



ОБЗОРЫ, ЛЕКЦИИ, ДОКЛАДЫ

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА

УДК 616-07

¹Кузнецов А.О.: директор;

²Кузнецов В.И.: директор;

³Тараканов С.А.: директор, к.т.н.;

³Рассади́на А.А.: научный сотрудник, к.т.н.

¹ООО «Биотелемеханика», г. Санкт-Петербург, Россия

²ООО «Конструкторское бюро современных технологий Санкт-Петербургского государственного университета ИТМО», г. Санкт-Петербург, Россия

³Центр медицинского, экологического приборостроения и биотехнологий НИУ ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

THE BIOMECHANICAL MODELING OF THE LOCOMOTOR SYSTEM (MUSCULOSKELETAL SYSTEM) OF THE PERSON

Kuznetsov A. O., Kuznetsov V. I., Tarakanov S. A., Rassadina A. A.

Введение

Новая веха развития медицинских технологий характеризуется направленностью на предупреждение развития заболеваний опорно-двигательного аппарата (ОДА), которое может быть достигнуто полной оценкой текущего состояния ОДА пациента, прогнозированием дальнейшего развития биологических процессов ОДА в данных условиях, и выбором методов коррекции нежелательного развития биологических процессов. В основе технологий диагностики ОДА – биомеханический мониторинг, а для прогнозирования развития заболеваний ОДА требуется аппаратное или компьютерное моделирование. Биомеханический мониторинг и моделирование сегодня выполняются средствами инновационных оптических и информационных технологий, и представляют собой слияние теоретических знаний об анатомии человека и механике двигательных действий ОДА, а также индивидуальных экспериментальных исследований пациента средствами электромиографии, гониометрии, видеоанализа и др. [1–5]. Так, например, ученые Брунельского университета предлагают осуществлять диагностику болей в спине и моделировать дальнейшее развитие заболевания на трехмерной компьютерной модели человеческого тела. При этом от пациента требуется обозначить на теле болезненное место и охарактеризовать свои болевые ощущения. Данные пациента регистрируются и обрабатываются в специализированной программе для получения диагноза и дальнейшего его моделирования [2].

Наиболее успешны системы мониторинга и моделирования Xsens (Нидерланды, США) [6], Vicon (США) [7] и AnyBody (США) [8]. Системы могут создавать трехмерные модели ОДА по конкретным диагностируемым характеристикам пациента (например, изме-

нению скорости и ускорения датчиков, прикрепленных к телу). Благодаря этим системам уже сегодня выполняются задачи исследования механизмов движения и усовершенствования навыков движения при спортивных тренировках и реабилитации после травм, улучшению эргономики движений на производстве. Тем не менее, недостаточная точность воспроизведения результатов диагностики требует дальнейшего развития направления.

В нашу задачу вошли представление и анализ современных систем моделирования и представление наиболее актуального направления в их развитии.

Суть метода моделирования

В простейшем случае кинематику движения человека можно рассмотреть как перемещение его общего центра масс. Такой подход не дает оценки причин возникновения движения, лишь характеризуя направление и характер движения в целом.

Более детальный анализ ОДА возможен при учете особенностей движения отдельных звеньев тела. Поэтому в основе методов моделирования анатомические знания о кинематике движения:

- скелета (костей, суставов и связок, обеспечивающих жесткость тела человека и противодействие силе тяжести);
- мышечной системы (мышцы и сухожилия, отвечающие за функции движения);
- нервной системы (обеспечивающей управление мышечным сокращением и контролем за ним).

Антропоморфная модель человека по нарастанию сложности может быть представлена тремя видами моделей:

- 1) кости и суставы;
- 2) мышцы, сухожилия, кости, суставы и связки;
- 3) нервная система, мышцы, кости, суставы и связки.

Построение рабочей модели человека производится на основании следующих допущений:

- звенья модели (части тела человека) абсолютно твердые, то есть не подвержены деформации ни при каких воздействиях;
- геометрические параметры и масса звеньев модели (их длина и пр.) совпадают с соответствующими параметрами сегментов тела человека;
- звенья модели соединены в идеальные кинематические пары сферическими (шаровыми) или цилиндрическими шарнирами.

Основные системы моделирования

Наиболее совершенные на сегодня системы моделирования основаны на трехмерном представлении движения ОДА и его визуальном отображении.

1.1. Система моделирования Xsens

Инструмент системы Xsens предназначен для отображения перемещений опорного скелета человека, т.е. скелета, наиболее точно передающего взаимные перемещения различных частей тела человека. Он разрабатывался в качестве дополнительного инструмента к измерительной системе Xsens, предназначенной для усовершенствования навыков спортивных движений в процессе тренировок, реабилитации после травм, улучшения эргономики гигиены труда. Инструмент включает костюм с инерциальными датчиками, приемно-передающее устройство и специализированное программное обеспечение, которое позволяет визуализировать движение. Более глубокое изучение механики движений ограничено возможностями инструмента включающего определение центра масс, трехмерную ориентацию в пространстве по 23 сегментам, 22 суставам.

Основная проблема этой системы состоит в потере информации при преобразовании данных, если ее использовать в медицинских целях. Система в первую очередь производит измерения скорости и ускорения, с которыми перемещаются датчики на теле человека, по ним оценивается положение (первая потеря данных при интегрировании) проассоциированного с человеком скелета (так называемая палочная виртуальная модель). По модели скелета рассчитывается положение анатомического скелета (вторая потеря информации, т. к. не учитывается неточность взаимного пространственного расположения датчиков на теле, виртуальной и анатомической моделей при использовании людьми с разной комплекцией). Перемещение костного скелета позволяет оценить работу мышц и нагрузку на суставы и кости (третья неточность, так как не используются данные об индивидуальном антропометрическом строении каждого человека, которые можно получить при традиционных методиках измерения биометрии ОДА).

Несмотря на то, что использование такой системы частично решает проблему визуализации работы ОДА, указанные неточности могут компенсироваться только дополнительными мероприятиями при обследовании пациента и подготовке модели к использованию, что существенно повышает время и трудозатраты персонала при работе с данной системой, а в некоторых случаях полностью нивелирует практическую значимость ее для врача.

1.2. Система моделирования Vicon

Система Vicon получила наибольшее мировое признание в медицинской практике. С помощью системы выполняются следующие исследовательские медицинские задачи:

- массо-динамический анализ движения человека;
- структурный анализ движения.

Для реализации этих задач в системе Vicon используются подключаемые измерительные системы, представляющие модульные элементы и взаимодействующие с ОДА. Действие измерительных систем основано на оптическом захвате движения с помощью маркеров.

Недостатки системы Vicon аналогичны недостаткам системы Xsens. Главный из них: подсистема визуализации является лишь дополнительным элементом к основной подсистеме измерения. Дополнительный недостаток системы является следствием оптической природы измерений и возникает при интегрировании и оценке взаимного расположения оптических датчиков и виртуальной скелетной модели. Кроме того, для использования системы необходимо дорогостоящее оборудование и значительная площадь лаборатории.

1.3. Система моделирования AnyBody

Для увеличения функциональных медицинских характеристик предыдущих систем их часто дополняют системой AnyBody. Она представляет собой программное обеспечение, способное воспроизводить работу мышц и костей при движении в виде трехмерной модели движения. Система подкрашивает мышцы в зависимости от усилий развиваемых ими при движении, а не участвующие элементы делает прозрачными.

Система AnyBody приспособлена к встраиванию в различные измерительные медицинские системы и обладает более широким медицинским потенциалом. Однако для решения задач комплексного анализа, моделирования и прогнозирования развития патологий ОДА ее недостаточно. Во-первых, отсутствует система корректировки модели по индивидуальным антропометрическим параметрам человека, измеренным по традиционным и новейшим методикам (основная и наиболее дорогостоящая в решении проблема). Во-вторых, отсутствует моделирование работы кровеносной и нервной систем человека при движении. В-третьих, отсутствует система документирования и ведения данных о пациенте.

Направления развития отрасли

Основное направление развития отрасли биометрического моделирования – анализ движений, и поиск моделей развития состояния ОДА с течением времени.

Анализ взаимодействия разных систем человека, к примеру, костной и нервной, может быть достигнут при совместном анализе данных от разных типов измерителей (например, акселерометров и датчиков температуры). Методологическая задача биомеханического моделирования связана с анализом способов и методик индивидуализации модели человека, или техники корректировки параметров модели человека (длины костей, их начального взаимного расположения и т. п.) по измеренным данным пациента при минимизации времени работы с каждым пациентом. Измерительная задача представляет собой необходимость компоновки и нахождения зависимостей статических биомеханических антропометрических данных человека (например, длина голени) с динамическими (например, рабочий угол сгиба левого колена), а также отражения этих параметров в модели. Вычислительная задача состоит в нахождении оптимальных параметров движения (например, перемещения центра масс человека), способных отразить тип и характер патологий ОДА, а также в оценке степени достоверности такого отражения при анализе реальных медицинских историй болезни ОДА.

Визуализационная проблема состоит в наиболее удобном для врача способе отображения трехмерной модели ОДА, интерактивных функциях доступных при работе с ней, методиках хранения индивидуальных данных. Кроме того важным представляется поиск более дешевых технологий, относительно существующих.

Заключение

Актуальное для медицины направление биомеханического моделирования связано со сменой приоритетов от лечения к предупреждению возникновения возможных осложнений. Прогнозирование особо важно в случаях реабилитации как средство предупреждения неблагоприятных последствий, в том числе и дет-

ских патологий ОДА в связи с постоянным развитием и ростом детского организма.

Анализ современных систем биомеханического моделирования, показал необходимость разработки комплексной информационной системы интерактивного трехмерного представления работы элементов опорно-двигательной, сердечно-сосудистой и нервной систем органов человека в норме и патологии. Решение связанных с этим методологических, измерительных, вычислительных и визуализационных задач, позволит реализовать для медицинских учреждений комплексный инструмент анализа, моделирования и прогнозирования развития патологий ОДА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воронов А. В. Имитационное моделирование как метод изучения двигательных действий человека. // Теория и практика физ. Культуры. – 2004. – № 2. – С. 36–40.
2. Курашвили В. А. Новые диагностические технологии в спортивной медицине. // Вестник восстановительной медицины. – 2011. – № 5. – С. 75–78.
3. Lee S.-H., Sifakis E., Terzopoulos D. Comprehensive Biomechanical Modeling and Simulation of the Upper Body. / ACM Transactions on Graphics. – 2009. – Vol. 28. – Is. 4. – August. – Article №. 99.
4. Rajagopal V., Nielsen P. M. F., Nash M. P. Modeling breast biomechanics for multi-modal image analysis – successes and challenges. // Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine. – May/June 2010. – Vol. 2. – Is. 3. – P. 293–304.
5. Winter D. A. – 2009 Biomechanics and motor control of human movement: 4th Edition. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. 384 p.
6. Xsens Company.
7. URL: <http://www.xsens.com/en/general/mvn-biomch> (Дата обращения: 26.10.2012).
8. Vicon Company
9. URL: <http://www.vicon.com> (Дата обращения: 26.10.2012).
10. AnyBody Technology Company.
11. URL: <http://www.anybodytech.com> (Дата обращения: 26.10.2012).

РЕЗЮМЕ

Одно из интересных направлений современной реабилитационной медицины – биомеханический мониторинг и моделирование заболеваний опорно-двигательного аппарата. Такие исследования необходимы для предупреждения и корректировки развития различных патологий опорно-двигательного аппарата. Биомеханический мониторинг и моделирование выполняется средствами оптических, электронных и информационных технологий, на основе теоретических анатомических знаний и знаний о кинематике тела. Вниманию читателя предлагается обзор и анализ современных систем моделирования опорно-двигательного аппарата и представление наиболее актуального направления в их развитии.

Ключевые слова: системы биомеханического моделирования, заболевания опорно-двигательного аппарата.

ABSTRACT

The biomechanical monitoring and modeling of the locomotor system diseases is one of the interesting areas of the up-to-date rehabilitation medicine. Such researches are required for prevention and correction of continuation of diverse pathologies of the locomotor system. The biomechanical monitoring and modeling realized by optical, electronic and informational technologies, on basis of anatomic and kinematics knowledge of the body. The reader's attention offers this review and analysis of the modern systems of the modeling of the locomotor system and presentation of the most topical tendency of its continuation.

Key words: biomechanical monitoring systems, locomotor system diseases.

Контакты:

Рассади́на Анна Александровна. E-mail: a.a.rassadina@gmail.com