

РЕГИОНАРНЫЙ ЧРЕСКОЖНЫЙ ГАЗООБМЕН: ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕГО

А.И. Левшанков¹, К.А. Левшанков²

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

² Госпиталь Святой Елены, Ливерпуль, Великобритания

Более чем за 200 лет показана важная роль кожи в жизнедеятельности организма. Однако по сей день большинство вопросов газообмена через кожу, особенно регионарного (РЧКГ), не решены. Даже в современных учебниках для вузов по дисциплинам нормальная физиология, патологическая физиология, дерматовенерология, анестезиология и реаниматология газообмен через кожу не представлен или информация в них недостаточна. Это побудило нас представить данные литературы и собственных исследований, подтверждающих теоретическую и практическую значимость регионарного чрескожного газообмена. В первой, данной, статье представлены физиологические механизмы РЧКГ и факторы, влияющие на него, показана роль РЧКГ в жизнедеятельности организма.

- **Ключевые слова:** поглощение кислорода и выделение углекислого газа кожей, физиологические механизмы и роль регионарного чрескожного газообмена

Для корреспонденции: Левшанков Анатолий Ильич — д-р мед. наук, профессор кафедры анестезиологии и реаниматологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург; e-mail: anlev@inbox.ru

REGIONAL TRANSCUTANEOUS GAS EXCHANGE: PHYSIOLOGICAL MECHANISMS AND FACTORS INFLUENCING IT

A.I. Levshankov¹, K.A. Levshankov²

¹ Kirov's Military Medical Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation

² Saint Helens Hospital, Liverpool, United Kingdom

An important role of the skin in the life of the body has been shown for more than 200 years. Till nowadays, however, most issues of gas exchange through the skin have not been resolved. That particularly concerns regional transcutaneous gas exchange. Information on transcutaneous gas exchange lacks or is insufficient even in modern textbooks for medical school on normal physiology, pathological physiology, dermatology, anesthesiology and intensive care. For this reason we review data from literature and our own studies, confirming theoretical and practical significance of general and regional percutaneous gas exchange. The first article presents physiological mechanisms of regional transcutaneous gas exchange factors that influence it. Role of general and regional transcutaneous gas exchange in the vital activity of the organism is shown.

- **Keywords:** oxygen consumption and carbon dioxide excretion, physiological mechanisms and the role of total and regional transcutaneous gas exchange

For correspondence: Levshankov Anatolii Ilijich — Doct. Of Med. Sci., prof. Department of Anesthesiology and Reanimatology, Kirov's Military Medical Academy, Saint-Petersbur; e-mail: anlev@inbox.ru



Антуан Лоран Лавуазье (фр. Antoine Laurent de Lavoisier, 1743–1794), французский естествоиспытатель, основатель современной химии, впервые выяснил роль кислорода в процессах горения, окисления и дыхания (1772–1977), провел калориметрические исследования [1].

Джозеф фон Герлах первым показал, что кожа человека использует кислород из окружающего воздуха, она абсорбирует O₂ и выделяет CO₂ [2]

Фитцджеральд (Fitzgerald L.R.) предложил понимать дыхание через кожу как процесс газообмена самой кожи (т. е. поглощение O₂ и выделение CO₂ структурными элементами кожи) [3].

Более чем за 200 лет показана важная роль кожи в жизнедеятельности организма. Однако по сей день

большинство вопросов чрескожного газообмена (ЧКГ), особенно регионарного (РЧКГ), не решены, им уделяется мало внимания. Даже в современных учебниках для вузов по дисциплинам нормальная физиология, патологическая физиология, дерматовенерология, анестезиология и реаниматология газообмен через кожу не представлен или информация о нем недостаточна. Из 7 учебников, используемых в вузах в настоящее время [4–10], дыхательная функция кожи представлена лишь в виде двух-трех предложений [5, 6]. Поэтому мы решили представить некоторые данные литературы и собственных исследований, подтверждающих теоретическую и практическую значимость регионарного чрескожного газообмена.

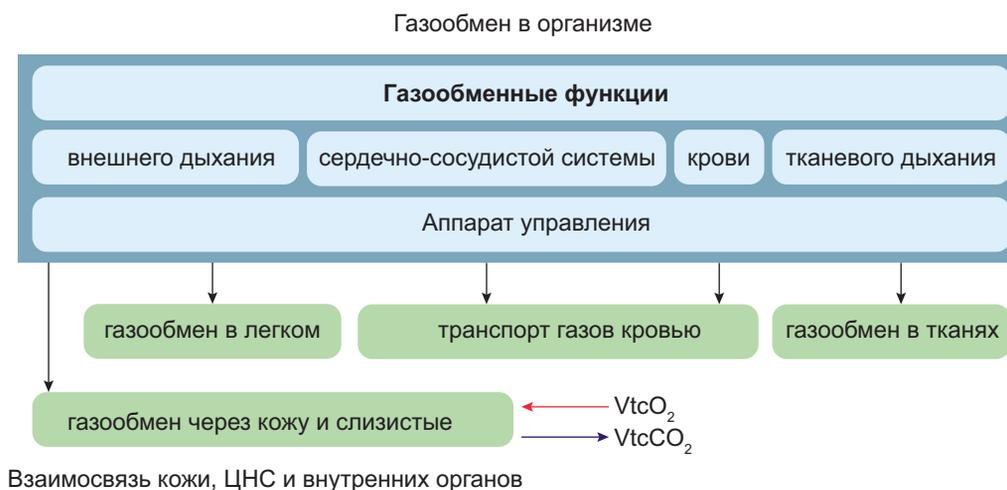


РИС. 1. Схема газообмена в организме человека

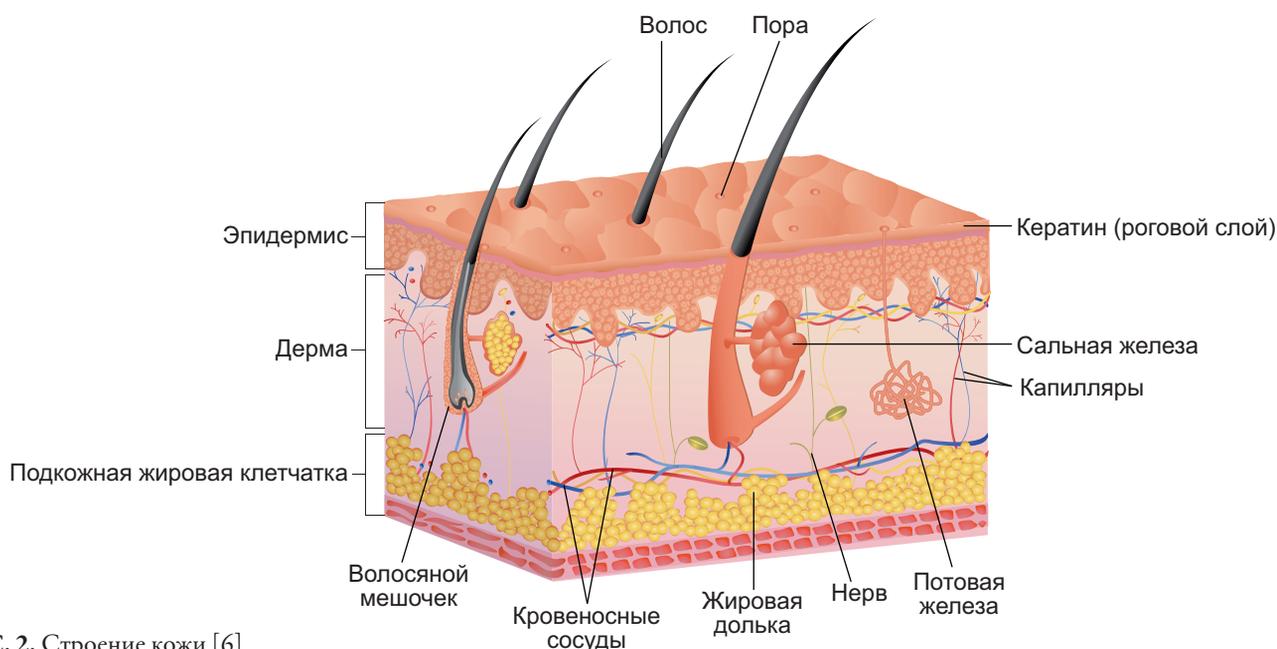


РИС. 2. Строение кожи [6]

Физиологические механизмы чрескожного газообмена

Все живые существа нуждаются в кислороде, который поступает в организм через жабры (рыбы), трахею (насекомые), легкие (наземное позвоночное), кожу (наземные позвоночные).

С учетом дыхательной функции кожи газообмен у человека обеспечивается (рис. 1): дыхательной функцией внешнего дыхания (легкого и кожи), сердечно-сосудистой системой и крови, тканевого дыхания.

Кожа состоит (рис. 2) из эпидермиса и дермы, под которой находится подкожная клетчатка. Обновление эпидермиса происходит за 12–14 дней [6, 8, 11]. Толщина кожи в различных регионах тела разная: голова — $1,8 \pm 0,4$ мм, предплечье — $1,5 \pm 0,3$ мм, голень — $1,6 \pm 0,3$ мм [12]. В 1 см^2 кожи — 6 млн клеток, 5000 сенсорных точек, 100 потовых и 15 сальных желез.

Кровь доставляется к эпидермису в результате разветвленной сети капилляров, петли которых располагаются почти перпендикулярно поверхности эпидермиса, формируя *stratum papillare*. Плотность капилляров в различных регионах кожи разная: на предплечье — 27–51, на голове — 16–158 капилляров/ мм^2 [13]. На различных уровнях кожи располагаются также большое количество артериовенозных анастомозов и несколько венозных сплетений. Мобилизация в них крови вследствие централизации кровотока при критических состояниях может увеличить ОЦК на 10 % [13]. Кровоток в коже предплечий и конечностей в условиях покоя и комнатной температуры равен $0,04\text{--}0,05 \text{ мл/г} \times \text{мин}^{-1}$ [14]. В условиях покоя кровоток кожи составляет около 4 % сердечного выброса, а при некоторых состояниях увеличивается в 20 раз [15].

Кожа — сложный и очень важный многофункциональный орган, который теснейшим образом взаимосвязан с другими органами и системами, поэтому разнообразные

Таблица 1

Поглощение кислорода в альвеолах и через кожу

Показатели	Величины (мл) показателей газообмена		
	общая	1 м ² кожи	1 см ² кожи
VO ₂ в альвеолах, мл/мин	250	2,1	0,021
VtcO ₂ , мл/мин	5	2,5	0,025

физиологические и патологические процессы отражаются в коже или протекают с ее участием [6]. Физиологические функции кожи: защитная, иммунная, рецепторная, терморегуляционная, секреторная, экскреторная, дыхательная, резорбционная, обменная, эндокринная. Многообразные функции кожи определяют и ее важную роль в жизнедеятельности организма.

Некоторые кожные заболевания могут стать причиной нарушения какой-либо функции кожи (так называемая «недостаточность кожи»): потеря нормального контроля за терморегуляцией, водно-солевым и белковым балансом организма, потеря механического, химического и микробного барьера. По широте физиологических функций кожа превосходит все другие органы. Наиболее важными функциями кожи являются защита организма от вредных факторов внешней среды и поддержание гомеостаза.

Ярким примером роли кожи в жизнедеятельности организма явилась гибель полностью покрытого золотой краской мальчика в честь приходящего Золотого века — «Золотого мальчика Купидона» [16].

Газообменная функция кожи

Очень важной является газообменная функция кожи, которую определяли с помощью математических формул или микроэлектродов [15]. Fitzgerald L.E. [3], исходя из толщины эпидермиса (42–137 мкм) и расчетной по математической формуле средней диффузионной дистан-

ции для кислорода (48 мкм), предположил, что эпидермис получает необходимое количество кислорода из атмосферы путем его диффузии. При отсутствии кислорода над кожей для метаболических нужд кислород поступает из капиллярного русла, при этом возрастает легочное потребление кислорода на 10 %. Эти данные подтверждены другими авторами [17, 18]. Выделяемый через кожу в атмосферу CO₂ является суммарным из эпидермиса, дермы и из наиболее поверхностных кожных сосудов. Таким образом, по данным многих авторов, РЧКГ наружных слоев кожи происходит за счет диффузии O₂ из атмосферы (извне) и в меньшей степени из капиллярного русла дермы (изнутри).

В XIX веке считали, что в состоянии покоя газообмен через кожу с атмосферой составляет не более 1 % легочного газообмена, а в XX–XXI веках — 2–3 % [19].

Поверхность кожи взрослого человека составляет 1–2 м², а легких — 120 м². Поглощение кислорода (VtcO₂) в покое — 1,5–2,0 % от общего их газообмена (2 % от 250 мл/мин = 5 мл/мин). ДОК + 1,4 ± 0,1 [20]. Однако поверхность альвеол более чем 60 раз больше (120 м²), чем кожи (1–2 м²). Поэтому если рассчитать с 1 см², то по интенсивности VtcO₂ даже превосходит VO₂ (табл. 1).

Скорость перфузии и поглощения O₂ в разных органах человека разная [21] (табл. 2). Потребление кислорода кожей при температуре окружающего воздуха 37 °С составляет 0,002–0,003 мл/г × мин⁻¹, в то время как скелетная мускулатура потребляет 26,3 % O₂ от основного метаболизма, мозг — 18,3 %, сердце — 9,2 % [15].

Кожный кровоток изменяется в пределах от 0,03 до 0,1 мл/г × мин⁻¹ или в целом (учитывая, что общая масса кожных покровов составляет 5000 г) от 150 до 500 мл/мин.

Факторы, влияющие на чрескожный газообмен

В покое за сутки человек поглощает через кожу 3–6,5 г кислорода, выделяет 7,0–28,0 г углекислого газа. Количе-

Таблица 2

Зависимость поглощения кислорода органами от скорости перфузии (масса 70 кг, площадь поверхности тела 1,7 м²) по Уэйду и Бишопу [22]

Сосудистая область	Кровоток		Поглощение O ₂		Масса	
	мл/мин	% от общего	мл/мин	% от общего	г	% от общей
Чревная	1400	24	58	25	2800	4,0
Почечная	1100	19	16	7	300	0,4
Головной мозг	750	13	46	20	1500	2,0
Сердце	250	4	27	11	300	0,4
Скелетные мышцы	1200	21	70	30	30000	43,0
Кожа	500	9	5	2	5000	7,0
Прочие органы	600	10	12	5	30100	43,2
Итого	5800	100	234	100	70000	100,0



РИС. 3. Изменения на коже и слизистых оболочках при различных заболеваниях:
а, б, в — Синдром Стивенса—Джонсона; *г* — акне (прыщи), герпес, пролежень и экзема

ство кислорода, поглощаемого кожей, может возрастать до 7 % общего количества кислорода, поступающего в организм.

Газообмен через кожу зависит от многих факторов [17, 18]:

1. Температура воздуха 18–20°C увеличивает V_{tCO_2} в 1,5–2 раза, а при 40°C — в 2,5–3 раза.
2. При интенсивной мышечной работе в горячих цехах газообмен через кожу достигает 15–20 % легочного газообмена.
3. Чем больше потоотделение и чем быстрее циркулирует кровь через кожу, тем интенсивнее кожный газообмен.

4. Утолщение эпидермиса уменьшает газообмен.

5. С возрастом газообмен через кожу уменьшается.

6. Увеличивается при пищеварении, развитии в коже воспалительных процессов.

При повышении FO_2 в окружающей кожу газовой смеси до 65 % в пересчете на 1 м² поверхности кожи тела в среднем [17, 18]: V_{tCO_2} увеличивается в 33 раза, а V_{tCO_2} , наоборот, уменьшается на 45 %.

При сравнении этих данных через отдельные участки кожи:

- V_{tCO_2} кожи груди на 40 % больше по сравнению с V_{tCO_2} всего тела;
- V_{tCO_2} кожи живота соответственно на 42 % больше;

- $VtCO_2$ кожи бедра на 6 % меньше, чем $VtCO_2$ груди и живота;
- $VtCO_2$ кожи бедра в 2,6 раза меньше, чем кожи груди, и в 3 раза — кожи живота.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что путем создания в окружающем кожу воздухе повышенной концентрации кислорода можно значительно увеличить поступление его через кожу и тем самым, по-видимому, повысить работоспособность организма человека.

Учитывая важность не только дыхательной, но и других функций кожи, ее называют зеркалом здоровья, самым чутким барометром, отражающим наше здоровье и нездоровье. На ней происходит зеркальное отражение эмоций при любом стрессе (страх и радость, стыд и волнение) и их признаки — резкая бледность, обильный пот, «гусиная кожа», пятнистая эритема и т. д. [5, 6, 8, 20, 21]. В ряде случаев функциональная недостаточность кожи проявляется кожными заболеваниями (рис. 3) [5, 8, 23]. Следует всегда помнить, что кожа в определенной степени влияет на социальные и сексуальные взаимоотношения людей (внешний вид, запах и пр.). Устранение заболевания внутренних органов, правильный режим труда и отдыха, полноценное и регулярное питание, занятия спортом, поддержание хорошего состояния здоровья благоприятно отражаются и на внешнем виде человека.

Заключение. При патологических состояниях очень важно осуществлять оценку и контроль одной из важнейших функций кожи — регионарного чрескожного газообмена.

Следующая статья — «Возможности оценки регионарного чрескожного газообмена в критической медицине».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Левшанков А.И. — обработка материала, написание и редактирование статьи; Левшанков К.А. — обработка материала, написание статьи.

ORCID авторов

Левшанков А.И. — 0000-0002-2982-1246

Левшанков К.А. — 0000-0002-8443-4345

Литература/References

1. Антуан Лоран Лавуазье: биография [электронный ресурс]. URL: <http://to-name.ru/biography/antuan-loran-lavuaze.htm> (дата обращения: 22.12.2017). [Antoine Laurent de Lavoisier: biography [Internet]. URL: <http://to-name.ru/biography/antuan-loran-lavuaze.htm> (accessed 22.12.2017). (In Russ)]
2. Gerlach J. Uber das Hautathmen. Arch. f. Anat. Physiol. u. Wissenschaftl. Medicin. 1851; 431–479.
3. Fitzgerald L.E. Cutaneous respiration in man. Physiol. Rev. 1957; 37: 325–336.
4. Анестезиология: национальное руководство. Под ред. А.А. Бунятына, В.М. Мизикова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. [Anesthesiology: National guidelines. Eds.: A.A. Bunatian, V.M. Mizikov. Moscow: GEOTAR-Media, 2014. (In Russ)]
5. Дерматовенерология: учебник. Под ред. А.В. Самцова, В.В. Барбинова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. [Dermatovenereology: a textbook. Eds.: A.V. Samtsova, V.V. Barbinova, 3rd ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2016. (In Russ)]
6. Чеботарев В.В., Тамразова О.Б., Чеботарева Н.В., Одинец Л.В. Дерматовенерология: учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. [Chebotarev V.V., Tamrazova O.B., Chebatoreva N.V., Odinets L.V. Dermatovenereology: a textbook. Moscow: GEOTAR-Media, 2013. (In Russ)]
7. Интенсивная терапия: национальное руководство: в 2 т. Под ред. Б.Р. Гельфанда, А.И. Салтанова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. [Intensive Care: National guidelines. Eds.: B.R. Gelfand, A.I. Saltanov. Moscow: GEOTAR-Meditsina, 2009. (In Russ)]
8. Клиническая дерматовенерология: руководство для врачей: в 2 т. Под ред. Ю.К. Скрыпника, Ю.С. Бутова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. [Clinical dermatovenereology: guide for doctors: in 2 vol. Eds.: Yu.K. Skrypnik, Yu.S. Butova. Moscow: GEOTAR-Media, 2009. (In Russ)]
9. Нормальная физиология: учебник. Под ред. Б.И. Ткаченко. 3-е изд. испр. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. [Normal physiology: a textbook. Ed. B.I. Tkachenko. 3rd ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2014. (In Russ)]
10. Литвицкий П.Ф. Патофизиология: учебник: в 2 т. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. [Litvitskii P.F. Pathophysiology: a textbook, in 2 vol. 5th ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2012. (In Russ)]
11. Janitzki A., Gotte A. Hautwiderstandsmessungen zum Aktivitätsnachweis des Sympathicus bei der Spinalanaesthesie. Anaesthesist. 1986; 35: 49–53.
12. Fornage B.D., Deshayes J.L. Ultrasound of normal skin. J. Clin. Ultrasound. 1986; 14: 619–622.
13. Ryan T.J. The blood vessels of the skin. In: The physiology and pathophysiology of the skin. London: Academic, 1973: 577–801.
14. Winsor T., Haumschild D.J., Winsor D.W., et al. Clinical application of laser Doppler flowmetry for measurement of cutaneous circulation in health and disease. Angiology. 1987; 38: 727–736.
15. Lubbers D.W. Theory and development of transcutaneous oxygen pressure measurement. Int. Anesth. Clin. 1987; 25: 31–65.
16. Так все-таки кожа дышит или не дышит? [электронный ресурс]. URL: <http://grim.com.ru/showthread.php?t=501> (дата обращения: 22.12.2017). [So all the same the skin breathes or does not breathe? [Internet]. URL: <http://grim.com.ru/showthread.php?t=501> (accessed 22.12.2017). (In Russ)]
17. Петрунь Н.М. Газообмен через кожу и его значение для организма человека. М.: Медгиз, 1960. [Petrun' N.M. Gas exchange through the skin and its value for the human organism. Moscow: Medgiz, 1960. (In Russ)]
18. Петрунь Н.М. Дыхание через кожу и его значение для организма человека: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Киев, 1959. [Petrun' N.M. Breathing through the skin and its value for the human organism. Doctor of med. Sciences thesis. Kiev, 1959. (In Russ)]
19. Barratt W. On the normal and pathological elimination of carbonic acid and of water by the skin. J. Physiol. 1897; 21(2–3): 192–208.
20. Ernstene A.C., Volk M.C. Cutaneous respiration in man. J. Clin. Invest. 1932; 11: 363–390.
21. Физиология человека: пер с англ.: в 3 т. Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. М.: Мир, 1996. [Human Physiology. Eds.: R.F. Schmidt and G. Thews. Translated from English. Moscow: Mir, 1996. (In Russ)]
22. Wade O.L. Cardiac Output and Regional Blood Flow. Oxford: Blackwell, 1962. [Internet]. URL: <https://studfiles.net/preview/2065596/page:9/>
23. Синдром Стивенса—Джонсона, фото у детей и взрослых, симптомы [электронный ресурс]. URL: <https://syp-foto.ru/sindrom-stivens-johnson/> (дата обращения: 22.12.2017). [Stevens-Johnson syndrome, adult and children photo, symptoms [Internet]. URL: <https://syp-foto.ru/sindrom-stivens-johnson/> (accessed 22.12.2017). (In Russ)]

Поступила 13.02.2018