимии. – М.: Медицина, 1977. – С. 44.
9. Кондрашова М.Н. Взаимодействие процессов переаминирования и окисления карбоновых кислот при различных функциональных состояниях ткани // Биофизика. – 1989. – Т. 34, в. 5. – С.450.
10. Саркисова К.Ю., Ноздрачева Л.В., Куликов М.А. Взаимосвязь между индивидуальными особенностями поведения и показателями энергетического метаболизма мозга у крыс // ЖВНД. – 1991. – Т. 41, в. 5. – С.963.
11. Ливанова Л.М., Саркисова К.Ю., Лукьянова Л.Д., Коломейцева И.А. Дыхание и окислительное фосфорилирование митохондрий мозга крыс с разным типом поведения // ЖВНД. – 1991. – Т. 41, в. 5. – С. 973.
12. Шноль С.Э. Физико-химические факторы биологической эволюции. – М.: Наука, 1979. – 263 с.