



# КАСКАДНАЯ НЕЙРО-НЕЧЁТКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ХРОНИЧЕСКОЙ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

О.Ю. Кузнецова, А.А. Соломаха, В.И. Горбаченко

Представлена система для диагностики хронической почечной недостаточности на базе каскадной нечёткой нейронной сети.

A system for recognizing chronic renal failures on the base of a cascade fuzzy neural network is presented.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Ключевые слова: хроническая почечная недостаточность, каскадные нечёткие нейронные сети, веса, база знаний.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Последнее десятилетие характеризуется значительным распространением вирусных гемотрансмиссивных заболеваний, снижающих возможности естественной детоксикации организма. По клиническому течению интоксикацию делят на острую и хроническую почечную недостаточность [1]. Острая почечную недостаточность (ОПН) возникает внезапно вследствие острого, чаще всего обратимого поражения почек. Хроническая почечную недостаточность (ХПН) обычно развивается постепенно вследствие прогрессирующей необратимой утраты функций почек. Проблема диагностики хронической и острой почечной недостаточности (ХПН) активно разрабатывается на протяжении нескольких десятилетий, что обусловлено значительной распространённостью этого осложнения [1, 2]. По данным крупных популяционных регистров, таких как US Renal Data System и Российский регистр заместительной почечной терапии, распространённость хронической болезни почек (ХБП) составляет не менее 10%, достигая 20% и более у отдельных категорий лиц (пожилые, сахарный диабет 2 типа). В России смертность от почечной недостаточности по данным Государственного регистра достигает примерно 18% и существенно не меняется в течение последних 30 лет. Задача ранней диагностики синдрома эндогенной интоксикации является на сегодняшний день актуальной в связи с частым развитием хронической и острой почечной недостаточности, тяжестью течения и высокой летальностью.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной задачей данного исследования является создание системы диагностики синдрома эндогенной интоксикации (СЭИ) больных в терминальной и в ранней стадии хронической почечной недостаточности с помощью каскадной нейро-нечёткой сети. СЭИ - это общепатологический синдром с клиническими проявлениями интоксикации при различных патологических состояниях, неоднородных по этиологии и тяжести. При СЭИ в тканях накапливаются

ся биологические продукты, которые являются результатом реагирования на повреждающий фактор [3, 4].

Работа основана на результатах обследования 84 больных, которые находились в Областной клинической больнице имени Н. Н. Бурденко на программном гемодиализе с хронической почечной недостаточностью в терминальной стадии. Для сравнения были взяты лабораторные данные 40 пациентов нефрологического отделения с ранней стадией хронической почечной недостаточности.

Для диагностики использовались общий и биохимический анализы крови, которые были взяты у больных в утренние часы натощак. По результатам статистического и медицинского исследования данных разными методами на предмет выбора оптимального набора входных анализов были отобраны : общий белок, мочевина и креатинин, альбумины, билирубин.

### 3. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ХРОНИЧЕСКОЙ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Задача медицинской диагностики, состоит в определении болезни пациента на основе знаний предметной области и данных его обследования.

Поскольку знания врача учитывают большое число связей между процессами, происходящими в организме больного, ожидается, что алгоритм для решения сформулированной выше задачи медицинской диагностики, анализирующий все эти связи, будет иметь сложную структуру. На диагностическую систему накладываем следующее ограничение – диагноз пациента может включать не более одного заболевания (пациент болен одним заболеванием (-1) или здоров (1)).

При таком подходе предлагается, что система для диагностики СЭИ, будет состоять из двух систем (рис. 1).

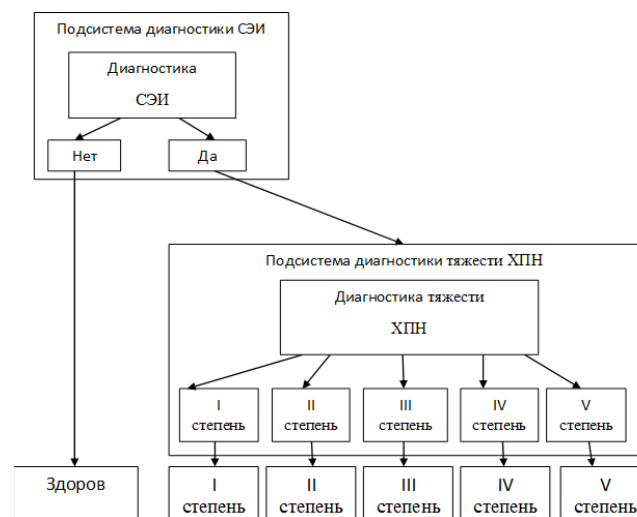


Рис. 1. Структура системы для диагностики СЭИ

Первый узел диагностирует наличие СЭИ, второй определяет тяжесть ХПН. При построении подсистемы диагностики СЭИ по результатам общего анализа крови система разбивает выборку на два класса: класс (-1) – больные с СЭИ и класс (1) – здоровые. Используя статистические критерии, подтверждается значимость признаков и затем на их основе создает подсистему диагностики. Аналогичным образом создаются подсистемы диагностики тяжести ХПН.



Созданная подсистема диагностики состоит из блока принятия решения. Блок принятия решения с помощью каскадной нейро-нечёткой сети аппроксимирует имеющиеся в данных закономерности и выводит ответ в диапазоне от -1 до 1: если больше нуля, то пациент здоров, а если меньше, то болен СЭИ.

Каскадная нейро-нечёткая сеть имеет сходящуюся древовидную структуру, узлами которой являются адаптивные нейро-нечёткие сети (ANFIS), с векторными входами: общий белок, альбумины, мочевины, креатинин, билирубин. В ходе обучения априорно неизвестные параметры сетей настраиваются с помощью среднemasштабной оптимизации с использованием нелинейного программирования с ограничениями с применением метода SQP [5, 6].

Особенностью обучения нечёткой сети ANFIS для диагностики синдрома эндогенной интоксикации является запрет изменения термов входных переменных «Общий белок», «Мочевина», «Креатинин», «Альбумины», «Билирубин», что гарантирует правильную постановку диагноза.

При выходе из подсистемы диагностики СЭИ с результатом «болен», переходим в подсистему диагностики тяжести ХПН. Критерием тяжести ХПН является уровень скорости клубочковой фильтрации (СКФ), которая рассчитывается по формулам, работающим на любой стадии ХПН и у представителей всех трёх рас – уравнения СКД-ЕРІ [7, 8]:

**Таблица 1. Уравнения СКД-ЕРІ, модификация 2011 года**

Раса	Пол	SCr*, мг/100 мл**	Формула
Чернокожие	Женский	≤ 0.7	$167 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-0.328}$
Чернокожие	Женский	> 0.7	$167 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-1.210}$
Чернокожие	Мужской	≤ 0.9	$164 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-0.412}$
Чернокожие	Мужской	> 0.9	$164 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-1.210}$
Азиаты	Женский	≤ 0.7	$151 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-0.328}$
Азиаты	Женский	> 0.7	$151 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-1.210}$
Азиаты	Мужской	≤ 0.9	$149 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-0.412}$
Азиаты	Мужской	> 0.9	$149 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-1.210}$
Испаноамериканцы и индейцы	Женский	≤ 0.7	$145 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-0.328}$
Испаноамериканцы и индейцы	Женский	> 0.7	$145 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-1.210}$
Испаноамериканцы и индейцы	Мужской	≤ 0.9	$143 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-0.412}$
Испаноамериканцы и индейцы	Мужской	> 0.9	$143 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-1.210}$
Белые и остальные	Женский	≤ 0.7	$144 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-0.328}$
Белые и остальные	Женский	> 0.7	$144 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.7)^{-1.210}$
Белые и остальные	Мужской	≤ 0.9	$141 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-0.412}$
Белые и остальные	Мужской	> 0.9	$141 \times (0.993)^{\text{возраст}} \times (SCr / 0.9)^{-1.210}$

где  $SCr$  – концентрация креатинина в сыворотке крови,  
 $SCr, \text{ мг/100 мл} = (SCr, \text{ мкмоль/л}) \times 0,0113$

Стадии заболевания ХПН представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Стадии заболевания ХПН**

Стадия ХПН	Описание	СКФ (мл/мин/1,73 кв.м)
I	Признаки повреждения почек с нормальной или повышенной СКФ	>90
II	Признаки повреждения почек с начальным снижением СКФ	89-60
III	Умеренное снижение СКФ	59-30
IV	Выраженное снижение СКФ	29-15
V	Терминальная почечная недостаточность	<15

По данным таблицы 2 выдается диагноз в подсистеме диагностики тяжести ХПН.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Тестирование каскадной нечёткой нейронной сети показало, что ошибка составила 1,7% на выборке, состоящей из историй больных с хронической почечной недостаточностью в терминальной стадии. Из них 0,7 % ошибка первого рода. Ошибку первого рода часто называют ложной тревогой, ложным срабатыванием или ложноположительным срабатыванием — например, анализ крови показал наличие заболевания, хотя на самом деле человек здоров. Из-за возможности ложных срабатываний не удаётся полностью автоматизировать борьбу со многими видами угроз. Как правило, вероятность ложного срабатывания коррелирует с вероятностью пропуска события (ошибки второго рода). Соответственно, ошибку второго рода иногда называют пропуском события или ложноотрицательным срабатыванием — человек болен, но анализ крови этого не показал.

Каскадная нечёткая нейронная сеть на данных о больных в ранней стадии хронической почечной недостаточности дает ошибку 11,8%, из них 1,8 % ошибка первого рода. Таким образом, каскадная нейро-нечёткая информационная система диагностики хронической почечной недостаточности может успешно использоваться в клинической практике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gudex C.M. Health-related quality of life in end stage renal failure. – Quality of Life Research, 1995, v. 4, Issue 4, pp. 359–366.
2. Niu, S.F., I.C. Li Quality of life of patients having renal replacement therapy. – Journal of Advanced Nursing, 2005, v. 51, Issue 1, pp. 15–21.
3. Малахова М. Я. Метод регистрации эндогенной интоксикации: Пособие для врачей. – СПб.: Изд-во СПб МАПО, 1995. – 34 с.
4. Капустин Б. Б. Способы определения степени эндогенной интоксикации у больных абдоминальным сепсисом/ – Труды международного конгресса «Новые технологии в хирургии», Ростов на Дону, 2005. – с. 47.



5. Кузнецова (Белова) О. Ю. Применение нечеткого вывода с оптимизацией в диагностике хронической почечной недостаточности. – Известия ПГПУ имени В.Г. Белинского. Физико-математические и технические науки, 2011, № 26, с. 564–568.
6. Кузнецова (Белова) О. Ю. Система поддержки принятия решения для диагностики синдрома эндогенной интоксикации на основе адаптивной нейро-нечеткой сети. – Известия ПГПУ имени В.Г. Белинского. Физико-математические и технические науки, 2012, № 30, с. 290–295.
7. Delanaye P., Cavalier E., Mariat C. MDRD or CKDEPI study equations for estimating prevalence of stage 3 CKD in epidemiological studies: which difference? Is this difference relevant? – BMC Nephrol, 2010.
8. Levey A.S., Stevens L.A., Schmid C.H., Zhang Y.L., Castro 3<sup>rd</sup> A.F., Feldman H.I., et al CKD-EPI (Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration). A New Equation to Estimate Glomerular Filtration Rate. – Ann Intern Med, 2009, 150:604-12.

*Работа поступила 24.09.2013*