

Метод оценки степени тяжести ишемического поражения анатомических зон нижних конечностей по показателям гемостаза и кровенаполнения сосудов

Аннотация

С использованием методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил были получены математические модели, позволяющие по группе реологических показателей (D-димер, лейкоциты, тромбоциты, фибриноген), объемной скорости кровотока и регионального систолического артериального давления определять четыре класса степени тяжести ишемического поражения нижних конечностей, для которых разработаны рациональные схемы лечения.

Внедрение предложенных моделей и схем лечения в медицинскую практику позволяет снизить количество ампутаций на 65 % и для 80 % больных обеспечить социальную адаптацию с выполнением желаемых функций.

Введение

Одной из важных задач ведения пациентов с ишемическим поражением нижних конечностей является своевременное выявление отрицательных тенденций в развитии заболевания с проведением адекватных профилактических и лечебных мероприятий [1]-[3]. Особенно актуальной эта задача является при лечении пациентов с критической ишемией нижних конечностей (КИНК).

Критическая ишемия нижних конечностей относится к опасной патологии, не только грозящей потерей конечности, но и несущей угрозу жизни пациента [3]. Скандинавские исследования показали, что 50 % пациентов с КИНК умерли через 5 лет. Причиной смерти в 75 % случаев послужили инфаркт миокарда и инсульт. Отдаленная летальность у больных после ампутации конечности на уровне бедра с сопутствующей патологией (ишемическая болезнь сердца, сахарный диабет, церебральный атеросклероз) составила 50...75 % через 5 лет [3].

Работами отечественных и зарубежных ученых было убедительно показано, что повысить качество оказания медицинских услуг пациентам, страдающим ишемическими заболеваниями нижних конечностей, значительно уменьшив количество ампутаций и летальных исходов, можно, обеспечивая своевременную и точную оценку степени тяжести для исследуемой патологии за счет использования современных математических методов, информационных и интеллектуальных технологий.

Методы исследования

Результаты, предлагаемые в данной статье, основываются на шестилетнем (с 2011 года) наблюдении за 400 больными с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей, у части которых имелись сочетания ишемического поражения центральной гемодинамической системы, сердца и головного мозга. Пациенты имели различные стадии заболевания, вплоть до критической ишемии, требующей ампутации нижних конечностей.

Исследования в виде разведочного анализа проводились с использованием традиционных статистических методов, реализуемых программой *STATISTICA 6.0*, а также методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил [4]-[8] с привлечением методов теории измерения латентных переменных [7], [9], [10], алгоритмов метода группового учета аргументов [7], [11], модификаций методов разведочного анализа, ориентированного на синтез нечетких моделей принятия решений.

В ходе проведенных исследований было установлено, что задача оценки уровня ишемического поражения нижних конечностей носит нечеткий характер, что делает целесообразным для ее решения использование методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, опирающейся на данные разведочного анализа и технологию мягких вычислений с широким привлечением экспертов исследуемой предметной области [4]-[8], [12].

Для решения этой задачи на экспертном уровне было принято решение использовать такие реологические показатели, как *D*-димер (*D*), лейкоциты (*L*), тромбоциты (*T*) и фибриноген (*F*).

Кроме того, было принято решение использовать показатели объемной скорости кровотока V_j и регионального систолического артериального давления $PCAD_j$, измеряемые для четырех ($j = 1, 2, 3, 4$) зон нижней конечности, причем $j = 1$ у верхней части конечности, а $j = 4$ – у нижней части конечности.

Учитывая, что кровоснабжение каждой из исследуемых зон обеспечивается магистральным и коллатеральными сосудами, вводится характеристика общего кровоснабжения зоны Q_j , определяемая по формуле

$$Q_j = V_{mj} + \sum V_{kji} \quad (1)$$

где V_{mj} – объемная скорость кровотока, определяемая в магистральном сосуде на «входе» в зону j ; V_{kji} – объемные скорости кровотока коллатеральных сосудов с номерами i на входе зоны j .

В соответствии с общей методологией синтеза гибридных нечетких решающих правил на первом этапе определяются нормированные функции кровоснабжения сегментов $f_j(Q_j)$, принимающие значение «1», если кровоснабжение сегментов j достаточно для их полноценного функционирования, и «0», если недостаток кровоснабжения j -го сегмента приводит к катастрофическим последствиям для этого сегмента (стопа для последнего сегмента). Аналитически все четыре функции $f_j(Q_j)$ описываются выражением

$$f_j(Q_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } Q = 0; \\ 0,0000125(Q_j)^2, & \text{если } 0 \leq a_j \leq 200; \\ 1 - 0,0000125(Q_j - 400)^2, & \text{если } 200 \leq a_j \leq 400; \\ 1, & \text{если } Q_j > 400. \end{cases}$$

С учетом влияния регионального систолического артериального давления на входе в сегмент $j(PCAD_j)$ на степень тяжести ишемического поражения вводится поправочный коэффициент γ_j , определяющий «вклад» этого давления в уровень ишемического поражения:

$$\gamma_j = \begin{cases} 0,011 \cdot PCAD_j + 0,2, & \text{если } PCAD_j < 70; \\ 1, & \text{если } 70 \leq PCAD_j < 200; \\ -0,0065 PCAD_j + 2,3, & \text{если } 200 \leq PCAD_j < 300; \\ 0,35, & \text{если } PCAD_j \geq 300. \end{cases}$$

С учетом свойств показателей Q_j и $PCAD_j$ степень тяжести ишемического поражения каждого из сегментов определяется выражением

$$STI_j = 1 - \gamma_j f_j(Q_j). \quad (2)$$

Максимальное значение STI_j соответствует критическому состоянию сегмента j , порождающему критическое состояние последующих сегментов и стопы.

На втором этапе синтеза определяются функции степени тяжести ишемического поражения нижних конечностей по группе реологических показателей:

$$f_T(D) = \begin{cases} 0, & \text{если } D < 0,5; \\ 0,27D - 0,13, & \text{если } 0,5 \leq D < 2; \\ 0,4, & \text{если } D \geq 2; \end{cases}$$

$$f_T(T) = \begin{cases} 0, & \text{если } T < 400; \\ 0,0012T - 0,47, & \text{если } 400 \leq T < 700; \\ 0,35, & \text{если } T \geq 700; \end{cases}$$

$$f_T(L) = \begin{cases} -0,05L + 0,2, & \text{если } L < 4; \\ 0, & \text{если } 4 \leq L < 10; \\ 0,012L - 0,12, & \text{если } 10 \leq L < 35; \\ 0,3, & \text{если } L \geq 35; \end{cases}$$

$$f_T(F) = \begin{cases} 0, & \text{если } F < 4; \\ 0,1125F - 0,45, & \text{если } 4 \leq F < 8; \\ 0,45, & \text{если } F \geq 8. \end{cases}$$

С учетом рекомендаций [4], [5], [7] оценку степени тяжести ишемического поражения по группе реологических показателей STR целесообразно производить, используя выражение

$$STR(q+1) = STR(q) + f_T(S_{q+1})[1 - STR(q)], \quad (3)$$

где q – номер итерации; $S_q = D, L, T, F, STR(1) = f_T(D)$.

В ходе экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что роль показателя STR_j в финальной (интегральной) оценке степени тяжести ишемического поражения для сегмента j возрастает по мере роста STI_j . Например, если STI_j близка к нулю, то величина STR_j практически не влияет на оценку степени тяжести ишемического поражения; наоборот, если STI_j стремится к единице, что соответствует критическим стадиям развития болезни, указывая на необходимость срочного принятия адекватных мер лечения, то роль STR_j возрастает и его необходимо учитывать при выборе тактики ведения пациента. С учетом этого для оценки влияния STR_j на IST_j был введен поправочный коэффициент β_j , определяемый выражением

$$\beta_j = \begin{cases} 0, & \text{если } STI_j < 0,1; \\ 1,56(STI_j - 0,1)^2, & \text{если } 0,1 \leq STI_j < 0,5; \\ 0,5 - 1,56(STI_j - 0,9)^2, & \text{если } 0,5 \leq STI_j < 0,9; \\ 0,5, & \text{если } STI_j \geq 0,9. \end{cases}$$

С учетом поправочного коэффициента получено выражение для расчета величины IST_j

$$IST_j = STI_j + \beta_j STR(1 - STI_j). \quad (4)$$

Оценка степени тяжести ишемического поражения всей нижней конечности $ISTV$ производится в соответствии с выражением

$$ISTV = \max(IST_1, IST_2, IST_3, IST_4). \quad (5)$$

Таким образом, анализу прежде всего подвергается сегмент с максимальной величиной IST .

Удобно для выбора тактики ведения пациента на шкалах IST_j и (или) $ISTV$ выделить четыре класса степени тяжести, каждому из которых ставится в соответствие индивидуальная тактика профилактики и лечения: ω_n – легкая; ω_c – средняя; ω_T – тяжелая; ω_k – критическая степень тяжести (стадия) ишемического поражения.

Классы степени тяжести состояний определяются функциями принадлежности вида

$$\mu_d = \begin{cases} 1,0, & \text{если } Z < 0,25; \\ -10Z + 3,5, & \text{если } 0,25 \leq Z < 0,35; \\ 0, & \text{если } Z \geq 0,35; \end{cases}$$

$$\mu_c = \begin{cases} 0, & \text{если } Z < 0,25; \\ 10Z - 2,5, & \text{если } 0,25 \leq Z < 0,35; \\ 1,0, & \text{если } 0,35 \leq Z < 0,45; \\ -10Z + 3,5, & \text{если } 0,45 \leq Z < 0,55; \\ 0, & \text{если } Z \geq 0,55; \end{cases}$$

$$\mu_m = \begin{cases} 0, & \text{если } Z < 0,45; \\ 10Z + 4,5, & \text{если } 0,45 \leq Z < 0,55; \\ 1,0, & \text{если } 0,55 \leq Z < 0,75; \\ -10Z + 8,5, & \text{если } 0,75 \leq Z < 0,85; \\ 0, & \text{если } Z \geq 0,85; \end{cases}$$

$$\mu_k = \begin{cases} 0, & \text{если } Z < 0,75; \\ 10Z - 0,85, & \text{если } 0,75 \leq Z < 0,85; \\ 1,0, & \text{если } Z \geq 0,85. \end{cases}$$

Решение о принадлежности пациента к одному из классов ω_j принимается по максимальной функции принадлежности μ_j . При равенстве двух функций принадлежности решение принимается в пользу класса с большей степенью тяжести. Уверенность в классификации определяется величиной соответствующей функции принадлежности.

Результаты

Полученные в работе решающие правила (1)...(4) синтезированы с использованием общей методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, которая предполагает активное использование субъективных экспертных знаний.

С целью объективизации оценки качества работы полученных решающих правил нами были сформированы репрезентативные контрольные выборки пациентов с четко определенными классами состояний $\omega_n, \omega_c, \omega_T$ и ω_k по сто человек на каждый класс. Относительно каждого из выделенных классов состояний было отобрано по 100 человек альтернативного класса ω_A , которые не входят в контролируемый класс состояний. Для всех пациентов был определен показатель $ISTV$, по которому вычислялись величины функций принадлежности μ_n, μ_c, μ_T и μ_k . По полученным величинам функций принадлежности определяли расчетный класс состояний пациента, который сравнивали с истинным его состоянием с расчетом таких общепринятых в медицинской практике показателей, как диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС) и диагностическая эффективность (ДЭ).

Результаты расчетов по каждому из классов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Качество классификации решающих правил

| Класс \ ПК | ω_n | ω_c | ω_T | ω_k |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| ДЧ | 0,98 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| ДС | 0,97 | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| ДЭ | 0,97 | 0,97 | 0,96 | 0,96 |

Примечание – ПК – показатель качества работы решающего правила.

Анализ *табл. 1* показывает, что все показатели качества работы решающих правил превышают величину 0,95, что позволяет рекомендовать их для практического применения соудистыми хирургами и ангиологами.

Заключение

В результате математического моделирования и статистических испытаний было показано, что для всех выбранных классов степени тяжести уверенность в правильном принятии решений превышает 0,95, что является хорошим результатом для решения поставленной в работе цели.

Ориентируясь на выделяемые классы, целесообразно в выбираемые схемы лечения вводить соответствующие контрагентные медикаментозные составляющие: антиагреганты + сулодексид и (или) НМГ, антиагреганты + НМГ + солкосерил, что позволяет снизить количество ампутаций при КИНК на 65 % и для 80 % больных обеспечить социальную адаптацию с выполнением желаемых функций.

Список литературы:

1. *Быков А.В., Корневский Н.А., Устинов А.Г.* Нечеткий алгоритм прогноза развития ишемической болезни конечностей для различных этапов ведения пациента // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 2 (19). С. 142-155.
2. *Емельянов С.Г., Быков А.В., Корневский Н.А.* Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечетких моделей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 4-9.
3. *Савельев В.С., Кошкин В.М., Каралкин А.В.* Патогенез и консервативное лечение тяжелых стадий облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей / Руководство для врачей. – ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. 216 с.
4. *Корневский Н.А.* Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. № 6. С. 25-31.
5. *Корневский Н.А.* Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1 (289). С. 33-35.
6. *Корневский Н.А., Разумова К.В.* Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Научное издание. 2014. Т. 15. № 12. С. 31-40.
7. *Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И.* Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
8. *Шуткин А.Н., Федянин В.В., Корневская С.Н.* Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил / Материалы международной научно-практической конференции «Информационные проекты в медицине и педагогике». 2014. С. 61-64.

9. *Бойцов А.В., Лазурина Л.П., Корневская С.Н., Шуткин А.Н.* Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. № 6 (57). С. 52-58.
10. *Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Бойцова Е.А., Дмитриева В.В.* Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.
11. *Корневский Н.А., Артеменко М.В., Провоторов В.Н., Новикова Л.А.* Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13. № 4. С. 881-886.
12. *Корневский Н.А.* Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей / Автореферат на соискание уч. степ. д-ра техн. наук. – СПб., 1993. 32 с.

Александр Владимирович Быков,
канд. мед. наук, доцент,
Николай Алексеевич Корневский,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
Геннадий Григорьевич Хубулава,
д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра сердечно-сосудистой хирургии,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный педиатрический
медицинский университет»,
г. С.-Петербург,
Ирина Игоревна Хритина,
аспирант, инженер,
Софья Николаевна Родионова,
аспирант, инженер,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

* * * * *