УДК 612.135:577.3

М.В. Шаплавський, Л.Ю. Зав'янський, М.Ю. Коломоєць, В.П. Пішак, К.Б. Тимочко, О.Ю. Микитюк, П.М. Григоришин

ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА СУДИН

Буковинська державна медична академія

Резюме. У роботі теоретично обґрунтовано наявність рушійної сили судин, що забезпечується вільною енергією АТФ та метастабільного стану біомолекулярних дисипативних структур, що формуються в гемоциркуляції.

Ключові слова: гемодинаміка, мікроциркуляція, вільна енергія.

Серце забезпечує на вході аорти середній тиск 100 мм рт. ст., який у капілярах стає близьким до 10 мм рт. ст. Отже, для подолання артеріального русла витрачається у 9 разів більша енергія, ніж на опір венозної системи, що має подібну довжину й архітектоніку перерізу. Така відмінність залишається за будь-яких умов, адже зміни артеріального тиску не супроводжуються змінами тиску в капілярах [1], що компенсується числом капілярів, включених у цей процес. Шукати відповідь у дії венозних клапанів чи діафрагми недоцільно, бо кровообіг не припиняється зупинкою руху тіла і дихання.

Зараз немає підстав запідозрити причини названої різниці в суттєвій відмінності тертя крові в обох частинах гемодинамічної системи, пов'язаного з будовою глікокаліксу ендотелію судин, електролітною системою крові чи поверхневими властивостями формених елементів [2].

Посилання в цьому випадку на рівняння Пуазейля чи Бернуллі, що мають значення в гемодинаміці на рівні макромеханіки, на наш погляд, є невичерпним хоча б тому, що перше – є коректним для ньютонівських, а друге – для ідеальних рідин.

Натомість є дані досліджень, що наводять на висновок про дію вздовж судин градієнта електричного поля. Так, в артеріальній системі еритроцити розміщені радіально до осі судин монетними ланцюгами, що рухаються у площині, перпендикулярній до неї [3]. Шикуючись таким чином, еритроцити, як феромагнетики з віссю магнітного поля, що проходить через їх центр [4], прямо вказують на наявність електричного поля судин та його вектор.

Йдеться про те, що зазначена вище різниця градієнтів тиску зумовлена дією градієнта електричного поля. Тобто, в артеріальній системі цей градієнт складає опір градієнту тиску, а у венозній – спрямований до серця.

Яка ж природа електрорушійної сили судин? У біологічній системі сила, що здатна виконати роботу, є результатом переважно метаболічної трансформації внутрішньої енергії такої системи у вільну енергію, носієм якої є АТФ та інші метастабільні біомолекули. Свого часу [4] ми обґрунтували висновок, що від'ємний заряд ендотелію капілярів (глікокаліксу) детермінований за інших рівних умов позитивним зарядом мембрани, який, у свою чергу, зумовлений швидкістю утилізації АТФ Na^{+}, K^{+} АТФ-азою. Отже потенціал течії (генерація протилежного заряду), що мав би бути результатом руху складових крові, як відомо, несе за умов гомеостазу переважаючий від'ємний заряд, блокується в кінцевому рахунку енергією АТФ. Іншими словами, термодинамічні потенціали ендотелію капілярів – з одного боку, і компонентів системи крові – з іншого, забезпечують взаємовідштовхування названих утворень. Інакше не відбувалося би генерування ζ–потенціалів у судинах, не здійснювався б σ–ефект у капілярах, тобто, виникли б сили зчеплення (тертя), чого в нормі не буває [5].

При електрофорезі білків крові робота по їх переміщенню за pH та іонної сили буферних розчинів, що моделюють фізико-хімічні умови крові, виконується за рахунок енергії зовнішнього живлення, яким підтримується електрорушійна сила за вектором розподілу білків. Як же виникає подібна (зрозуміло, не ідентична) сила в судинах ?

У будь-якому відрізку гемоциркуляторного русла фрагмент судини має вигляд зрізаного конуса. Такий конус (модуль), скажімо аорти, венули чи капіляра [6] (параметри останнього введемо в математичний аналіз) має вхідний R_0, вихідний R_l радіуси та довжину осі L (рис. 1). Його конусність δ визначається як $\operatorname{tg}\delta = \frac{R_1 - R_0}{L}$.

Стінки конуса заряджені з густиною поверхневого заряду σ. На осі конуса знаходиться точковий заряд q, однакового знаку із зарядом конуса. Визначаємо силу F, з якою заряд стінок діє на заряд q.

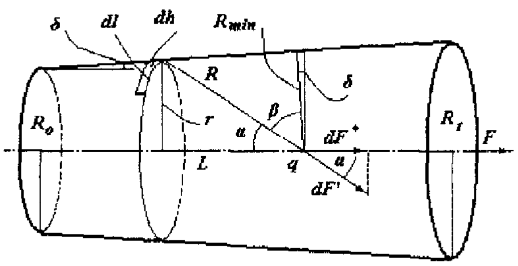

Рис. 1. Взаємодія заряду q з елементом заряду $\delta\ dl\ dh$ стінок конуса.

Спочатку визначимо силу dF', з якою елемент кільця конуса радіусом r, шириною dh і довжиною dl діє на q, що знаходиться на віддалі R від кільця (рис.1):

$$dF' = K\frac{\sigma dl \cdot dh \cdot q}{R^2}.$$

$$K\,(\text{СІ}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9\, H \cdot м^2 / Кл^2.$$

dF' направлені по R. Її проекція на вісь конуса dF^*:

$$dF^* = dF'\cos\alpha = K\frac{\sigma dl \cdot dh \cdot q}{R^2}\cos\alpha.$$

Силу dF, з якою діє все кільце на заряд q, одержимо проінтегрувавши dF^* по l, тобто, домноживши на $2\pi r$:

$$dF = Kq\sigma\frac{2\pi r dh}{R^2}\cos\alpha$$

З рис. 1. $r = R\sin\alpha, R = \frac{R\min}{\cos\beta}, \alpha + \beta + \delta = \frac{\pi}{2}$, звідки

$$\cos\beta = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \delta\right) = \sin(\alpha + \delta)$$

$$dF = Kq\sigma\frac{2\pi R\sin\alpha}{R^2}\cos\alpha dh = Kq\sigma 2\pi\frac{\sin(\alpha+\delta)\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{R\min}dh$$

З рис. 2: $\alpha + \frac{\pi}{2} + \gamma + \delta = \pi$ і $\beta + \alpha + \delta = \frac{\pi}{2}$, звідки $\gamma = \beta$.

$$dh = Rd\alpha\cdot\frac{1}{\cos\beta} = \frac{R\min}{\cos\beta}\cdot d\alpha\cdot\frac{1}{\cos\beta} = \frac{R\min}{\cos^2\beta}d\alpha = \frac{R\min}{\sin^2(\alpha+\delta)}d\alpha.$$

Тоді $dF = Kq\sigma\cdot 2\pi\frac{\sin(\alpha+\delta)\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{R\min}\cdot\frac{R\min\cdot d\alpha}{\sin^2(\alpha+\delta)} = Kq\sigma\cdot 2\pi\frac{\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{\sin(\alpha+\delta)}d\alpha.$

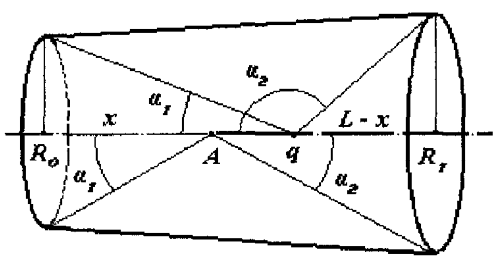

Рис. 2. Взаємодія точкового заряду q із зарядом кільцевого елемента конуса $\delta\, 2\pi r\ r\ dh$.

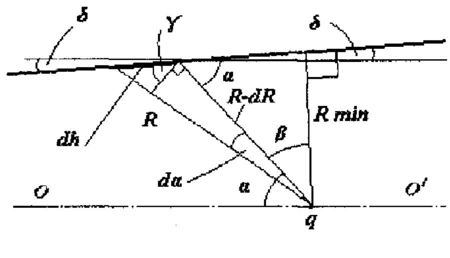

Рис. 3. Положення точки рівноваги A точкового заряду q на осі конуса.

У цю формулу не входить Rmin. Це означає, що сила dF залежить лише від α, тобто від взаємного положення кільця і заряду q. Шукана повна сила визначається рівнянням:

$$F = \int_{\alpha_x}^{\alpha_z} dF = 2\pi Kq\sigma \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\sin\alpha \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha+\delta)} d\alpha .$$

Межі інтегрування зрозумілі з рис. 3.

Якщо q знаходиться на осі циліндра (δ=0) посередині L, то F очевидно повинна бути рівною нулю. Це ж виходить з формули:

$$\int_{\alpha_1}^{\pi-\alpha_1} \frac{\sin\alpha\cos\alpha}{\sin(\alpha+0)} d\alpha = \int_{\alpha_1}^{\pi-\alpha_1} \cos\alpha d\alpha = \sin(\pi-\alpha_1) - \sin\alpha_1 = 0$$

Шукаємо інтеграл по α підстановкою:

$$\alpha+\delta=\varphi; d\alpha = d\varphi; \varphi_1 = \alpha_1+\delta; \varphi_2 = \alpha_2+\delta:$$

$$\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\sin\alpha\cos\alpha}{\sin(\alpha+\delta)} d\alpha = \int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\sin(\varphi-\delta)\cos(\varphi-\delta)}{\sin\varphi} d\varphi =$$

$$\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{(\sin\varphi\cdot\cos\delta - \sin\delta\cdot\cos\varphi)(\cos\varphi\cdot\cos\delta + \sin\varphi\cdot\sin\delta)}{\sin\varphi} d\varphi =$$

$$= \int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\sin\varphi\cdot\cos\delta\cos\varphi\cdot\cos\delta}{\sin\varphi} d\varphi + \int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\sin\varphi\cdot\cos\delta\cdot\sin\varphi\cdot\sin\delta}{\sin\varphi} d\varphi - \int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\sin\delta\cdot\cos\varphi\cdot\cos\varphi\cdot\cos\delta}{\sin\varphi} d\varphi -$$

$$\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\sin\delta\cdot\cos\varphi\cdot\sin\varphi\cdot\sin\delta}{\sin\varphi} d\varphi = (\cos^2\delta - \sin^2\delta)\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \cos\varphi d\varphi + \cos\delta\sin\delta\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \sin\varphi d\varphi -$$

$$-\sin\delta\cdot\cos\delta\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\cos^2\varphi}{\sin\varphi} d\varphi.$$

$$\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \sin\varphi d\varphi = -\cos(\alpha_2+\delta) + \cos(\alpha_1+\delta)\,, \quad \int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \cos\varphi d\varphi = \sin(\alpha_2+\delta) - \sin(\alpha_1+\delta);$$

Інтеграл $\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\cos^2\varphi}{\sin\varphi} d\varphi$ шукаємо підстановкою:

$$\cos\varphi = t; d\varphi = \frac{dt}{-\sin\varphi}$$

$$\int \frac{\cos^2\varphi}{\sin\varphi} d\varphi = \int \frac{t^2 \frac{dt}{(-\sin\varphi)}}{\sin\varphi} = \int \frac{t^2}{t^2-1} dt = \int \frac{t^2-1}{t^2-1} dt + \int \frac{1\cdot dt}{t^2-1} = t + \frac{1}{2}(\int \frac{1}{t-1} dt - \int \frac{1}{t+1} dt) =$$

$$= t + \frac{1}{2}\ln\frac{t-1}{t+1} = \cos\varphi + \frac{1}{2}\ln\frac{\cos\varphi - 1}{\cos\varphi + 1}.$$

$$\int_{\alpha_1+\delta}^{\alpha_2+\delta} \frac{\cos^2\varphi}{\sin\varphi} d\varphi = \cos(\alpha_2+\delta) - \cos(\alpha_1+\delta) + \frac{1}{2}\ln\frac{\cos(\alpha_2+\delta)-1}{\cos(\alpha_2+\delta)+1} - \frac{1}{2}\ln\frac{\cos(\alpha_1+\delta)-1}{\cos(\alpha_1+\delta)+1}$$

$$F = 2\pi Kq\sigma((\cos^2\delta - \sin^2\delta)(\sin(\alpha_2+\delta) - \sin(\alpha_1+\delta)) - \sin\delta\cos\delta(\cos(\alpha_2+\delta) - \sin(\alpha_1+\delta) +$$

$$+\frac{1}{2}\ln\frac{(\cos(\alpha_2+\delta)-1)(\cos(\alpha_1+\delta)+1)}{(\cos(\alpha_2+\delta)+1)(\cos(\alpha_1+\delta)-1}) + \sin\delta\cdot\cos\delta(\cos(\alpha_1+\delta) - \cos(\alpha_2+\delta)) =$$

$$= 2\pi Kq\sigma((\cos^2\delta - \sin^2\delta)(\sin(\alpha_2+\delta) - \sin(\alpha_1+\delta)) - 2\sin\delta\cos\delta(\cos(\alpha_2+\delta) - \cos(\alpha_1+\delta)) -$$

$$-\sin\delta\cos\delta\cdot\frac{1}{2}\ln\frac{(\cos(\alpha_2+\delta)-1)(\cos(\alpha_1+\delta)+1)}{(\cos(\alpha_2+\delta)+1)(\cos(\alpha_1+\delta)-1)}).$$

Одержана формула є точною, але для аналізу складною. Коли ми врахуємо, що в поставленій задачі δ ≈ 0,04 (R_0 = 4 мкм, R = 8 мкм, L = 100 мкм), формули для F спрощуються:

$$F = 2\pi Kq\sigma(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)$$

Отже, при вході в конус з малою δ заряд q зазнає дії виштовхувальної сили вліво аж до деякої точки A (нижня частина рис. 3). Якщо заряд буде правіше точки A, то виштовхувальна сила діє вправо. Точка рівноваги A ділить L на відрізки x і L-x пропорціональні R_0 і R_1 ($\sin a_2 = \sin a_1$).

Таким чином, *при русі точкового заряду вздовж конуса загальна виштовхувальна електрична сила, що діє на нього, спрямована від меншого діаметра конуса до більшого.*

На перший погляд гемоциркуляторна система в складовій артеріального русла заперечує абсолютну біологічну логіку, термодинамічно не доцільна. Такий висновок був би коректним за різниці ентропій (теплових втрат) артерій і вен, чого немає. Отже, механічна робота серця у компоненті опору рушійній силі артерій трансформується на безентропійні механізми енергоакцепції. Осередком їх є дисипативні структури [7] (міжмолекулярні, організовані за законами квантової механіки енерготрансформаційні механізми). У протилежному разі під сумнів треба було б поставити рівняння ентропії Больцмана та теорему Пригожина, чого, якраз, ми не збираємось робити, оскільки вони є концептуальною основою даної роботи. Ми стверджуємо, що одночасне збудження міліардів еритроцитів при переході їх з макрооб'єму в дисипативну структуру контакту капіляр – еритроцит, що знімає опір кровотоку, є лише початком використання молекулярно акумульованої енергії серця. Така акумуляція в артеріальному руслі і в контакті клітин опосередкована електричним і магнітним полями, за резонансної взаємодії здатними до формування інверсності заселення енергетичних рівнів біомолекул, тобто, переходу їх у метастабільний стан, спрямований на виконання роботи біологічного змісту в дисипативних структурах клітин. Можливість таких механізмів нещодавно висловлена теоретично [2]. Існує обґрунтована теорія взаємного квантування в біо-фізико-хімічних процесах [8].

На наш погляд, повним підтвердженням наведених аргументів є давно відомий факт, що живим тканинам і активним біомолекулам притаманна здатність до люмінесценції, до надтеплового випромінювання. Це значить, що вони знаходяться в метастабільному стані, тобто акумулюють вільну енергію, як і АТФ. До речі, поняття про макроергічні зв'язки, на наш погляд, потребує перегляду, бо молекулярна енергія може бути акумульована лише в атомно-електронній взаємодії, на що прямо вказують дослідження ядерного магнітного резонансу, за якими можна точно визначити хімічне оточення.

Наведені тут докази наявності електрорушійної сили судин і зв'язок макромеханіки гемоциркуляції з дисипативними структурами контакту еритроцит-капіляр через вільну енергію, що є джерелом зазначеної сили, вказує на те, що проблема мікроциркуляції ніяк не вичерпується специфікою поліморфізму гемоциркуляторної системи в нормі і його змінами при патології, тобто, елементами, що емпірично характеризують суб'єктивну оцінку макромеханіки. На жаль, роботи з гемодинаміки, що рідко з'являються у друці [9], в тому числі присвячені стану мікроциркуляції, містять саме такий підхід, а наявність в оглядах [10] лише поодиноких повідомлень останніх років, їх зміст вказує на серйозні проблеми, з якими зіштовхнулося вивчення мікроциркуляції.

Ми висловлюємо переконання про необхідність врахування фактору електрорушійної сили судин, як і рушійної сили еритроцитів [11] у розшифруванні механізму мікроциркуляції, що в кінцевому рахунку реалізується в дисипативній структурі контакту еритроцит-капіляр, яка в першому наближенні представлена нами раніше [12].

Література. 1.*Shore A.S., Saudeman D.D., Tooke J.E.* The response of human nailfold capillary pressure to an increase in brachial artery blood pressure: (Pap.) Med. Et Physiol. Soc., London, 13–14 Dec., 1991 // J. Physiol.– 1992.– V.4.– P.452. 2.*Агафонов Ю.В., Выговский Ю.Н., Гаткин Е.Я. и др.* Физика лазерной биостимуляции.– М.: Медиа, 2000.– 82 с. 3.*Мчедлишвили Г.И.* Микроциркуляция крови.– Л.: Наука, 1989.– 296 с. 4.*Шаплавський М.В.* Біоінертизація як біологічна функція: Основи теорії і практика.– Чернівці: Прут, 1996.– 184 с. 5.*Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У.* Механика кровообращения.– Л.: Мир, 1981.– 624 с. 6.*Illig L.* Experimentale Untersuchugen uber die Entstehung der Stase.– Virchows Arch.– 1955.– Bd. 326.– S.501–562. 7.*Чалий О.В., Агапов Б.Т., Меленевські А.В. та ін.* Медична і біологічна фізика: Підручник для вищих медичних закладів освіти III–IV рівнів акредитації.– К.: ВІПОЛ, 1999.– 425 с.; 2001.– 415 с. 8.*Зотин А.И. (ред.)* Термодинамика биологических процессов.– М., Наука, 1976.– 280 с. 9.*Тарасов Н.И., Сизова И.Н., Малахович Е.В.* Значение показателей внутрисердечной гемодинамики у больных ишемической болезнью в прогнозировании развития сердечной недостаточности // Клин. мед.– 2001.– Т.79.– N7.– С.32–35. 10.*Маколкин В.И., Подзолков В.И., Павлов В.И., Самойленко В.В.* Состояние микроциркуляции при гипертонической болезни // Кардиология.– 2003.– N5.– С.60–67. 11.*Шаплавський М.В.* Гіпотеза рушійної сили еритроцитів у процесі мікроциркуляції // Бук. мед. вісник.– 1998.– N2.– С.196–200. 12.*Шаплавський М.В., Коломоєць М.Ю., Пішак В.П., Сторожук С.М.* Механізм мікроциркуляції як комплекс медико-біологічних проблем // Бук. мед. вісник.– 2003.– Т.7, N2.– С.3–7.

ELECTROMOTIVE FORCE OF VESSELS

M.V. Shaplavskyi, M.Yu. Zavianskyi, M.Yu. Kolomiyets, V.P. Pishak, K.B. Tymochko, O.Yu. Mykytiuk, P.M. Grygoryshyn

Abstract. The paper substantiates theoretically the availability of the vascular locomotive force that is ensured by ATP free energy and metastable state of biomolecular dissipative structures which are formed in the hemocirculation.

Key words: hemodynamics, microcirculation, free energy.

Bukovinian State Medical Academy (Chernivtsi)

Buk. Med. Herald. - 2003.- Vol.7. №3. - P.3-7.

Надійшла до редакції 07.08.2003 року