

---

## ФАКТОРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОСТАВКИ КИСЛОРОДА К МЫШЦАМ

Кислухина Е.В.<sup>1</sup>, старший научный сотрудник, *kislukhinaev@sklif.mos.ru*

Кислухин В.В.<sup>2</sup>, *viktork08@gmail.com*

<sup>1</sup> ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского, Москва, Россия

<sup>2</sup> Самозанятый

**Аннотация.** Предложены оценки факторов микроциркуляции, влияющих на доставку кислорода к тканям, позволяющие оценить адекватность доставки кислорода к работающим мышцам.

**Ключевые слова:** доставка кислорода, микроциркуляция, капилляры, гематокрит, оксигемоглобин

---

## FACTORS THAT ENSURE THE EFFECTIVENESS OF OXYGEN DELIVERY TO MUSCLES

Kislukhina E.V.<sup>1</sup>, Senior researcher, *kislukhinaev@sklif.mos.ru*

Kislukhin V.V.<sup>2</sup>, *viktork08@gmail.com*

<sup>1</sup> Scientific Research Institute named after N.V. Sklifosovsky, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Self-employed

**Abstract.** Estimates of microcirculation factors affecting oxygen delivery to tissues are proposed to assess the adequacy of oxygen delivery to working muscles.

**Keywords:** oxygen delivery, microcirculation, capillaries, hematocrit, oxyhemoglobin

---

**Обоснование.** На всех этапах тренировки важно иметь адекватную доставку кислорода. В частности, при восстановлении после нагрузки. Факторы снабжения связаны формулой  $DO_2=1,34 \times Q \times Ht_a \times HbO_{2a}$  [1], где Q – кровоток,  $Ht_a$  – артериальный гематокрит, а  $HbO_{2a}$  – оксигенация артериальной крови. Также на доставку влияет нерегулярность кровотока в микрососудах. Крог [2] указывал, что «каждый капилляр должен попеременно открываться и закрываться, тогда положение открытых капилляров будет изменяться, вследствие чего однообразно орошается вся ткань. Если бы открытыми оставались всегда одни и те же

капилляры, то распределение веществ, приносимых ими, было бы очень неравномерным». Артериальный гематокрит  $Ht_a$  определяется распределением эритроцитов между центральной циркуляцией и микроциркуляцией, определяемым клеточным фактором  $KФ = Ht_b/Ht_a$ , где  $Ht_b = [\text{объем эритроцитов}]/[\text{объем крови}]$ , гематокрит всего тела. В капиллярах  $O_2$  переходит в ткань как диффузией, так и конвекцией. К. Бернард (1867) указывал, что работа пре и пост капиллярных сфинктеров определяет насыщение ткани водой, а также направление потока между тканью и открытыми микрососудами (цит. по [3]). Соответственно, направление конвекции веществ между тканью и открытыми капиллярами определяется отечностью ткани.

**Цель:** представить методы оценки факторов, определяющих доставку  $O_2$ .

**Методы.** (1) Кровоток,  $Q$ . В покое, в любой ткани, перфузируется малая часть капилляров (в мышцах 3-5%). Другими словами, следует знать не только кровоток, но и скорость вазомоций  $R$ , определяющую скорость перемещения открытых капилляров [3]. Получить величину  $R$  можно, используя ЛДФ-грамму. Проведя преобразование Фурье временного ЛДФ-ряда, можно получить среднюю спектральную частоту, по которой и находится  $R$ . (2) Артериальный гематокрит  $Ht_a$ .  $KФ$  составляет в норме примерно 0,9, но может меняться от 0,6 до 1,4. В эксперименте получение  $KФ$  осуществлялось при заборе крови и одновременной регистрации ее плотности. Забор крови, имеющей артериальный гематокрит, вел к падению плотности крови (выходила из микроциркуляции кровь с меньшим гематокритом). Скорость падения плотности определяла  $KФ$ . (3) Чтобы определить вклад конвекции в перенос  $O_2$ , и реализуется ли он, надо знать направление потока. Вазомоторная активность пре и пост капиллярных сфинктеров определяет 4 типа капилляров по отношению к перетоку жидкости ткань-кровь: (а) открытые (по ним течет кровь), через которые жидкость может как поступать в ткань, так и выводиться из ткани; (б) закрытые только с венозной стороны, А-капилляры, в этих капиллярах давление близко к артериальному и жидкость из них идет в ткань; (в) закрытые только с артериальной стороны В-капилляры, в этих капиллярах давление почти венозное и жидкость поступает в них; (г) капилляры, закрытые с обеих сторон. Преобладание А-капилляров ведет к росту жидкости в ткани и прекращению конвекции из О-капилляров, а при преобладании В-капилляров количество жидкости в ткани снизится (снизится и тканевое давление) и конвекция из О-капилляров возрастет наличие дыхательного ритма в спектре ЛДФ сигнала указывает на преобладание В-капилляров, и конвекционный выход кислорода из функционирующих капилляров. При выраженной артериализации органа конвекция кислорода отсутствует.

**Результаты.** Если после максимальной нагрузки, при которой практически все капилляры открыты, возникает кислородный долг (пул анаэробных продуктов), то растет роль указанного Кругом перемещения «открытости» микрососудов. Величина  $KФ$  определяет

распределение эритроцитов между системной и микроциркуляцией, КФ. При большом КФ эритроциты находятся, в основном, в микроциркуляции. В эксперименте было получено, что КФ меняется от 0,65 до 1,0, а R меняется от 0,02 до 2,0. В результате доставка кислорода может меняться в 2-3 раза. Перенос веществ из притекающей крови в ткань, конвекция, зависит от соотношения между А-капиллярами и В-капиллярами. Это соотношение предлагается оценивать величиной площадей спектра в дыхательном и сердечном диапазоне.

**Заключение.** Предложены оценки факторов микроциркуляции, влияющих на доставку O<sub>2</sub> тканям, позволяющие оценить адекватность доставки кислорода к работающим мышцам.

### Список литературы

1. Герман И. Физика организма человека, 2-е изд. (пер. с англ.). Долгопрудный: Интеллект, 2014. – 991 с.
2. Крог А. Анатомия и физиология капилляров (пер. с англ.). М.: Русский шахматный дом, 2020. – 210 с.
3. Fishman A.P., Richards D.W. (Eds.) Circulation of the blood: men and ideas. American Physiological Society, 1982. – 859 p.

---

### References

1. Herman I.P. Physics of the human body, 2nd ed. N.Y.: Springer, 2016, 977 p.
2. Krogh A. The anatomy and physiology of capillaries. Yale University Press, 1922, 305 p.
3. Fishman A.P., Richards D.W. (eds.) Circulation of the blood: men and ideas. American Physiological Society, 1982, 859 p.