УДК: 62.001.57:576.75:612.014.4

Система комп'ютерного моделювання процесів життєдіяльності органів і систем організму людини

В. М. Мороз, І. І. Хаїмзон, Є. П. Бондарчук
Вінницький національний медичний університет
ім. М. І. Пирогова, Україна

Резюме

Розроблено систему комп'ютерного моделювання процесів життєдіяльності органів і систем організму людини. При її проектуванні застосований якісний новий системний підхід, який базується на математичному моделюванні процесів фізіологічної діяльності організму з урахуванням усіх відомих взаємозв'язків між різними органами, біохімічних та ферментативних перетвореннях в органах і тканинах, впливу зовнішнього середовища. Користувач може моделювати будь-які стани організму шляхом зміни різних значень відповідних показників у відповідних підсистемах. Зміна показників в будь-якій підсистемі призведе до автоматичного перерахунку всіх параметрів системи, які були зв'язані зі станом, що моделюється. За своїми функціональними можливостями система не має аналогів у класі медичних симуляторів і може знайти широке використання в навчальному процесі медичних освітніх закладів, наукових медико-біологічних дослідженнях, клінічній практиці.

Ключові слова: комп'ютерне моделюванні в медицині, медичні симулятори, медичні інформаційні системи.

Клин. информат. и Телемед.
2004. Т.1. №2. с.249–253

Вступ

Основою медичної практики є значний об'єм глибоких теоретичних знань, які обґрунтовують всі процеси, що відбуваються в організмі людини в результаті професійних дій лікаря. Таке теоретичне підґрунтя повинно містити чітке розуміння анатомічної будови органів і тканин людини, фізіологічних процесів, що протікають в організмі, біохімічних і ферментативних перетворень в органах і тканинах, взаємозв'язків між різними органами і системами, факторів впливу зовнішнього середовища, індивідуальних особливостей конкретного організму та ін. Враховуючи складність процесів в організмі і обмежені можливості людини, навіть лікар найвищої кваліфікації не здатен сприйняти і оцінити такий великий об'єм інформації. Тому, у реальній практиці лікар керується обмеженою сукупністю певних правил, отриманих на основі рекомендацій, що виявились статистично вірогідними для більшості населення. Але організм кожної людини унікальний і, дуже часто, та чи інша терапія або хірургічне втручання можуть бути не зовсім ефективними для даного пацієнта. Проблема індивідуалізації в медицині, тобто урахування особливостей кожного конкретного організму, за думкою фахівців [7], може бути вирішена із застосуванням нових інформаційних технологій у поєднанні з чітким розумінням механізмів життєдіяльності органів і систем людини на різних рівнях організації. Засоби комп'ютерного моделювання є найпотужнішим інструментом для вирішення таких завдань [1].

Матеріали та методи

У сучасній медицині широко використовуються технічні засоби і технології, які дозволяють певним чином моделювати різноманітні медико-біологічні процеси. Такі засоби часто називають медичними симуляторами або імітаторами. До них відносяться, наприклад, загальновідомі манекени, призначені для оволодіння медперсоналом навичками проведення різних маніпуляцій (уколи, крапельниці, катетери, реанімаційні заходи та інші). В останній час набули популярності програмно-технічні комплекси, які імітують роботу відповідної медичної апаратури: анестезіологічного обладнання, штучної нирки, штучного кровообігу, радіонуклідної терапії та ін. [6]. Є спроби створення комп'ютерних систем моделювання роботи окремих органів і систем людини: серця, легенів, опорно-рухового апарату та деяких інших [2, 3]. Практично невідомі системи моделювання, які реалізують не тільки окремі функції певних органів, систем, впливів зовнішнього середовища, але й сукупність усіх відомих взаємодій між ними. Загальновідомо, що зміна стану будь-якого органу чи системи, а також характеристик зовнішнього середовища, приведе до певних змін в інших органах і системах, тобто, до нового стану організму. Прогнозувати і досліджувати такі стани за допомогою існуючих систем моделювання неможливо.

Нами розроблена унікальна комп'ютерна система імітації роботи органів

і систем людини MedSim Pro. При її проектуванні застосований якісно новий підхід [4] до моделювання процесів, що відбуваються в організмі, який базується на :

- математичному моделюванні процесів фізіологічної діяльності організму з урахуванням усіх відомих взаємозв'язків між різними органами і системами, біохімічних та ферментативних перетвореннях в органах і тканинах, впливу зовнішнього середовища;
- аналізі систем життєдіяльності людини з детальним описом їх роботи у вигляді системи кількісних параметрів;
- оцінюванні відповідних станів організму з формуванням діагностичних висновків.

Імітація роботи кожного органу базується на моделюванні ферментативних і біохімічних процесів, що реалізують ті чи інші функції його діяльності [5].

Початкові дані задані у вигляді середньостатистичних значень параметрів, які характеризують оточуюче середовище і організм людини, наприклад, споживана кількість калорій за добу дорівнює 2700 Ккал, парціальний тиск кисню становить 158 мм рт.ст., гемоглобін крові — 135 г/л, артеріальний тиск — 120/80 мм рт.ст., частота серцевих скорочень — 70 уд./хв. і т.ін. Загалом, для опису всіх процесів в системі використовується біля 10000 показників.

Будь-який параметр може бути змінений або користувачем системи, або самою системою при імітації різних фізіологічних чи патологічних станів. При цьому, зміна параметрів, безпосередньо або опосередковано приймаючих участь у моделюванні певного стану, приведе до відповідної реакції системи у вигляді зміни параметрів тих органів і систем, які мають відношення до встановлення цього стану. Наприклад, зменшення фільтрації калію в нирках приведе до збільшення його концентрації у крові і, як наслідок, до появи цілого ряду змін: змін потенціалів у клітинах, збільшення збудливості нервових тканин, змін провідності імпульсів у тканинах, порушень у провідній системі серцевого м'язу.

Система пояснює виконані дії за допомогою протоколів, де описуються всі процеси, що відбуваються у відповідних органах і системах при заданих значеннях параметрів.

На теперішній час у запропонованій нами системі функціонують такі модулі:

- факторів впливу зовнішнього середовища, що оточує людину (температура, парціальний тиск, тиск кисню, тиск CO_2, тиск азоту, вологість повітря, УФ-випромінювання сонця, часові зони регіонів);
- споживання продуктів харчування з детальним аналізом інгредієнтів, що в них містяться (жири, білки, вуглеводи, електроліти, амінокислоти, жирні кислоти, клітківка, колаген, казеїн і т. ін.);
- енергетичних витрат на виконувану людиною роботу і розрахунків у потребах їжі для покриття цих витрат;
- практично всіх біохімічних перетворень споживаних інгредієнтів і проміжних метаболітів;
- ферментації речовин у ротовій порожнині;
- ферментації речовин у кишечнику ферментами кишечнику і підшлункової залози з гормональною функцією підшлункової залози (інсулярний апарат, глюкагон і т. ін.);
- створення жовчних міцел і емульгації жирів під дією складових частин жовчі;
- метаболізму гормонів і ліпопротеїдів різної густини;
- печінкового синтезу білків (нутритивних і для гемостаза), обміну вітамінів K і D в печінці, пігментарного обміну, синтезу і обміну холестеринів, електрофоретичного розподілу білків, обміну етанолу;
- внутрішньосерцевої гемодинаміки, клапанного апарату серця, провідної системи серця, водія ритму;
- циркуляторних і мікроциркуляторних руслів в кожному органі;
- фільтрації і реабсорбції метаболітів у нирках, синтезу реніну, ерітропоетіну і його гормонального впливу на еритроцити;
- синтезу вітаміну D у шкірі;
- уродинаміки сечових шляхів і частково сечового міхура;
- функції дихання легенів з випаровуванням води з легеневої тканини в повітря, насичення гемоглобіну киснем і його транспорту до органів;
- м'язової системи (поперечно-поперечно-полосаті і гладкі м'язи) з розрахунками витрат енергії на скорочування того чи іншого м'язу;
- розрахунку дефіцитів альбуміну, pH, води, електролітів крові і швидкого перерахунку інфузійних розчинів для покриття цих дефіцитів;
- процесів у селезінці: загибель клітин крові, руйнування еритроцитів з вивільненням глобіну і гему, обмін клітин крові;
- процесів у кістках: утворення клітин крові; мітотичне ділення клітин крові; утворення пула еритроцитів; обмін клітин крові; обмін кальцію, магнію, фосфору; депонування і вихід мінералів з кісткової тканини;
- процесів у шкірі: тепловіддача; вплив текстильних тканин на обмін тепла; випаровування води в зовнішнє середовище; депонування жиру жировою клітківкою; визначення площі опіків на шкірі;
- процесів на сітківці ока, циклу перетворень ретинолу-опсіну-родопсіну.

На рис. 1–4 наведені фрагменти роботи системи.

Результати Обговорення

Користувач системи в реальному масштабі часу може виконувати такі дії:

- спостерігати за будь-якими змінами, що відбуваються в організмі на різних рівнях організації;
- досліджувати відповідні взаємозв'язки між органами, системами і зовнішнім середовищем;
- змінювати за власним бажанням величину будь-якого показника в будь-якому модулі системи і спостерігати, як ці зміни впливають на хід різних процесів.

Використання системи у навчальному процесі медичних освітніх закладів дозволяє суттєво підвищити ефективність і якість навчання у порівнянні з традиційними методами. Широкі можливості дає використання системи в наукових медико-біологічних дослідженнях. Лікар-дослідник може моделювати певні патології і механізми, які приводять до появи таких патологій без проведення експериментів на тваринах. Для цього існує можливість довільно змінювати параметри гемодинаміки, аеродинаміки, термодинаміки, фармакокінетики, усіх біохімічних реакцій і спостерігати зімни, що при цьому відбуваються в органах і системах.

Використовуючи формулу будь-якого фармакологічного препарату можна спостерігати за процесами в організмі людини після його введення. Таким чином, наприклад, існує можливість виявлення побічних ефектів дії ліків без клінічних досліджень.

Крім того, можливе вирішення численних дослідницьких завдань, серед яких:

- розрахунок обміну газів;
- розрахунок максимальної висоти підйому, при якій ще можливе дихання;
- кількісний розрахунок будь-якої біохімічної реакції;
- розрахунки гемодинаміки будь-якого органу і великих судин;
- розрахунок споживчого середовища для внутрішньовенного прийняття їжі;
- розрахунок параметрів апаратури для підтримання гемостазу.

Як згадувалось вище, в переважній кількості випадків практичні лікарі використовують емпіричні методи та інтуїцію, що не завжди дає максимальний ефект. Використання системи MedSim Pro дає можливість практичному лікарю з найвищою ефективністю вирішувати численні завдання, серед яких, наприклад, такі:

- точний розрахунок об'єму електролітів для корекції дефіциту іонів крові;
- аналіз в динаміці транспорту іонів із крові до органів після внутрішньовенних ін'єкцій;

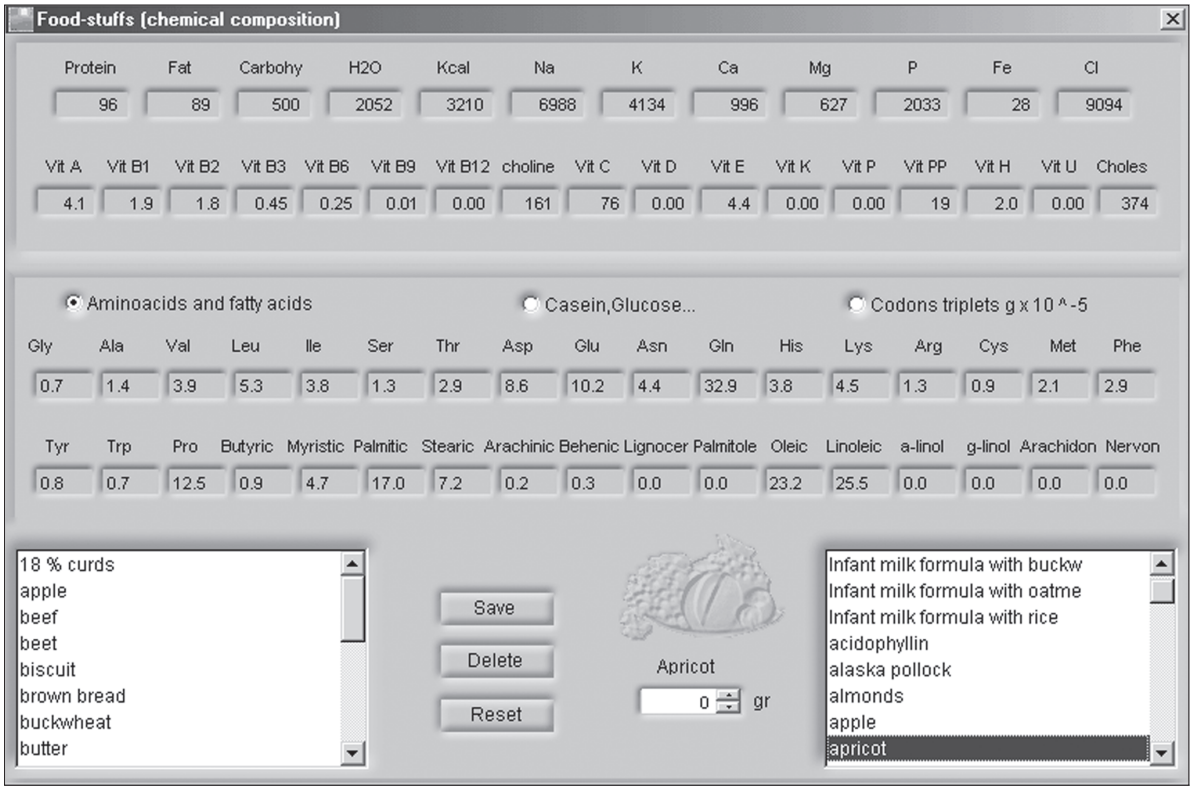

Рис. 1. Фрагмент роботи підсистеми аналізу інгредієнтів, що містяться в споживаних продуктах харчування.

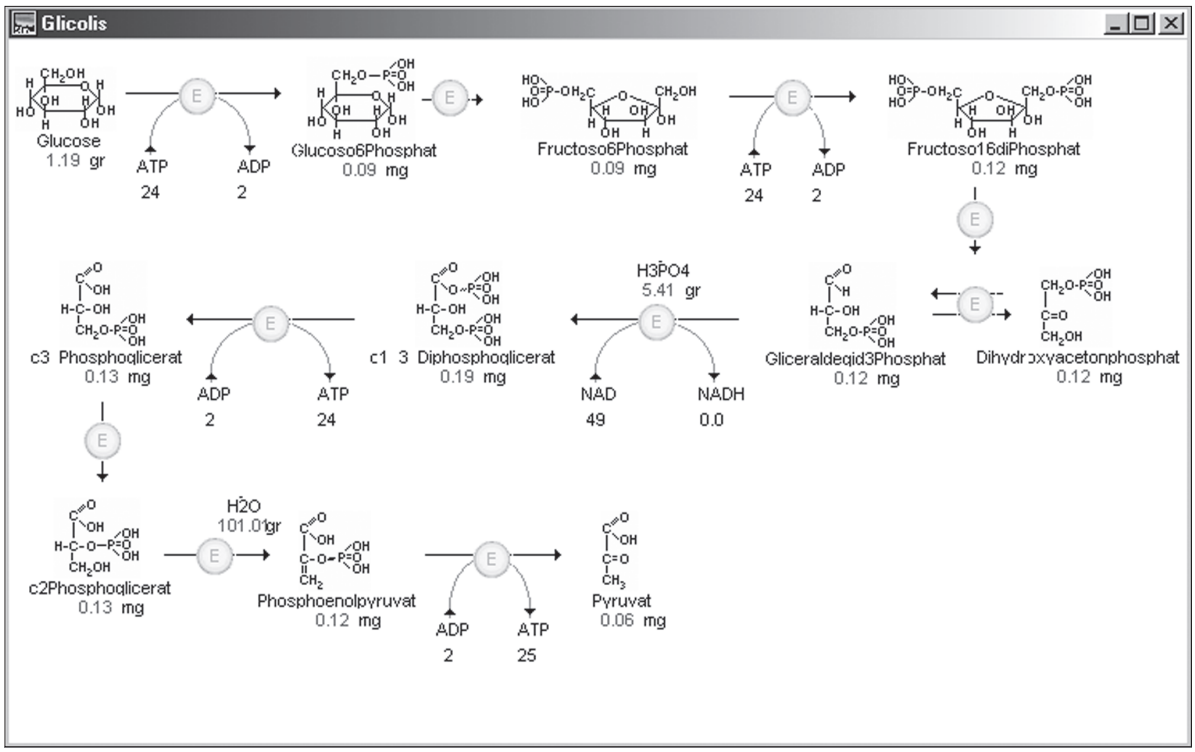

Рис. 2. Фрагмент роботи підсистеми біохімічних перетворень: гліколіз.

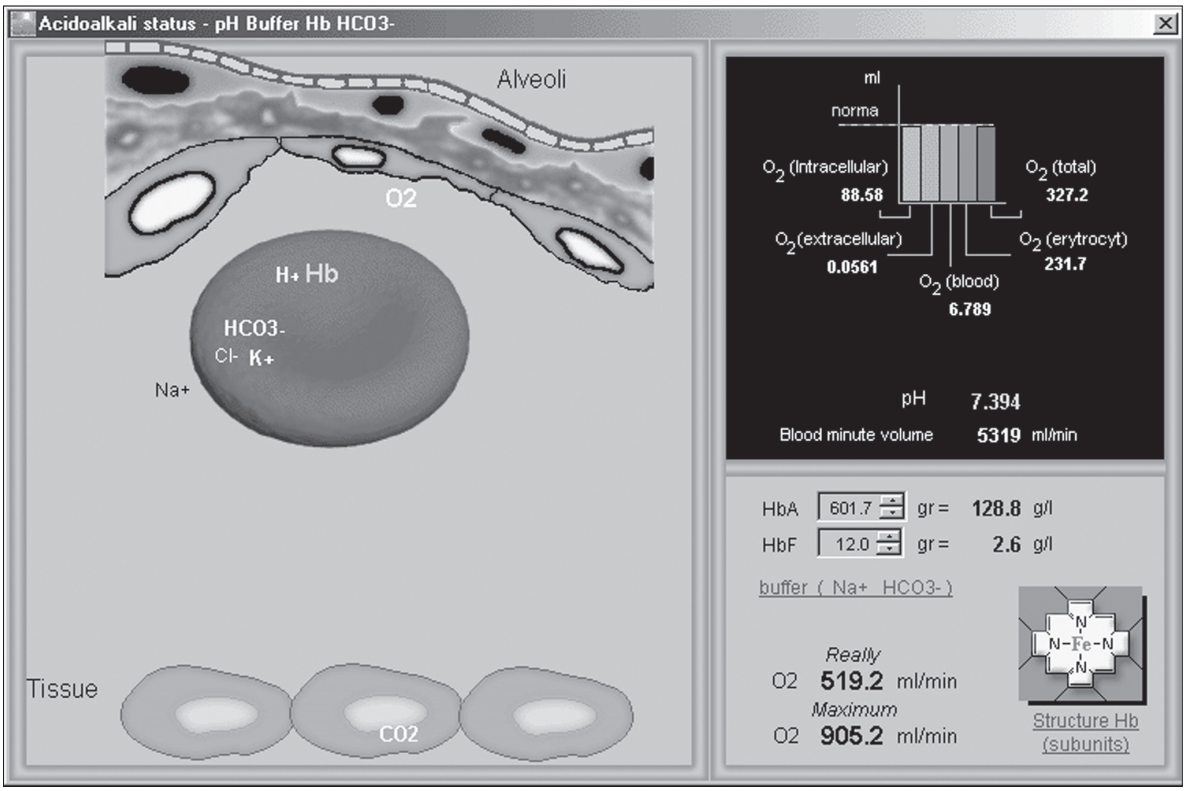

Рис. 3. Фрагмент роботи підсистеми обміну речовин: транспорт газів у крові.

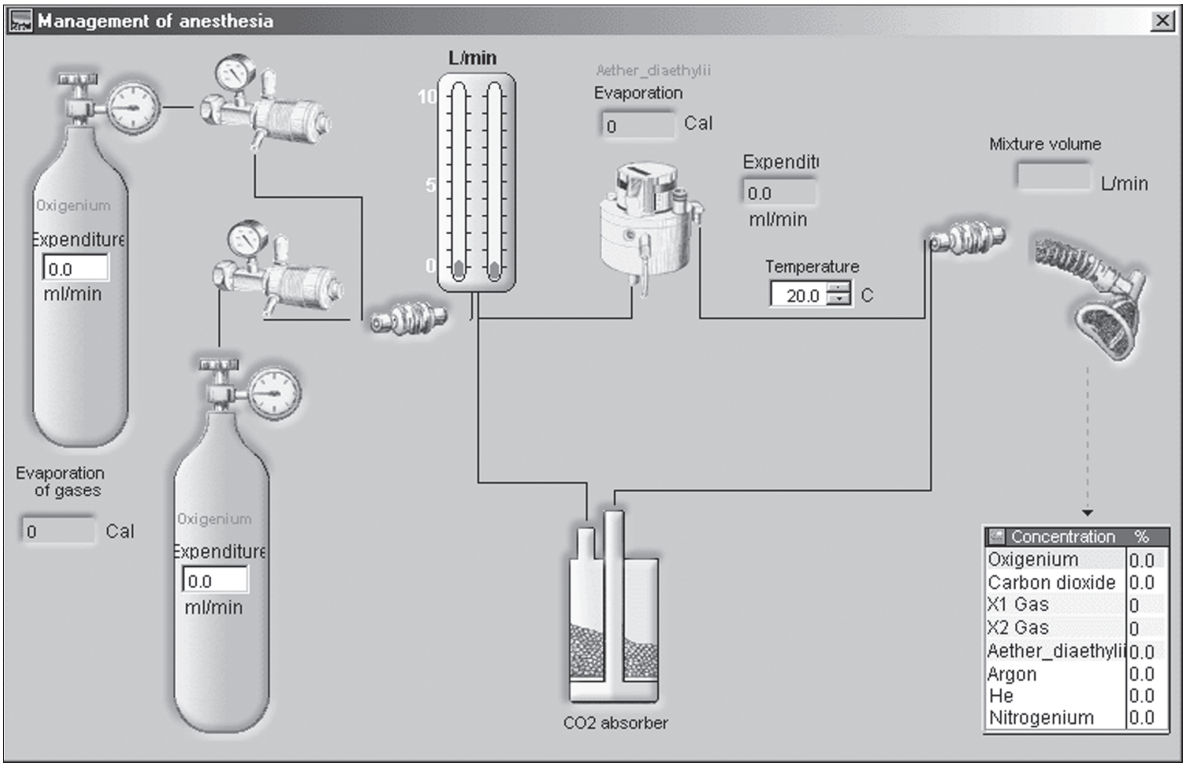

Рис. 4. Імітація роботи анестезіологічної апаратури.

• розрахунок об'єму введених еритроцитів для корекції транспорту кисню після крововтрат;
• розрахунок розповсюдження наркотичного газу у даного пацієнта і захист пацієнта від передозування до наркозу;
• аналіз у динаміці розповсюдження газів із легенів у кров і з крові у органи;
• аналіз у динаміці розповсюдження CO_2 з органів у кров, із крові в легені, з легень у повітря;
• розрахунок частоти дихання, об'єму дихання, концентрації кисню для штучної вентиляції легенів;
• динамічний аналіз і коригування водного балансу і утворення сечі;
• вивчення екологічних об'єктів зовнішнього середовища, синтез кисню і утилізація CO_2 рослинами;
• вивчення фармакокінетики фармакологічних препаратів;
• розрахунок дієти.

Відмітимо, що детальний опис всіх можливостей системи виходить далеко за межі наведених вище прикладів.

Висновки

Система комп'ютерного моделювання MedSim Pro є, по суті, першою спробою вирішення найскладнішого завдання побудування системної моделі функціонування організму людини з урахуванням всіх відомих взаємозв'язків між різними органами, системами і зовнішнім середовищем.

За своїми функціональними можливостями система не має аналогів у класі медичних стимуляторів і може знайти широке використання в навчальному процесі медичних освітніх закладів, практичній діяльності лікарів, наукових медико-біологічних дослідженнях.

У подальших планах розробників системи — побудування моделей різних патологічних процесів (інфекційних хвороб, хвороб системи крові, порушень імунної системи та ін.) і включення цих моделей у систему.

Література

1. Джордж Ф. Люггер. Искусственный интеллект. – Москва: Вильямс, 2003. – 860 с.
2. Славин М.Б. Практика системного моделирования в медицине. – Москва: Медицина, 2002. – 167 с.
3. Телемедицина: новый информационные технологии на пороге XXI века / Под ред. Р. М. Юсупова и Р. И. Полонникова. – Санкт-Петербург. – 1998. – 487 с.
4. Хаимзон И. И. Новые информационные технологии ведения, учета и обработки медицинской документации. – Киев: Вища школа, 1996. – 250 с.
5. Down B. Marks Biochemistry. – London: Williams & Wilkins, 1994. – 412 p.
6. Edvard H. Shotliffe, Leslie E. Perreoult Medical informatics. Computer Applications in Health Care //Addison Wesley. – 2002. – 720 p.
7. J. H. van Bemnel, Musen M. A. Handbook of medical informatics // Springer. – 1997. – 625 p.

The system of computer modeling of vital functions processes of bodies and systems of the human being's organism

V. Moroz, J. Khayimzon, E. Bondarchuck
Vinnytsia National Pyrogov Memorial Medical University, Ukraine

Abstract

The system of computer simulation of the vital processes of organs and systems of human body was elaborated. In the process of its designing the modern systematic approach was used, based on mathematic simulation of the processes of human physiological activity, taking into account all intercommunications between different organs, biochemical and enzymatic transmutations in organs and tissues, influence of environment. User can model any state of human body by setting different meanings to the appropriate indicators in any subsystem will lead to automatic revise of all parameters of the system, which were connected with modeling condition. By its functional capabilities the system doesn't have analogs in medical simulators and can be widely used in tuition process at higher medical institutions, scientific medico-biological investigations, clinical practice.

Key words: computer modeling in medicine, medical simulators, medical information systems.

Система компьютерного моделирования процессов жизнедеятельности органов и систем организма человека

В. М. Мороз, И. И. Хаимзон
Е. П. Бондарчук
Винницкий национальний медицинский университет им. Н. И. Пирогова, Украина

Резюме

Разработана система компьютерного моделирования процессов жизнедеятельности органов и систем организма человека. При ее проектировании использован качественно новый системный подход, базирующийся на математическом моделировании процессов физиологической деятельности организма с учетом всех известных взаимосвязей между разными органами, биохимических и ферментативных превращениях в органах и тканях, влиянии внешней среды. Пользователь может моделировать любые состояния организма путем задания различных значений соответствующих показателей в соответствующих подсистемах. Изменение показателей в какой-либо подсистеме приведет к автоматическому перерасчету всех параметров системы, которые были связаны с моделируемым состоянием. По своим функциональным возможностям система не имеет аналогов в классе медицинских симуляторов и может найти широкое применение в учебном процессе медицинских образовательных заведений, научных медико-биологических исследованиях, клинической практике.

Ключевые слова: компьютерное моделирование в медицине, медицинские симуляторы, медицинские информационные системы.

Переписка

д.т.н., профессор **И. И. Хаимзон**
кафедра физики, информатики и медапаратуры
Винницкий национальный медицинский университет им. Н. И. Пирогова
ул. Заболотного, 8/18
Винница, 21018, Украина
тел.сл.: +380 (432) 520 061
тел. дом.: +380 (432) 523 283
e-mail: igorkh@vsmu.vinnica.ua