

# Physical processes acting in biological tissue during irradiation with high-frequency electromagnetic radiation

Alekseev A.<sup>1</sup>, Zakharov Y.<sup>2</sup>, Zakharov M.<sup>3</sup>, Smirnov A.<sup>4</sup>, Tolkacheva E.<sup>5</sup> (Russian Federation)

## Физические процессы, протекающие в биотканях при высокочастотном электромагнитном облучении

Алексеев А. А.<sup>1</sup>, Захаров Ю. Б.<sup>2</sup>, Захаров М. Ю.<sup>3</sup>, Смирнов А. Б.<sup>4</sup>, Толкачева Е. Г.<sup>5</sup> (Российская Федерация)

<sup>1</sup>Алексеев Андрей Андреевич / Alekseev Andrey – студент;

<sup>2</sup>Захаров Юрий Борисович / Zakharov Yuri Borisovich – кандидат технических наук, доцент; кафедра физики и информационных систем, физико-технический факультет, Кубанский государственный университет;

<sup>3</sup>Захаров Михаил Юрьевич / Zakharov Mikhail – доцент, кафедра математики (и информатики),

Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков;

<sup>4</sup>Смирнов Алексей Борисович / Smirnov Aleksey Borisovich – системный администратор, ООО «Статус»;

<sup>5</sup>Толкачева Елена Георгиевна / Tolkacheva Elena – ассистент, кафедра прикладной математики, Кубанский государственный университет, г. Краснодар

**Аннотация:** в статье описывается более глубокое понимание сути процессов, происходящих в биотканях при облучении высокочастотным ЭМП, а именно индуктотермическом воздействии, на основании известных физических законов. В конце статьи анализируется положительное влияние ЭМП, а также возможные негативные последствия при чрезмерном облучении ЭМП высокой частоты.

**Abstract:** this article describes the deeper understanding of processes, acting in biological tissue during the irradiation with high-frequency electromagnetic radiation, especially inductothermical method of therapy, based on well-known physical laws. Positive effect of electromagnetic field and possible negative repercussion of excessive electromagnetic field irradiation were described at the final part of this article.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, переменное электрическое поле, переменное магнитное поле, индуктотермия.

**Keywords:** electromagnetic radiation, variable electric field, variable magnetic field, inductotherapy.

Высокочастотные магнитные поля окружают нас повсеместно, но принцип их действия на человека до сих пор остается не полностью изученным. Более глубокое понимание сути процессов, происходящих в биотканях при облучении высокочастотным ЭМП, а именно индуктотермическом воздействии, на основании известных физических законов изложено с биофизической точки зрения. Индуктотермия – это физиопроцедурный метод воздействия высокочастотным переменным магнитным полем [1]. На практике, индуктотермия – это воздействие переменным магнитным полем высокой частоты на ткани организма [2].

Под действие магнитных полей попадают клеточные и неклеточные компоненты, что приводит к самым разным эффектам – не только положительным, но и отрицательным. Опыт многолетних наблюдений говорит нам о том, что некоторые ЭМП представляют потенциальную угрозу для здоровья людей и являются не менее существенным фактором, чем температура, давление и влажность. Интерес к этой проблеме обусловлен, прежде всего, экологическими причинами. Высокая лечебная эффективность ЭМП указывает на их потенциальную опасность. Можно провести аналогию с применением химических препаратов. Полезные в определенных дозах лекарственные средства становятся опасными в условиях их бесконтрольного и хронического воздействия [3].

Воздействие переменного магнитного поля на биологические ткани можно разделить на четыре этапа. Разобьем один период изменения магнитного поля на четыре равные части – это и есть этапы воздействий. На рис. 1 представлен график, иллюстрирующий виды воздействий в зависимости от временного промежутка. Вектора магнитного момента вихревого тока  $\vec{P}_m$  и магнитной индукции  $\vec{B}$  периодически меняют своё направление друг относительно друга. Сонаправленность векторов

постепенно сменяется противоположным направлением. Этот процесс повторяется четыре раза за период  $T$ .

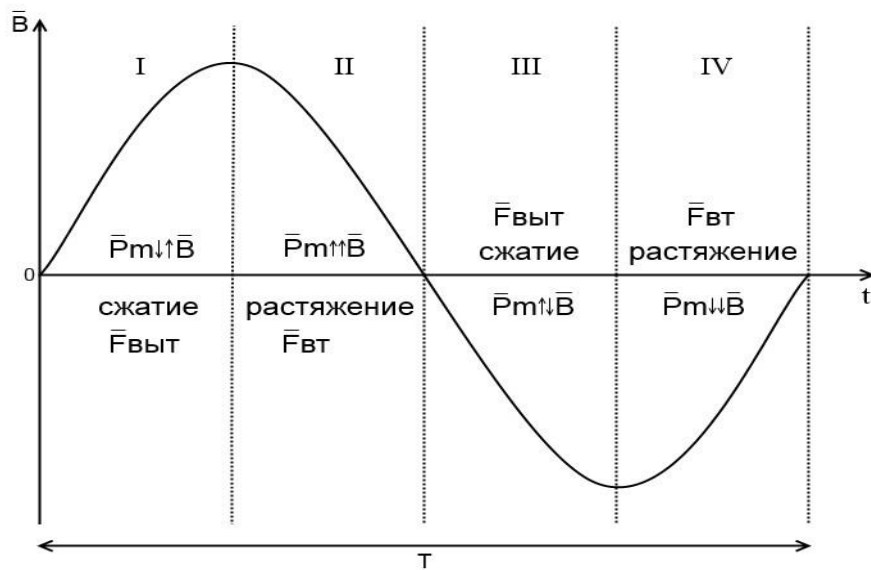


Рис. 1. Этапы воздействия переменного магнитного поля

Основной закон электромагнитной индукции Фарадея:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi_m}{dt} = -S \frac{dB}{dt}, \text{ где } (1)$$

$\varepsilon_i$  – ЭДС индукции;

$\frac{d\Phi_m}{dt}$  – изменение магнитного потока во времени;

$S$  – площадь замкнутого проводящего контура;

$\frac{dB}{dt}$  – изменение магнитной индукции во времени.

Знак «минус» в формуле (1) означает, что индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток. Это утверждение называется правилом Ленца [3, 5].

I этап, когда  $B$  растёт.

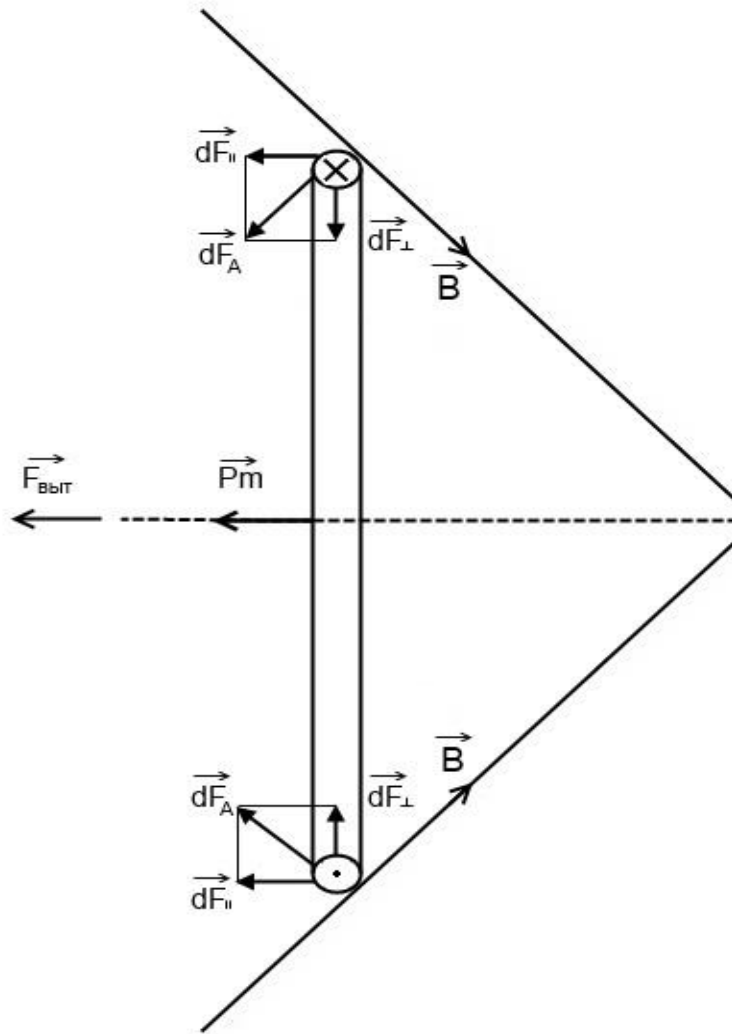


Рис. 2. 1 этап

В биоткани возникает вихревой ток  $I$ . Если магнитное поле растет, то магнитный момент вихревого тока  $\vec{P}_m$ , согласно принципу Ленца, направлен против направления его роста.

$$P_m = IS \quad (2)$$

Эта формула (2) определяет магнитный момент вихревого тока. Вектор  $\vec{P}_m$  направлен против вектора  $\vec{B}$  [6]. На схеме, иллюстрирующей этапы воздействия переменного магнитного поля (Рис. 1), это обозначено таким образом:  $\vec{P}_m \downarrow \vec{B}$ .

По правилу правого винта определяем направление тока относительно магнитного момента (Рис. 2). Элемент силы Ампера:

$$dF_A = IdLB \quad (3)$$

Его направление определяется по правилу левой руки: силовые линии  $\vec{B}$  входят в ладонь, четыре пальца вдоль тока – отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление силы Ампера [6].

Разложим элемент вектора силы Ампера на две компоненты: параллельную и перпендикулярную, по отношению к  $P_m$ :

$$d\vec{F}_A = d\vec{F}_{\parallel} + d\vec{F}_{\perp} \quad (4)$$

Теперь рассмотрим отдельно перпендикулярную и параллельную компоненты элемента силы Ампера. Для перпендикулярных компонент элемента силы Ампера:

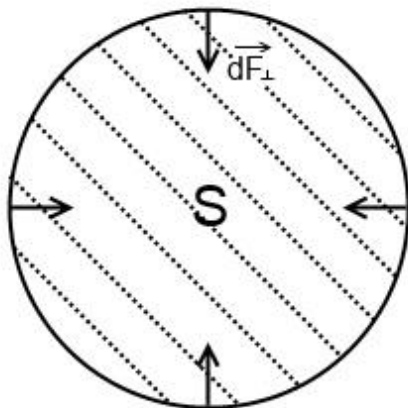


Рис. 3. Иллюстрация воздействия перпендикулярных компонент элемента силы Ампера на этапе I

Просуммировав по контуру силы вихревого тока, получим:

$$\oint_1 d\vec{F}_{\perp} = 0 \quad (5)$$

Вихревые токи будут стремиться ужаться к центру, то есть это приводит к силовому воздействию на биоткань к центру токов. Все вихревые токи на данном этапе I будут стремиться уменьшить площадь вихревых токов S, т.е. биоткани под действием токов будут ужиматься (Рис. 4).

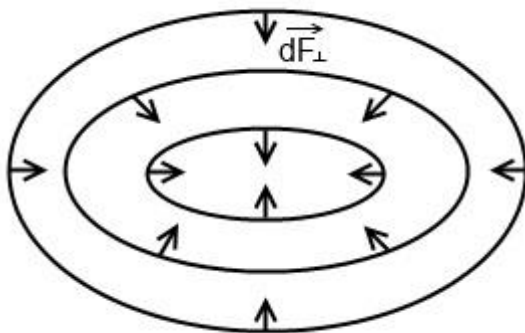


Рис. 4. Сжатие биоткани

Происходит сжатие биоткани.

Для параллельных компонент элемента силы Ампера будем иметь следующую схему воздействия (Рис. 5) :

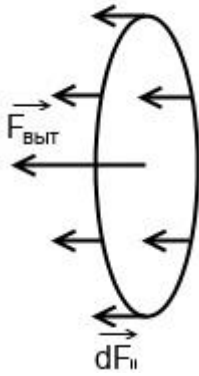


Рис. 5. Иллюстрация воздействия параллельных компонент элемента силы Ампера на этапе I

Просуммировав, получим:

$$\oint_1 d\vec{F}_{||} = \vec{F}_{\text{ВЫТ}} \quad (6)$$

$\vec{F}_{\text{ВЫТ}}$  выталкивает вихревой ток в сторону более слабого магнитного поля  $\vec{B}$ .

Второй, третий и четвертый этапы рассматриваются по аналогии.

Результаты индуктотермического воздействия [1,2,6,7,9,10]:

- Вихревые токи разогревают биоткани;
- За один цикл вихревые токи дважды сжимают, дважды растягивают биоткань;

За один цикл вихревые токи дважды втягиваются в сторону более сильного магнитного поля и дважды выталкиваются из магнитного поля;

- Пункты 2) и 3) приводят к микровибрациям и к микромассажу биоткани;
- Усиливаются процессы микроциркуляции крови в капиллярах;
- Снижается время болевого синдрома;
- Снижается время отёка конечностей;
- Снижается время репарации (восстановления) мягких и костных тканей;
- Увеличивается проницаемость клеточных мембран;
- Улучшается проникновение лекарственных средств в ткани организма человека;
- Стимулируется глюкокортикоидная функция надпочечников;
- Угнетается жизнедеятельность бактерий;
- Проявляется выраженное антиспазматическое действие на сфинктеры, кишечник, бронхи, сосуды;
- Нормализуется секреторная активность внутренних органов.

С позиции экологии, вследствие загрязнения естественных магнитных полей искусственными сильными магнитными полями могут наблюдаться следующие отрицательные эффекты [1, 8, 9, 11]:

- Разрушение биомембран;
- Нарушение процесса метаболизма;
- Возникновение отёков;
- Усиление имеющихся в организме патологий;
- Появление лучевой болезни;
- Возникновение канцерогенных процессов;
- Возникновение хронической усталости;
- Появление головной боли;
- Ухудшение памяти;
- Более сильный (вредный) разогрев биотканей.

### Литература

1. Сердюк В.В. Магнитотерапия. Прошлое. Настоящее. Будущее. Киев: Азимут-Украина, 2004. – 536 с.
2. Илларионов В. Е. Магнитотерапия. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 136 с.
3. Бинги В. Н. Магнитобиология: эксперименты и модели. М.: «МИЛТА», 2002. 592 с.

4. *Ремизов А. Н.* Медицинская и биологическая физика: Учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – 4-е изд., перераб. и дополн. М.: Дрофа, 2003. 560 с.: ил.
5. *Калашиников С. Г.* Электричество. Учебн. пособие. 6-е изд., стереот. М.: Физматлит, 2003. 624 с.
6. *Роджер К.* Магнитотерапия для всех. М.: Издательство «РОСМЭН», 2006. 128 с.
7. *Холодов Ю. А.* Магнетизм в биологии. Научно-популярное издание. – Москва: Наука, 1970. 95 с.
8. *Захаров Ю. Б.* Некоторые вопросы физики магнитотерапии. // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы физики, биофизики и информационных технологий». Краснодар. Июнь. 2010.
9. *Белик Д. В.* Магнитосфера – Новосибирск: Агентство «Сибпринт», 2016. 106 с.