

А.А. ГУСЛІСТІЙ,¹ М.П. МАЛОМУЖ,² А.І. ФІСЕНКО²¹ Одеський Обласний Медичний Центр Психічного Здоров'я
(Вул. Воробійова, 9, Одеса 65006; e-mail: aguslisty@gmail.com)² Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
(Вул. Дворянська, 2, Одеса 65026; e-mail: mpr@onu.edu.ua)

ОПТИМАЛЬНА ТЕМПЕРАТУРА ЖИТТЄВОЇ АКТИВНОСТІ ЛЮДИНИ

УДК 538.93, 612.1

В роботі приймається, що оптимальна температура життєактивності людини відповідає максимальному переносу кисню артеріями в одиницю часу. З огляду на це хімічні перетворення в клітинах будуть найбільш інтенсивними. Встановлено, що перенос кисню визначається, перш за все, ступенем насиченості крові киснем та в'язкістю плазми крові. Обидві ці характеристики залежать від температури та показника лужно-кислотного балансу крові. Враховуються також додаткові параметри, які впливають на об'єм еритроцитів, а разом з тим і на температуру максимального переносу кисню. При цьому вважається, що еритроцити впливають на зсувну в'язкість крові у той самий спосіб, як домішкові частинки на в'язкість суспензій. Показано, що за нормальних умов оптимальна температура складає 36,6 °С. Обговорюється залежність оптимальної температури життєвої активності людини від показника кислотно-лужного балансу.

Ключові слова: зсувна в'язкість крові, еритроцити, насиченість гемоглобіну киснем, лужно-кислотний баланс.

1. Вступ

Закономірності існування живої матерії викликали інтерес з боку фізиків від самого початку їх встановлення. Цей факт є цілком природним, оскільки живі організми складаються з молекул та іонів, рух і взаємодія яких між собою визначаються виключно фізичними законами. Не виключенням з цієї картини є і значення температури нормального життєдіяльності людини, яка становить 36,6 °С.

Відхилення від неї виникають внаслідок якихось захворювань. Якщо ж температура підвищується до 42 °С, або знижується до 32 °С [1], виникає загроза смерті людини. Зазвичай, значення граничних температур пов'язується з особливостями функціонування протеїнів в живому організмі [1–3]. Але останні не є ізольованими об'єктами і знаходяться, як правило, у біофізичному розчині, основу якого складає вода. Тому у роботах [4–7] було висловлено припущення, що саме властивості води можуть відповідати за існування границь живої матерії і, зокрема, температурних границь життє-

діяльності людини. У згоді з цим, в роботах [8–10] було показано, що температура 42 °С є температурою, при якій зникає кристалоподібний характер теплового руху молекул води. В більш загальному смислі це є температура динамічного фазового переходу у воді, наслідком якого є зміна характеру теплового руху молекул, а також втрата водою своєї льодоподібної структури при більш високих температурах [5].

В роботах [11] виявлено, що 36,6 °С теж є характерною температурою існування води. Саме при цій температурі і нормальному тискові ізобарна теплоємність води є мінімальною, що утворює найбільш сприятливі умови для теплообміну в організмі є тісно пов'язаними з процесами окислення. Тобто, слід чекати, що при температурі 36,6 °С процеси окислення теж повинні характеризуватись екстремальними властивостями.

В представленій роботі буде встановлено, що швидкість переносу кисню судинами людини, дійсно, характеризується максимумом при температурі 36,6 °С. Крім того, ми встановимо деякі важливі фактори, які можуть впливати на зсув цієї температури в той чи інший бік. Можливо, що

© А.А. ГУСЛІСТІЙ, М.П. МАЛОМУЖ,
А.І. ФІСЕНКО, 2018

ISSN 0372-400X. Укр. фіз. журн. 2018. Т. 63, № 9

809

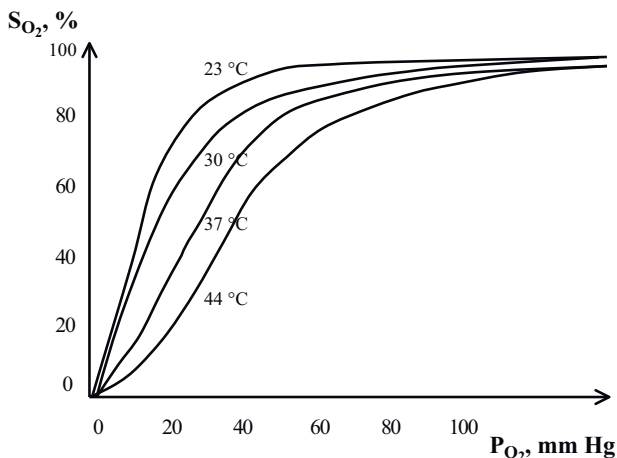


Рис. 1. Залежність ступеня насиченості (S_{O_2}) гемоглобіну крові киснем від його парціального тиску (P_{O_2}) при різних температурах згідно з [14]

саме вони спричинюють помітний зсув нормальної температури життєвої активності для птахів і деяких ссавців [12]. З регулюванням киснепереносу тісно пов'язані і напрямки розробок ліків, тому формулювання нового погляду на вказану проблему є дуже важливим.

2. Означення оптимальної температури

Введемо, за означенням, оптимальну температуру життєдіяльності людини у наступний спосіб. Будемо вважати, що оптимальна температура T_0 відповідає максимуму потоку кисню $J_{O_2}(T, pH, q)$ судинами людини:

$$T_0 \Leftrightarrow \max J_{O_2}(T, pH, q), \tag{1}$$

де T є температурою, pH – мірою концентрації іонів водню в розчині артеріальної крові, а q – сукупністю всіх інших суттєвих показників. Тут зразу ж треба зазначити, що показник pH лужно-кислотного балансу є сумою двох внесків: $pH = pH(T) + pH'$, які відповідають звідній і незвідній складовим. Тому в подальшому основна увага буде зосереджуватись на залежності $J_{O_2}(T, pH, q)$

Таблиця 1. Значення $\alpha(T, pH_0)$ в залежності від температури

$T, ^\circ C$	23	30	37	44
$\alpha(T)$	2,66	2,33	1,66	1

від незвідної складової. Теж саме відноситься і до сукупності показників q .

В більш загальному смислі $\max J_{O_2}(T, pH, q)$ визначає всі основні параметри стану людини:

$$T_0, pH_0, q_0 \Leftrightarrow \max J_{O_2}(T, pH, q), \tag{2}$$

але в представленій роботі наша основна увага буде зосереджена на визначенні оптимальної температури при рівноважних значеннях всіх інших параметрів. Фактично, максимум потоку кисню є передумовою найбільш інтенсивного протікання усіх процесів життєдіяльності в організмі людини. Перенос кисню якоюсь судиною за одиницю часу J_{O_2} є пропорційним добутку потоку крові Q_B в ній за одиницю часу на ступінь насиченості гемоглобіну крові киснем S_{O_2} :

$$J_{O_2}(T, pH, q) = Q_B(\Delta P)n(T, pH, q)S_{O_2}(T, P_{osm}, pH, q). \tag{3}$$

Тут $n(T, pH, q)$ – густина гемоглобіну в крові, P_{osm} є осмотичним тиском кисню всередині еритроциту, а ΔP позначає перепад тиску між двома перерізами судини, розділеними відстанню l . Зв'язок між перепадом тиску, радіусом r судини, довжиною l її ділянки та потоком крові через її поперечний переріз визначається співвідношенням [13]:

$$Q_B(\Delta P) = \frac{\pi r^4}{8l\eta} \Delta P, \tag{4}$$

в якому η – динамічна зсувна в'язкість крові. Ступінь насиченості S_{O_2} гемоглобіну крові киснем в залежності від його осмотичного тиску та температури визначено в роботах [14–16] (див. рис. 1):

Наближено ці залежності описується формулою:

$$S_{O_2}(T, P_{osm}) = \text{th}(\alpha(T, pH_0), P_{osm}), \tag{5}$$

де значення коефіцієнту $\alpha(T, pH_0)$ вміщено до таблиці 1.

Таким чином, перенос кисню судиною залежить від температури згідно з формулою:

$$J_{O_2}(T, pH_0, q_0) = \chi(r, l, \Delta P)F(T, P_{osm}, pH_0, q_0),$$

$$\chi = \frac{\pi r^4}{8l}n(T, pH, q)\Delta P, \tag{6}$$

$$F(T, P_{osm}, pH_0, q_0) = \frac{S_{O_2}(T, P_{osm}, pH_0, q_0)}{\eta(T, pH_0, q_0)},$$

тобто, оптимальна температура життєактивності людини визначатиметься з умови максимуму:

$$\max F(T, P_{\text{osm}}, p\text{H}_0, q_0) \rightarrow T_0. \quad (7)$$

Як бачимо, значення оптимальної температури життєвої активності суттєво залежить від зсувної в'язкості крові $\eta(T, p\text{H}_0)$.

3. Зсувна в'язкість крові

Це питання детально розглядається нами в окремій роботі. Вважається, що в'язкість крові формується за тим самим механізмом, що і в'язкість суспензії, при цьому, роль частинок суспензії відіграють еритроцити, а роль розчинника – плазма крові. Всі інші чинники, такі як лейкоцити, тромбоцити, протеїни плазми крові займають значно менший фракційний об'єм і приводять до суттєво меншого внеску до зсувної в'язкості. Додамо, що хоча лінійні розміри лейкоцитів є тільки в півтора-два рази меншими від розмірів еритроцитів, їх густина в крові є на два порядки меншою.

У згоді з цією якісною картиною, зсувну в'язкість крові можна подати у вигляді (див. [17]):

$$\eta(T, p) = \eta_p(T, p\text{H})\Gamma(\Psi), \quad (8)$$

$$\Gamma(\Psi) = \frac{\Psi(1 - \Psi)}{\Psi(1 - \Psi) + 1 - \sqrt{1 + \Psi^2(1 - \Psi)}},$$

де $\eta_p(T, p\text{H})$ – в'язкість плазми крові, а величина

$$\Psi = \frac{R_{\text{er}}^3}{R^3} \quad (9)$$

представляє собою відношення усередненого об'єму еритроцита до об'єму чарунки з радіусом R . Зазначимо, що формула (8) отримана за допомогою чаруночного методу, який повністю узгоджується з формулами Айнштайна [18, 19] і Бетчелора [20] для розріджених та помірно розріджених суспензій, відповідно. Радіус чарунки, в свою чергу, є пов'язаним з середньою відстанню R_G між еритроцитами співвідношенням:

$$R = (\alpha_0 + \alpha_1\Phi + \alpha_2\Phi^2 + \dots) R_G, \quad (10)$$

де $\Phi = \frac{\pi}{3} \frac{R_{\text{er}}^3}{R_G^3}$ – величина відносного об'єму, що займається еритроцитами в плазмі крові. Коefіцієнти

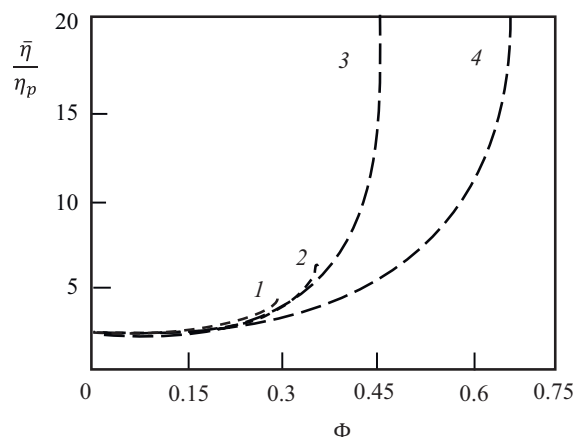


Рис. 2. Залежність відносної величини в'язкості крові (по відношенню до в'язкості її плазми) від питомого об'єму Φ : крива 1 відповідає формулі Айнштайна [18] для розрідженої суспензії, крива 2 – формулі Бетчелора [20], крива 3 побудована за формулами (8)–(11), крива 4 відповідає модельній формулі для щільної суспензії з [28]

ти α_i розкладу (10) згідно з [17] дорівнюють:

$$\alpha_0 = \left(\frac{6}{2,5\pi}\right)^{1/3} = 0,93, \quad (11)$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi\alpha_0^4}{18} \left(\left(\frac{6}{\pi\alpha_0^3}\right) - 5,2\right) = 0,127,$$

$$\alpha_2 = 0,03.$$

Використаний нами чаруноковий підхід, як показано в [17], дозволяє успішно описати поведінку зсувної в'язкості суспензії впритул до $\Phi \approx 0,45$, що набагато перевищує верхню межу застосування виразів, отриманих за допомогою гідродинамічної теорії збурень [21, 22]. Безпосередньо функція $\Gamma(\Psi)$ залежить тільки від питомого об'єму Φ ($\Psi = \Psi(\Phi)$), значення R_G теж визначаються величиною Φ : $R_G = R_G(\Phi)$. Але значення Φ залежить і від розміру еритроцитів, що змінюється як з температурою [23, 24] та із зміною показника лужно-кислотного балансу [25, 26], так і внаслідок додавання певних інгредієнтів, зокрема, лактати [27]. Характер залежності зсувної в'язкості від величини питомого об'єму представлено на рис. 2.

В певному наближенні можна знехтувати залежністю об'єму еритроциту від температури та показника лужно-кислотного балансу, а всі інші параметри крові q можна вважати такими, що приймають рівноважні значення. В цьому наближенні оптимальна температура життєдіяльності людини

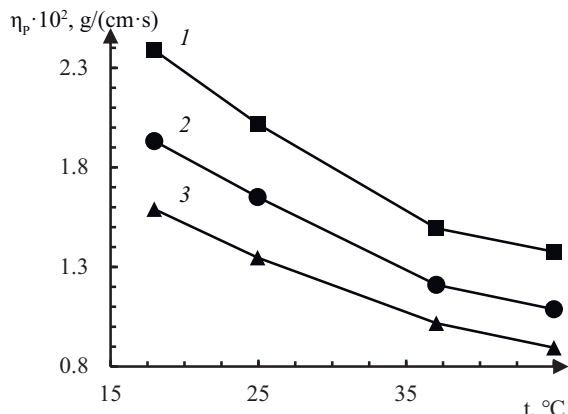


Рис. 3. В'язкість плазми крові (1), сироватки (2) і сироватки при мієломній хворобі (3), як функція від температури [30] (сироватка отримується з плазми крові внаслідок центрифугування)

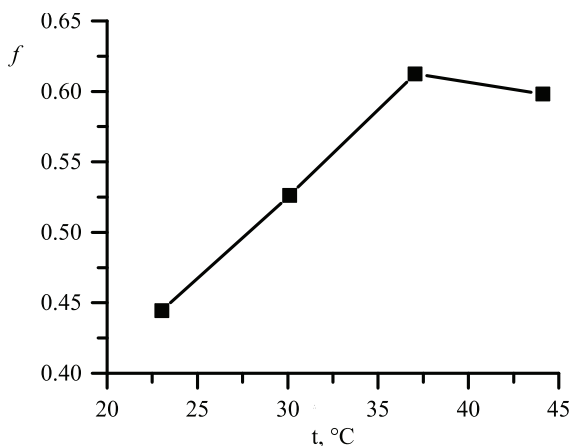


Рис. 4. Температурна залежність функції f при фіксованих значеннях параметрів крові

Таблиця 2. Значення функції $f(T, P_{osm}, pH_0, q_0)$, а також S_{O_2} і η_p при чотирьох різних температурах

$T, ^\circ C$	23	30	37	44
S_{O_2}	0,98	0,95	0,92	0,88
η_p	2,2	1,8	1,5	1,45
$f(T, P_{osm}, pH_0, q_0)$	0,45	0,53	0,61	0,60

буде визначатись співвідношенням:

$$\max f(T, P_{osm}, pH_0, q_0) \rightarrow T_0, \tag{12}$$

де функція $f(T, P_{osm}, pH_0, q_0)$, на відміну від $F(T, P_{osm}, pH_0, q_0)$, залежить тільки від зсувної

в'язкості плазми крові:

$$f(T, P_{osm}, pH_0, q_0) = \frac{S_{O_2}(T, P_{osm}, pH_0, q_0)}{\eta_p(T, pH_0, q_0)}. \tag{13}$$

4. Аналіз оптимальної температури за різних умов

Визначимо оптимальну температуру життєвої активності людини за умови, коли показник лужно-кислотного балансу приймає нормальні значення: $pH_0 = 7,35-7,44$, а зміною об'єму еритроцитів можна знехтувати. В цьому випадку оптимальна температура T_0 буде визначатись за формулою (12), де ступень насиченості крові киснем визначається або з рис. 1, або наближеною формулою (5). Скористаємось температурною залежністю зсувної в'язкості плазми крові, що була визначена в роботі [29] (див. рис. 3).

Чисельні значення функції $f(T, P_{osm}, pH_0, q_0)$ для осмотичного тиску кисню $P_{osm} = 100$ mm Hg, характерного для легеневих артерій, зібрані в табл. 2.

Звертає увагу той факт, що при температурі 37 °C функція $f(T, P_{osm}, pH_0, q)$ дійсно приймає максимальне значення (рис. 4). На жаль, через брак експериментальних даних з температурної залежності зсувної в'язкості плазми крові ми не можемо визначити оптимальну температуру T_0 більш точно.

Розглянемо якісно дію двох важливих факторів – рівня лактати та алкоголю – на положення максимуму $f(T, P_{osm}, pH_0, q)$, тобто на значення оптимальної температури. Добре відомо, що при вживанні їжі з підвищеним рівнем вуглеводів та жирів у дітей підвищується рівнем лактати, що супроводжується підвищенням температури їх тіла. При підвищенні рівня лактати у крові відбувається: 1) зниження рівня насиченості гемоглобіну киснем та 2) підвищення в'язкості крові за рахунок збільшення значення середнього об'єму еритроцитів. Як наслідок, $\max f(T, P_{osm}, pH, q)$ зсувається у бік більш високих температур, що корелює з підвищенням температури у дітей. У дорослих потрібно враховувати також дію компенсаторного механізму [43, 44].

Додамо до цього кілька важливих деталей. Так, при підвищенні рівня лактати з 0,9 до 1,9 ммол/л здатність гемоглобіну з'єднувати кисень зменшувалась на 5%, при підвищенні рівні лактати до

11,04 ммол/л ця здатність гемоглобіну зменшувалась вже на 15%. Водночас це призводило до зсуву рН у кислий бік: до $pH = (7,4-7,0)$ [36], що в свою чергу спричинювало збільшення середнього об'єму еритроцитів. При зростанні вмісту лактату в крові з 1,9 до 12,3 ммол/л об'єм еритроциту зростає з $91,4 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3$ до $93,9 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3$ [37]. В роботі [27] показано, що зростанню вмісту лактату в крові з 1 до 10 ммол/л призводить до зростання в'язкості крові з 5,2 до 6 сР при швидкості зсуву $0,1 \text{ с}^{-1}$.

При потраплянні алкоголю до крові відбувається: 1) зміна об'єму еритроцитів та 2) їх форми. Вони стають зморщеними (прийнято говорити, що еритроцит перетворюється на ехіноцита). Зокрема, при ситуаційному вживанні алкоголю об'єм еритроцитів складає $91,5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3$, у систематичних алкоголіків він досягає $96,2 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3$ у чоловіків, та $98,0 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3$ у жінок [35]. Потрапляння алкоголю до крові призводить до зсуву її значень рН у кислий бік [38, 39]. Це є наслідком розщеплення алкоголю у печінці на воду та вуглекислий газ. Останній потрапляє у крові до еритроцитів, де під впливом карбагідрози перетворюється на вуглекислоту, що дисоціює на H^+ та HCO_3^- . При вживанні дози алкоголю 0,11–3,91 г/кг (кількість грамів на кілограм маси тіла) в'язкість крові зростає на 7,4% [34].

Змінюється також і насиченість гемоглобіну крові киснем при вживанні алкоголю. Так, згідно з [40], при вживанні 0,5 г/кг алкоголю ступінь насиченості гемоглобіну зменшувався на 0,9%, при 0,78 г/кг – на 2,9% [41], при 1,1 г/кг – на 6%, а при вживанні 1,5 г/кг – зниження насиченості гемоглобіна киснем досягало 10% [42].

Таким чином, вживання алкоголю призводить до зростання в'язкості крові та зниження ступеня насиченості гемоглобіна киснем, що у свою чергу призводить до зсуву максимуму функції $f(T, P_{\text{osm}}, pH_0, q_0)$ у бік більш високих температур. Якщо компенсаторні механізми будуть не в змозі понижувати значення оптимальної температури, то буде зростати вірогідність виникнення гострих ішемічних станів, що нерідко і відбувається.

5. Обговорення отриманих результатів

У представленій роботі встановлено важливий факт – зв'язок температури $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$ з оптимальною температурою життєвої активності людини, тоб-

то температурою, що відповідає переносу максимальної кількості кисню до тканин людини. Завдяки цьому створюються умови для максимальної інтенсивності хімічних реакцій в клітинах людини.

Ще одним фактором, який забезпечує достатню умову для досягнення максимуму інтенсивності хімічних реакцій є відтік вуглекислого газу від тканин. Саме з ним пов'язано важливе питання про узгодженість наведеного означення оптимальної температури зі станами людини під час відпочинку і виконання важкої роботи. В обох випадках здорова людина зберігає одне і те ж значення нормальної температури. Це значить, що різниця між вказаними станами людини, головним чином, зводиться до зміни балансу між током кисню у артеріях та протитоком вуглекислого газу у венах людини. З цією обставиною є тісно пов'язаним друге важливе питання, у який спосіб відбувається зсув балансу кисень–вуглекислий газ у легенях людини. Це є важливою окремою задачею, яка потребує невідкладного вирішення.

Для подальшого просування у дослідженні оптимальної температури життєвої активності людини потрібні подальші детальні дослідження ступеня насиченості артеріальної крові киснем та венозної крові вуглецевим газом в залежності від показника лужно-кислотного балансу рН і всіх інших важливих параметрів q крові.

Крім цього ми плануємо представити у наступній роботі результати наших досліджень, які включатимуть характер відхилень від оптимального стану людини в залежності від змін температури і показника лужно-кислотного балансу, а також тих показників крові, які найбільш суттєво змінюються внаслідок тих чи інших захворювань. Інакше кажучи, ми плануємо побудувати багатомірну поверхню станів людини, де окрім абсолютного максимуму, який спостерігається при $T_0 = 36,6 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_0 = 7,44 \text{ мм Нг}$ виникають також локальні максимуми відносної стійкості її стану.

Наприкінці нам хотілось би щиро подякувати професору Леоніду Булавину та учасникам керованого ним семінару кафедри молекулярної фізики КНУ, а також учасникам міжнародної конференції PLMMP – 2018, перш за все, професору Миколі Лебовка та професору Лонгїну Лисецькому за детальне і зацікавлене обговорення результатів виконаної роботи.

1. N.P.O. Green, G.W. Stout, D.J. Taylor. *Biological Science* (Cambridge Univ. Press, 1997).
2. G.L. Zubay, W.W. Parson, D.E. Vance. *Principles of Biochemistry: Energy, Proteins, Catalysis* (McGraw-Hill College Division, 1995).
3. F.J. Ayala, J.A. Kiger, jr. *Modern Genetics* (Benjamin, 1980).
4. L.A. Bulavin, N.P. Malomuzh. Upper temperature limit for the existence of living matter. *J. Mol. Liq.* **124**, 136 (2006).
5. A.I. Fisenko, N.P. Malomuzh. The role of the H-bond network in the creation of the life-giving properties of water. *Chem. Phys.* **345**, 164 (2008).
6. A.I. Fisenko, N.P. Malomuzh. To what extent is water responsible for the maintenance of the life for warm-blooded organisms. *Int. J. Mol. Sci.* **10**, 2383 (2009).
7. Л.А. Булавин, Н.П. Маломуж. Динамический фазовый переход в воде как важнейший фактор провоцирования денатурации белков в теплокровных организмах. *Физика Живого* **18**, 16 (2010).
8. Н.П. Маломуж, А.В. Олейник. Природа кинематической сдвиговой вязкости воды. *ЖСХ* **49**, 1093 (2008).
9. L.A. Bulavin, A.I. Fisenko, N.P. Malomuzh. Surprising properties of the kinematic shear viscosity of water. *Chem. Phys. Lett.* **453**, 183 (2008).
10. L.A. Bulavin, T.V. Lokotosh, N.P. Malomuzh. Role of the collective self-diffusion in water and other liquids. *J. Mol. Liq.* **137**, 1 (2008).
11. *The Engineering Toolbox. Water -- Thermal Properties* [http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html].
12. D. Randall, W. Burggren, K. French, R. Eckert. *Animal Physiology: Mechanisms and Adaptation* (Freeman, 1997).
13. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Гидродинамика* (Наука, 1986).
14. B. Tremey, B. Vigue. Changes in blood gases with temperature: Implications for clinical practice. *Ann. Fr. Anesth. Reanim.* **23**, 474 (2004).
15. S. Mrozek, F. Vardon, Th. Geeraerts. Brain Temperature: Physiology and Pathophysiology after Brain Injury. *Anesth. Research and Practice* **2012**, 13 (2012).
16. J.-A. Collins, A. Rudensky, J. Gibson *et al.* Relating oxygen partial pressure, saturation and content: the hemoglobin-oxygen dissociation curve. *Breathe* **11**, 194 (2015).
17. Н.П. Маломуж, Е.В. Орлов. Новая версия ячеечного метода определения вязкости взвесей. *Коллоидный журнал* **64**, 802 (2002).
18. A. Einstein. *Ann. Phys.* Eine neue Bestimmung der Molekuldimensionen. **19**, 289 (1906).
19. A. Einstein. Berichtigung zu meiner arbeit: "Eine neue bestimmung der molekuldimensionen". *Ann. Phys.* **34**, 591 (1911).
20. Сборник *Гидродинамическое взаимодействие частиц в суспензиях*. Под ред. А.Ю. Ишлинского, Г.Г. Черного (Мир, 1980).
21. Дж. Хашпель, Г. Бреннер. *Гидродинамика при малых числах Рейнольдса*. Пер с англ. В.С. Бермана, В.Г. Маркова (Мир, 1976).
22. J. Happel. Viscosity of suspension of uniform spheres. *J. Appl. Phys.* **28**, 1288 (1957).
23. G.V. Richieri, H.C. Mel. Temperature effects on osmotic fragility, and the erythrocyte membrane. *Biochim. and Biophys. Acta* **813**, 41 (1985).
24. J.F. Gillooly, R. Zenil-Ferguson. Vertebrate blood cell volume increase with temperature: implications for aerobic activity. *PeerJ* **2**, 346 (2014).
25. P. Swietach, T. Tiffert, J.M.-A. Marwitz *et al.* Hydrogen ion dynamics in human red blood cells. *Journal of physiology* **588**, 4995 (2010).
26. D. Kuzman, T. Znidartit, M. Gros *et al.* Effect of pH on red blood cell deformability. *Eur. J. Physiol.* **440**, 193 (2000).
27. W.H. Reinhart, R. Gaudenz, R. Walter. Acidosis induced by lactate, piruvate, or HCl increases blood viscosity. *J. Crit. Care* **17**, 68 (2002).
28. P.V. Rand, W.H. Austin, E. Lacombe, N. Barker. pH and blood viscosity. *J. Appl. Physiol.* **25**, 550 (1968).
29. T.S. Chow. Viscosity of concentrated dispersions. *Phys. Rev. E* **48**, 1977 (1993).
30. *Blood Plasma and Serum Viscosity* [<http://www.rheosense.com/application/viscosity-of-blood-plasma-and-serum>].
31. R.I. Weed, A.I. Bowdler. Metabolic dependence of the critical hemolytic volume of human erythrocytes: Relationship of osmotic fragility and autohemolysis in hereditary spherocytosis and normal red cells. *J. Clin. Invest.* **45**, 1137 (1966).
32. E. Naeraa, E.S. Peterson, E. Boye, J.W. Severinghaus. pH and molecular CO₂ components of the Bohr effect in human blood. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* **18**, 96 (1966).
33. L. Cordone, A. Cupane, P.L. San Biagio, E. Vitrano. Effect of some monohydric alcohols on the oxygen affinity of hemoglobin: Relevance of solvent dielectric constant and hydrophobicity. *Biopolymers* **18**, 1975 (1979).
34. T. Hamazaki, H. Shishido. Increase in blood viscosity due Alcohol Drinking. *Trombosis Research* **30**, 587 (1983).
35. H. Tonnesen, L. Hejberg, S. Frobenius, J.R. Andersen. Erythrocyte mean cell volume -- correlation to drinking pattern in heavy alcoholics. *Acta Med. Scand.* **219**, 515 (1986).
36. W. Stringer, J. Porszasz, K. Wasserman, K. Maehara. Lactic acidosis as facilitator of oxyhemoglobin dissociation during exercise. *J. Appl. Physiol.* **76**, 1462 (1994).
37. J.A. Smith, R.D. Telford, M. Kolbuch-Braddon, M.J. Weidemann. Lactate/H⁺ uptake by red blood cells during exercise alters their physical properties. *Eur. J. Appl. Physiol.* **75**, 54 (1997).

38. A. Lamminpaa, J. Vilska. Acid-base balance in alcohol users seen in an emergency room. *Vet. Hum. Toxicol.* **33**, 482 (1991).
39. S. Zehtabchi, R. Sinert, B.J. Baron, L. Paladino, K. Yadav. Does ethanol explain the acidosis commonly seen in ethanol-intoxicated patients? *Clin. Toxicol.* **43**, 161 (2005).
40. I. Izumi, A. Nasermoaddelia, M. Sekine, S. Kagamimori. Effect of moderate alcohol intake on nocturnal sleep respiratory parameters in healthy middle-aged men. *Environ. Health Prev. Med.* **10**, 16 (2005).
41. P.A. Easton, P. West, R.C. Meatherall *et al.* The effect of excessive ethanol ingestion on sleep in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Sleep* **10**, 224 (1987).
42. F.G. Issa, C.E. Sullivan. Alcohol, snoring and sleep apnea. *J. Neurol., Neurosurg. Psychiatry* **45**, 353 (1982).
43. *Биологическая химия с упражнениями и задачами.* Под ред. С.Е. Северина (ГЭОТАР-Медиа, 2011).
44. D.L. Nelson, M.M. Cox. *Lehninger Principles of Biochemistry* (Freeman , 2008).

Одержано 26.01.18

A.A. Guslisty, N.P. Malomuzh, A.I. Fisenko

OPTIMAL TEMPERATURE FOR HUMAN LIFE ACTIVITY

S u m m a r y

The optimal temperature for the human life activity has been determined, by assuming that this parameter corresponds to the most intensive oxygen transport in arteries and the most intensive chemical reactions in the cells. The oxygen transport is found to be mainly governed by the blood saturation with oxygen and the blood plasma viscosity, with the both parameters depending on the temperature and the acid-base balance in blood. Additional parameters affecting the erythrocyte volume and, accordingly, the temperature of the most intensive oxygen transport are also taken into account. Erythrocytes are assumed to affect the shear viscosity of blood in the same way, as impurity particles change the suspension viscosity. It is shown that the optimal temperature equals 36.6 °C under normal environmental conditions. The dependence of the optimal temperature for the human life activity on the acid-base index is discussed.