

К вопросу о механических колебаниях мышечной ткани

Мануальная диагностика включает в себя обязательную оценку таких, изменяющихся во времени характеристик мышечной ткани, как: амплитуда и объем движений, ритм двигательной активности, частота различных мышечных сокращений, подвижность отдельных двигательных сегментов др. Кроме того, эффективность лечебного воздействия при проведении процедур мануальной терапии во многом зависит от правильности выбора ритмологических характеристик проводимых манипуляций.

В организме человека в норме одновременно происходит множество механических колебательных движений. В основе большинства из них лежит мышечное сокращение, а также возможность изменения эластических качеств различных тканей.

Примерами постоянных колебаний могут быть:

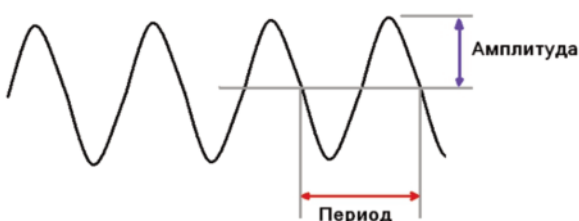
- пульс (ритмические сокращения кардиомиоцитов, приводящие к сокращениям сердца, и к волнообразному движению крови по изменяющим тонус сосудам);
- дыхание (периодические сокращения диафрагмы и всей дыхательной мускулатуры в процессе вдоха и выдоха);
- перистальтика (движения, происходящие за счет периодических сокращений гладко-мышечной оболочки органов желудочно-кишечного тракта и других полых органов);
- кранио-сакральный ритм («первичное дыхание» – микрподвижность костей черепа и позвоночного столба)
- ходьба (колебательные движения таза, нижних конечностей и всего опорно-двигательного аппарата при передвижении человека в вертикальном положении),
- другие движения человека, носящие циклический, повторяющийся характер.

При этом, любой двигательный акт может быть рассмотрен, как отдельная часть (или совокупность) нескольких колебательных движений разных двигательных сегментов. А общепринятыми физическими характеристиками механических колебаний являются (рис. 1):

- Амплитуда колебаний – расстояние от нулевой до крайней точки механического движения в одну сторону (в некоторых источниках за амплитуду принимается расстояние между двумя крайними точками).
- Частота колебаний, выражается в количестве колебаний в единицу времени.
- Период колебаний, напрямую связан с частотой и равен времени одного полного колебательного цикла.

Особенностью механических колебаний является то, что они способны одновременно распространяться в различных направлениях, а также накладываться друг на друга,

Рис. 1.



вызывая взаимо-усиление (вплоть до явления резонанса) или наоборот приводить к «гашению» (уменьшению) амплитуды совместных колебаний.

Рассматривая отдельную нейро-мышечную единицу и миофибриллы, как основную движущую силу колебательных движений человеческого организма можно предположить, что периодичность процессов возбуждения и торможения в миоците, ведущие к его сокращению и последующему расслаблению непосредственно связаны с периодичностью основных движений человека.

Пусковым неспецифическим импульсом для возбуждения любых клеток живого организма (нейрон, миоцит, секреторная клетка) является потенциал действия (ПД). В эксперименте, при раздражении мышцы одиночным импульсом электрического тока сверхпороговой силы, (аналогичном ПД), возникает одиночное мышечное сокращение характерной формы. По данным разных авторов, его общая продолжительность, составляет от 80 до 120 мс, и в течении этого времени выделяют следующие периоды (рис. 2):

- латентный (скрытый) период сокращения (5–15 мс);
- фаза укорочения (40–50 мс);
- фаза расслабления (40–50 мс).

Рисунок 2. Характеристика одиночного мышечного сокращения. Происхождение зубчатого и гладкого тетануса.



Возбудимость мышцы в разные периоды сокращения различна: так в начале латентного периода она возрастает, затем резко прекращается и вновь возникает на высоком уровне в начале периода сокращения, затем постепенно снижается и все оставшееся время, до следующего латентного периода остается обычной. При стимуляции мышечной ткани в различные периоды ее сокращения, в зависимости от уровня возбудимости, может наблюдаться эффект потенцирования импульсов, сопровождающийся появлением зубчатого или гладкого тетануса.

Одиночное мышечное сокращение, получаемое в эксперименте, является прототипом сокращения отдельной двигательной единицы (ДЕ). При выполнении любых мышечных движений человек одновременно использует множество ДЕ, работающих в определенной последовательности. Некоторая часть ДЕ, поочередно сокращаясь и расслабляясь, обеспечивают мышечный тонус, а многие ДЕ находятся в состоянии покоя и активируются только при получении соответствующего сигнала, после чего происходит синхронизация их работы и за счет потенцирования сокращений осуществляется запрограммированное движение.

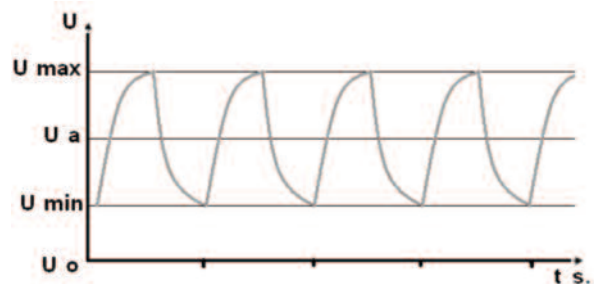
Анализ всей совокупности механических колебательных движений в организме человека достаточно сложен в виду их большого количества, разнонаправленности, разности амплитуд и периодов. Однако можно сказать, что динамическое равновесие всех колебаний является одной из основ не только биомеханической стабильности человека, но и системы его гомеостаза в целом.

Функциональной единицей скелетной мышцы является двигательная единица (ДЕ) – совокупность мышечных волокон, которые иннервируются отростками одного мотонейрона. Возбуждение и сокращение волокон, входящих в состав одной ДЕ, происходит одновременно.

Согласно теории скольжения нитей, мышечное сокращение происходит благодаря скользящему движению актиновых и миозиновых филаментов друг относительно друга продолжающемуся по оценкам различных авторов, от 0,08 до 0,12 сек. Непрерывная работа миофибрилл с такой частотой носит характер фибрилляций (трепетания). В виду быстрого истощения энергетических ресурсов этот процесс не может быть длительным по времени. Период восполнения зависит от процесса ресинтеза основного макроэргического соединения живого организма – АТФ. Запасы АТФ в мышечной клетке составляют около 3–7 ммоль/л. Этого хватает всего на несколько последовательных одиночных мышечных сокращений. Для поддержания продолжительной работы мышц требуется постоянное восстановление АТФ до необходимой концентрации происходящее ежесекундно. При этом физиологические колебания уровня АТФ в мышечной ткани задают ритм оптимальных механических колебаний всего организма (рис. 3).

Поскольку наиболее широко используемым методом накопления энергии в организме является процесс окислительного фосфорилирования АТФ можно предположить, что физиологический ритм мышечной ткани зависит от скорости этой биохимической реакции, которая в свою очередь связана с потреблением кислорода в процессе тканевого дыхания. А оно, как известно, зависит от крово-

Рисунок 3. График фазовых последовательностей восстановления-расщепления АТФ



U_o – уровень ожидаемого равновесия; U_{min} – минимальный уровень АТФ; U_a – средний уровень АТФ; U_{max} – максимальный уровень АТФ. t – 1 сек. (Б.С.Доброборский, 1998 г.)

обращения, запускаемого сокращениями миокарда и непосредственно связано с функцией внешнего дыхания. Таким образом, большинство мышечных (двигательных) ритмов человека тесно взаимосвязаны между собой.

Любопытно что, анализируя исторические причины принятия человечеством минимальной целой единицы времени – 1 секунда, можно предположить, что этот выбор связан с естественным биологическим ритмом мышечной ткани. То есть именно средняя физиологическая продолжительность одного колебания миофибриллы могла стать прототипом стандарта единиц измерения времени – 1 с. А принятая сегодня за стандарт единица измерений частоты колебаний – 1 герц (1 Гц – одно колебание в секунду) как раз и является частотой физиологических колебаний мышечной ткани.

Подтверждением этой гипотезы может служить относительная синхронность пульса (в покое 1 удар в секунду) и ритма обычной ходьбы человека (1 шаг в секунду). При этом акт ходьбы может рассматриваться как пример универсального, синхронизированного колебательного движения в котором под контролем центральной нервной системы последовательно используется работа различных мышечных групп, приводящая к попеременному изменению положения в пространстве разносторонних двигательных сегментов, обладающих определенной массой и инерционно «тянущих за собой» другие сегменты, которые в свою очередь находятся в противофазе движения и с одинаковой частотой как маятники следуют по своей траектории.

Существует также определенная кратность спокойного дыхания частоте колебаний в 1 Гц, а именно: вдох – 1 с, задержка на вдохе (для осуществления газообмена) – 1 с, выдох – 1 с, пауза для восстановления после выдоха – 1 с. Таким образом, изучение физиологических колебательных процессов, происходящих в мышечной ткани человека, имеет отношение к большому спектру задач, решаемых на современном этапе развития мануальной терапии и медицины в целом.

С.М.Стариков
ГИУВ МО РФ, Москва