

СЕКЦИЯ 5

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

К. В. Бодяков¹⁾, В. А. Иванюкович²⁾, Е. В. Кот²⁾, И. А. Тавгень²⁾, М. Д. Шилов²⁾

¹⁾ Отделение анестезиологии и реанимации, Центр сердечно-сосудистой хирургии,
УЗ «Могилёвская областная клиническая больница», ул. Бялыницкого-Бирули, 12Б, г. Могилёв,
212026, Беларусь, kirill_bodyakov@mail.ru

²⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск,
220070, Беларусь, iva@iseu.by

Описано мобильное программное приложение для операционной системы Android, предназначенное для анализа кислотно-щелочного состояния, позволяющее оперативно получать данные для принятия решения о диагнозе заболевания и назначения компенсаторной терапии. Используются традиционные подходы к проведению анализа данных, которые соответствуют современным протоколам лечения. Созданы удобные интерфейсы для ввода данных, вывода результатов анализа информационных материалов. Приложение разработано с использованием кроссплатформенных технологий программирования и может быть легко адаптировано к различным операционным системам.

Ключевые слова: кислотно-щелочной баланс; кислотность; парциальное давление углекислого газа; уровень бикарбоната; анализ данных; диагноз заболевания; компенсаторная терапия; операционная система Android; кроссплатформенное приложение.

ANDROID APPLICATION FOR ANALYZING THE ACID-BASE BALANCE OF THE BODY

K. Badziakou¹⁾, U. Ivanyukovich²⁾, E. Kot²⁾, I. Tavgen²⁾, M. Shylau²⁾

¹⁾ Department of Anesthesiology and Resuscitation, Center for Cardiovascular Surgery,
Magilew Regional Clinical Hospital, Byalynitskaga-Biruli str, 12B, Magilew,
212026, Belarus, kirill_bodyakov@mail.ru

²⁾ International Sakharov Environmental Institute
of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, Minsk,
220070, Belarus, iva@iseu.by

A mobile software application for the Android operating system is described, designed to analyze the acid-base balance, allowing to quickly obtain data for diagnosis of the disease and prescribing compensatory therapy. Traditional approaches to data analysis are used, which correspond to modern treatment protocols. Convenient interfaces for input-output data and information materials are created. The application is developed using cross-platform programming technologies and can be easily adapted to various operating systems.

Keywords: acid-base balance; acidity; partial pressure of carbon dioxide; bicarbonate level; data analysis; disease diagnosis; compensatory therapy; Android operating system; cross-platform application.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-298-303>

Кислотно-щелочное состояние (КЩС) организма играет важную роль в поддержании гомеостаза, а его нарушение может свидетельствовать о наличии серьёзных патологий. Анализ используется для диагностики и контроля течения заболеваний, таких как почечная недостаточность, сахарный диабет, дыхательная недостаточность, сепсис. Нарушения кислотно-щелочного баланса могут быть вызваны как первичными расстройствами (метаболические или респираторные), так и смешанными процессами, что требует глубокого анализа измеренных значений pH, pCO₂ и HCO₃⁻ [1; 2]. Современные лабораторные анализаторы, такие как газоанализаторы крови, позволяют обрабатывать данные о состоянии КЩС, используя традиционные методы анализа. Однако существуют проблемы, особенно в случае смешанных расстройств, которые требуют срочного проведения дополнительных расчетов для назначения терапии, например, для респираторной поддержки, введения бикарбоната натрия или коррекции электролитного баланса. Для их выполнения необходимы значительные временные и интеллектуальные ресурсы медицинского персонала [1; 3; 4].

Предлагаемое программное приложение для операционной системы Android предназначено для автоматизации анализа КЩС и предоставляет врачу возможность получить необходимые данные для принятия обоснованных решений в штатных условиях. Его использование позволяет значительно сократить время обработки данных, минимизировать риск ошибок и повысить точность диагностики.

В приложении реализованы два традиционных подхода в анализе КЩС – пошаговый и табличный алгоритмы.

Пошаговый подход основывается на последовательной оценке ключевых параметров: pH, pCO₂ и HCO₃⁻. Анализ начинается с определения отклонения pH (ацидоз или алкалоз), затем оценивается, какое нарушение (респираторное или метаболическое) является первичным, и завершается оценкой компенсации.

При использовании пошагового алгоритма на первом этапе производится идентификация первичных расстройств КЩС на основании данных о кислотности pH и парциальном давлении углекислого газа в артериальной крови PaCO₂. Изменение этих параметров в одном направлении указывает на метаболическое расстройство. Также к первичным метаболическим расстройствам относятся случаи, когда pH изменено, а PaCO₂ – нет. Их изменение в противоположных направлениях указывает на респираторное расстройство. Если pH находится в пределах нормы, а PaCO₂ изменено, то это может свидетельствовать о компенсаторном ответе организма на метаболическое расстройство. Если оба показателя pH и PaCO₂ находятся в пределах нормы, но присутствуют другие аномальные показатели (например, изменения HCO₃⁻), то это указывает на смешанные респираторно-метаболические расстройства.

На втором шаге выполняется оценка компенсаторных механизмов организма в зависимости от типа расстройства и расчет компенсации. Для метаболических нарушений (ацидоз или алкалоз) оценивается степень респираторной компенсации [4]. При метаболическом ацидозе или алкалозе дыхательная система пытается восстановить кислотно-щелочной баланс путём изменения уровня PaCO₂. Оценки респираторной компенсации при метаболических нарушениях рассчитываются по формулам:

для метаболического ацидоза: $PaCO_2 = 1,5 \times [HCO_3^-] + 8(\pm 2),$

для метаболического алкалоза: $PaCO_2 = 0,7 \times [HCO_3^-] + 20(\pm 5),$

где PaCO₂ – расчетное (ожидаемое) значение парциального давления при респираторной компенсации, [HCO₃⁻] – уровень бикарбоната в крови, коэффициенты 1,5 и 0,7 определяют пропорциональное изменение PaCO₂ в ответ на изменения [HCO₃⁻], константы 8(±2) и 20(±5) учитывают физиологические колебания и особенности компенсации организма.

Оценка изменения PaCO₂:

- PaCO₂ изм. > PaCO₂ расч. – сопутствующий респираторный ацидоз,
- PaCO₂ изм. < PaCO₂ расч. – респираторный алкалоз,
- PaCO₂ изм. = PaCO₂ расч. – компенсированное состояние.

Для респираторных нарушений (например, респираторный ацидоз или алкалоз) производится расчет метаболической компенсации, что включает оценку изменений концентрации бикарбоната HCO_3^- в крови. Расчеты компенсации выполняются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{для острого ацидоза:} \quad & \text{HCO}_3^- = 24 + (\text{PaCO}_2 - 40) / 10, \\ \text{для острого алкалоза:} \quad & \text{HCO}_3^- = 24 - 2 \times (40 - \text{PaCO}_2) / 10, \\ \text{для хронического ацидоза:} \quad & \text{HCO}_3^- = 24 + 4 \times (\text{PaCO}_2 - 40) / 10, \\ \text{для хронического алкалоза:} \quad & \text{HCO}_3^- = 24 - 5 \times (40 - \text{PaCO}_2) / 10, \end{aligned}$$

где PaCO_2 – расчетное (ожидаемое) значение парциального давления при метаболической компенсации, 24 – нормальная концентрация бикарбонатов в крови в физиологических условиях (ммоль/л), 40 – среднее нормальное значение PaCO_2 (мм рт. ст.).

Оценка изменения HCO_3^- для выявления сопутствующих расстройств:

- HCO_3^- –изм. = HCO_3^- –расч. – компенсированное состояние,
- HCO_3^- –изм. > HCO_3^- –расч. – сопутствующий метаболический алкалоз,
- HCO_3^- –изм. < HCO_3^- –расч. – на сопутствующий метаболический ацидоз.

На третьем шаге оценивается тип и степень метаболического ацидоза или алкалоза. Для этого рассчитываются анионная разность AG и «разница разниц» (gap – gap) [1; 5]:

$$\text{AG} = \text{Na}^+ + \text{K}^+ - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-),$$

где Na^+ – уровень натрия в плазме, K^+ – уровень калия в плазме, Cl^- – уровень хлора в плазме, HCO_3^- – уровень бикарбонатов в плазме. Нормальные значения AG варьируются в пределах 8-16 ммоль/л.

Значение разницы разниц позволяет получить более детальную оценку метаболического состояния и помогает в диагностике различных типов ацидозов и алкалозов.

$$\text{gap} - \text{gap} = \Delta\text{AG} / \Delta\text{BE} = (\text{AG}_{\text{изм.}} - \text{AG}_{\text{норм.}}) / (\text{HCO}_3^-_{\text{норм.}} - \text{HCO}_3^-_{\text{изм.}}),$$

где $\text{AG}_{\text{изм.}}$ – измеренная анионная разность, ΔBE – разность нормального и расчётного (измеренного) HCO_3^- , $\text{AG}_{\text{норм.}} = 12$ ммоль/л – нормальное значение анионной разности, $\text{HCO}_3^-_{\text{норм.}} = 24$ ммоль/л – нормальное значение бикарбонатов, $\text{HCO}_3^-_{\text{изм.}}$ – измеренное значение бикарбонатов.

Полученные значения разности разниц ($\Delta\text{AG}/\Delta\text{BE}$) помогают в классификации метаболических расстройств:

- $\Delta\text{AG}/\Delta\text{BE} < 0,4$: гиперхлоремический ацидоз с нормальной анионной разницей (AG);
- $\Delta\text{AG}/\Delta\text{BE} = 0,4-0,8$: комбинированный метаболический ацидоз с повышенной или нормальной AG, часто связан с ацидозом при почечной недостаточности;
- $\Delta\text{AG}/\Delta\text{BE} = 1$: характерно для диабетического кетоацидоза из-за потери кетоновых тел с мочой;
- $\Delta\text{AG}/\Delta\text{BE} = 1-2$: типично для ацидоза с увеличенной анионной разницей (AG);
- $\Delta\text{AG}/\Delta\text{BE} > 2$: предполагает изначальное повышение HCO_3^- (сосуществующий метаболический алкалоз или предшествующий респираторный ацидоз с метаболической компенсацией).

Этот шаг помогает оценить наличие сопутствующих расстройств, таких как гиперхлоремический ацидоз или метаболический ацидоз с повышенной анионной разницей, а также оценить компенсацию расстройств.

Табличный подход менее гибок и не учитывает нестандартные случаи, но позволяет быстро определить тип расстройства и степень компенсации. В нем используются таблицы для быстрого определения характера нарушений на основе заранее рассчитанных значений компенсации.

Значения уровней парциального давления углекислого газа в крови $p\text{CO}_2$ и кислотности крови pH позволяет идентифицировать первичное нарушение и возможные сопутствующие расстройства. Рассматриваются всевозможные сочетания уровней.

1. Повышенный уровень pH (алкалоз).

а. Высокое $p\text{CO}_2$ – Метаболический алкалоз.

Оценивается ожидаемое (расчетное) значение парциального давления углекислого газа $p\text{CO}_{2\text{ расч.}} = X = 0.7 \times \text{HCO}_3^- + 20(\pm 1.5)$,

где коэффициент 0,7 отражает степень изменения $p\text{CO}_2$ при изменении уровня HCO_3^- , 20 мм.рт.ст. – нормальное парциальное давление углекислого газа в крови.

Интерпретация результатов:

$p\text{CO}_{2\text{ изм.}} > X$. – сопутствующий респираторный ацидоз;

$p\text{CO}_{2\text{ изм.}} = X$ – компенсированный метаболический алкалоз;

$p\text{CO}_{2\text{ изм.}} < X$ – сопутствующий респираторный алкалоз.

б. Нормальное $p\text{CO}_2$ – Метаболический алкалоз, хронический метаболический алкалоз.

Соотношение значений $p\text{CO}_{2\text{ расч.}}$ и X не влияет на диагноз, в отличие от случая а, тем не менее информативно для врача.

с. Низкое $p\text{CO}_2$ – Респираторный алкалоз.

Компенсация рассчитывается, используя критерий Y , учитывающий изменение pH по отношению к изменению $p\text{CO}_2$:

$$Y = \Delta \text{pH} / \Delta \text{CO}_2 \times 100 = (\text{pH}_{\text{норм.}} - \text{pH}_{\text{изм.}}) / (p\text{CO}_{2\text{ изм.}} - p\text{CO}_{2\text{ норм.}}) \times 100,$$

где $\text{pH}_{\text{норм.}} = 7.4$, $p\text{CO}_{2\text{ норм.}} = 40$, ΔpH – изменение pH относительно нормы, ΔCO_2 – изменение парциального давления CO_2 относительно нормы.

Интерпретация значений Y :

$Y > 0.8$ – сопутствующий метаболический алкалоз;

$Y = 0.8$ – острый респираторный алкалоз;

$0.2 < Y < 0.8$: частично компенсированный респираторный алкалоз;

$Y < 0.2$: сопутствующий метаболический ацидоз.

2. Пониженный уровень pH (ацидоз).

а. Высокое $p\text{CO}_2$ – Респираторный ацидоз.

Используется критерий Y .

Интерпретация результатов:

$Y > 0.8$ – сопутствующий метаболический ацидоз;

$Y = 0.8$ – острый респираторный ацидоз;

$0.3 < Y < 0.8$ – частично компенсированный респираторный ацидоз;

$Y < 0.3$ – сопутствующий метаболический алкалоз.

б. Нормальное $p\text{CO}_2$ – Метаболический ацидоз.

$$X = 1.5 \times \text{HCO}_3^- + 8(\pm 2),$$

где 1.5 – коэффициент, отражающий соотношение между изменением $p\text{CO}_2$ и уровнем HCO_3^- при компенсаторных процессах, $8(\pm 2)$ – добавочное значение, учитывающее физиологическую норму и возможные колебания.

Интерпретация результатов:

$p\text{CO}_{2\text{ изм.}} > X$ – сопутствующий респираторный ацидоз;

$p\text{CO}_{2\text{ изм.}} = X$ – компенсированный метаболический алкалоз;

$p\text{CO}_{2\text{ изм.}} < X$ – сопутствующий респираторный ацидоз.

с. Низкое $p\text{CO}_2$ – Метаболический ацидоз с респираторной компенсацией.

Используется та же формула и интерпретация результатов аналогична случаю нормального $p\text{CO}_2$ (пункт б).

3. Нормальный pH.

При нормальном значении pH и измененном $p\text{CO}_2$ или HCO_3^- диагностируются смешанные расстройства:

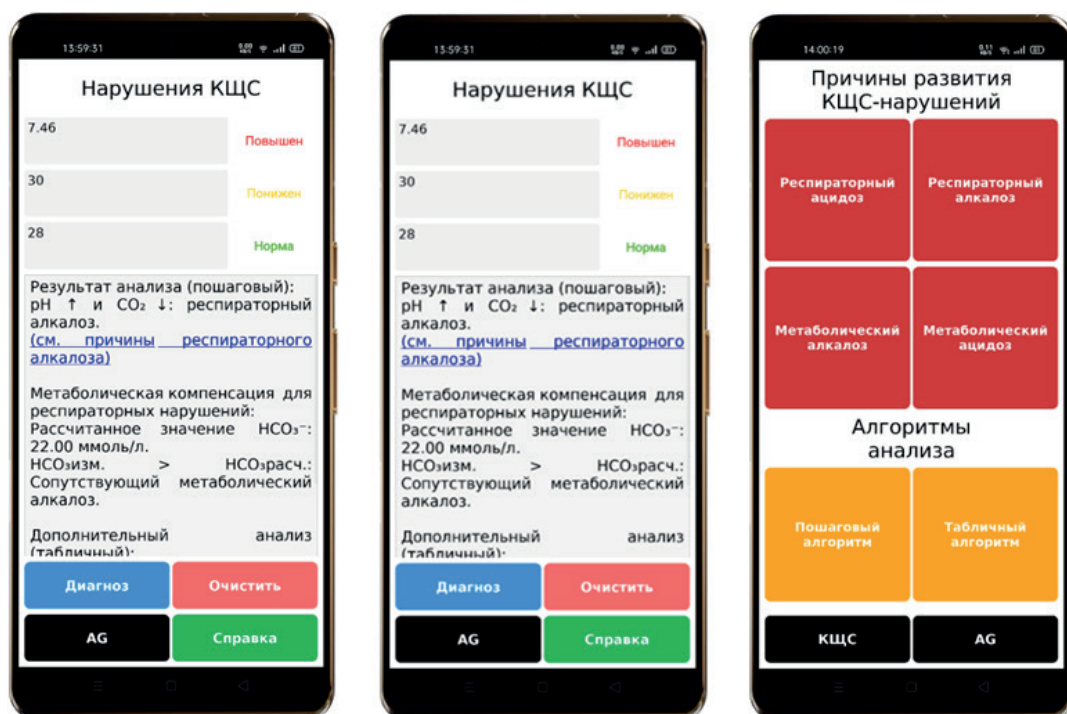
- Если $p\text{CO}_2$ изменен – смешанные респираторные и метаболические нарушения.
- Если присутствуют аномалии других параметров (например, HCO_3^-), требуется дополнительный анализ.

Описанные выше алгоритмы анализа КЩС организма реализованы на языке Python с использованием фреймворка Kivy, который предоставляет кроссплатформенную основу для работы приложения на Android, а также потенциально на iOS, Windows, macOS и Linux, и менеджера экранов ScreenManager, который позволяет переключаться между основными экранами (Рис.) [6,7]:

- экран анализа нарушений КЩС предназначен для ввода основных данных ($p\text{H}$, $p\text{CO}_2$, HCO_3^-) и вывода результатов анализа;
- экран расчёта AG и Gap-Gap предоставляет дополнительные возможности для анализа анионного разрыва и сопутствующих метаболических процессов;
- экраны для вывода вспомогательной информации.

Разработан дружелюбный интерфейс с разделением функциональности по экранам. Каждый параметр сопровождается статусной меткой, которая динамически отображает состояние (например, «Норма», «Повышен», «Понижен»). Цветовые обозначения статусов помогают визуализировать результаты (зелёный – норма, жёлтый – пониженное значение, красный – повышенное значение). Результаты выводятся в прокручиваемой текстовой области с выделением ключевых данных. Для их интерпретации используются медицинские протоколы (например, выявление гиперхлоремического ацидоза или метаболического алкалоза).

Проведено тестирование приложения с участием медицинских сотрудников центра сердечно-сосудистой хирургии, которые отметили высокую точность интерпретации нарушений КЩС и удобство работы. Алгоритмы приложения продемонстрировали соответствие современным медицинским стандартам и обеспечили высокую надёжность интерпретации данных.



Пользовательские интерфейсы мобильного приложения для анализа кислотно-щелочного состояния организма

Таким образом, в статье представлено описание мобильного программного приложения для операционной системы Android, предназначенное для расчета кислотно-щелочного баланса, позволяющее оперативно получать данные для принятия решения о диагнозе заболевания и назначения компенсаторной терапии. Используются традиционные подходы к проведению анализа данных, которые соответствуют современным протоколам лечения. Приложение разработано с использованием кроссплатформенных технологий программирования и может быть легко адаптировано к различным операционным системам.

Библиографические ссылки

1. *Костюченко С. С.* Кислотно-основное состояние: физиология, нарушения, коррекция : М.: Медицинская литература, 2024. 336 с.
2. *Берксон Л. Д.* Кислотно-щелочное состояние и его нарушения : М.: Медгиз, 1980. 340 с.
3. *Гайдуков А. Н., Корягин А. В.* Метаболические нарушения: современные подходы к диагностике и лечению : СПб.: Питер, 2010. 256 с.
4. *Розен П.* Анализ кислотно-щелочного состояния: руководство для практиков : М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. 152 с.
5. *Хендерсон Л. Дж.* Физико-химические аспекты кислотно-щелочного равновесия : Н.-Й.: Академик Пресс, 1971. 350 с.
6. Kivy Documentation: Programming Guide. URL: <https://kivy.org/doc/stable/> (дата обращения: 18.12.2024).
7. *Тимофеев А. В.* Python и фреймворк Kivy: создание кроссплатформенных приложений : М.: ДМК Пресс, 2022. 288 с.