

<https://doi.org/10.17816/mechnikov201911323-32>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА ПАЦИЕНТА ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА ТРУДНОЙ ИНТУБАЦИИ ТРАХЕИ

А.А. Айдаралиев<sup>1</sup>, О.В. Волкович<sup>2</sup>, Е.Л. Миркин<sup>1</sup>, С.С. Нежинских<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Международный университет Кыргызстана, Бишкек, Кыргызская Республика;

<sup>2</sup> Чуйская областная объединенная больница, Бишкек, Кыргызская Республика

Для цитирования: Айдаралиев А.А., Волкович О.В., Миркин Е.Л., Нежинских С.С. Использование изображения лица пациента для нейросетевого прогнозирования риска трудной интубации трахеи // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – 2019. – Т. 11. – № 3. – С. 23–32. <https://doi.org/10.17816/mechnikov201911323-32>

Поступила: 22.03.2019

Одобрена: 18.06.2019

Принята: 09.09.2019

♦ **Обоснование.** Прогноз ситуации трудной интубации трахеи остается актуальной проблемой. Эффективность используемых в настоящее время предикторов не позволяет точно предсказать такую ситуацию.

**Цель работы** — разработка компьютерной системы прогнозирования трудной интубации трахеи, основанной на анализе изображения лица в сочетании с наиболее значимыми ее предикторами, и оценка эффективности разработанной системы.

**Методы.** Сформирована база данных, основанная на регистрации предикторов трудной интубации трахеи. Предикторы базируются на изображении лица пациента с отмеченными реперными точками, позволяющими рассчитывать информационные признаки, сопряженные с трудностью интубации трахеи. Степень тяжести интубации определяли непосредственно во время интубации по предложенной оригинальной шкале тяжести интубации.

**Результаты.** Синтезирован классификатор с использованием метода самоорганизации нейронной сети. Обученная нейронная сеть легла в основу модели классификатора, реализованного в виде компьютерного приложения. Чувствительность прогноза трудной интубации трахеи составила 90,90 %, специфичность — 97,02 %, прогностическая ценность положительного результата — 58,82 %, отрицательного — 99,56 %.

**Выводы.** Предложенная система поддержки принятия решения позволяет стратифицировать пациентов на группы по степени риска развития трудной интубации трахеи. Кроме того, процесс самообучения системы продолжается по мере получения новых данных, что позволяет непрерывно повышать ее эффективность.

♦ **Ключевые слова:** прогноз трудной интубации трахеи; система поддержки принятия решения; обработка изображения лица пациента; самоорганизующаяся нейронная сеть.

## NEURAL NETWORK PREDICTION OF DIFFICULT TRACHEAL INTUBATION RISK BY USING THE PATIENT'S FACE IMAGE

A.A. Aidaraliev<sup>1</sup>, O.V. Volkovich<sup>2</sup>, E.L. Mirkin<sup>1</sup>, S.S. Nezhinsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> International University of Kyrgyzstan, Bishkek, Kyrgyz Republic;

<sup>2</sup> Chui Regional United Hospital, Bishkek, Kyrgyz Republic

For citation: Aidaraliev AA, Volkovich OV, Mirkin EL, Nezhinsky SS. Neural network prediction of difficult tracheal intubation risk by using the patient's face image. *Herald of North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov*. 2019;11(3):23-32. <https://doi.org/10.17816/mechnikov201911323-32>

Received: March 22, 2019

Revised: June 18, 2019

Accepted: September 9, 2019

♦ **Background.** The prognosis of the difficult tracheal intubation remains an essential problem. The effectiveness of using predictors does not allow to foreseen such situation accurately.

**The purpose of the study** was to develop a predictive system and evaluate its effectiveness in difficult tracheal intubation based on facial image analysis combined with the most significant predictors of difficult intubation.

**Materials and methods.** A database based on the registration of difficult intubation predictors was developed. It was based on the patient's face images with marked reference points. It allowed to estimate the information signs associated with the difficult tracheal intubation. The degree of intubation severity was determined directly during the intubation process according to the proposed original scale of severity.

**Results.** The classifier was synthesized by using the self-organization neural network method. The trained neural network was the basis of the classifier model implemented as a computer application. The sensitivity of the difficult tracheal intubation prognosis was 90.90%, specificity was 97.02%, the prognostic value of the positive result was 58.82%, the negative one was 99.56%.

**Conclusions.** The proposed decision support system allows patients to be stratified into groups according to the degree of difficult tracheal intubation risk. In addition, the self-learning process of the system continues as the new data become available. This allows to improve its efficiency continuously.

♦ **Keywords:** prediction of difficult tracheal intubation; intelligent decision supports system; patient's face image analysis; artificial neural networks.

## Введение

Интубация трахеи представляет собой рутинную манипуляцию, обеспечивающую защиту дыхательных путей как при анестезиологическом пособии, так и в ситуации оказания неотложной помощи при необходимости проведения искусственной вентиляции легких. Зачастую эта манипуляция осуществляется без каких-либо затруднений, но в редких случаях могут развиваться осложнения (потенциальные причины катастрофических последствий) — вплоть до повреждения центральной нервной системы и смерти [1]. Неадекватная вентиляция легких и невозможность интубации трахеи — наиболее частые осложнения наркоза, которые обуславливают соответственно 14 и 23 % проблем, возникающих с дыхательными путями [2]. Около одной трети всех смертей, связанных с анестезией, являются следствием ситуации, при которой не была обеспечена адекватная оксигенация в процессе интубации трахеи [2].

Перед выполнением этой манипуляции необходимо оценить анатомические особенности пациента, влияющие на обеспечение и поддержание проходимости верхних дыхательных путей. Выявление предикторов сложных дыхательных путей и активная подготовка к этой ситуации имеют решающее значение для безопасности пациентов и позволяют выбрать оптимальную технику интубации трахеи и подготовиться к возможным осложнениям. Менеджмент дыхательных путей базируется на адекватной оценке анатомических и физиологических особенностей пациента и опыте анестезиолога. Главными причинами развития

грозных осложнений чаще всего являются неадекватная оценка анатомических особенностей дыхательных путей пациента и невозможность изменения стратегии после получения данных о сложной интубации трахеи [1].

Предложено много подходов и методов оценки вероятности трудной интубации трахеи (ТИТ). К сожалению, большинство из них имеют низкую чувствительность и специфичность [3, 4].

В настоящее время наиболее распространенным подходом является комплексная оценка дыхательных путей по нескольким критериям [3, 6]. Предполагают, что использование нескольких предикторов повышает прогностическую ценность полученного результата, хотя существует и противоположное мнение. Так, A.K. Nørskov et al. показали, что простое добавление дополнительных критериев не увеличивает точность и значимость предсказания ТИТ [5]. Были проведены многочисленные исследования для определения идеального сочетания критериев и предложены формулы, объединяющие известные предикторы [6–9].

Продолжается поиск не только лучшего сочетания предикторов, но и методов обработки полученных данных. Так, O. Langeron et al. использовали компьютерную модель с девятью параметрами [10]. Этот подход продемонстрировал значительное улучшение прогноза по сравнению с моделью, применяемой M. Naguib et al. и основанной на простой логистической модели, базирующейся на тех же данных [11]. Улучшение результатов с помощью компьютерной модели доказывает сложность проблемы и полезность машинного

обучения для лучшего прогнозирования тяжести интубации.

Наиболее часто вероятность трудного дыхательного пути (ТДП) определяется двумя критериями: тестом Mallampati (ТМ) и тироментальным расстоянием (ТМР). И хотя оба теста обладают достаточно скромным потенциалом в предсказании ТИТ (чувствительность — от 30 до 60 %, специфичность — от 60 до 80 %, положительное прогнозирующее значение — от 5 до 20 % [12]), тем не менее их комбинация позволила получить лучший прогноз, чем любой другой тест скрининга в метаанализе из 35 исследований у более чем 50 000 пациентов [12].

Кроме этих предикторов в практической деятельности для прогнозирования вероятности ТИТ используют и другие признаки и их сочетания, при этом общее клиническое суждение, вероятно, базируется на большем числе морфологических параметров, чем те, которые содержатся в доступных прикроватных тестах. Пожалуй, лучшей дефиницией этих субъективных факторов является «габитус» — внешний вид пациента, определяемый как совокупность внешних признаков, характеризующих телосложение, упитанность, подвижность и конституцию. Возможно, учитывают и другие, труднообъяснимые, интуитивные предположения врача. Опытному врачу для формирования суждения о возможности развития ситуации ТДП нет необходимости проверять весь комплекс тестов, тщательно определяя размеры анатомических образований и вычисляя их соотношения. Зачастую достаточно просто оценить габитус пациента.

Предположение о том, что внешний вид человека дает не меньше информации, чем отдельно вычлененный из этого образа признак или их совокупность, побуждает исследователей к созданию систем поддержки принятия решений в прогнозировании ситуации ТДП, основанных на изображении человека.

В последнее время становятся все более популярными технологические подходы, основанные на использовании фото-, видео- и рентгенологических изображений, лазерных технологиях сканирования лица с автоматическим трехмерным рендерингом для краниофациального фенотипирования с целью предсказания возможного ТДП. Задача сводится к обнаружению и интерпретации особенностей человека, кото-

рые определяют на основании взаимоотношения реперных точек на краниофациальном изображении, что позволяет осуществлять анализ морфологических признаков лица пациента, ассоциирующихся с возможными сложностями при интубации трахеи. Однако ряд этих новых методов требует либо рентгенологической, либо компьютерной томографической визуализации, что сопровождается дополнительными проблемами, такими как доступность, стоимость обследования и облучение пациента. Наиболее доступным и перспективным для этой цели нам представляется анализ фотографического изображения.

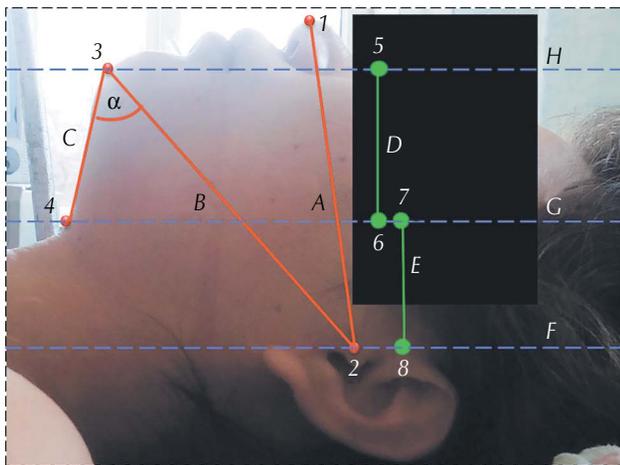
Анализ фотографий лица пациента для выявления характерных краниофациальных анатомических особенностей, коррелирующих с ТИТ, предложили японские исследователи в 2007 г. [13]. Исследование выявило некоторые внешние анатомические признаки, характерные для трудной интубации, — уменьшение размеров нижней челюсти и увеличение субмандибулярного угла.

Используя аналогичный подход, С. W. Connor и S. Segal провели компьютеризированный анализ структуры лица и тироментального расстояния по фотографии с оценкой 61 критерия, базирующегося на пропорциях лица [14]. Было показано, что из рассмотренных переменных всего 11 коррелируют с трудной интубацией. Значимыми были признаны только три лицевых пропорции и тироментальное расстояние. Помимо выявленного N. Suzuki et al. субмандибулярного угла значимыми признаны еще два критерия:

- соотношение расстояний между носом и подбородком и носом и надбровными дугами;
- степень наклона носа.

Авторы показали, что предложенная модель значительно точнее предсказывает вероятность трудной интубации по сравнению с сочетанием ТМ и ТМР.

G.L. Cuendet et al. применили полностью автоматический подход к анализу изображений лица для идентификации морфологических признаков, связанных с ТИТ [15]. Для этой цели была собрана база данных из 970 пациентов, включающая фотографии, видеоролики и другие данные. Несмотря на достигнутый прогресс в прогнозировании ТИТ, практическое



**Рис. 1.** Фотография человека в профиль с выделенными ориентирами. Точка 1 — кончик носа, точка 2 — козелок, точка 3 — подбородочный выступ, точка 4 — точка визуального перехода шеи в субмандибулярную область. Отрезок А соединяет точки 1 и 2, отрезок В соединяет точки 2 и 3, отрезок С соединяет точки 3 и 4. Линия F лежит во фронтальной плоскости на уровне точки 2 (козелка). Линия G лежит во фронтальной плоскости на уровне точки 4. Линия H лежит во фронтальной плоскости на уровне точки 3. Отрезок D соединяет линии G и H. Отрезок E соединяет линии G и F. Угол  $\alpha$  — субмандибулярный угол

**Fig. 1.** A profile photo with highlighted landmarks. Point 1 — tip of the nose, point 2 — tragus, point 3 — mental protuberance, point 4 — point of visual transition of the neck into submandibular region. Line segment A connects points 1 and 2, line segment B connects points 2 and 3, line segment C connects points 3 and 4. Line F lies in the frontal plane at level 2 (tragus). Line G lies in frontal plane at the level of point 4. Line H lies in the frontal plane at the level of point 3. Line segment D connects lines G and H. Line E connects lines G and F. Angle  $\alpha$  — submandibular angle

применение данного подхода ограничено необходимостью использования стационарного оборудования.

Для практической же деятельности необходим простой и доступный прикроватный тест.

**Цель исследования** — разработать систему прогнозирования вероятности ТИТ, основанную на анализе структуры лица по фотографии в сочетании с наиболее значимыми предикторами ТИТ, и оценить ее эффективность.

#### Материалы и методы исследования

Исходя из предшествующего опыта синтеза интеллектуальных систем в технической кибернетике [16–18] и медицине [6, 19–21], было при-

нято решение использовать технологии искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения поставленной задачи.

Создание системы поддержки принятия решения (СППР) в прогнозировании ТИТ потребовало формирования базы данных, которая была собрана при подготовке и проведении оперативных вмешательств в Чуйской областной объединенной больнице Министерства здравоохранения Кыргызской Республики. В исследование были включены взрослые пациенты, подвергшиеся общей анестезии с интубацией трахеи, вне зависимости от типа предполагаемой операции. Из исследования были исключены пациенты, которым была показана интубация трахеи с помощью фиброскопа.

Во время предоперационной консультации анестезиолога каждый пациент получил информацию о проводимом исследовании и дал согласие на участие в нем. Во время предоперационного осмотра в базу данных вводили информацию о пациенте (возраст, пол, вес, рост, наличие в анамнезе ТИТ и наличие зубных протезов) и фотографировали его смартфоном, на который была установлена созданная при участии авторов программа, позволяющая в ручном режиме отмечать реперные точки (точки 1, 2, 3 и 4) на изображении лица пациента (рис. 1). Это позволило рассчитать (в относительных единицах) три информационных признака, характеризующих значимые, с точки зрения авторов, прогностические предпосылки трудной ларингоскопии:

- субмандибулярный угол ( $\alpha$ ) — угол между отрезками В и С;
- козелковый угол — угол между отрезками А и В;
- соотношение расстояний (S) — соотношение длины отрезка D к длине отрезка E.

Все перечисленные выше признаки легко вычислить путем цифровой обработки фотографии, на которую предварительно наносят маркеры реперных точек.

После проведения интубации трахеи в базу данных вносили информацию об особенностях этой манипуляции. При этом учитывали:

- ларингоскопический вид по шкале Cormack – Lehane;
- стаж работы врача, проводившего манипуляцию (минимальный стаж — 5 лет);
- количество попыток интубации;

- количество специалистов, выполнявших интубацию;
- приложенную к клинку ларингоскопа подъемную силу во время манипуляции (нормальная или повышенная);
- применение внешнего давления на гортань;
- использование дополнительных вспомогательных средств и альтернативных технических приемов.

В зависимости от сочетания этих факторов тяжесть интубации была классифицирована с помощью разработанной нами шкалы. В соответствии с ней пациент был отнесен к одному из четырех классов тяжести интубации.

- 1-й класс. Рутинная (легкая) — интубация трахеи одним специалистом быстро, с первой попытки, без применения дополнительных технических приемов (замена клинка ларингоскопа, использование стилета и т. д.). Ларингоскопический вид — 1-я степень по Cormack – Lehane, без внешнего давления на гортань.
- 2-й класс. Затрудненная (удовлетворительная) — интубация трахеи одним специалистом без применения дополнительных технических приемов и привлечения дополнительного персонала. Ларингоскопический вид — 2-я степень по Cormack – Lehane при применении внешнего давления на гортань

и повышенной подъемной силы, приложенной к ларингоскопу.

- 3-й класс. Значительно затрудненная (умеренно сложная) — интубация трахеи, выполненная одним специалистом с использованием дополнительных альтернативных технических приемов, повышенной подъемной силы, приложенной к ларингоскопу, и внешним давлением на гортань. Количество попыток интубации — не более двух. Ларингоскопический вид — 2–3-я степень по Cormack – Lehane.
- 4-й класс. Трудная — интубация трахеи, потребовавшая привлечения дополнительных специалистов и/или альтернативных технических приемов. Ларингоскопический вид — 3-я или 4-я степень по Cormack – Lehane при применении внешнего давления на гортань и повышенной подъемной силы, приложенной к ларингоскопу. Количество попыток интубации — три и более.

Задачей синтеза классификатора является стратификация пациентов на основе данных, полученных при предварительном осмотре, с отнесением их к одному из четырех классов (1, 2, 3, 4-й) предложенной классификации ТИТ.

Для обучения нейронной сети были использованы наиболее значимые, с точки зрения

Таблица 1 / Table 1

Названия полей записей базы данных, используемых для обучения нейронной сети  
The names of the fields of database records used for training artificial neural network

Признак	Описание
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	Индекс массы тела вычисляют как вес человека в килограммах, деленный на удвоенное значение роста (м <sup>2</sup> ), индекс массы тела позволяет оценить степень соответствия массы человека и роста
Анамнез*	Наличие в анамнезе трудной интубации
Тест Mallampati	Оценка ротоглотки
Козелковый угол**	Угол между отрезками A (1, 2) и B (3, 2)
Субмандибулярный угол***	Угол между отрезками B (3, 2) и C (4, 5)
Соотношение подбородок/шея/ухо****	Соотношение длины отрезка D к отрезку E
Заключение эксперта*****	Тяжесть интубации трахеи

Примечание. Здесь и в табл. 2. \*наличие в анамнезе у пациента трудной интубации трахеи (0 — нет, 1 — да). \*\* Угол между отрезками A (1, 2) и B (3, 2) на рис. 3. \*\*\* Угол между отрезками B (3, 2) и C (4, 5) на рис. 3. \*\*\*\* Соотношение длины отрезка D к отрезку E на рис. 3. \*\*\*\*\* Заключение эксперта — класс тяжести интубации (1, 2, 3, 4-й) в соответствии с предложенной классификацией.

Таблица 2 / Table 2

Структура агрегированной базы данных пациентов  
The structure of the patients' aggregated database

Параметр	Запись 1	Запись 2	...	Запись 300
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	22,23	18,73	...	41,92
Классификация Mallampati	2	1	...	3
Анамнез*	0	0	...	0
Козелковый угол**	0,8774	0,8747	...	0,875
Субмандибулярный угол***	0,7868	0,76360	...	0,659
Соотношение подбородок/шея/ухо****	0,7634	1,7823	...	0,7655
Заключение эксперта*****	1	1	...	2

авторов, критерии. В табл. 1 приведены названия полей записей, предназначенных для обучения нейронной сети.

В табл. 2 приведен фрагмент структурированной базы данных, содержащей 300 записей пациентов, включенных в исследование.

Для синтеза модели классификатора, построенного на нейронной сети, был использован метод самоорганизации нейронной сети, предложенный в работе [17]. Начальная топология нейронной сети на первом этапе представляла собой один нейрон. Дальнейший рост сети обеспечивался добавлением нового слоя и по одному нейрону в первый слой на каждом этапе эволю-

ции сети [6]. Эволюция изменения топологии нейронной сети в процессе решения задачи претерпела четыре этапа. На четвертом этапе эволюции сети процесс ее обучения прекратился, так как ошибка обучения сети достигла порогового значения. Таким образом, финальная топология сети на четвертом этапе эволюции представляла собой двухслойный персептрон с четырьмя нейронами в первом слое и одним во втором.

На рис. 2 приведен график поэтапной эволюции интегрированной ошибки обучения нейронной сети.

На каждом этапе эволюции нейронной сети происходило автоматизированное усложнение

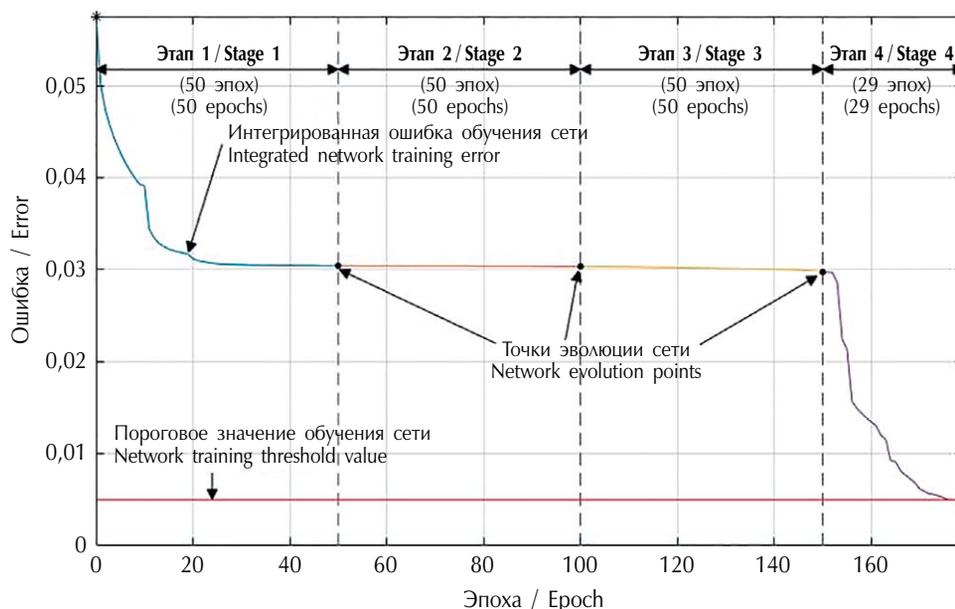


Рис. 2. Поэтапная эволюция интегрированной ошибки обучения нейронной сети

Fig. 2. Phased evolution of the integrated neural network training error

ее топологии и процесс обучения повторялся. «Сшивание» ошибки обучения сети и накопленный опыт обучения предыдущего этапа использовали для обучения на следующем (см. рис. 2) [17].

**Результаты**

Средняя эффективность работы нейронной сети, обученной на исходной выборке, составила 86,67 % (рис. 3). Качество работы классификатора оценивали путем тестирования с применением выборки исходной базы данных, которую не использовали в обучении, оно составило 92,3 %, что является приемлемым результатом, позволяющим использовать классификатор в практической деятельности в качестве системы поддержки принятия решения.

Обученная нейронная сеть была положена в основу модели классификатора, реализованного в виде компьютерного приложения. На рис. 4 представлена копия экрана разработанного мобильного приложения.

Предложенная СППР в прогнозировании ТИТ может быть реализована для различных операционных систем на любой платформе современного вычислителя.

Для оценки эффективности прогнозирования ТИТ проведен анализ работы СППР на выборке из 246 пациентов, подвергшихся интубации трахеи. Результат прогноза оценивали непосредственно после интубации. Чувствительность прогноза составила 90,90 %, специфичность — 97,02 %, прогностическая ценность положительного результата — 58,82 %, прогностическая ценность отрицательного результата — 99,56 %.

**Обсуждение результатов исследования**

Сопоставление результатов прогнозирования различными методами [3] представлено в табл. 3.

Сопоставление результатов продемонстрировало, что СППР имеет высокую чувствительность (90,90 %) и специфичность (97,02 %).

Для практического использования важнее не оценка самого теста (чувствительность и специфичность), а возможность интерпретации полученного с его помощью результата, оценка вероятности столкнуться с ТИТ при положительном результате теста и при наличии отрицательного

Выходной класс / Output class	0	101 99,02 %	5 7,69 %	0 0 %	0 0 %	95,28 % 4,72 %
	0,5	1 0,98 %	50 76,92 %	10 10,42 %	1 2,70 %	80,65 % 19,35 %
	0,75	0 0 %	8 12,31 %	80 83,33 %	7 18,92 %	84,21 % 15,79 %
	1	0 0 %	2 3,08 %	6 6,25 %	29 78,38 %	78,38 % 21,62 %
		95,28 % 4,72 %	76,92 % 23,08 %	83,33 % 16,67 %	78,38 % 21,62 %	86,67 % 13,33 %
	0	0,5	0,75	1	Целевой класс / Target class	

Рис. 3. Информационная матрица результата обучения нейронной сети по исходной выборке

Fig. 3. The information matrix of the result of training a neural network in the original sample

результата. При таком подходе обращает на себя внимание несколько неожиданная для практикующего персонала ценность прогнозов — при выявлении предиктора, указывающего на по-

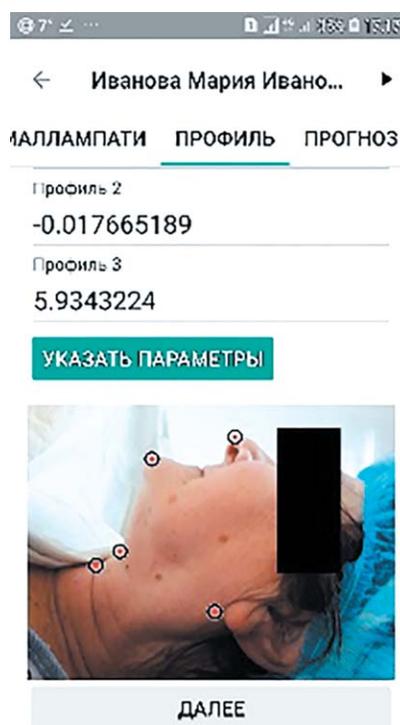


Рис. 4. На фотографии отмечены реперные точки

Fig. 4. The photo shows the reference points

Таблица 3 / Table 3

Сопоставление результатов прогнозирования предложенной системы поддержки принятия решения с наиболее распространенными методами

Comparison of the predicted results of the proposed decision support system with the most common methods

Признак	Чувствительность, %	Специфичность, %	ПЦПР, %	ПЦОР, %
СППР в прогнозировании риска ТИТ (предложенный авторами метод)	90,90	97,02,	58,82	99,56
Наличие ТИТ в анамнезе	14	99	78	–
ОР	26–47	94–95	7–25	–
ВНЧ*	17–26	95–96	5–21	–
ОР < 5 см и ВНЧ < 0	42	97	37	–
Стерноментальное расстояние	82	89	27	–
Тироментальное расстояние	16	95	12	–
Классификация Mallampati оригинальная	42–56	81–84	4–21	–
Тироментальное расстояние плюс классификация Mallampati	81	98	64	–
Подвижность в атлантоокципитальном сочленении	10–17	98	8–30	–
Короткая толстая шея	22	93	11	–
Индекс J. Arné	93	93	34	99

Примечание. СППР — система поддержки принятия решения; ТИТ — трудная интубация трахеи; ПЦПР — прогностическая ценность положительного результата; ПЦОР — прогностическая ценность отрицательного результата; ОР — открытие рта; ВНЧ — выдвижение нижней челюсти: >0 — нижние резцы могут достичь уровня выше верхних резцов, 0 — нижние резцы могут достичь только уровня верхних резцов и <0 — нижние резцы не могут достичь уровня верхних резцов.

тенсиально трудную интубацию трахеи, в большинстве случаев ее ожидать не приходится. Это обусловлено тем, что ТИТ — достаточно редко возникающая ситуация, и, независимо от того, каков уровень специфичности теста, если он не достигает 100 %, всегда будет возникать ситуация ложноположительного срабатывания теста. Прогностическую ценность положительного результата СППР, составляющую 58,82 %, можно считать приемлемой. Прогностическая ценность отрицательного результата также весьма значима — обученная нами система поддержки принятия решения продемонстрировала высокую прогностическую ценность отрицательного результата (99,67 %).

Таким образом, эксплуатация и оценка разработанного программного обеспечения в клинических условиях показали его высокую эффективность. Программа является простым и удобным диагностическим инструментом, позволяющим снизить вероятность ошибки при выборе оптимального индивидуального подхода. Одно из важнейших преимуществ разработанной системы заключается в ее мобильности. Использование переносных мобильных устройств будет способствовать повышению эффективности медицинского прогнозирования и облегчит работу медицинского персонала с пациентами, так как не потребуются применение громоздких устройств и сложных обследований.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и об отсутствии финансирования.

## Литература

1. Cook TM, Woodall N, Frerk C; Fourth National Audit Project. Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia. *Br J Anaesth.* 2011;106(5):617-631. <https://doi.org/10.1093/bja/aer058>.
2. Hove LD, Steinmetz J, Christoffersen JK, et al. Analysis of deaths related to anesthesia in the period 1996-2004 from closed claims registered by the Danish patient insurance association. *Anesthesiology.* 2007;106(4):675-680. <https://doi.org/10.1097/01.anes.0000264749.86145.e5>.
3. Hagberg CA, Benumof J. Benumof and Hagberg's airway management. 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders; 2013. 1141 p.
4. Connor CW, Segal S. Accurate classification of difficult intubation by computerized facial analysis. *Anesth Analg.* 2011;112(1):84-93. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e31820098d6>.
5. Nørskov AK, Wetterslev J, Rosenstock CV, et al. Effects of using the simplified airway risk index vs usual airway assessment on unanticipated difficult tracheal intubation — a cluster randomized trial with 64,273 participants. *Br J Anaesth.* 2016;116(5):680-689. <https://doi.org/10.1093/bja/aew057>.
6. Айдаралиев А.А., Волкович О.В., Миркин Е.Л., и др. Интеллектуальная система поддержки принятия решений в прогнозировании риска трудной интубации трахеи // Врач и информационные технологии. — 2018. — № 1. — С. 59–67. [Aidaraliev AA, Volkovich OV, Mirkin EL, et al. Intelligent decision supports system in prediction of difficult tracheal intubation. *Vrach i informacionnyye tehnologii.* 2018;(1):59-67. (In Russ.)]
7. Eberhart L, Arndt C, Aust H, et al. A simplified risk score to predict difficult intubation: development and prospective evaluation in 3763 patients. *Eur J Anaesthesiol.* 2010;27(11):935-940. <https://doi.org/10.1097/eja.0b013e328338883c>.
8. el-Ganzouri AR, McCarthy RJ, Tuman KJ, et al. Preoperative airway assessment: predictive value of a multivariate risk index. *Anesth Analg.* 1996;82(6):1197-1204. <https://doi.org/10.1097/00000539-199606000-00017>.
9. Wilson ME, Spiegelhalter D, Robertson JA, Lesser P. Predicting difficult intubation. *Br J Anaesth.* 1988;61(2):211-216. <https://doi.org/10.1093/bja/61.2.211>.
10. Langeron O, Cuvillon P, Ibanez-Esteve C, et al. Prediction of difficult tracheal intubation. *Anesthesiology.* 2012;117(6):1223-1233. <https://doi.org/10.1097/aln.0b013e31827537cb>.
11. Naguib M, Scamman FL, O'Sullivan C, et al. Predictive performance of three multivariate difficult tracheal intubation models: a double-blind, case-controlled study. *Anesth Analg.* 2006;102(3):818-824. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000196507.19771.b2>.
12. Shiga T, Wajima Z, Inoue T, Sakamoto A. Predicting difficult intubation in apparently normal patients. *Anesthesiology.* 2005;103(2):429-437. <https://doi.org/10.1097/00000542-200508000-00027>.
13. Suzuki N, Isono S, Ishikawa T, et al. Submandible angle in nonobese patients with difficult tracheal intubation. *Anesthesiology.* 2007;106(5):916-923. <https://doi.org/10.1097/01.anes.0000265150.71319.91>.
14. Connor CW, Segal S. The importance of subjective facial appearance on the ability of anesthesiologists to predict difficult intubation. *Anesth Analg.* 2014;118(2):419-427. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000012>.
15. Cuendet GL, Schoettker P, Yuce A, et al. Facial image analysis for fully automatic prediction of difficult endotracheal intubation. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2016;63(2):328-339. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2457032>.
16. Mirkin B, Mirkin EL, Gutman PO. State-feedback adaptive tracking of linear systems with input and state delays. *Int J Adapt Control Signal Process.* 2009;23(6):567-580. <https://doi.org/10.1002/acs.1070>.
17. Миркин Е.Л., Нежинских С.С. Случайная стратегия автоматизированного синтеза топологии нейронной сети // Автоматизированные технологии и производства. — 2016. — № 3. — С. 48–55. [Mirkin EL, Nezhinskikh SS. Random strategy of forming a self-organizing neural network topology. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva.* 2016;(3):48-55. (In Russ.)]
18. Шаршеналиев Ж.Ш., Миркин Е.Л. Синтез модифицированных алгоритмов адаптивного управления процессом роста монокристаллов кремния // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2012. — № 3. — С. 37–43. [Sharshenaliev ZhSh, Mirkin EL. Synthesis of modified adaptive control algorithms growth process of silicon single crystals. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie.* 2012;(3):37-43. (In Russ.)]
19. Акрамов Э.Х., Миркин Е.Л., Волкович О.В., и др. Разработка компьютерной системы диагностики показателя к операции по поводу синдрома кишечной непроходимости // Проблемы автоматизации и управления. — 2015. — № 2. — С. 56–63. [Akramov EK, Mirkin EL, Volkovich OV, Nezhinskikh SS, Saliev AT. Development of computer diagnostic systems indications for surgery for intestinal obstruction syndrome. *Problemy avtomatiki i upravleniya.* 2015;(2):56-63. (In Russ.)]
20. Акрамов Э.Х., Волкович О.В., Васильева О.И. Успешное оперативное лечение длительной обструкции мочеоточника // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. — 2006. — № 4. — С. 74. [Akramov EK, Volkovich OV, Vasil'eva OI. Uspeshnoe operativnoe lechenie dlitel'noi obstruktsii mochetochnika. *Khirurgiya, Moskva.* 2006;(4):74. (In Russ.)]

21. Волкович О.В., Молдобаева Н.Т. Унифицированная оценка степени травматичности операции и ее корреляция с интенсивностью послеоперационного болевого синдрома // Хирургия, морфология, лимфология. – 2007. – Т. 4. – № 8. – С. 53–55. [Volkovich OV,

Moldobaeva N.T. Unifitsirovannaya otsenka stepeni travmatichnosti operatsii i ee korrektsiya s intensivnost'yu posleoperatsionnogo bolevogo sindroma. *Khirurgiya, morfologiya, limfologiya*. 2007;4(8):53-55. (In Russ.)]

◆ **Адрес автора для переписки** (*Information about the author*)

*Олег Викторович Волкович / Oleg Volkovich*

Тел. / Tel.: +996550100355

E-mail: volkovich\_oleg@mail.ru