

International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’18). – Advances in Intelligent Systems and Computing 874. – Springer, Cham, 2019, vol. 1, pp. 483–492.

18. Гладун В.П. Растущие пирамидальные сети // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – № 1. – С. 30–40.

АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ГЕМОСТАЗА

Е.А. Чурсина¹, А.В. Кудинов²

(¹г. Томск, Томский политехнический университет,

²г. Томск, ООО “Рубиус Групп”)

DECISION SUPPORT ALGORITHM FOR THE HEMOSTASIS FUNCTIONAL STATE ESTIMATION

E.A. Chursina¹, A.V. Kudinov²

(¹Tomsk, Tomsk Polytechnic University,

²Tomsk, LLC "Rubius Group")

Abstract. Thromboelastography is a test that provides information about all components of hemostasis. Thromboelastograph presents a blood test result as graphic information with a set of additional numeric parameters which can be hard to interpret in detail. This paper describes the decision support algorithm that uses machine learning methods to distinguish eleven functional states of hemostasis. Testing on real blood tests dataset showed high metrics values. The classifier was implemented in the module that became a part of thromboelastography software and is used to help doctors.

Keywords. Hemostasis, Thromboelastography, Machine Learning, Classification, Random Forest, Gradient Boosting

Тромбоэластография. Система гемостаза – система в организме человека, которая обеспечивает сохранение жидкого состояния циркулирующей крови, поддержание целостности кровеносных сосудов и купирование кровотечения при их повреждениях [1]. Нарушения в работе системы гемостаза представляют опасность для здоровья и жизни человека.

Современным способом выявления гемостазиологических расстройств является использование тромбоэластографии. Тромбоэластография позволяет оценить состояние системы гемостаза в кратчайшие сроки без необходимости проведения дорогостоящих лабораторных коагуляционных тестов.

В основе тромбоэластографии лежит метод низкочастотной пьезотромбоэластографии (НПТЭГ) цельной крови, который основан на исследовании свойств крови во время процесса свертывания. Результат записывается в виде интегрированной кривой, каждая точка которой A_i является изменением значения свойств крови в момент времени T_i [3].

На рис. 1 представлен пример графика изменения регистрируемых параметров НПТЭГ. По оси ординат – амплитуда исследуемого процесса в относительных единицах, по оси абсцисс – время исследования в минутах.

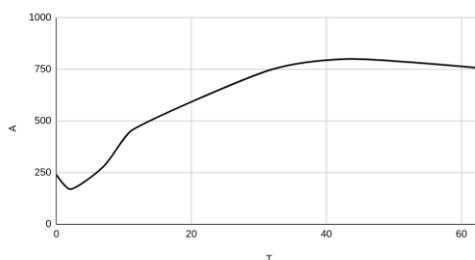


Рисунок 1 – График изменения параметров НПТЭГ цельной крови здорового человека

По собранным во время тромбоэластографии параметрам НПТЭГ эксперт оценивает состояние структуры и хронометрии крови во время свертывания. Затем, в соответствии с табл. 1, ставится один из одиннадцати диагнозов, описывающих функциональное состояние системы гемостаза: три диагноза группы «Гиперкоагуляция», три диагноза группы «Гипокоагуляция», три условно-нормальных состояния и два смешанных диагноза.

Разделение диагнозов «Условная норма», «Норма с тенденцией к гиперкоагуляции» или «Норма с тенденцией к гипокоагуляции» происходит по усмотрению врача.

Таблица 1. Принципы диагностики гемостазиологических расстройств

| Состояние структуры свертывания крови | Состояние хронометрии свертывания крови | Диагноз |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Гиперкоагуляция | Гиперкоагуляция | Гиперкоагуляция |
| Норма или тенденции | Гиперкоагуляция | Гиперкоагуляция хронометрическая |
| Гиперкоагуляция | Норма или тенденции | Гиперкоагуляция структурная |
| Норма или тенденции | Норма или тенденции | Норма с тенденцией к гиперкоагуляции |
| Норма или тенденции | Норма или тенденции | Условная норма |
| Норма или тенденции | Норма или тенденции | Норма с тенденцией к гипокоагуляции |
| Гипокоагуляция | Норма или тенденции | Гипокоагуляция структурная |
| Норма или тенденции | Гипокоагуляция | Гипокоагуляция хронометрическая |
| Гипокоагуляция | Гипокоагуляция | Гипокоагуляция |
| Гиперкоагуляция | Гипокоагуляция | Структурная гиперкоагуляция - Хронометрическая гипокоагуляция |
| Гипокоагуляция | Гиперкоагуляция | Структурная гипокоагуляция - Хронометрическая гиперкоагуляция |

Процесс постановки детального диагноза требует глубокого понимания метода НПТЭГ. В данной работе представлен алгоритм, способный помочь экспертам в анализе результатов тромбоэластографии и диагностике функционального состояния системы гемостаза.

Набор данных. Для разработки и обучения алгоритма поддержки принятия решений был предоставлен набор данных, собранный из 1186 параметров НПТЭГ реальных образцов крови. Каждая запись состоит из 17 параметров НПТЭГ и соответствующего им диагноза.

Задача классификации. Задача постановки диагноза по результатам тромбоэластографии может быть определена как задача классификации [3], где в качестве объектов выступают определяемые во время тромбоэластографии параметры НПТЭГ, а в качестве классов – гемостазиологические диагнозы.

Решение задачи классификации возможно с помощью эмпирических методов. Для этого специалисту требуется построить аналитическую модель, с помощью которой будет происходить классификация. В случае с анализом параметров НПТЭГ возможно построить модель для оценки общего состояния системы гемостаза – определить, к какой группе относится нарушение: «Гиперкоагуляция», «Гипокоагуляция» или «Норма условная» [4]. Для более подробной диагностики модель, основанная на эмпирических методах, будет слишком сложна, поэтому задача была решена с использованием методов машинного обучения.

Так как число классов заранее известно, и присутствует набор данных, в котором каждому объекту заранее сопоставлена метка класса, можно сделать вывод, что рассматриваемая задача – классификация с учителем. Для решения этой задачи из данных формируется обучающая выборка, затем на маркированных тренировочных данных обучается алгоритм классификации – классификатор. Обученный классификатор позволяет делать прогнозы на ранее не встречавшихся данных [5].

Каскадный классификатор. На основе подхода, который использует медицинский эксперт для постановки диагноза по параметрам НПТЭГ, был разработан двухэтапный классификатор.

Структура классификатора представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Структура каскадного классификатора

Так как метод диагностики, основанный на отдельной оценке исследования крови по структуре и хронометрии, не способен разделить диагнозы «Норма с тенденцией к гиперкоагуляции», «Норма условная» и «Норма с тенденцией к гипокоагуляции», классификация данных диагнозов и их отделение от остальных диагнозов происходит на первом этапе.

На втором этапе происходит оценка исследования образца крови по структуре и хронометрии. После второго этапа формируется общий диагноз на основе рекомендаций, описанных в табл. 1: Если патология одинаковая для хронометрии и структуры, например, «Гиперкоагуляция» и для хронометрии и для структуры, она является результирующим диагнозом. Если патология присутствует только для хронометрии или для структуры, характер патологии уточняется, например, «Гиперкоагуляция хронометрическая». Иначе диагноз формируется путем объединения результатов, например, «Структурная гиперкоагуляция – Хронометрическая гипокоагуляция».

Настройка внутренних классификаторов каскадного классификатора. В качестве внутренних классификаторов для двухэтапного классификатора использовались такие алго-

ритмы классификации как алгоритмы на основе случайного леса и градиентного бустинга. Для настройки гиперпараметров внутренних классификаторов был применен метод решетки. Для отбора параметров НПТЭГ, с которыми работает каждый классификатор, был использован алгоритм обратного отбора признаков. В качестве метрики, которая максимизировалась во время настройки и отбора признаков, а также использовалась для сравнения качества работы классификаторов была выбрана точность перекрестной проверки. Для вычисления точности перекрестной проверки набор данных делился на пять равных частей.

Результаты сравнения качества работы классификаторов представлены в табл. 2. Выделенные ячейки показывают выбранные классификаторы.

Таблица 2. Выбор классификаторов для каскадного классификатора

| Классификатор | Случайный лес, точность перекрёстной проверки | Градиентный бустинг, точность перекрёстной проверки |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Первого этапа | 0.9772 | 0.9791 |
| Второго этапа – Состояние структуры | 0.9326 | 0.9393 |
| Второго этапа – Состояние хронометрия | 0.9886 | 0.9857 |

Формирование диагноза в случае ошибок классификатора первого этапа. Следует заметить, что точность работы классификатора первого этапа не является идеальной, поэтому на этапе формирования диагноза может оказаться исследование с результатами «Норма» и для структуры, и для хронометрии. Для определения диагноза, который формируется в данном случае была изучена матрица несоответствий для выбранного классификатора первого этапа. Матрица несоответствий представлена рис. 2.

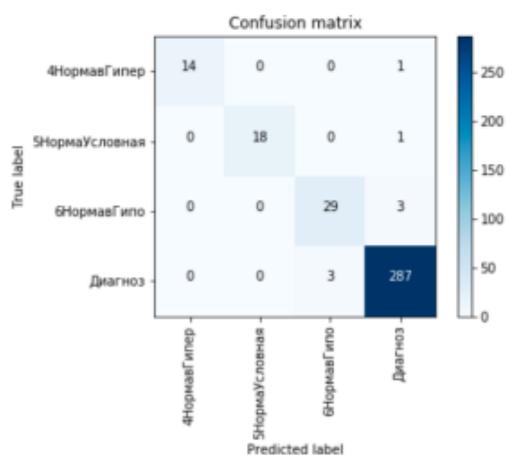


Рисунок 2 – Матрица несоответствий для классификатора на основе случайного леса для первого этапа

Так как классификатор первого этапа чаще всего по ошибке отправляет на второй этап исследования с диагнозом «Норма в гипокоагуляции», что видно на матрице несоответ-

ствий для классификатора первого этапа, данный диагноз является результирующим в случае двух показателей «Норма» на этапе формирования диагноза.

Результаты. Матрица несоответствий для каскадного классификатора представлена на рис. 3. Точность перекрестной проверки составила 93.09%..

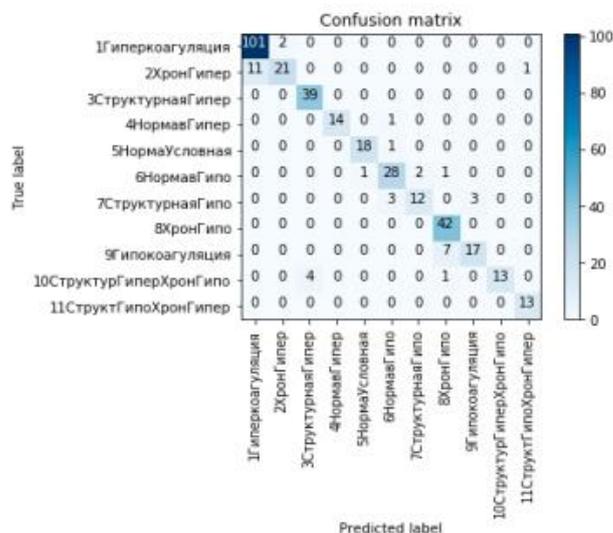


Рисунок 3 – Матрица несоответствий для каскадного классификатора

Ошибки классификации объясняются неявной границей между условно-нормальными состояниями и диагнозами «Гиперкоагуляция» и «Хронометрическая гиперкоагуляция»

Заключение. Таким образом, был разработан алгоритм поддержки принятия решения в процессе диагностики функционального состояния системы гемостаза. Алгоритм способен определить одиннадцать гемостазиологических диагнозов. Обучение и тестирование алгоритма на реальных данных показало высокое значение метрики – точность перекрестной проверки составила 93.09%.

Алгоритм был внедрен в модуль поддержки принятия решения. На его основе была разработана система «Вектор», используемая в клинической практике лечебных учреждений 56 субъектов РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишонок А.И., Щербакова И.Г., Гребенникова И.В. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ГЕМОСТАЗА // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 2-1.;
2. Тютрин И. И. Низкочастотная пьезотромбоэластография цельной крови: алгоритмы диагностики и коррекции гемостазиологических расстройств / И. И. Тютрин, В. В. Удут ; Нац. исслед. Том. гос. ун-т, Том. нац. исслед. мед. центр РАН НПО "Меднорд" (г. Томск). – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016.
3. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989.
4. PN06-510 TEG Analytical Software (TAS) 5000 User Manual 278.
5. Рашка С. Python и машинное обучение / пер. с англ. А. В. Логунова. М.: ДМК Пресс, 2017. – 418 с.