

Продукционная экспертная система для исследования биоэлектрической активности мозга летного и диспетчерского состава

Павлова Н.В., Загребин Д.А.

Аннотация

Разработана продукционная экспертная система с правилами на базе нечеткой логики для исследования биоэлектрической активности мозга с помощью ультразвукового доплеровского измерителя скорости кровотока и электроэнцефалографа. Представлены особенности, возможности и преимущества экспертной системы с правилами на базе нечеткой логики для исследования биоэлектрической активности мозга у летного и диспетчерского состава.

Ключевые слова

медицинский измерительно-вычислительный комплекс; продукционная экспертная система; нечеткая логика; электроэнцефалограф; ультразвуковой доплеровский измеритель скорости кровотока; комплексирование информации; исследование биоэлектрической активности мозга; летный и диспетчерский состав.

Введение

Неблагоприятные факторы работы как летного (такие как шум, вибрация, болтанка самолета, ускорение при выполнении различных маневров, пониженное атмосферное давление, пониженное парциальное давление выдыхаемого воздуха), так и диспетчерского (такие как постоянный стресс, гипокинезия, гиподинамия) состава значительно повышают нагрузку на сердечно-сосудистую систему и особенно мозговое кровообращение [1].

Эти особенности летных и диспетчерских профессий вызывают преждевременное старение, раньше проявляются такие нарушения как тахикардия, гипертония, атеросклероз, нарушения работы сердечно-сосудистой системы и особенно кровоснабжения мозга. Эти

факторы способствуют тому, что одним из самых узких мест в безопасности полета остается человеческий фактор [2].

Как никогда актуально становится повышение качества и полноты как предполетного обследования пилотов, так и регулярного их медицинского освидетельствования [3], при этом одним из важнейших показателей состояния здоровья летного и диспетчерского состава является кровоснабжение мозга.

Для снижения длительности (а значит и стоимости) диагностики кровоснабжения мозга и повышения его качества предлагается использовать одновременно две медицинские методики [4]:

- ультразвуковую транскраниальную доплерографию (ТКДГ) [5];
- электроэнцефалографию (ЭЭГ) [6].

Совместное использование методик ТКДГ и ЭЭГ возможно в современных медицинских измерительно-вычислительных комплексах [7], таких как «Ангиодин-Универсал» фирмы ЗАО НПФ «БИОСС» (г. Зеленоград).

Одновременное использование двух методик позволяет повысить точность и достоверность диагностики кровоснабжения мозга, но для этого необходимо разработать соответствующее программно-алгоритмическое обеспечение, выполняющее комплексирование ТКДГ и ЭЭГ. Решению этой задачи и посвящена статья.

Выбор метода комплексирования информации в методиках ТКДГ и ЭЭГ

Для медицинских методик ТКДГ и ЭЭГ возможно только алгоритмическое комплексирование информации [8], т. к. получаемые данные имеют различную физическую природу. Алгоритмические методы комплексирования позволяют повышать точность и достоверность в уже существующих измерительно-вычислительных комплексах за счет совместной обработки измерительной информации. Алгоритмические методы комплексирования информации можно разделить на:

- формализованные;
- неформализованные.

К формализованным методам относят параметрические и не параметрические методы комплексирования. Эти методы позволяют получать оптимальные и субоптимальные оценки, но требуют для своего использования точного значения измеряемой величины, а в некоторых случаях и информации о погрешности измерителей и статистических параметрах измеряемых сигналов.

К неформализованным методам можно отнести методы искусственного интеллекта [9]: нейронные сети и экспертные системы. Эти методы позволяют использовать для своей работы неформализованные, нечеткие и неполные данные, но не позволяют получить точное значение измеряемой величины.

Для методик ТКДГ и ЭЭГ возможна только приблизительная оценка кровоснабжения мозга, т. к. критерии состояния (и кровоснабжения) мозга задаются в виде неформальных утверждений [10].

Для комплексирования информации с помощью методик ТКДГ и ЭЭГ для оценки кровоснабжения мозга в статье использован неформализованный метод, а именно: продукционная экспертная система с правилами на основе нечеткой логики. Выбранный метод имеет следующие преимущества перед альтернативными методами:

- достаточно простой и обоснованный учет неопределенности;
- простой механизм логического вывода;
- расширяемость базы знаний;
- модульная структура экспертной системы;
- возможность информирование пользователя о ходе рассуждений экспертной системы;
- соответствие естественному мышлению человека-эксперта, анализирующего состояние мозга.

Учет неопределенности осуществляется за счет применения при разработке экспертной системы нечеткой логики, а получаемые правила близки к неформализованным медицинским описаниям. Продукционная база знаний позволяет в будущем добавить новые правила и использовать дополнительные медицинские методы (например, задействовать пульсоксиметр и тонометр) для повышения точности и достоверности диагностики.

Перечисленные выше преимущества и определили метод решения задачи диагностики состояния мозга.

Модель головы для проведения диагностики состояния мозга с помощью методик ТКДГ и ЭЭГ

В методике ТКДГ как правило используется один или два ультразвуковых датчика, размещаемых у темпорального окна с соответствующей стороны головы. Также возможен вариант использования глазниц для лоцирования артерий (с уменьшенной мощностью излучения датчиков). В статье рассмотрим установку датчиков на темпоральное окно и

использование для диагностики средне-мозговой артерии, как наиболее информативной в методике ТКДГ.

В методике ЭЭГ используем международную систему 10 – 20 % с размещением как минимум 10-ти монополярных отведений. Такое количество электродов (10 электродов на голове и 2 ушных) обеспечивает большинство имеющихся на рынке электроэнцефалографов.

В медицинской литературе, критерии состояния мозга описываются, как правило, для отдельной области головы (например, лобной или затылочной). Поэтому для диагностики состояния мозга, в том числе и с целью уменьшения количества расчетов, разделим голову на следующие области:

- левую лобную часть (LeftTop);
- правую лобную часть (RightTop);
- левую часть (Left);
- центральную часть (Center);
- правую часть (Right);
- левую затылочную часть (LeftDown);
- правую затылочную часть (RightDown).

Используемая в данной работе модель головы показана на рис. 1.

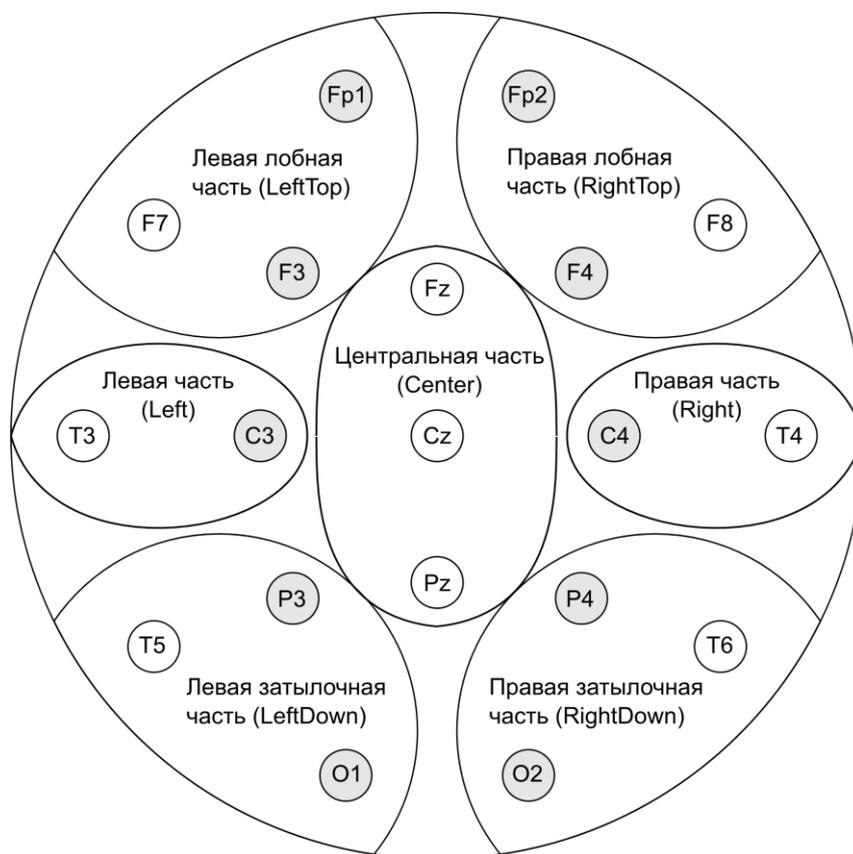


Рис. 1. Модель головы для диагностики состояния мозга

В методике ТКДГ будут использоваться только левая и правая части головы этой модели, а в методике ЭЭГ на каждую область будет приходиться от одного до трех электродов, в зависимости от количества каналов. Минимально необходимые каналы показаны серым цветом на рис. 1. Значения индексов биоэлектрической активности мозга для каждой области арифметически усредняются и используются для осуществления нечеткого вывода.

Эта модель позволяет осуществлять диагностику состояния мозга в отдельных областях, а затем получать окончательный вывод.

Процесс диагностики мозга с использованием разработанной экспертной системы

Схема процесса диагностики состояния мозга с помощью методик ТКДГ и ЭЭГ представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема процесса диагностики состояния мозга с помощью методик ТКДГ и ЭЭГ

На первом этапе диагностики состояния мозга в методике ТКДГ с ультразвукового измерителя скорости кровотока поступает звук в виде доплеровского сдвига частот. По полученному звуку для каждого канала строится доплеровский спектр и рассчитывается огибающая. По огибающей в методике ТКДГ рассчитываются параметры гемодинамики — доплеровские индексы.

В методике ЭЭГ с электроэнцефалографа по минимум 10-ти каналам поступают сигналы биоэлектрической активности мозга. По каждому ЭЭГ каналу рассчитывается среднеквадратичная амплитуда и амплитудный спектр. По амплитудному спектру вычисляются еще семь индексов.

Расчет ряда индексов по спектру (как это принято в методике ЭЭГ) выполняется по соответствующим частотным диапазонам:

- дельта-ритм (от 0.5 до 4 Гц);
- тета-ритм (от 4 до 8 Гц);
- альфа-ритм (от 8 до 12 Гц);
- бета-ритм (от 12 до 30 Гц).

На следующем этапе параметры гемодинамики кровотока и индексы биоэлектрической активности мозга передаются экспертной системе.

Для каждой области, используемой методиками ТКДГ и ЭЭГ, экспертная система осуществляет нечеткий вывод о состоянии соответствующей области мозга. Затем производится нечеткое объединение результатов и получение комплексной оценки состояния мозга. Полученный результат предьявляется врачу, принимающему окончательное решение о состоянии мозга.

База знаний продукционной экспертной системы для диагностики состояния мозга с помощью методик ТКДГ и ЭЭГ

Для отражения численного значения состояния мозга введем понятие степени ишемии, выраженное в наличии одного из следующих состояний:

- смерть мозга;
- высокая степень ишемии (грубые нарушения);
- средняя степень ишемии (средние нарушения);
- низкая степень ишемии (легкие нарушения);
- норма.

В качестве результата работы экспертной системы врачу предлагается сообщить как результат одно из этих состояний или выразить это состояние в процентах, от 0 до 100. При

этом под 100 % понимается состояние смерти мозга, а под 0 % — нормальное состояние мозга.

Под смертью мозга будем понимать полное нарушение кровоснабжения мозга и биоэлектрическое молчание коры мозга [11, 12]. Под нормой — нахождения индексов гемодинамики и биоэлектрической активности мозга в пределах нормы и индивидуального различия. Остальные состояния — плавный переход от нормы к смерти мозга.

Для формирования правил экспертной системы введем нечеткие переменные, множество их значений (термов) и соответствующие функции принадлежности.

В статье для всех нечетких переменных выбрана функция принадлежности $y = f(x)$, имеющая форму трапеции (изображена на рис. 3) и следующие индивидуальные параметры:

- А – значение левой координаты x терма, в которой координата y равна 0;
- В – значение левой координаты x терма, в которой координата y равна 1;
- С – значение правой координаты x терма, в которой координата y равна 1;
- D – значение правой координаты x терма, в которой координата y равна 0.

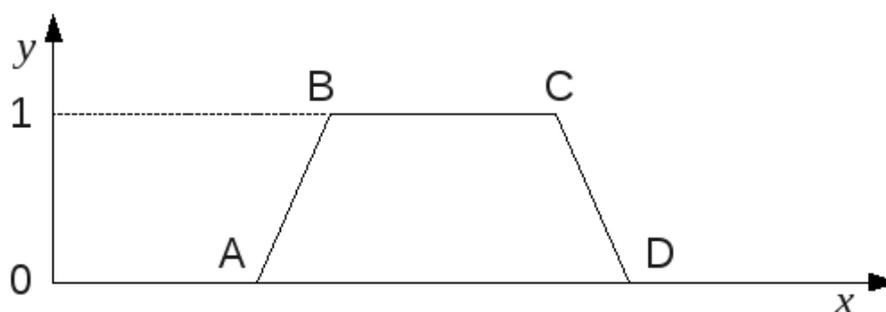


Рис. 3. Вид функции принадлежности для термов переменных нечеткой логики

Для каждого индекса гемодинамики кровотока и индекса биоэлектрической активности мозга использован собственный набор термов и функций принадлежности. При этом большинство индексов фигурируют независимо для отдельных областей мозга.

Приведем пример термов и функций принадлежности для переменной «степень ишемии», существующей и как результат диагностики ишемии в отдельной области мозга, и как результат работы всей экспертной системы. Пример функций принадлежности переменной «степень ишемии» представлен на рис. 4.

Определены все входные (параметры гемодинамики и индексы биоэлектрической активности мозга) и выходные («степень ишемии») переменные, их нечеткие термы и значения функций принадлежности.

Разработана продукционная база знаний. Правила в базе знаний представлены в виде частей ЕСЛИ и частей ТО. Обе части содержат нечеткие утверждения. Существуют правила,

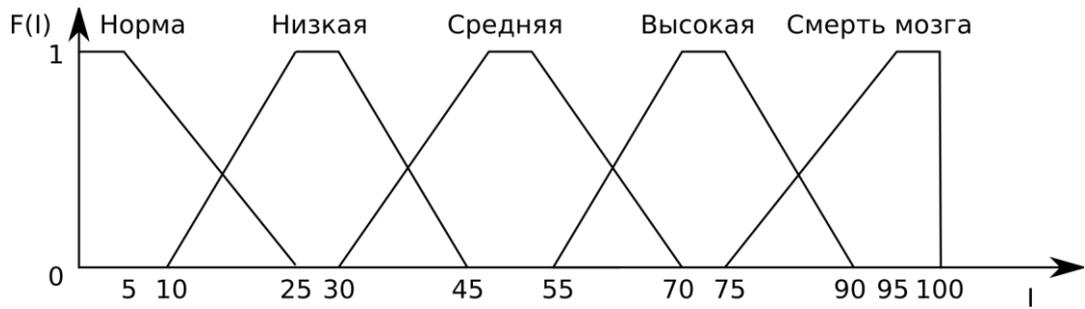


Рис. 4. Множество термов переменной степень ишемии, где I — степень ишемии, $F(I)$ — функции принадлежности

как для отдельных областей головы, так и для объединения результатов.

При работе экспертной системы осуществляется одновременное срабатывание всех нечетких правил, а окончательный результат получается путем нахождения медианы окончательной функции принадлежности с использованием минимаксной композиции нечетких утверждений.

На рис. 5 дан наглядный пример логического нечеткого вывода при срабатывании двух простых правил:

- ЕСЛИ скорость кровотока в левом полушарии низкая ТО степень ишемии в левом полушарии низкая.
- ЕСЛИ среднеквадратичная амплитуда в левой части мозга как при смерти мозга ТО степень ишемии очень высокая, смерть мозга.

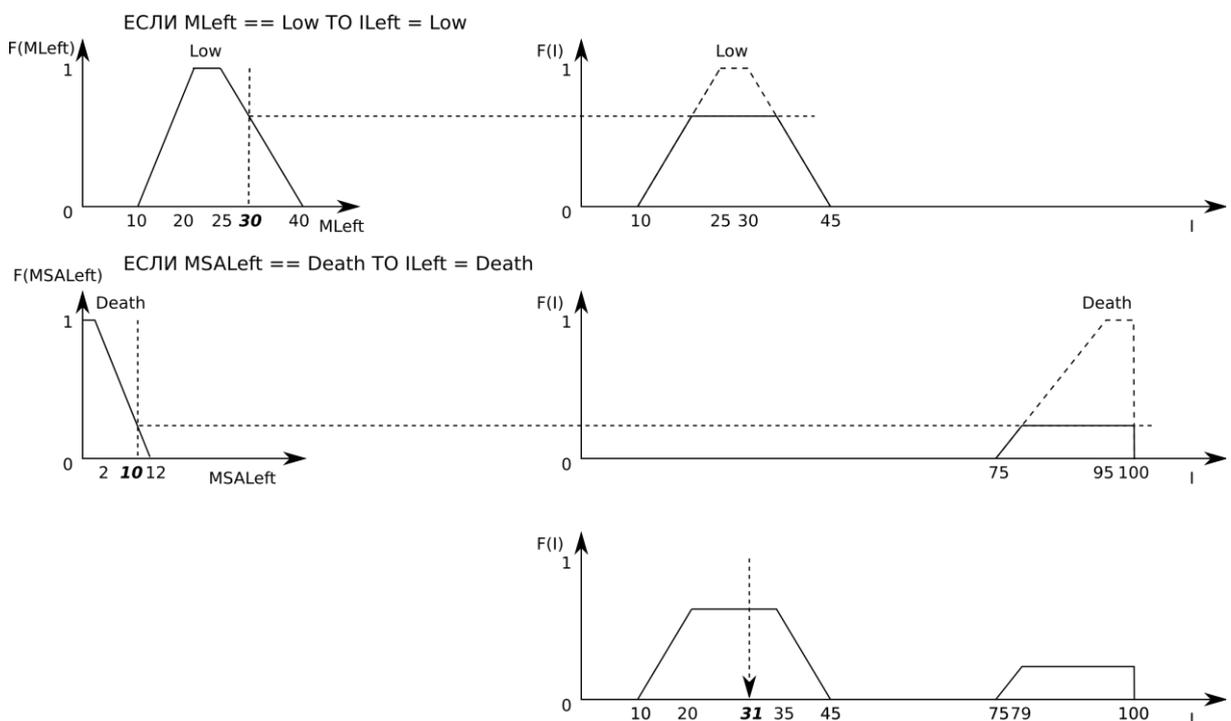


Рис. 5. Пример нечеткого логического вывода

Здесь сработали два правила со степенью принадлежности 0.67 для методики ТКДГ и 0.2 для методики ЭЭГ. Результат объединен в суммарную функцию принадлежности. Разрешение конфликта выполнено с помощью поиска медианы суммарной функции принадлежности. Численное значение степени ишемии составило 31 %, что соответствует терму «низкая степень ишемии».

Практическая реализация продукционной экспертной системы с правилами на базе нечеткой логики для диагностики состояния мозга с помощью методик ТКДГ и ЭЭГ

В интегрированной среде Microsoft Visual Studio 2005 на языке C++ разработано программно-алгоритмическое обеспечение продукционной экспертной системы с правилами на основе нечеткой логики. Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение встроено программное обеспечение существующего измерительно-вычислительного комплекса медицинского назначения «Ангиодин-Универсал» производства фирмы ЗАО НПФ «БИОСС» (г. Зеленоград).

Модуль экспертной системы получает данные с модуля ТКДГ (использующего ультразвуковой двухканальный доплеровский измеритель скорости кровотока производства фирмы ЗАО НПФ «БИОСС») и с модуля ЭЭГ (использующего 10-ти канальный электроэнцефалограф производства фирмы БИОЛА), осуществляет нечеткий вывод и выдает результат пользователю.

Критические состояния выдаются в виде всплывающих сообщений. Пример такого сообщения показан на рис. 6.

Разработанный прототип экспертной системы всесторонне протестирован на исходных данных, соответствующих всем пяти возможным состояниям, которые должна выявлять экспертная система. Для этого использованы данные записи состояния реальных больных. Проведенные эксперименты полностью подтвердили работоспособность и эффективность продукционной экспертной системы в составе измерительно-вычислительного комплекса «Ангиодин-Универсал».



Рис. 6. Пример предупреждения об ишемии

Заключение

В статье проведен анализ методов комплексирования информации, применимых для методик ТКДГ и ЭЭГ и позволяющих повысить точность и достоверность исследования биоэлектрической активности мозга у летного и диспетчерского состава. Сделан вывод о необходимости разработки программно-алгоритмического обеспечения измерительно-вычислительного комплекса, позволяющего осуществлять подобное комплексирование.

Предложена модель головы для исследования биоэлектрической активности мозга с помощью методик ТКДГ и ЭЭГ. Разработана схема процесса диагностики состояния мозга у летного и диспетчерского состава с помощью этих методик.

Разработана прикладная база знаний экспертной системы с правилами на основе нечеткой логики. Определены все входные (параметры гемодинамики и индексы биоэлектрической активности мозга), промежуточные и выходные («степень ишемии») переменные, их термы и функции принадлежности. Предложено использовать трапециевидные функции принадлежности для нечетких переменных.

Разработан механизм логического вывода экспертной системы, предусматривающий одновременное срабатывание всех правил, накопление результата в суммарных функциях

принадлежности, использование минимаксной композиции логических частей нечетких множеств и разрешение конфликта путем поиска медианы результирующей функции принадлежности.

Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение экспертной системы всесторонне протестировано на данных реальных пациентов и внедрено в измерительно-вычислительный комплекс медицинского назначения «Ангиодин-Универсал».

Результаты тестирования и внедрения разработанной экспертной системы с правилами на базе нечеткой логики показали его применимость для использования в задачах исследования биоэлектрической активности мозга у летного и диспетчерского состава.

Библиографический список

1. Разсолов Н. А., Чижов А. Я., Потиевский Б. Г., Потиевская В. И. Нормобарическая гипокситерапия. // Методические рекомендации для авиационных врачей. — М.: Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба гражданской авиации, 2002.
2. Dehart, R. L.; J. R. Davis (2002). Fundamentals Of Aerospace Medicine: Translating Research Into Clinical Applications, 3rd Rev Ed.. United States: Lippincott Williams And Wilkins. p. 720. ISBN 9780781728980.
3. Приказ Минтранса РФ от 22 апреля 2002 г. № 50 Об утверждении Федеральных авиационных правил «Медицинское освидетельствование летного, диспетчерского состава, бортопроводников, курсантов и кандидатов, поступающих в учебные заведения гражданской авиации».
4. Загребин Д. А. Программно-алгоритмическое обеспечение модулей интегрированного медицинского приборного комплекса. // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 45, 2011.
5. Гайдар Б. В. и др. Транскраниальная доплерография в нейрохирургии. / Б. В. Гайдар, В. Б. Семенютин, Д. В. Свистов. — СПб.: Элби, 2008.
6. Цыган В. Н. Электроэнцефалография / В. Н. Цыган, М. М. Богословский, А. В. Миролубов; под ред. М. М. Дьяконова. — СПб.: "Наука", 2008.
7. Адаскин А. В., Исакова О. И., Сергейчик В. В., Филатов И. А., Загребин Д. А. Мультимодальные средства функциональной диагностики лётного и диспетчерского состава гражданской авиации. // Вестник МАИ. Том 18, № 3, 2011, с. 152 — 160.
8. Агеев В. М., Павлова Н. В. Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование: Учебник для студентов вузов по специальности «Авиационные приборы и

измерительно-вычислительные комплексы» / Под ред. Петрова В. В. – М.: Машиностроение, 1990.

9. Люгер Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е издание. Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.

10. Гнездицкий В. В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). – М.: МЕДпресс-информ, 2004.

11. Бойко А. Н. Диагностика смерти мозга. Методические рекомендации для врачей. — М.: Департамент здравоохранения города Москвы, 2003.

12. Приказ № 460 МЗ РФ от 20 декабря 2001 г.

Сведения об авторах

Павлова Наталия Владимировна, профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), профессор, д. т. н.,

тел.: +7 (499) 242-55-07; e-mail: pavlova@biosoft-m.ru

Загребин Дмитрий Александрович, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета),

тел.: +7 (901) 505-69-59; e-mail: demon_mai@mail.ru.