

© Український журнал клінічної та лабораторної медицини, 2012  
УДК 519.87: 616-01/09

## Методы системного анализа в задачах управления лечебным процессом

В.Г.Пинькас, О.А.Топоркова, И.Н.Кувичка,  
О.А.Скориков, И.В.Пожидаев, Д.В.Топорков

ГЗ «Луганский государственный медицинский университет»,  
ГЗ «Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина», ГЗ «Национальный авиационный университет»  
Луганск, Харьков, Украина

Рассмотрено применение методов системного анализа в решении задач управления процессом лечения. На примере математической модели сахарного диабета показана возможность осуществлять управление лечением.

**Ключевые слова:** система, управление, моделирование, лечебный процесс, компьютер.

качественно отличных этапов заболевания, вероятностный характер процесса лечения, неоднородный характер процесса лечения в зависимости от индивидуальных особенностей больного, нестационарное изменение физиологических параметров, невозможность активного экспериментирования, неполная априорная информация в условиях неопределенности при выборе тактики лечения.

Целью исследования было показать применение методов системного анализа, в частности математического моделирования, в задачах управления лечебным процессом.

### ВВЕДЕНИЕ

Для настоящего времени характерным является проникновение идей теории управления в различные области знаний, создание моделей ситуаций, эксперимента и научных исследований. При решении проблем управления сложными системами, каковой является и организм человека, важная роль отводится методам системного анализа. Живые системы стремятся сохранить себя или развиваться в направлении достижения равновесного состояния. Болезнь — это некоторый процесс, при котором нарушаются функции одной или нескольких физиологических систем организма. Тогда лечение представляет собой искусственное управление нарушенными функциями организма, которое направлено к их нормализации [1, 2].

Значительный объем информации при управлении процессами диагностики и лечения заболеваний требует применения лекарственных методов и компьютерных интеллектуальных систем управления. Однако чтобы применять математические методы оптимизации с целью повышения эффективности процесса лечения, следует учитывать некоторые особенности этого процесса, а именно: наличие

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта управления рассматривается процесс лечения заболевания. При использовании математических методов вся совокупность параметров, от которых зависит процесс лечения, делится на группы, которым дается формальное описание.

1. Входные параметры, характеризующие индивидуальные особенности организма:  $X_{kmin}$ ,  $X_k$ ,  $X_{kmax}$ .

2. Управляющие воздействия, определяющие качество и количество лечебных воздействий:  $U_{imin}$ ,  $U_i$ ,  $U_{imax}$ .

3. Выходные параметры, являющиеся оценками процесса лечения:  $Y_{jmin}$ ,  $Y_j$ ,  $Y_{jmax}$ .

4. Различные возмущающие факторы, носящие случайный характер и не поддающиеся количественному измерению.

Обозначим  $Y_{ijk}$  — желаемый («нормальный») уровень физиологического параметра, который является индивидуальным для каждого больного. Поэтому при коррекции физиологических параметров в некоторых случаях не допускается превышать или уменьшать уровень  $Y_{ijk}$ .

Исходя из совокупности тех приемов, которые выполняет врач при выборе тактики лечения, целесообразно использовать математические методы, позволяющие применять компьютерные технологии.

Оценивая изменения физиологических параметров больного, врач выбирает лучший, на его взгляд, вариант лечения и мысленно «проигрывает» все возможные варианты. Формализованное описание этих приемов с использованием таких математических методов, как прогнозирование, оптимизация и имитационное моделирование, позволяет решить задачу отбора из большого числа существующих методов тех, которые наилучшим образом отвечают особенностям исследуемого объекта. Нужно заметить, что при разработке методов прогнозирования и оптимального управления процессом лечения надо учитывать имеющийся опыт и профессиональную интуицию врача.

Метод математического моделирования является наиболее эффективным применительно к медицинскому прогнозированию. Прогнозирование с помощью математической модели предполагает решение задач на компьютере.

Задача оптимизации процесса лечения возникает тогда, когда врач с учетом конкретных условий выбирает тот или другой путь для достижения поставленной цели из множества возможных и при наличии ограничений на управляющие воздействия и на физиологические параметры больного. В этой ситуации врачу трудно найти один вариант лечения и, обращая внимание на основной показатель процесса, он упрощает задачу, сводя ее к однокритериальной. Фактически же состояние больного оценивается по множеству критериев.

Пусть  $S_{0y10}, U_{20}, U_{30} \dots U_{n0}$  — некоторая функция, описывающая состояние организма больного до начала лечения, а  $S_{ny1n}, U_{2n}, U_{3n} \dots U_{nn}$  — состояние организма после лечения. Тогда цель лечения — перевести больного из состояния  $S_0$  в  $S_n$ . При этом, предположим, что переход этот возможен. Поскольку промежуточные состояния могут быть разными, то лечение может протекать по оптимальной траектории (если переход от  $S_0$  в  $S_n$  представить некоторой кривой в  $n$ -мерном пространстве).

Переход требуется осуществить таким образом, по крайней мере, стремиться к тому, чтобы  $\max S_{\text{opt}} - S_{\text{tmin}}$ , где  $S_{\text{opt}}$  — значение показателя состояния, соответствующее оптимальной траектории;  $S_t$  — действительное значение показателя состояния. Отсюда следует, что задача управления процессом лечения сводится к вы-

бору оптимального управления, при котором целевая функция достигает минимума.

В процессе лечения врач является лицом, принимающим решение, и поскольку процесс лечения состоит из последовательности лечебных воздействий, то врач должен на каждом шаге действия (управления) решать следующие задачи: 1) выбор текущей цели решения; 2) выбор лечебных воздействий; 3) выбор дозы лечебного воздействия. Процесс принятия решений при выборе тактики лечения является многошаговым, и каждый шаг представлен совокупностью уровней принятых решений.

При формализации задачи возникают разного рода неопределенности, а именно: 1) физиологические параметры подвержены возмущениям, которые имеют неизвестные характеристики; 2) функции, задающие цели лечения, многоэкстремальны, отсутствует их явное аналитическое выражение через управляющие воздействия; 3) отсутствует критерий, оценивающий эффективность лечения в целом.

Решать задачу оптимизации без учета индивидуальных особенностей больного нельзя, поскольку оптимальный вариант лечения для группы больных может оказаться неоптимальным для отдельного больного. В то же время отработка алгоритма оптимального лечения непосредственно на больном невозможна. Тогда целесообразно применить метод имитационного моделирования на компьютере [3]. Большая скорость моделируемых процессов позволяет использовать метод «проб и ошибок» на модели без нанесения ущерба здоровью пациента. Для проведения имитационного эксперимента необходимо иметь имитационные модели, которые адекватно описывают исследуемый процесс лечения.

В качестве примера рассмотрим компьютерное математическое моделирование протекания сахарного диабета [4]. Модель сахарного диабета описывается нелинейной системой дифференциальных уравнений и реализована с помощью пакета компьютерной математики MathCad.

Две основные переменные, которые входят в модель, подлежат измерению и управлению в клинической практике: это уровень сахара в крови (С) и уровень инсулина в крови (J). Кроме того, модель содержит две дополнительные функции, которые имитируют прием пищи (P(t)) и введение инсулина (W(t)) (для больных). Устойчивое состояние, которое принято за точку отсчета, характеризует уровень сахара в крови натощак при нулевом уровне инсулина.

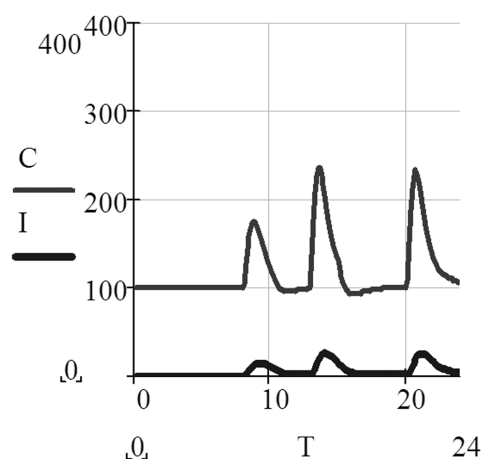


Рис. 1. Изменение уровня сахара и инсулина в крови здорового человека при трехкратном приеме пищи.

**Примечания:** С — уровень сахара в крови; I — уровень инсулина в крови.

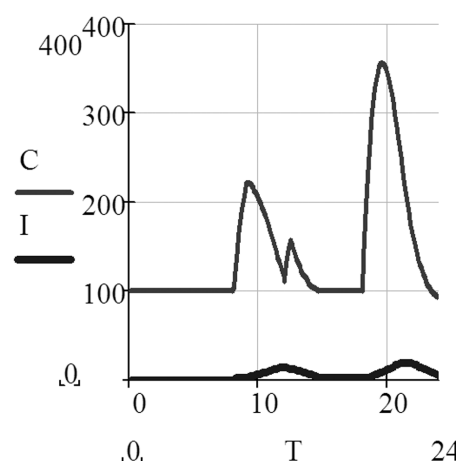


Рис. 2. Изменение уровня сахара и инсулина в крови больного человека при трехкратном приеме пищи.

Предположения, которые учитывались при составлении модели: 1) запасы еды  $P(t)$  в организме уменьшаются экспоненциально, поскольку процесс поступления еды в организм не является непрерывным; 2) максимальный эффект инъекции соответствует максимальной скорости поступления инсулина.

Процесс поступления инсулина моделируется в виде кусочно-линейной функции времени  $W(t)$ . Управляя процессом введения инсулина, его дозой, временем и количеством приема пищи, на модели возможно поддерживать удовлетворительное состояние больного на заданном промежутке времени.

Для здорового организма система сахар-инсулин является устойчивой относительно поступления сахара  $Z(t)$ . В случае диабета она становится неустойчивой. При легкой форме выбор функции  $Z(t)$  нормализует состояние системы, т.е. достаточно только диеты. Тяжелая форма диабета требует восстановления устойчивости системы с помощью ввода функции  $W(t)$  для управления введением инсулина.

На рис. 2. отображена ситуация при следующих входных данных:  $8^{00}$  — прием пищи (50 единиц),  $8^{30}$  — инъекция (20 единиц),  $12^{00}$  — прием пищи (50 единиц),  $18^{00}$  — инъекция (14 единиц),  $18^{00}$  — прием пищи (100 единиц).

На рис. 1. ситуация при следующих входных данных:  $8^{00}$  — завтрак (50 единиц),  $13^{00}$  — обед (50 единиц),  $20^{00}$  — ужин (100 единиц).

При работе с моделью в случае больного диабетом не удалось достичь 3 пиков при 2-кратной инъекции аналогично здоровому организму. Отсюда следует, что промежуток

времени между завтраком и обедом должен быть сокращен, чтобы утренняя инъекция смогла обеспечить оба приема пищи. Таким образом, можно отслеживать на модели время приема пищи и время инъекции инсулина, а также результаты принятой тактики лечения.

## ВЫВОДЫ

Создание регулируемых средств введения лекарственных препаратов с использованием математических моделей является одним из способов усовершенствования алгоритмов адекватной коррекции патологических изменений в различных системах организма. Учитывая ограниченность возможностей, оценку достоверности полученных результатов, методы системного анализа являются компьютерно-информационной поддержкой в принятии решений в задачах управления лечебным процессом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы / В.Н.Новосельцев. — М.: Наука, 1978. — 319 с.
2. Фролов В.Н. Управление в биологических и медицинских системах: учеб. пособие / Под ред. проф. Я.Е.Львовича и проф. М.В.Фролова]. — Воронеж: ВГТУ, 2001. — 327 с.
3. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука / Р.Шеннон. — М.: Мир, 1978. — 308 с.
4. Дэвис. М.Дж. Дифференциальная модель сахарного диабета / М.Дж.Дэвис; под ред. Ю.П.Гупало. — Математическое моделирование. — М.: Медицина, 1979. — С. 128-139.

**В.Г.Пінькас, О.А.Топоркова, І.М.Кувічка, О.О.Скоріков, І.В.Пождаєв, Д.В.Топорков. Методи системного аналізу в задачах керування лікувальним процесом. Луганськ, Харків, Україна.**

**Ключові слова:** система, керування, моделювання, лікувальний процес, комп'ютер.

Розглянуто застосування методів системного аналізу у розв'язанні задач керування процесом лікування. На прикладі математичної моделі цукрового діабету показана можливість здійснювати керування лікуванням.

**V.G.Pinkas, O.A.Toporkova, I.N.Kuvichka, O.A.Skorikov, I.V.Pojidaev, D.V.Toporkov. Methods of analysis system in problems management by process of treatment. Lugansk, Kharkiv, Ukraine.**

**Key words:** system, management, modeling, process of treatment, computer.

The application of systematic analysis in solving of problems management by process of treatment was considered. On the example of mathematical model of diabetes we showed the possibility of treatment control.

Надійшла до редакції 11.12.2011 р.