

М.Г. Киселев,
А.Н. Осипов,
А.В. Дроздов,
Е.И. Лабунь

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ СТАДИЙ И ИХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ОДНОКРАТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЛОПАСТИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ

УДК 612.424.4/615.82

Экспериментальный комплекс позволяет проводить физиотерапевтическое массажное воздействие в сочетании с процедурой электростимуляции. Статья посвящена определению характерных стадий и их продолжительности при однократном взаимодействии вращающейся лопасти массажера ударно-фрикционного действия с поверхностью упругого основания.

Experimental complex allows carrying out physiotherapy massage exposure in combination with the procedure of electrical stimulation. This article describes determination of typical stages and their duration during one-time interaction of rotating blade of shock-friction massager with the surface of resilient base.

Введение

С целью повышения эффективности выполнения процедуры электростимуляции авторами [1] предложено осуществлять ее с использованием массажера ударно-фрикционного действия. В этом случае (рис. 1) массажер 1 подключается к персональному компьютеру 2 с программным обеспечением для генерации и регистрации импульсных токов SpectraPro и блоку питания 3; для усиления импульсных токов применяется усилитель 4. На вращающемся валу массажера неподвижно посажена насадка, в которой консольно закреплены кожаные лопасти. На их свободных концах предус-

мотрены электроды, выполненные в виде легких металлических заклепок, питание которых обеспечивается с помощью токосъемного устройства. Второй электрод 5 неподвижно закрепляется на теле пациента. При вращении лопасти прерывисто механически воздействуют на поверхность тела пациента, обеспечивая, с одной стороны, их массажное влияние, а с другой – изменение режима протекания процесса электростимуляции за счет периодического прерывания электрической цепи между электродами.

По результатам проведенных экспериментальных исследований [2] установлено, что по сравнению с традиционными условиями выполнения

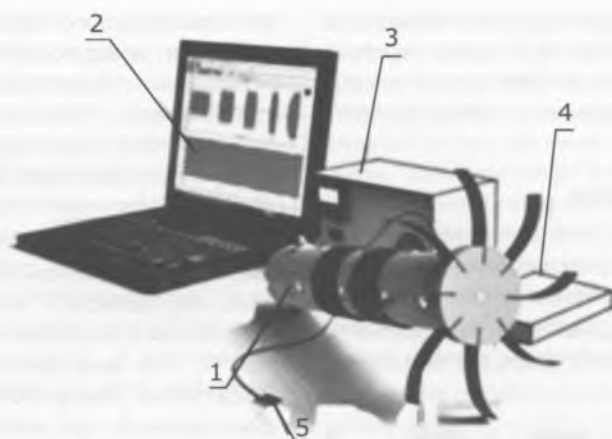


Рис. 1. Фотография общего вида аппаратного комплекса для выполнения процедуры электростимуляции с использованием массажера ударно-фрикционного действия

процедуры электростимуляции применение предложенного способа позволяет при одинаковых электрических параметрах осуществления процедуры до 50% снизить уровень болевых ощущений у пациентов. Это, в свою очередь, дает возможность повысить эффективность выполнения этой процедуры за счет увеличения токов электростимуляции, действие которых как раз и ограничивается возникновением у пациента острых болевых ощущений. При этом установлено наличие диапазона частот вращения насадки N , при котором анальгетический эффект проявляется в наибольшей степени. В частности, для условий проводимых экспериментов [2] оптимальное значение N составило $150-200 \text{ мин}^{-1}$, что при восьми лопастях в насадке соответствует частоте прерывания электрической цепи, равной 20–30 Гц. Это свидетельствует о том, что в основе механизма анальгетического эффекта лежат явления, связанные с особенностями контактного взаимодействия лопасти массажера с поверхностью тела человека. Поэтому для его раскрытия в первую очередь необходимо располагать данными, отражающими характерные стадии этого взаимодействия.

В этой связи цель данной работы заключалась в установлении характерных стадий контактного взаимодействия вращающейся лопасти массажера с поверхностью тела человека и определении их временных параметров с учетом частоты ее вращения и величины натяга относительно поверхности тела.

Методика проведения экспериментальных исследований

Экспериментальный комплекс, компоновка которого показана на рис. 2, состоит из трех основных блоков. Первым является массажер ударно-фрикционного действия, представляющий собой электродвигатель 1, на валу которого посажена насадка 2, в которой консольно закреплены гибкие лопасти 3. Второй блок представляет собой

упругое основание, моделирующее поверхность тела человека. Он состоит из П-образной рамки 5, между концами которой в натянутом состоянии закреплена резиновая лента 4, воспроизводящая механические свойства кожной поверхности тела человека. В частности, ее модуль упругости, который составляет $E=5\pm 2 \text{ Мпа}$ [3], а также коэффициент трения материала лопасти (кожа) о поверхность резины, который изменяется от 0,3 до 0,7, что соответствует аналогичным свойствам человеческой кожи [4]. Третьим блоком является цифровая фото-видеокамера Canon с частотой съемки 240 кадров в секунду при разрешении 320x240 точек.

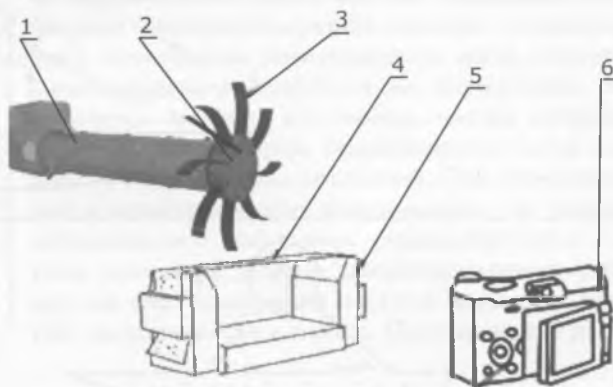


Рис. 2. Блок-схема примененного в исследованиях экспериментального комплекса

Процедура проведения экспериментов включала в себя последовательное выполнение следующих действий. Массажер подводился к поверхности резиновой ленты таким образом, чтобы расстояние от нее до оси вращения насадки составляло 65 мм, т.е. максимальная величина натяга лопастей была равна 20 мм. После этого одновременно включались привод вращения насадки и цифровая камера, что позволяет получать изображения контактного взаимодействия лопасти

массажера с поверхностью упругого основания. Эксперименты выполнялись при трех частотах вращения насадки (90, 200 и 300 мин⁻¹) и неизменной величине максимального натяга лопасти, равного 20 мм.

Результаты экспериментов

В качестве примера на рис. 3 приведена раскадровка видеосъемки однократного акта взаимодействия лопасти массажера с поверхностью упругого основания при частоте ее вращения 90 мин⁻¹ с временным интервалом между кадрами, равном 17 мс.



Рис. 3. Раскадровка видеосъемки однократного акта воздействия лопасти массажера с поверхностью упругого основания при частоте ее вращения 90 мин⁻¹

В результате обработки полученных экспериментальных данных и их последующего анализа

установлено, что процесс однократного взаимодействия вращающейся лопасти с упругим основанием характеризуется последовательным протеканием трех основных стадий. Это стадия их ударного взаимодействия, которая сменяется стадией их фрикционного взаимодействия, после которой наступает стадия релаксации.

Для их качественного описания обратимся к схеме, представленной на рис. 4. В начальный момент (рис. 4а) лопасть 1, имеющая свободную длину L , закреплена на оправке 2, вращающейся с частотой N . Ось вращения последней установлена относительно поверхности упругого основания 3 на расстоянии h , при котором обеспечивается максимальная величина натяга лопасти Δ , т.е. $\Delta=L-h$.

На рис. 4б показана первая стадия, начало которой соответствует моменту вступления в контакт вращающейся лопасти с поверхностью основания. Этот момент (точка А) характеризуется косым соударением торцевой кромки лопасти с поверхностью основания, в результате которого происходит ее упругая контактная деформация и деформация изгиба лопасти. Продолжительность этой стадии весьма незначительна и зависит от окружной скорости торцевой поверхности лопасти в момент ее соударения с поверхностью основания.

После этого наступает стадия фрикционного взаимодействия плоской поверхности изогнутой лопасти с поверхностью тела человека (рис. 4в),

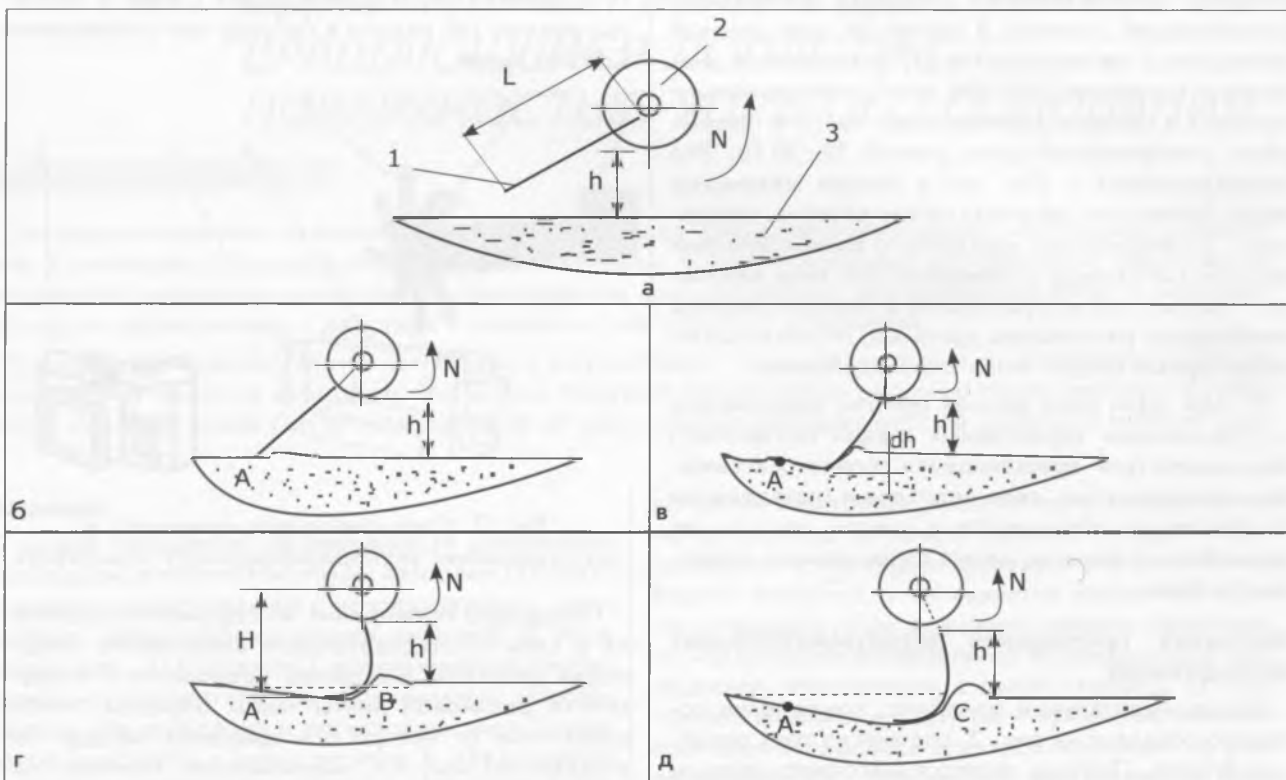


Рис. 4. Схема основных стадий взаимодействия вращающейся лопасти с поверхностью упругого основания

в течение которой происходит следующее: поворачивающаяся лопасть продолжает упруго деформироваться (изгибаться), что сопровождается увеличением площади ее контакта с поверхностью тела и возрастанием усилия сжатия контактирующих поверхностей. В процессе их относительного скольжения между ними действует сила трения, вызывающая упругое деформирование поверхности основания. При этом перед лопастью образуется характерный наплыв (валик), в котором материал поверхностного слоя испытывает действие сжимающих напряжений, а за лопастью располагается зона, в которой на него действуют растягивающие напряжения.

Наступление следующей стадии (рис. 4г) связано с прохождением лопастью положения, соответствующего ее максимальной натягу (точка В). По мере его снижения происходит упругое восстановление лопасти и материала основания, в результате чего уменьшается величина сжимающего усилия на контактирующих поверхностях, а соответственно, и действующие между ними силы трения. Площадь контакта лопасти с поверхностью основания постоянно уменьшается вплоть до разрыва контакта между ними (точка С). Одновременно с этим происходит восстановление первоначальной формы лопасти и возвращение материала основания в исходное (недеформированное) состояние. Эту стадию будем рассматривать как стадию релаксации материала основания.

Таким образом, за время однократного взаимодействия вращающейся лопасти с поверхностью основания ее материал подвергается различным по величине и характеру упругим деформациям. Так, на первой стадии имеют место ее упругие контактные деформации, которые сменяются деформациями сдвига на второй стадии их взаимодействия, по окончании которой они уменьшаются вплоть до нуля на стадии релаксации.

Очевидно, что при неизменных упругих характеристиках лопасти и основания продолжительность их однократного взаимодействия T_0 зависит от частоты вращения лопасти N и величины ее натяга Δ . Понятно, что с увеличением N значение T_0

уменьшается, а с повышением Δ оно возрастает. С практической точки зрения важно располагать данными, отражающими влияние этих параметров режима работы массажера на соотношение длительности протекания характерных стадий ко времени однократного взаимодействия его лопасти с поверхностью упругого основания. Обозначим длительность первой (ударной) стадии через $t_{уд}$, второй (фрикционной) стадии – через $t_{фр}$, и третьей (релаксационной) стадии – через t_p .

В таблице 1 приведены экспериментально полученные данные, отражающие влияние частоты вращения лопасти на значения T_0 , а также на соотношения $t_{уд}/T_0$, $t_{фр}/T_0$, t_p/T_0 , выраженные в процентах ($\Delta=20$ мм).

Из анализа приведенных данных следует, что с увеличением частоты вращения лопасти продолжительность ее однократного взаимодействия с поверхностью упругого основания снижается. При этом изменяется соотношение между ней и продолжительностью протекания отдельных стадий этого взаимодействия. В частности, происходит увеличение времени ударной стадии за счет уменьшения продолжительности стадий фрикционного взаимодействия и релаксации. При $N=300$ мин⁻¹ релаксационная стадия вообще отсутствует ($t_p=0$), в результате чего каждое последующее взаимодействие лопасти с поверхностью упругого основания протекает в условиях, когда ее материал находится в напряженном (деформированном) состоянии.

Таким образом, применение массажера ударно-фрикционного действия при проведении процедуры электростимуляции помимо периодического прерывания электрической цепи оказывает механическое воздействие на поверхность тела человека, вызывая ее периодическое деформирование, при котором поверхностный слой находится в напряженном состоянии. При этом величиной и характером этих деформаций, т.е. уровнем напряженного состояния поверхностного слоя тела человека, можно целенаправленно управлять за счет изменения частоты вращения лопастей, их количества и натяга. Полученные в работе

Таблица 1

Значение продолжительности однократного взаимодействия лопасти с поверхностью упругого основания и соотношения в ней времени протекания основных стадий при различной частоте вращения лопасти

Частота вращения лопасти, мин ⁻¹	T_0 , мс	$t_{уд}/T_0$, %	$t_{фр}/T_0$, %	t_p/T_0 , %
90	220 мс	30	40	30
200	100 мс	40	35	25
300	60 мс	70	30	0

результаты будут использованы для раскрытия и описания выявленного ранее анальгетического эффекта, связанного с применением при выполнении процедуры электростимуляции массажера ударно-фрикционного действия.

Выводы

1. Создан экспериментальный комплекс, включающий массажер ударно-фрикционного действия, макет упругого основания, моделирующий механические свойства поверхности тела человека, и скоростную видеокамеру (240 кадров в секунду), позволяющую фиксировать (визуализировать) во времени процесс взаимодействия вращающейся лопасти массажера с поверхностью упругого основания.

2. На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных установлено, что процесс однократного взаимодействия вращающейся лопасти с упругим основанием характеризуется последовательным протеканием трех основных стадий: стадии их ударного взаимодействия, которая сменяется стадией их фрикционного взаимодействия, после которой наступает стадия релаксации.

3. На основании качественного описания условия протекания этих стадий показано, что материал с лопастью подвергается упругим контактными деформациям, которые сменяются деформациями сдвига на второй стадии их взаимодействия, по окончании которой они уменьшаются вплоть до нуля на стадии релаксации.

4. Показано, что при неизменных упругих характеристиках лопасти и основания продолжительность их однократного взаимодействия по мере увеличения частоты вращения лопасти уменьшается, а с повышением ее натяга – возрастает. Экспериментально установлено, что с увеличением частоты вращения лопасти N происходит увеличение продолжительности ударной стадии ее взаимодействия с поверхностью упругого основания за счет уменьшения времени протекания фрикционной стадии и стадии релаксации. При $N=300 \text{ мин}^{-1}$ релаксационная стадия вообще отсутствует, в результате чего каждое последующее взаимодействие лопасти с поверхностью упругого основания протекает в условиях, когда ее материал находится в напряженном (деформированном) состоянии.

5. Отмечено, что применение массажера ударно-фрикционного действия в процессе выполнения процедуры электростимуляции помимо периодического прерывания электрической цепи оказыва-

ет механическое воздействие на поверхность тела человека, вызывая ее периодическое деформирование. При этом величиной и характером этих деформаций, т.е. уровнем напряженного состояния поверхностного слоя тела человека, можно целенаправленно управлять за счет применения частоты вращения лопастей, их количества и натяга.

Список использованной литературы

1. Осипов А.Н. Экспериментальная оценка анальгетического эффекта при сочетанном воздействии электростимуляции и ударно-фрикционного массажа / А.Н. Осипов, М.Г. Киселев, Е.И. Лабунь // Научный журнал «Доклады БГУИР», Мн.: БГУИР, 2012. – №5. – С. 5-8.
2. Лабунь Е.И. Комплексное применение электростимуляции и механического массажа для изменения двигательного навыка человека / Е.И. Лабунь, М.Г. Киселев, Н.С. Давыдова, М.М. Мезенная, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов // Сборник научных статей VI Межд. науч.-тех. конференции «Медэлектроника-2010. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии», Мн.: БГУИР, 2010. – С. 316-319.
3. Азнабаев М. Т. Первичная блефаропластика при опухолях век у детей / М. Т. Азнабаев, В. К. Суркова, А. Ж. Жуманиязов // Офтальмохирургия, 2002. – № 3. – С. 33–36.
4. ZHANG M. In vivo friction properties of human skin / M. ZHANG and A. F. T. MAK // Rehabilitation Engineering Centre, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong Prosthetics and Orthotics International, 1999, 23, 135-141.

Михаил Григорьевич Киселев, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Конструирование и производство приборов" приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета;

Анатолий Николаевич Осипов, кандидат технических наук, доцент, первый проректор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники;

Алексей Владимирович Дроздов, кандидат технических наук, доцент кафедры "Конструирование и производство приборов" приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета;

Евгений Игоревич Лабунь, магистр технических наук, аспирант кафедры "Конструирование и производство приборов" приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета

Дата поступления 17.12.2012 г.