

Е.Ю. Сергеевко, В.В. Полунина

Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва

## Дозирование электроимпульсной высокотоновой терапии на основе определения электрокинетических параметров эритроцитов у детей с детским церебральным параличом

### Контактная информация:

Сергеевко Елена Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой реабилитологии и физиотерапии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова

Адрес: 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1, тел.: (499) 792-81-67

Статья поступила: 02.11.2011 г., принята к печати: 15.11.2011 г.

204

В статье приводятся результаты исследования, посвященного определению дозы электроимпульсной высокотоновой терапии с использованием метода экспресс-анализа подвижности живых клеток в переменном электрическом поле у детей со спастическими формами детского церебрального паралича.

**Ключевые слова:** детский церебральный паралич, электроимпульсная высокотоновая терапия, доза-эффект, клетка, электрофоретическая подвижность эритроцитов, дзета-потенциал.

В структуре детской инвалидности одно из ведущих мест занимают поражения центральной нервной системы, сопровождающиеся двигательными нарушениями [1, 2]. Распространенность детского церебрального паралича (ДЦП) варьирует от 1,9 до 2,3 случаев на 1000 детей [1, 3]. Учитывая широкую распространенность ДЦП и недостаточную эффективность традиционного комплекса восстановительных мероприятий, необходимы дальнейшее совершенствование методов восстановительного лечения болезни и разработка принципиально новых подходов к коррекции двигательных расстройств. Важнейшей задачей в лечении больных со спастическими формами ДЦП является снижение мышечного тонуса, позволяющее устранить или значительно снизить его влияние как одного из основных факторов развития контрактур и добиться функциональных улучшений

у больного. Для решения данной задачи необходимо применение лечения, в основу которого положено влияние на патогенетические звенья развития болезни. Известно, что двигательные расстройства при ДЦП обусловлены перинатальным поражением головного мозга и нарушением последовательности этапов его созревания [2]. В результате высшие интегративные центры не могут оказывать полноценное тормозящее влияние на примитивные стволовые рефлекторные механизмы. Задерживается редукция безусловных рефлексов, происходит «высвобождение» или акцентуация патологических шейных и лабиринтных рефлексов. Сочетаясь с повышением мышечного тонуса, они препятствуют последовательному становлению реакций выпрямления и равновесия, которые являются основой развития статических и локомоторных функций у детей первого года

E.Y. Sergeenko, V.V. Polunina

Pirogov Russian national medical research university Ministry of healthcare and social development of Russia, Moscow

## Dosage of electropulse high tone therapy based on red blood cells electrokinetic parameters of children with cerebral palsy

This article contains results of a study dedicated to dosage of electropulse high tone therapy using an express analysis of live cells mobility in alternating current field of children with spastic forms of cerebral palsy.

**Key words:** cerebral palsy, electropulse high tone therapy, dose — effect, cell, electrophoretic mobility of red blood cells, zeta-potential.

жизни — удержания головы, захвата игрушки, сидения, стояния, ходьбы [1]. У детей с ДЦП нарушена деятельность тонких структур ствола мозга и подкорковых образований. Следовательно, комплексная методика лечения должна оказывать влияние на интегративные центры, подкорковые образования и другие структуры, определяющие симптомокомплекс ДЦП.

Электроимпульсная высокочастотная терапия основана на применении сложномодулированного переменного электрического тока при помощи аппарата HiTop 184, который является принципиально новой междисциплинарной разработкой немецких ученых в области электролечения. По мнению основателя метода высокочастотной терапии доктора Н.У. Мау [4], использование переменного электрического тока низкой частоты, модулированного одновременно по частоте и амплитуде, вызывает резонансные колебания внутриклеточных структур, что приводит к изменениям на клеточном и тканевом уровнях. В работах В.Е. Илларионова (2004), В.С. Улащик (2006) отмечено, что накопление в материи достаточного количества энергии для ощутимого терапевтического эффекта возможно, если соответствующие биологические субстраты или функциональные системы [5] регулярно приводятся в состояние резонанса путем возбуждения их собственной или близкой к ней резонансной частоты. Используемые в аппарате частоты резонируют со структурными подразделениями организма человека, что определяет возможность применения электроимпульсной высокочастотной терапии при различных патологических процессах, в том числе и при детском церебральном параличе, при условии адекватного выбора частоты модуляции.

В основу электроимпульсной высокочастотной терапии положена так называемая «горизонтальная стимуляция», при которой частоты последовательно сменяют друг друга в диапазоне от 4096 до 32 768 Гц, что дает возможность возникновения многоярусного биологического резонанса в клетках и тканях (классическая электротерапия использует одну несущую частоту в режиме «вертикальной стимуляции»). Клинические эффекты высокочастотной терапии в значительной степени зависят от выбранной модулирующей частоты, которая колеблется в диапазоне от 0,1 до 200 Гц. Частота модуляции воздействующего фактора должна быть синхронизирована с нормальными ритмами жизнеобеспечения функциональных систем человека, которые находятся в крайне- и сверхнизком диапазоне по классификации Международного регламента связи (1976 г.), при этом особо важное значение имеет сложно-модулированная «зарисовка» частот модуляции. Приведенные выше положения определили при разработке методики лечения пациентов с ДЦП выбор модулирующей частоты (0,1–1,5 Гц), максимально приближенной к частоте функционирования центральной нервной системы, периферического нервно-мышечного аппарата и сосудов микроциркуляторного русла.

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ

Введение нового метода физиотерапевтического лечения, особенно в педиатрическую практику, требует разработки оптимальных схем лечения, адекватных патологическому процессу, возрасту и индивидуальным адаптационным возможностям ребенка. Проблема дозирования в физиотерапии, и особенно в педиатрической практике, является и сегодня актуальной [6–8], несмотря на уже прочно вошедшее в клиническую практику применение аппаратов, реализующих свое лечебное действие

за счет автоматического изменения параметров воздействия в зависимости от динамики физических характеристик тканей пациента.

Распространенное сегодня понятие малодозовых воздействий требует подбора минимальных терапевтических доз, которые вызывают максимально положительные сдвиги в организме в сторону саногенеза [9, 7].

В соответствии с современными понятиями о клетке как об источнике и носителе сложного электромагнитного поля, структура которого, порождаемая биохимическими процессами, управляет ее метаболической деятельностью, чрезвычайно актуально изучение изменения электрического потенциала клетки при воздействии внешних физических факторов и использование тонкой клеточной реакции при разработке дозиметрических параметров. Особенно важным представляется установление корреляционной зависимости клеточных реакций и клинических показателей.

Сегодня физические факторы рассматриваются как перспективный инструмент воздействия на молекулярном и генетическом уровнях [6], что определяет развитие данного направления в сторону изучения клеточных и субклеточных структур с точки зрения физиотерапевтических воздействий. Использование клетки как основополагающей структуры, первой воспринимающей внешнее воздействие, является актуальным и обоснованным.

Клетка, являясь основной структурно-функциональной единицей живого организма, в то же время представляет собой первичную функциональную систему организма человека. Энергетическая система всех клеток построена по общему принципу, в каждой клетке присутствует биоэлектрический компонент как один из ведущих факторов обеспечения процессов метаболизма. Все изменения в биосистеме начинаются с изменения количества и распределения электрических зарядов, являющихся константой интенсивности электромагнитных взаимодействий между структурами и функциональными системами биообъекта [6].

При поглощении энергии клеткой происходит преобразование любого вида энергии в электрическую, что влечет за собой изменение электрического статуса клетки. Поскольку влияние оказывается не на изолированную клетку, а на определенную область тела в соответствии с показаниями, то по теории функциональных систем П.К. Анохина (1970), объединение клеток на время действия фактора и ответной реакции организма можно рассматривать как функциональную систему. Воздействие на систему физических факторов, имеющих определенные характеристики, может способствовать изменению ее состояния [5, 7].

Повышенный интерес к электрокинетическим характеристикам клеток связан с рядом достоинств такого подхода, а именно с тесной взаимосвязью электрокинетических показателей с процессами жизнедеятельности клеток, т.е. клеточным метаболизмом. Еще более важной представляется возможность измерения электрокинетических параметров без нарушения жизнедеятельности клеток, что позволяет исследовать процессы электрогенеза в динамике [10].

Признано, если патологический процесс носит системный характер, в качестве объекта исследования могут использоваться клетки крови — эритроциты и лимфоциты, которые отражают нарушение метаболизма в различных органах и тканях и позволяют следить за динамикой процесса. Цитоплазматическая мембрана эритроцита,

который как минимум трижды в сутки проходит через каждую точку кровеносного русла, является высокочувствительным и легко доступным объектом при оценке влияния различных эндогенных и экзогенных, в т. ч. и физиотерапевтических, воздействий.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 78 детей (65 девочек и 35 мальчиков) в возрастном интервале от 8 до 11 лет с диагнозом «Детский церебральный паралич в форме спастического гемипареза и спастического тетрапареза». Критерии включения: верифицированный детский церебральный паралич в форме спастического гемипареза или спастического тетрапареза; отсутствие в анамнезе лечения с применением электроимпульсной высокотоковой терапии.

Критерии исключения: воспалительные и инфекционные болезни на момент исследования.

В качестве контрольных показателей использовалась электрофоретическая подвижность эритроцитов, общепризнанных интегральных маркеров состояния организма человека, а также показатели 90 здоровых детей в возрасте от 5 до 14 лет.

Забор капиллярной крови производился всем детям.

Суспензию эритроцитов и буферный раствор в количестве 0,02 мл с помощью автоматической пипетки помещали на рабочую зону электрофоретической ячейки приборного комплекса знакопеременного клеточного микроэлектрофореза «Цитозексперт» и покрывали стеклом. Электрофоретическая ячейка помещалась на предметный столик микроскопа «Биолам» (об.40, ок.15). После задания частоты (1 Гц) и напряжения (30 В) (напряжение строго контролировалось не только на дисплее, но и измерением при каждом исследовании этого показателя между функционирующими электродами) между электродами в рабочей зоне возникает переменное электрическое поле и движение эритроцитов вправо-влево.

На дисплее отображались следующие данные:

- количество подвижных и неподвижных объектов (всего в сумме до 99 шт.);
- строка реальных параметров — знак текущего направления тока в цепи пары электродов, текущее значение напряжения на электродах и текущая сила тока;
- состояние звуковой сигнализации (вкл.—выкл.). Сигнализация может автоматически включиться через 20 секунд при возникновении недопустимых отклонений от заданных значений напряжения.

С помощью окулярного микрометра измерялась амплитуда (А) смещения каждой клетки под воздействием переменного электрического поля. В каждом случае определяли амплитуду 100 эритроцитов, после чего вычисляли среднюю амплитуду (А ср). Для определения электрофоретической подвижности эритроцитов (ЭФПэр) использовали математическую формулу:

$$u = A \cdot d / U_{эл} \cdot t_{c.n.}$$

где: А — амплитуда колебаний частиц дисперсной фазы (эритроцитов); u — электрофоретическая подвижность эритроцитов; d — расстояние между электродами электрофоретической ячейки;  $t_{c.n.}$  — время смены полярности;  $U_{эл}$  — разность потенциалов (напряжение) на электродах электрофоретической ячейки.

Таким образом, для определения электрокинетических свойств эритроцита был выбран показатель электрофо-

ретической подвижности эритроцитов, прямо пропорциональный амплитуде колебаний эритроцитов в знакопеременном электрическом поле (измеряемый показатель) и прямо пропорциональный поверхностному потенциалу (дзета-потенциалу), по изменению которого, в свою очередь, можно судить о направленности процессов трансмембранного переноса, связанных с трансмембранным потенциалом.

Дозиметрические параметры электроимпульсной высокотоковой терапии (число процедур на курс, продолжительность процедуры) были определены на основании изменения электрокинетических характеристик эритроцитов у детей, страдающих ДЦП. Процедуры проводились ежедневно, курс лечения состоял из 5 процедур, продолжительность процедуры для детей 8–11 лет составила 20 мин.

Методика электроимпульсной высокотоковой терапии с использованием физиотерапевтического аппарата HiTop 184 предполагала одновременное использование 2-х каналов:

1-й канал был предназначен для проведения общего воздействия. Использовались пять электродов (три с белой маркировкой, два — с черной), которые располагались следующим образом: первый электрод — в воротниковой области, сзади на уровне CII–CVII, второй и третий — в средней части задних поверхностей предплечий, четвертый и пятый — на подошвенных поверхностях стоп. На этом канале использовалась программа Simul FAM i. При вращении регулятора интенсивности определялись субпороговые значения силы тока на низкой (4 кГц) и более высокой частоте (16 кГц). При появлении первых ощущений у пациента многофункциональной клавишей (Softkey) устанавливалось значение интенсивности.

2-й канал использовался с включением программы Simul FAM X с модулирующей частотой 0,1–1,5 Гц. Первый электрод из трех располагался в области позвоночника на уровне ThIII–ThVIII или Thx–LIII. Первые две процедуры из пяти проводились с локализацией 2-го и 3-го электродов на передней поверхности плеча в средней трети. Последние три процедуры — с наложением 2-го и 3-го электродов в средней трети бедер на передней поверхности.

Алгоритм определения дозиметрических показателей электроимпульсной высокотоковой терапии выглядел следующим образом:

1. Определение электрофоретической подвижности эритроцитов здоровых детей.
2. Определение электрофоретической подвижности эритроцитов детей, страдающих детским церебральным параличом.
3. Определение дозиметрических параметров электроимпульсной высокотоковой терапии для лечения детей с детским церебральным параличом на основании нормативных показателей электрофоретической подвижности эритроцитов здоровых детей.

Исследование электрофоретической подвижности эритроцитов у 90 здоровых детей в возрасте от 5 до 14 лет показало, что данный показатель в норме не зависит от возраста и пола и может являться нормативным, регламентирующим дозу воздействия. Таким образом, ЭФПэр у детей в возрасте 5–14 лет колеблется от 0,48 мкм·см/в·сек до 0,50 мкм·см/в·сек и в среднем составляет  $0,49 \pm 0,02$  мкм·см/в·сек.

**Таблица.** Динамика изменения электрофоретической подвижности эритроцитов у детей с ДЦП в зависимости от количества и процедур ( $M \pm m$ , мкм·см/в·сек)

| Этапы               | Число процедур на курс |                  |                   |
|---------------------|------------------------|------------------|-------------------|
|                     | 3                      | 5                | 7                 |
| После 3-й процедуры | $0,42 \pm 0,01$        | $0,42 \pm 0,01$  | $0,42 \pm 0,001$  |
| На 5 сут            | $0,40 \pm 0,01^*$      | $0,52 \pm 0,001$ | $0,52 \pm 0,01$   |
| На 7 сут            | $0,40 \pm 0,001^*$     | $0,50 \pm 0,005$ | $0,40 \pm 0,01^*$ |
| На 10 сут           | $0,37 \pm 0,005^*$     | $0,47 \pm 0,01$  | $0,41 \pm 0,005$  |

Примечание. \* —  $p < 0,05$  по сравнению с показателями электрофоретической подвижности эритроцитов у здоровых детей.

Электрофоретическая подвижность эритроцитов у детей с ДЦП была достоверно ниже, чем у здоровых детей. Средняя величина данного показателя составила  $0,43 \pm 0,01$  мкм·см/в·сек при гемипаретической форме ДЦП и  $0,41 \pm 0,02$  мкм·см/в·сек — при тетрапаретической форме.

Результаты подтвердили гипотезу относительно необходимости выведения данного показателя за счет внешнего воздействия на нормативный уровень. Именно эта позиция стала отправной точкой определения дозиметрических параметров электроимпульсной высокочастотной терапии — продолжительности процедуры в зависимости от возраста ребенка и количества процедур на курс лечения.

Изучение динамики ЭФПЭр проводилось при курсе лечения, состоящем из 3, 5 и 7 процедур продолжительностью по 20 мин (табл.).

В соответствии с полученными результатами, курс из 3 процедур оказался недостаточным, поскольку на 5-е сут намечалось снижение ЭФПЭр. На 10-е сутки показатель ЭФПЭр был ниже значений, характерных для детей с ДЦП, полученные результаты достоверно отличались от исходных значений ( $p < 0,05$ ). Подобные данные свидетельствуют о недостаточной дозе электроимпульсной высокочастотной терапии при таком непродолжительном курсе лечения.

При курсе лечения из 7 процедур после 3-й стабильно увеличивалась ЭФПЭр по сравнению с исходными показателями ( $p < 0,1$ ), после 5-й процедуры наблюдалось значительное увеличение исследуемого показателя ( $p < 0,05$ ) по сравнению с исходными значениями, но после 7-й отмечалось резкое падение ЭФПЭр с незначительным увеличением к 10-м сут.

Положительные результаты были получены при проведении курса лечения, включавшего 5 процедур. В этом

случае, при увеличении ЭФПЭр по сравнению с исходными значениями, после 3-й и 5-й процедур к 7-м суткам наблюдалось незначительное снижение показателя со стабилизацией результата в области нормальных значений к 10-м суткам ( $p > 0,1$ ). Следовательно, именно этот курс лечения, состоящий из 5 процедур электроимпульсной высокочастотной терапии продолжительностью 20 мин, следует использовать при лечении детей с ДЦП в возрасте от 8 до 11 лет.

Подобный подход к определению зависимости доза-эффект был продиктован предложенной В.Е. Илларионовым (2004) концепцией достаточности дозы воздействия физиотерапевтического фактора. Согласно концепции, обоснованная доза исключает повреждение биоструктур, но запускает необходимые ответные реакции организма. В основе данной концепции лежит тезис о невозможности использования только клинических показателей гомеостаза организма человека как объективных критериев оптимальной достаточности доз воздействия в лечебно-профилактических и реабилитационных целях, поскольку «исходными данными для определения доз воздействия физиотерапевтических факторов являются параметры клеточной биоэнергетики».

Таким образом, можно полагать, что дозиметрический контроль, основанный на параметрах клеточной биоэнергетики, является объективным и адекватным способом оценки. В данной работе на основании электрокинетических параметров эритроцита периферической крови были разработаны дозиметрические параметры электроимпульсной высокочастотной терапии, которая использовалась для лечения детей со спастическими формами детского церебрального паралича 8–11 лет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевникова В.Т. Современные технологии в комплексной физической реабилитации больных детским церебральным параличом. — М., 2005. — 239 с.
2. Скворцов И.А., Ермоленко Н.А. Развитие нервной системы у детей в норме и патологии. — М.: МЕДпресс-информ, 2003. — 368 с.
3. Петрухин А.С. Неврология детского возраста. — М.: Медицина, 2004. — С. 386–396.
4. May H.U. Extremely comfortable transcutaneous electrical stimulation of nerves — including somato-motor and sympathetic fibers — by simultaneous modulation of frequency and amplitude of middle frequency currents // *Europ. J. Physiol.* — 2004; 1 (447): 11–35.
5. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. — М.: Медицина, 1975. — 447 с.

6. Илларионов В.Е. Основы информационной медицины / Учебное пособие. — М.: МИМСР, 2004. — 96 с.
7. Улащик В.С. Анализ некоторых проблем физиотерапии с позиций теории функциональных систем // *Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК.* — 1984; 5: 7–10.
8. Фадеева Н.И., Максимов А.И. Основы физиотерапии в педиатрии. — Н. Новгород: Изд-во «НГМА», 1997. — 144 с.
9. Улащик В.С. Резонансные явления и их значение для физиотерапии // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры.* — 2006; 2: 3–10.
10. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток в норме и патологии. — Минск, 1974. — 143 с.