

## КАТЕГОРНАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕННОГО СУСТАВА

Ю. П. Муха, С. А. Безбородов, С. А. Русаков

Волгоградский государственный медицинский университет,  
кафедра биотехнических систем и технологий

Предложена категорная модель коленного сустава, которая позволяет объективизировать состояние сустава, дает возможность формировать технологию лечения. Она предполагает четкую последовательность анализа физиологического состояния объекта и способствует развитию информационных технологий в рамках лечебных и реабилитационных технологий.

*Ключевые слова:* категорная модель, коленный сустав, анализ физиологического состояния объекта.

## CATEGORY MODEL OF A KNEE JOINT

Yu. P. Mukha, S. A. Bezborodov, S. A. Rusakov

We propose a category model of knee joint, which allows an objective assessment of the joint condition, helps to define the strategy of treatment. The model implies a definite sequence of the analysis of physiological condition and promotes the development of IT within the framework of therapeutic and rehabilitation technologies.

*Key words:* category model, knee joint, physiological condition analysis.

С анатомической и физиологической точки зрения, коленный сустав представляет собой сложную систему в структурном и функциональном отношениях. Все элементы сустава являются нелинейными физическими средами. Подвижность сустава определяет характер пространственного поведения всех остальных органов движения человека. Наконец, следует отметить, что любые показатели, характеризующие сустав, строго индивидуализированы.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Корректный выбор лечебных и реабилитационных технологий, что в значительной мере определяется достижением следующих целей:

- 1) описанием фазового пространства наблюдения коленного сустава и выбором информационных параметров для осуществления системного подхода в рамках измерительного процесса;
- 2) синтезом структурной модели силовых взаимодействий между элементами коленного сустава;

3) распределением аналитических формализмов описания силовых контактов элементов коленного сустава.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ:

Корректный выбор лечебных и реабилитационных технологий за счет управления силовыми взаимодействиями элементов сустава целесообразно объективизировать введением модели диагностируемого состояния:

$$M_{\text{дфс}} = \{M_{\text{фус}}, M_{\text{ооп}}, M_{\text{фк}}, M_{\text{уфс}}, M_{\text{сп}}\}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{дфс}}$  — модель диагностируемого физиологического состояния;

$M_{\text{фус}}$  — модель физиологической функциональной системы (ФФС);

$M_{\text{ооп}}$  — модель области определения ФФС;

$M_{\text{фк}}$  — модель физиологических констант;

$M_{\text{уфс}}$  — модель условий функционирования;

$M_{\text{сп}}$  — модель системного параметра.

На основании анатомической схемы коленного сустава (1) составим блок-схему структуры взаимодействий между его элементами (рис.):

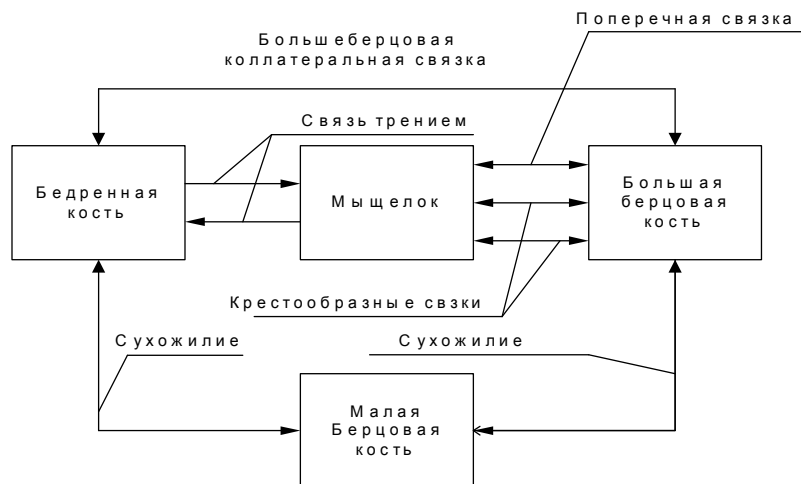


Рис. Структура межэлементных взаимодействий



ракти и рисунок распределения на модели. В данном случае назначение числовых величин основывается на том, что связки — это плотные соединительно-тканые тяжи и пластины, соединяющие кости скелета или отдельные органы. Располагаясь преимущественно в области суставов, укрепляют их, ограничивают или направляют движение в суставах. При этом все связки имеют физические характеристики в соответствии с их индивидуальным назначением.

Содержанием модели области определения  $M_{ооп}$  являются интервалы значений каждого компонента системы (3), которые обозначим следующим образом:

$$M_{ооп} = \{ \langle \overline{BK}_{min}, \overline{BK}_{max} \rangle; \{ \langle \overline{HK}_{min}, \overline{HK}_{max} \rangle; \{ \langle \overline{BBK}_{min}, \overline{BBK}_{max} \rangle; \{ \langle \overline{MЦ}_{min}, \overline{MЦ}_{max} \rangle; \{ \langle \overline{MH}_{min}, \overline{MH}_{max} \rangle; \{ \langle \overline{MBK}_{min}, \overline{MBK}_{max} \rangle \} \} \} \} \} \quad (4)$$

Здесь  $\{ \langle \overline{BK}_{min}, \overline{BK}_{max} \rangle_i \}$  означает комплекс конкретных значений, что соответствует употреблению записи  $\langle \cdot \rangle$ , семейств параметров, что обозначено штриховой линией над именем элемента, угловые скобки имеют свой порядковый индекс  $i$ . Фактор семейства обозначен фигурными скобками. Среди подобных параметров следует отметить, прежде всего, модуль упругости материала элемента:  $E_{BK}$ , например.

Модель  $M_{фк}$  представляет собой совокупность неизменных констант, характеризующих элементы объекта, то есть коленного сустава, в геометрическом или физическом отношении:

$$M_{фк} = \{ \langle \overline{BK} \rangle_{const}, \langle \overline{HK} \rangle_{const}, \langle \overline{BBK} \rangle_{const}, \langle \overline{MЦ} \rangle_{const}, \langle \overline{MH} \rangle_{const}, \langle \overline{MBK} \rangle_{const} \} \quad (5)$$

Модель содержит перечень разнообразных условий, при которых соблюдается стабильность функционирования коленного сустава и перечисляются допустимые границы этих условий.

Модель системного параметра  $M_{сп}$  содержит имя параметра или параметров, измерения которого (или которых) позволяет объективно оценивать физиологическую функциональную систему (ФФС), а также уравнение измерительной процедуры, так как это сделано, например, авторами [3, 4]. При детализации поведения сустава в фазовом силовом пространстве нужно для каждого его элемента разместить центр координатной системы и рассматривать перемещение каждого элемента под воздействием внешних относительно элементов сил.

Основанием для определения положения систем координат нагружения взаимодействующими парами служит граф (2). Все взаимодействующие пары реализуют удержание общего равновесия тела в пространстве, и вектор взаимодействия имеет произвольное текущее направление, однако оси координат всех координатных систем коллинеарны между собой и результирующей системе. Поэтому в данном случае целесо-

образно организовать системы координат относительно всех пар взаимодействий. С учетом сказанного результирующий вектор силовых взаимодействий пар можно представить следующим образом:

$$\overline{F}_{СП} = \overline{F}_{BK/MЦ} + \overline{F}_{BK/BBK} + \overline{F}_{BK/MBK} + \overline{F}_{MЦ/BBK} + \overline{F}_{BBK/MBK} \quad (6)$$

Функционал каждой векторной компоненты определяется в соответствии с таблицами матриц типов соединения между элементами (табл. 1) и типов нагружения (табл. 2) соединительных элементов. Области определения и существования функционалов, а также коэффициенты и параметры принимаются в соответствии с моделями (4) и (5). Начальные и граничные условия для функционалов из (6) назначаются по модели  $M_{уфс}$ .

С учетом (6) можно написать

$$M_{СП} = \overline{F}_{СП} \quad (7)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, категорная модель коленного сустава позволяет объективизировать состояние сустава, то есть диагноз. Она дает возможность формировать технологию лечения (терапии) более корректно, будучи определенной по жесткостям и упругостям связок.

Предложенная формализация поведения коленного сустава является корректной, обобщенной благодаря категорному описанию, и в то же время допускает требуемую конкретизацию, определяемую индивидуализацией самого объекта. Она предполагает четкую последовательность анализа физиологического состояния объекта и способствует развитию информационных технологий в рамках лечебных и реабилитационных технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анатомия человека / Под редакцией М. Р. Сапина — М.: Медицина, 2001.
2. Букур И., Деляну А. Введение в теорию категорий. — М.: Издание «Мир», 1972. — 259 с.
3. Воробьев А. А., Муха Ю. П., Барасов А. С. и др. // Биомедицинская электроника. — 2008. — № 4. — С. 59—63.
4. Безбородов С. А. ПТК для определения биомеханических характеристик коленного сустава: Автореф. дис. ... канд. диссертации — Волгоград, 2011. — 18 с.

## Контактная информация

**Муха Юрий Петрович** — д. т. н., профессор каф. биотехнических систем и технологий, Волгоградский государственный медицинский университет, e-mail: muxaup@mail.ru