

УДК 61.612

ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПОЛЯ НА КЛЕТОЧНУЮ КУЛЬТУРУ ЧЕЛОВЕКА

© 2018 В.А. Глущенков^{1,3}, О.В. Тюмина², И.А. Беляева¹, А.И. Игнатенко¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева

² Самарский государственный медицинский университет, ГБУЗ «МЦ Династия»

³ Самарский научный центр Российской академии наук

Статья поступила в редакцию 15.11.2018

Реакция живого организма, и в первую очередь клетки, на внешние физические раздражители широко освещена в специальной медицинской литературе. К таким раздражителям относится и воздействие на клетку магнитного поля. В настоящее время на машиностроительных предприятиях используются процессы магнитно-импульсной штамповки, сборки и сварки. Параметры такого излучения H , f , W , энергии — на несколько порядков более высокие, чем используемые в медицине. В рамках данной работы сделана попытка оценки влияния параметров таких полей на мезенхимально-стромальные клетки человека (МСКч) в экспериментах *in vitro*. Были оценены такие физиологические параметры, как жизнеспособность, пролиферативная активность и морфологические характеристики культуры МСКч. Подобные эксперименты на клеточном уровне помогут в дальнейшем оценить влияние импульсно-магнитного поля высокой напряженности на организм человека.

В результате исследований, было установлено, что воздействие ИМП на культуру МСКч приводит к мгновенному частично обратимому повреждению цитоплазматических мембран клеток, как следствие, снижению жизнеспособности культуры и негативным изменениям морфологии клеток.

Ключевые слова: импульсное магнитное поле высокой напряженности, напряженность, частота, количество импульсов, культура мезенхимально-стромальных клеток человека, жизнеспособность клеточной культуры.

ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

В настоящее время исследовано действие на биологическую клетку магнитных полей малой интенсивности в широком диапазоне частот и при довольно длительном воздействии на организм [1, 2, 3]. Многие из этих исследований инициированы внедрением в практику приборов и устройств, излучающие магнитные поля и потребностью в знании и оценке их действия на организм. В результате проведенных исследований сформулированы явления, происходящие в клетке под действием магнитных полей: изменение проницаемости липидных мембран клеток, вследствие чего изменяется транспортировка ионов; активизация биохимических реакций; упорядочение положений молекул

Глущенков Владимир Александрович, профессор кафедры обработки металлов давлением Самарского университета, начальник отдела СамНЦ РАН. E-mail: vgl@ssau.ru

Тюмина Ольга Владимировна, профессор РАЕ, врач высшей категории, доктор медицинских наук. E-mail: centr123@bk.ru

Беляева Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Самарского университета.

E-mail: belyaeva-omtr@yandex.ru

Игнатенко Александр Ильич, магистр.
E-mail: mc-alexandro@bk.ru

внутриклеточных структур и пр. Выявленные механизмы изменений, происходящих в клетке, с одной стороны, (при отрицательном воздействии) позволили разработать предельно допустимые уровни облучения, а с другой (при положительном воздействии) создать лечебные методики физиотерапии [4].

На машиностроительных предприятиях используются процессы магнитно-импульсной штамповки, сборки и сварки [5]. Источником импульсных магнитных полей (ИМП) в этих технологиях является индуктор [6], соединённый с магнитно-импульсной установкой (МИУ) [7]. Энергия воздействия в этом случае составляет уже на порядки большую величину, но время однократного воздействия уменьшается до милли- и микросекунд при килогерцовых частотах. Сведений о воздействии таких полей на клеточную культуру — не обнаружено.

Предполагается, что при таких параметрах к известным механизмам выявленных процессов, происходящих в клетке под воздействием магнитных полей, добавятся новые, например, тепловые, механические, магнитные и другие.

В данной работе сделана попытка оценки влияния параметров воздействия ИМП высокой напряжённости на изменение физиологических параметров культуры МСКч *in vitro*, что в дальнейшем позволит спрогнозировать его влияние на организм *in vivo*.

МЕТОДИКА ОЦЕНОЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В работе было использовано два вида магнитно-импульсных установок, с различными видами индукторов (плоским и цилиндрическим), обеспечивающие разные параметры воздействия.

Была использована культура мезенхимально-стромальных клеток человека, полученная из пупочного канатика новорожденного ребёнка. Клетки в экспоненциальной фазе роста были рассажены на чашки Петри Ø 60x20 мм в количестве $\sim (37-41) \cdot 10^5$ на чашку. При этом использовалась ростовая среда - МЕМ (Пан-Эко, Россия) с содержанием 10% фетальной бычьей сыворотки (HyClone, USA) и 2-х мл глутамина (Пан-Эко, Россия). Культивирование клеток проводили в условиях CO_2 инкубатора при $T = 37^\circ\text{C}$ с содержанием углекислоты 5% и относительной влажности 85%.

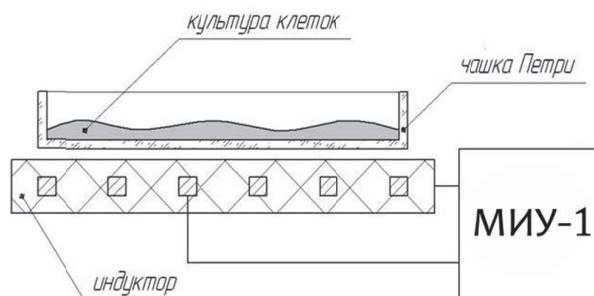


Рис. 1. Схема воздействия импульсно-магнитного поля плоского многовиткового индуктора на клетки

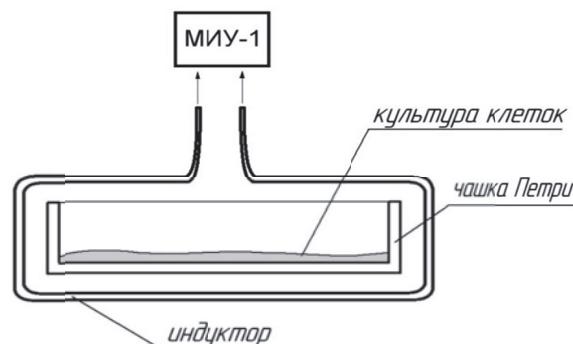


Рис. 2. Схема воздействия импульсно-магнитного поля замкнутого кольцевого одновиткового индуктора на клетки

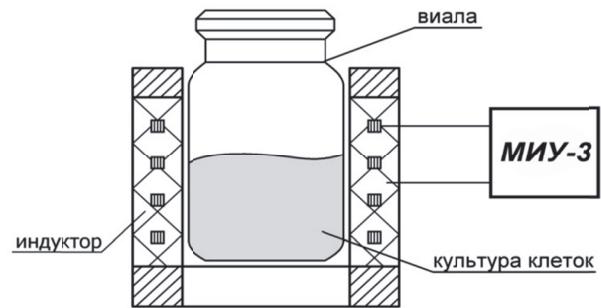


Рис. 3. Схема воздействия импульсно-магнитного поля цилиндрического индуктора на клетки

Для оценки плотности культуры в 3-х полях зрения и морфологии клеток относительно необлученного контроля был использован метод визуализации в проходящем свете с помощью системы CarlZeiss, Observer, и системы фото-видеодокументации AxioVision.

Схемы воздействия ИМП на клеточные культуры приведены на рисунках 1, 2, 3.

Параметры магнитно-импульсных установок представлены в таблице 1.

Внешний вид экспериментального комплекса приведен на рисунке 4.

Варьируемые в экспериментах параметры: энергия воздействия от двух различных магнитно-импульсных установок, позволили оценить влияния энергии воздействия, а использование двух индукторов с различным числом витков обеспечило различные значения частот облучения. Кроме того, на исследуемые культуры воздействовали сериями с разными количествами импульсов. Программа экспериментов представлена в таблицах 2, 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рисунке 5 представлены примеры фотографий клеточных культур после воздействия на неё ИМП в разные промежутки времени.

На фотографиях хорошо прослеживается факт, что спустя один час после воздействия на клеточную культуру, количество живых клеток резко уменьшилось. Однако спустя некоторое время количество клеток начинает увеличиваться, но не достигает первоначального количества. Так, через 5 суток, количество жизнеспо-

Таблица 1. Параметры МИУ

W – энергоемкость МИУ; U – напряжение заряда накопителя энергии МИУ;
 C – емкость МИУ; L_0 – собственная индуктивность, f_0 – частота короткого замыкания

Параметры МИУ-1				
W , кДж	U , кВ	C , мкФ	L_0 , нГн	f_0 , кГц
1,1	≤7,5	41	115	72

Параметры МИУ – 3				
W , кДж	U , кВ	C , мкФ	L_0 , нГн	f_0 , кГц
3,1	≤ 8,5	35	90	64

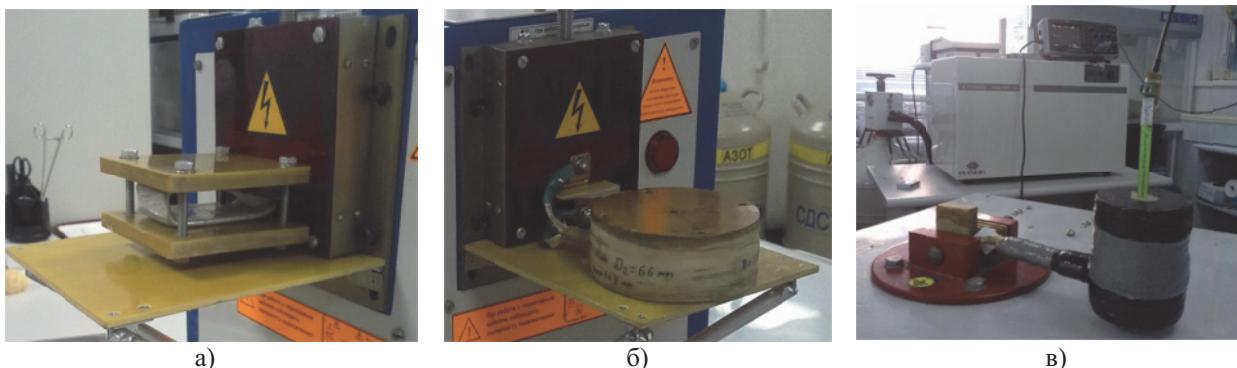


Рис. 4. Внешний вид экспериментального комплекса:
а – с одновитковым индуктором; б – с плоским многовитковым индуктором;
в – с цилиндрическим индуктором

Таблица 2. Программа эксперимента для МИУ – 1

Энергоемкость W, кДж	Количество импульсов, N	Частота разряда, f_0 , кГц	
		Многовитковый индуктор	Одновитковый индуктор
0,25	3	10,5	-
0,25	5	-	70
0,5	3	10,5	-
0,5	5	-	70
1,0	5	10,5	-
1,0	9	-	70

Таблица 3. Программа эксперимента для МИУ – 3

Энергоемкость W, кДж	Количество импульсов N	Частота разряда f_0 , кГц
1,0	10	10
1,0	20	10
1,0	30	10
1,0	10	25,5
2,0	10	10
2,0	10	2

собных клеток может восстановиться до 80-85% по отношению к общему количеству клеток. Прослеживалось изменение в морфологии клеток: изменение формы, в некоторых случаях происходило разрушение мембранных клеток.

По результатам первой группы исследований с плоским индуктором, стало возможным определить влияние параметров магнитно-импульсного воздействия на морфологию и процесс деления клеток (рисунок 6).

Из графика видно, что процесс восстановления жизнеспособности клеток на различных временных интервалах различен. Повышение жизнеспособности можно объяснить как размножением оставшихся клеток, так и регенерацией повреждённых.

По результатам второй группы исследований стало возможным определить, например, влияние энергии магнитно- поля на морфологию и жизнеспособность (рисунок 7).

Из графика видно, что жизнеспособность клеток во времени при различных значениях энергии обработки различна.

ВЫВОДЫ

Установлен факт обратимого негативного изменения физиологических параметров культуры МСКч при воздействии импульсного магнитного поля высокой напряжённости. Так, непосредственно после воздействия плотность популяции клеток уменьшалась с 90% до 20%, а

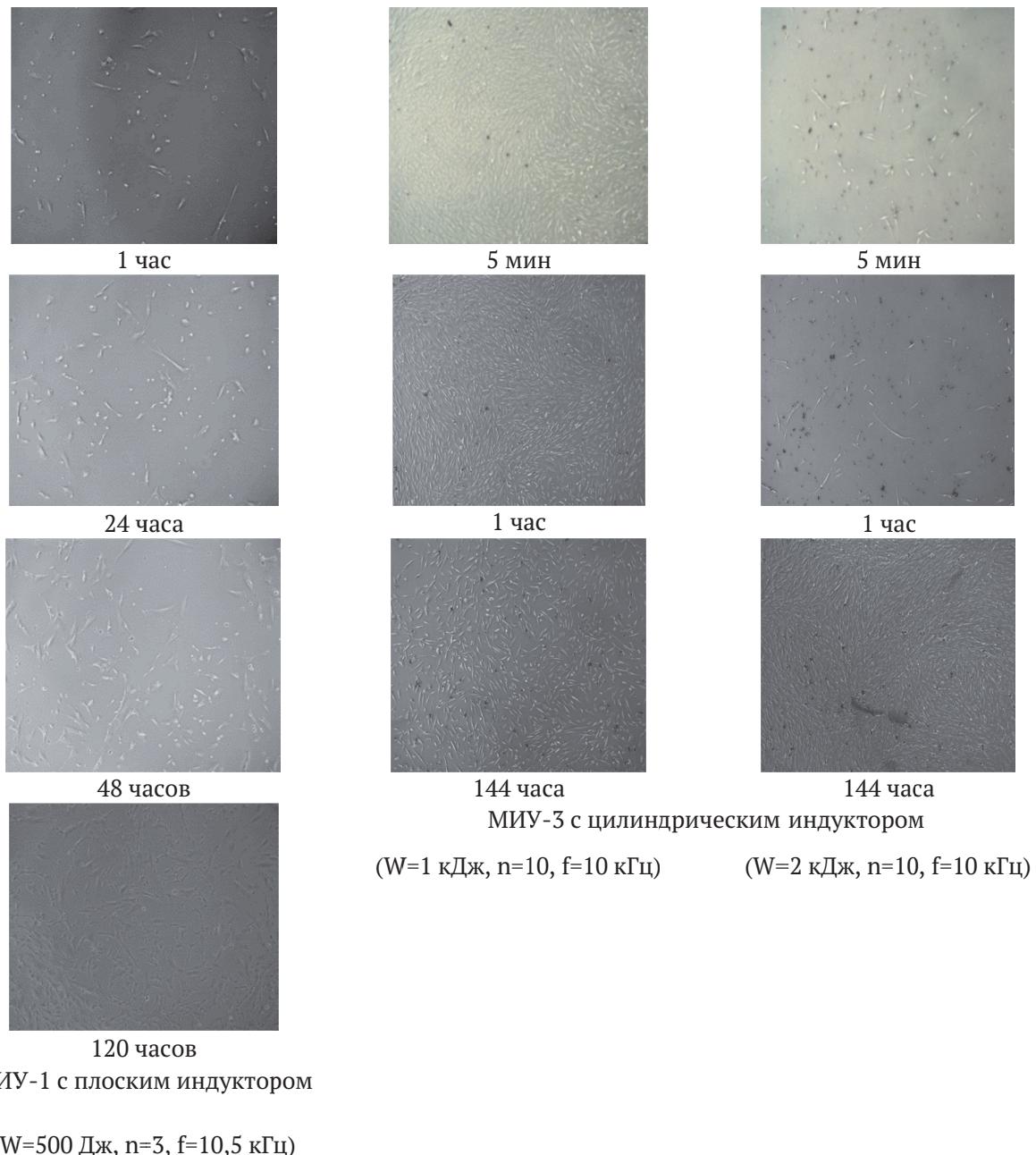


Рис. 5. Фотографии клеточных культур после воздействия ИМП

спустя 5 суток оставшиеся клетки благодаря делению или регенерации восстанавливают количество до 80-85%.

Показано различие в поведении клеточной культуры при различных параметрах ИМП, таких как энергия, частота и количество импульсов. Проведенные эксперименты показали, что на физиологические характеристики культуры клеток в той или иной мере влияют все параметры ИМП: энергия, частота, количество импульсов.

Фотографии облученных клеток показали морфологические изменения клеток, которые способствуют созданию научно-обоснованной модели поведения МСКч под воздействием ИМП (тепловые и механические последствия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбаков, Ю.Л. Общее воздействие на организм слабого низкочастотного вихревого магнитного поля при развитии опухолевого процесса [Текст]: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. 03.01.01 / Ю.Л. Рыбаков // Автореферат. – Москва, 2013. – 49 с.
2. Филиппова, Н.А. Влияние низкоинтенсивной магнитотерапии на про/антиоксидантный статус плазмы крови у пациентов с сахарным диабетом [Текст] / Н. А. Филиппова, А. П. Сиваков, А. В. Маркарчик, Т. С. Петренко // Проблемы здоровья и экологии. – Минск – 2015. – С. 41-45.
3. Сидоренко, Ю.С. Результаты комплексной терапии злокачественных глиом головного мозга с применением переменных магнитных полей сверхнизких частот и постоянного магнитного поля [Текст] / Ю.С. Сидоренко, С.В. Григоров, Д.П. Атмачиди // Медици-

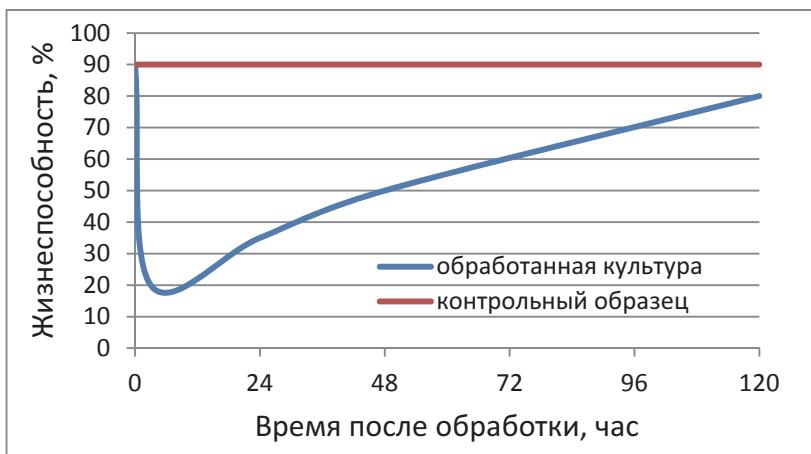


Рис. 6. Изменение жизнеспособности культуры подвергшейся воздействию ИМП во времени

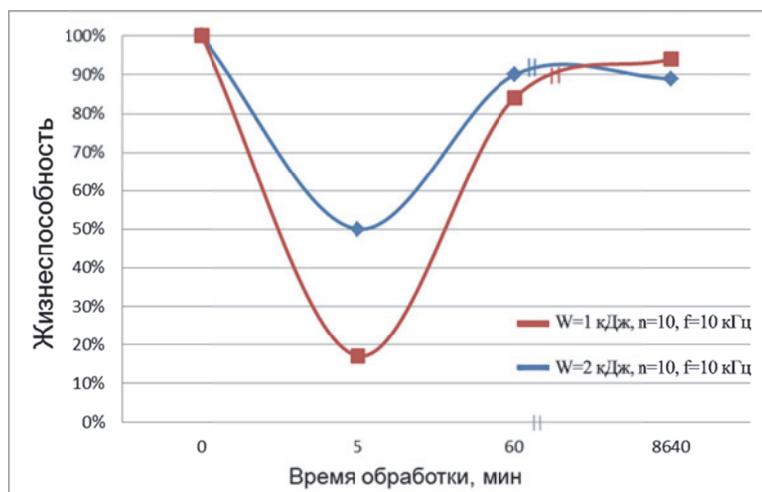


Рис. 7. Изменение жизнеспособности культуры от различной энергии магнитного поля

- на и здравоохранение. – Ростов-на-Дону – 2010. – 5 с.
2. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 38 с.
 3. Глущенков, В.А. Технология Магнитно-Импульсной обработки материалов [Текст] / В. А. Глущенков, В. Ф. Карпухин.– Самара: ЗАО «Издательский дом «Федоров», 2014. 193 с.
 4. Глущенков, В.А. Индукторы для магнитно-импульсной обработки материалов: учебное пособие/ В. А. Глущенков.- Самара: Издательство «Учебная литература», 2013. – 148 с.
 5. Глущенков В.А. Энергетические установки для магнитно-импульсной обработки материалов / В. А. Глущенков. – Самара: издательский дом «Фёдоров», 2013. – 123 с.

IMPACT OF A PULSE-MAGNETIC FIELD ON HUMAN CELL CULTURE

© 2018 V.A. Glushcenkov^{1,3}, O.V. Tyumina², I.A. Belyaeva¹, A.I. Ignatenko¹

¹ Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

² Samara State Medical University, SBHI «MC Dynasty»,

³ Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

The reaction of a living organism, and in the first place of a cell, to external physical stimuli is widely covered in the special medical literature. Such stimuli include the impact of a magnetic field on a cell. At present, processes of pulse-magnetic stamping, assembling and welding are used in machine-building enterprises. Parameters of such radiation H , f , W and energies are several orders of magnitude higher than those used in medicine. In the framework of this work an attempt has been made to assess the influence of the parameters of such fields on human mesenchymal stromal cells (HMSC) in the experiments *invitro*. Such physiological parameters as viability, proliferative activity and morphological

characteristics of the HMSC culture were evaluated. Such experiments at the cellular level will help in the future to assess the impact of the high-intensity pulse-magnetic field on the human body. As a result of the experiments, it was found that the impact of the pulse-magnetic field on the HMSC culture leads to instant, partially reversible damage of cytoplasmic membranes of cells and, as a consequence, to a decrease in the viability of the culture and negative changes in cell morphology.

Keywords: High-intensity pulse-magnetic field, intensity, frequency, number of cells, culture of human mesenchymal stromal cells, viability of cellular structure.

Vladimir Glushchenkov, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of processing of metals pressure. Head of the Department of Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences.

E-mail: vgl@ssau.ru

Olga Tyumina, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of the Highest Category, Doctor of Nederal Sciences. E-mail: centr123@bk.ru

Irina Belyaeva, Ph.D., Associate Professor of the Department of Processing of Metals Pressure.

E-mail: belyaeva-ommr@yandex.ru

Alexander Ignatenko, Master.

E-mail: mc-alexandro@bk.ru