

Публикация выполнена в рамках государственной работы «Проведение научно-исследовательских работ (фундаментальных научных исследований, прикладных научных исследований и экспериментальных разработок)» базовой части государственного задания Минобрнауки России, код проекта 2548.

Список литературы:

1. Дубровин В.И., Твердохлеб Ю.В. Усовершенствование методов анализа ЭКГ-сигналов на основе вейвлет-преобразования в системе электрокардиографии высокого разрешения // *Нейроинформатика и интеллектуальные системы*. 2011. № 1. С. 91-98.
2. Колоцкий А.К., Иванов Г.Г., Дворников В.Е. и др. Исследование variability сердечного ритма при анализе аритмий // *Вестник РУДН, серия «Медицина»*. 2001. № 2. С. 113-130.
3. Joseph E. M. HRV in Sleep Apnea Detection and Sleep Stability Assessment / <https://www.physionet.org/events/hrv-2006/mietus-2.pdf>.
4. Ростороцкая В.В. Артериальная гипертензия и синдром обструктивного апноэ сна: резистентность к лечению и роль дисфункции вегетативной нервной системы // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2012. № 5. С. 11-17.

5. Anisimov A., Pustozero E., Yuldashev Z. Intelligent remote health monitoring system for patients with chronic diseases / *Transactions of XII Russian-German Conference on Biomedical Engineering*. Suzdal, 4-7 July 2016.

Юлдашев Зафар Мухамедович,
д-р техн. наук, профессор,
Елена Владимировна Садыкова,
канд. техн. наук, доцент,
Чан Чонг Хью,
аспирант,
кафедра биотехнических систем,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина),
г. С.-Петербург,
e-mail: yuld@mail.ru

С.А. Терещенко, П.В. Шалаев, Ю.П. Маслобоев, С.А. Долгушин, В.А. Дешабо, И.К. Юдин

Электрокинетический потенциал наностержней и клеток в жидких дисперсиях

Аннотация

На основе представления наностержней и клеток в виде эллипсоидов вращения получены аналитические выражения для их электрокинетического потенциала. Показано, что электрокинетический потенциал наностержней и клеток определяется универсальной функцией, зависящей только от аспектного отношения. Рассчитаны зависимости электрокинетического потенциала наностержней от подвижности и аспектного отношения.

Введение

В настоящее время жидкие дисперсии нано- и микроразмерных частиц широко используются в самых различных областях [1]. Среди множества наночастиц, полученных на сегодняшний день, большой интерес вызывают несферические наночастицы, особенно наностержни [2]. При этом наибольшие трудности вызывает описание геометрической формы наностержней. Основным способом такого описания является их представление в виде эллипсоидов вращения и цилиндров.

Степень и характер взаимодействия частиц между собой и с жидкой средой определяет электрокинетический потенциал (дзета-потенциал). Например, одним из главных параметров жидких дисперсий наночастиц является их коллоидная стабильность. Так как на границе раздела твердой и жидкой фаз меняются электрокинетические показатели, фазы становятся противоположно заряженными. При этом стимулируется адсорбция ионов на поверхности частиц, что может привести к их агрегации [3]. Величина электрокинетического потенциала характеризует стабильность коллоидных дисперсий. Коллоиды с высоким электрокинетическим потенциалом электрически стабилизированы, в то время как коллоиды с низким электрокинетическим потенциалом склонны к коагуляции за счет электрокинетического взаимодействия между частицами [4].

Электрокинетический потенциал влияет и на процесс распределения нано- и микроносителей лекарственных средств в организме [3]. Положительно заряженные частицы эффективно усваиваются клетками в результате электростатических взаимодействий с отрицательно заряженными компонентами клеточной мембраны. При одинаковых размерах и форме положительно заряженные наночастицы усваиваются в подавляющем большинстве клеток, в отличие от отрицательно

заряженных [5]. Однако отрицательно заряженные частицы также могут проникать в клетки [6], что может быть использовано для доставки нуклеиновых кислот в цитоплазму и внутриклеточной регуляции экспрессии генов [7]. По изменению электрокинетического потенциала микрочастиц можно судить об адсорбции на их поверхности белков плазмы крови [8].

Электрокинетический потенциал также характеризует физико-химические свойства клеточной оболочки [9]. В клеточной биологии измерение электрокинетического потенциала различных клеток позволяет исследовать свойства мембран, изменения их биохимического состава и взаимодействия с мембранотропными материалами [10]. Существует возможность выявления на поверхности клеток ранних маркеров апоптоза и снижения жизнеспособности клеток по увеличению их суммарного отрицательного заряда [11].

Для измерения электрокинетического потенциала используется метод электрофоретического рассеяния света. Однако в существующих приборах получение информации о величине электрокинетического потенциала суспензии наночастиц основано на предположении о сферической форме частиц. В настоящей статье рассмотрено влияние несферичности наночастиц на значение электрокинетического потенциала на примере частиц в виде эллипсоидов вращения.

Материалы и методы

Электрокинетический потенциал ζ частицы произвольной формы, движущейся со скоростью v в электрическом поле с напряженностью E , определяется следующим выражением:

$$\zeta = \frac{kT}{DC} \frac{v}{E}, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; D – коэффициент диффузии; C – электрическая емкость частицы. При этом необходимо знать емкость и коэффициент диффузии для частиц разной формы.

Известны выражения для электрической емкости для частиц различной формы [12], [13], однако для частиц, имеющих негладкую форму, формулы для емкости являются приближенными из-за сложности учета неравномерности поверхностной плотности заряда вблизи мест резкого изгиба поверхности проводника. Некоторые формулы для емкости приведены в табл. 1 [12], [13].

Таблица 1

**Формулы для электрической емкости частиц
разной формы**

№ п/п	Форма частиц	Электрическая емкость C
1	Шар радиуса R	$C_s = 4\pi\epsilon R$
2	Цилиндр радиуса R и длины H	$C_c = \frac{2\pi\epsilon H}{\ln\left(\frac{H}{R} + \sqrt{\left(\frac{H}{R}\right)^2 + 1}\right) + \frac{R}{H} - \sqrt{\left(\frac{R}{H}\right)^2 + 1}}$
3	Вытянутый эллипсоид вращения с главными полуосями $a > b > c$	$C_{pe} = 4\pi\epsilon \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{\ln\left[\frac{a}{b} + \sqrt{\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1}\right]}$
4	Сплюснутый эллипсоид вращения с главными полуосями $a > b > c$	$C_{oe} = 4\pi\epsilon \frac{\sqrt{a^2 - c^2}}{\arccos\left(\frac{c}{a}\right)}$

Примечание: $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ – диэлектрическая проницаемость среды; ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Коэффициент диффузии для несферических частиц в общем случае является тензором. Поступательная диффузия несферической частицы в жидкости зависит от ее ориентации по отношению к направлению движения. Например, при движении вытянутого эллипсоида вращения вдоль и поперек оси симметрии коэффициенты диффузии различны. Кроме того, существует еще и вращательное движение, количественной мерой которого служит коэффициент вращательной диффузии. Следует отметить, что вращательная диффузия обычно мала, и ею, как правило, пренебрегают. Известны выражения для коэффициентов поступательной диффузии [14], [15] для частиц различной формы. Так же как и для емкости, выражения для коэффициентов диффузии частиц, имеющих негладкую форму, являются приближенными.

Некоторые известные формулы для коэффициентов диффузии приведены в табл. 2 [14], [15].

Для сферических частиц по формуле (1) получим следующее известное выражение:

$$\zeta_s = \frac{kT}{D_s C_s} \frac{v}{E} = \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{3}{2}. \quad (2)$$

В существующих приборах при измерении электрокинетического потенциала наночастиц используется именно формула (2) [16].

Рассмотрим частицы, имеющие форму наностержней. Есть основания считать, что при движении таких частиц под действием электрического поля они ориентируются вдоль наибольшего размера [17]. Таким образом, для цилиндров и вытянутых эллипсоидов с большим аспектным отношением движение будет происходить вдоль оси цилиндра и вдоль максимальной оси эллипсоида соответственно, а для дисков и сплюснутых

эллипсоидов с малым аспектным отношением движение будет происходить вдоль оснований диска и перпендикулярно наименьшей оси эллипсоида соответственно. Поскольку выражения для емкости и коэффициентов диффузии в случае цилиндров являются приближенными, будем считать, что наностержни описываются эллипсоидами вращения.

Для эллипсоидов вращения величины χ_0 , α_0 , β_0 , γ_0 из табл. 2 можно записать в более простом виде:

- для вытянутых эллипсоидов вращения с главными полуосями $a > b > c$

$$\chi_0 = abI_0\left(\frac{a}{b}\right); \quad \alpha_0 = \frac{a}{b}I_1\left(\frac{a}{b}\right); \quad \beta_0 = \frac{a}{b}I_2\left(\frac{a}{b}\right);$$

- для сплюснутых эллипсоидов вращения с главными полуосями $a = b > c$

$$\chi_0 = acI_0\left(\frac{c}{a}\right); \quad \alpha_0 = \frac{c}{a}I_2\left(\frac{c}{a}\right); \quad \gamma_0 = \frac{c}{a}I_1\left(\frac{c}{a}\right),$$

где

$$I_0(p) = \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(1+\lambda)\sqrt{(p^2+\lambda)}};$$

$$I_1(p) = \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(1+\lambda)(p^2+\lambda)^{3/2}};$$

$$I_2(p) = \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(1+\lambda)^2\sqrt{p^2+\lambda}}.$$

Интегралы $I_0(p)$, $I_1(p)$, $I_2(p)$ можно найти в явном виде. Тогда для коэффициентов диффузии эллипсоидов вращения получим следующие выражения:

$$D_{pe}^a = \frac{kT}{16\pi\eta b} \left[-\frac{2p}{p^2-1} - \frac{1}{\sqrt{p^2-1}} \left(\frac{p^2}{p^2-1} + 1 \right) \ln \frac{p-\sqrt{p^2-1}}{p+\sqrt{p^2-1}} \right];$$

$$D_{pe}^b = \frac{kT}{16\pi\eta b} \frac{1}{1-p^2} \left(-p - \frac{2-p^2}{\sqrt{p^2-1}} \ln \frac{p-\sqrt{p^2-1}}{p+\sqrt{p^2-1}} \right);$$

$$D_{oe}^a = \frac{kT}{16\pi\eta a} \frac{1}{\sqrt{1-p^2}} \left[-\frac{p}{\sqrt{1-p^2}} + \left(2 + \frac{1}{1-p^2} \right) \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{p}{\sqrt{1-p^2}} \right) \right];$$

$$D_{oe}^c = \frac{kT}{16\pi\eta a} \frac{2}{\sqrt{1-p^2}} \left[\frac{p}{\sqrt{1-p^2}} + \left(1 - \frac{p^2}{1-p^2} \right) \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{p}{\sqrt{1-p^2}} \right) \right].$$

Окончательные выражения для электрокинетического потенциала приведены в табл. 3.

Таким образом, если наностержни описывать формулами для эллипсоидов вращения, то их электрокинетический потенциал ζ_{nr} будет равен

$$\zeta_{nr} = \begin{cases} \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{4 \ln(p + \sqrt{p^2 - 1})}{-\frac{2p}{\sqrt{p^2 - 1}} - \left(1 + \frac{p^2}{p^2 - 1}\right) \ln \frac{p - \sqrt{p^2 - 1}}{p + \sqrt{p^2 - 1}}}, & 0 < p < 1; \\ \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{3}{2}, & p = 1; \\ \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{4 \arccos(p)}{\left(\frac{1}{1-p^2} + 2\right) \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{p}{\sqrt{1-p^2}}\right) - \frac{p}{\sqrt{1-p^2}}}, & p > 1. \end{cases} \quad (3)$$

При этом было учтено, что при переходе от $p < 1$ к $p > 1$ происходит изменение ориентации эллипсоида относительно направления движения вдоль электрического поля.

Формулы для коэффициентов диффузии частиц разной формы

№ п/п	Форма частиц	Коэффициент диффузии D
1	Шар радиуса R	$D_s = \frac{kT}{6\pi\eta R}$
2	Цилиндр радиуса R и длины H с аспектным отношением $p = H / (2R)$	$D_c^{\parallel} = \frac{kT}{2\pi\eta H} \left[\ln(p) - 0,207 + \frac{0,98}{p} - \frac{0,133}{p^2} \right];$ $D_c^{\perp} = \frac{kT}{4\pi\eta H} \left[\ln(p) + 0,839 + \frac{0,185}{p} + \frac{0,233}{p^2} \right]$
3	Диск радиуса R и толщины H с аспектным отношением $p = H / (2R), H \ll R$	$D_d^{\parallel} = \frac{kT}{16\eta R}; \quad D_d^{\perp} = \frac{3kT}{32\eta R}$
4	Вытянутый эллипсоид вращения с главными полуосями $a > b = c$, с аспектным отношением $p = a / b > 1$	$D_{pe}^a = \frac{kT(\chi_0 + \alpha_0 a^2)}{16\pi\eta ab^2}; \quad D_{oe}^b = \frac{kT(\chi_0 + \beta_0 b^2)}{16\pi\eta ab^2}$
5	Сплюснутый эллипсоид вращения с главными полуосями $a = b > c$, с аспектным отношением $p = c / a < 1$	$D_{pe}^a = \frac{kT(\chi_0 + \alpha_0 a^2)}{16\pi\eta a^2 c}; \quad D_{oe}^c = \frac{kT(\chi_0 + \gamma_0 c^2)}{16\pi\eta a^2 c}$

Примечания:
1) коэффициенты диффузии соответствуют: D^{\parallel} – движению вдоль оси цилиндра (диска); D^{\perp} – движению вдоль оси, перпендикулярной оси цилиндра (диска); D^a, D^b, D^c – движению вдоль осей a, b, c эллипсоида соответственно;
2) T – абсолютная температура; k – постоянная Больцмана; η – вязкость среды;
3) в соответствии с [14]:

$$\chi_0 = \int_0^{\infty} \frac{abc}{\sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda; \quad \alpha_0 = \int_0^{\infty} \frac{abc}{(a^2 + \lambda)\sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda;$$

$$\beta_0 = \int_0^{\infty} \frac{abc}{(b^2 + \lambda)\sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda; \quad \gamma_0 = \int_0^{\infty} \frac{abc}{(c^2 + \lambda)\sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda.$$

Электрокинетический потенциал наночастиц разной формы

№ п/п	Форма частиц	Электрокинетический потенциал ζ
1	Шар	$\zeta_s = \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{3}{2}$
2	Цилиндр радиуса R и длины H с аспектным отношением $p = H / (2R)$	$\zeta_c = \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{\ln(2p + \sqrt{4p^2 + 1}) + \frac{1}{2p} - \sqrt{\frac{1}{4p^2} + 1}}{\ln(p) - 0,207 + \frac{0,98}{p} - \frac{0,133}{p^2}}$
3	Диск радиуса R и толщины H с аспектным отношением $p = H / (2R), H \ll R$	$\zeta_d = \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{16R}{\pi H} \left[\ln(2p + \sqrt{4p^2 + 1}) + \frac{1}{2p} - \sqrt{\frac{1}{4p^2} + 1} \right]$
4	Вытянутый эллипсоид вращения с главными полуосями $a > b = c$ с аспектным отношением $p = a / b > 1$	$\zeta_{pe} = \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{4\ln(p + \sqrt{p^2 - 1})}{-\frac{2p}{\sqrt{p^2 - 1}} - \left(1 + \frac{p^2}{p^2 - 1}\right) \ln \frac{p - \sqrt{p^2 - 1}}{p + \sqrt{p^2 - 1}}}$
5	Сплюснутый эллипсоид вращения с главными полуосями $a = b > c$ с аспектным отношением $p = c / a < 1$	$\zeta_{oe} = \frac{v \eta}{E \epsilon} \frac{4 \arccos(p)}{\left(\frac{1}{1 - p^2} + 2\right) \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{p}{\sqrt{1 - p^2}}\right) - \frac{p}{\sqrt{1 - p^2}}}$

Результаты

По формуле (3) можно рассчитать значения электрокинетического потенциала наностержней с различным аспектным отношением.

На рис. 1 представлены зависимости электрокинетического потенциала ζ от подвижности v/E для наностержней с различным аспектным отношением, а на рис. 2 – зависимость от аспектного отношения p функции

$$f(p) = \zeta_{nr} \frac{\varepsilon E}{\eta v}$$

Как видно из рис. 1, электрокинетический потенциал наностержней, рассчитанный с использованием формулы (3), отличается от электрокинетического потенциала сферических наночастиц и зависит от аспектного отношения. Использование для расчета электрокинетического потенциала несферических наночастиц формулы (2), как это делается в существующих приборах, может приводить к ошибочным суждениям о степени и характере взаимодействия частиц между собой и с жидкой средой.

Зависимость, показанная на рис. 2, является достаточно универсальной, зависит только от аспектного отношения и может быть полезна при анализе свойств жидких дисперсий смесей наностержней с различным аспектным отношением.

Заключение

Электрокинетический потенциал наночастиц зависит от емкости и коэффициента диффузии. Для частиц, имеющих форму, отличную от сферической, электрокинетический потенциал отличается от значения, рассчитанного по формуле (2), что необходимо учитывать при измерении электрокинетического потенциала жидких дисперсий с помощью существующих приборов.

Приведены аналитические выражения для емкости и коэффициентов диффузии частиц, имеющих форму цилиндров и эллипсоидов вращения. Получены аналитические выражения для электрокинетического потенциала наностержней, описываемых формулами для эллипсоидов вращения. Рассчитаны зависимости электрокинетического потенциала наностержней от подвижности при разных аспектных отношениях. Рассчитана универсальная зависимость величины

$$f(p) = \zeta_{nr} \frac{\varepsilon E}{\eta v}$$

от аспектного отношения наностержней.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании коллоидных систем несферических наночастиц, измерениях свойств клеток в цитологии, а также при разработке новых измерительных приборов для биологических применений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.575.21.0090, идентификатор RFMEFI57514X0090).

Список литературы:

1. Nanoparticles in Biology and Medicine / Ed. Soloviev M. – Springer Protocols. 2012. Vol. 906.
2. Khlebtsov B.N. et al. Overgrowth of gold nanorods by using a binary surfactant mixture // Langmuir. 2014. Vol. 30. № 6. PP. 1696-1703.
3. Shershneva A.M. et al. Study of Electrokinetic Potential of Drug Micro-Carriers Prepared from Resorbable Polymers Bioplastotan // Biophysics. 2014. Vol. 59. № 4. PP. 561-567.
4. Maia J.L., Santana M.H.A., Ré M.I. The effect of some processing conditions on the characteristics of biodegradable microspheres obtained by an emulsion solvent evaporation process // Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2004. Vol. 21. № 1. PP. 1-12.

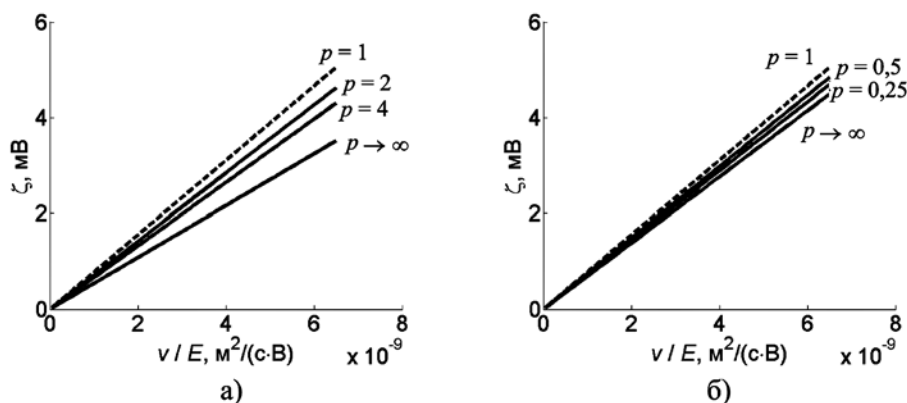


Рис. 1. Зависимость электрокинетического потенциала ζ_{nr} наностержней от подвижности частиц v/E для аспектных отношений $p > 1$ (а) и $p < 1$ (б); $p = 1$ соответствует сферам (пунктирная линия)

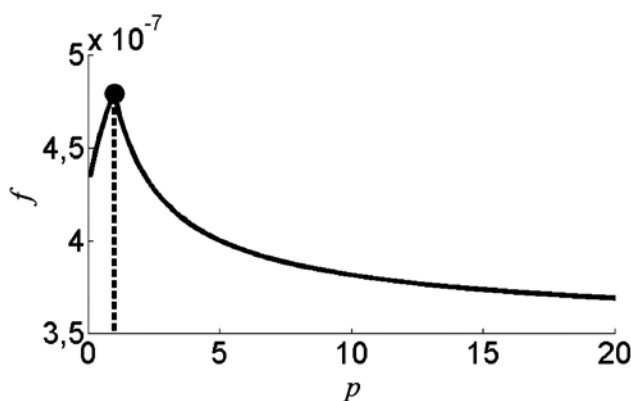


Рис. 2. Зависимость $f(p) = \zeta_{nr} \varepsilon E / \eta v$ от аспектного отношения p для наностержней; для сфер $p = 1$

5. Gratton S.E.A. et al. The effect of particle design on cellular internalization pathways // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008. Vol. 105. № 33. PP. 11613-11618.
6. Wang J. et al. More Effective Nanomedicines through Particle Design // Small. 2011. Vol. 7. № 14. PP. 1919-1931.
7. Rosi N.L. et al. Oligonucleotide-Modified Gold Nanoparticles for Intracellular Gene Regulation // Science. 2006. Vol. 312. № 5776. PP. 1027-1030.
8. Werner C. et al. Electrokinetic surface characterization of biomedical polymers – A survey // Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects. 1999. Vol. 159. № 2. PP. 519-529.
9. Cieřla J. et al. Determination of the electrokinetic potential of *Rhizobium leguminosarum* bv trifolii Rt24.2 using Laser Doppler Velocimetry – A methodological study // Journal of Microbiological Methods. 2011. Vol. 85. PP. 199-205.
10. Kuo Y., Lin T. Electrophoretic Mobility, Zeta Potential, and Fixed Charge Density of Bovine Knee Chondrocytes, Methyl Methacrylate-Sulfopropyl Methacrylate, Polybutylcyanoacrylate, and Solid Lipid Nanoparticles // The Journal of Physical Chemistry B. 2006. Vol. 110. № 5. PP. 80-83.
11. Bondar O.V. et al. Monitoring of the zeta potential of human cells upon reduction in their viability and interaction with polymers // Acta Naturae. 2012. Vol. 4. № 1. PP. 78-81.
12. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.: Энергия, 2004.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 8: Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982.
14. Ламб Г. Гидродинамика. – М.: ОГИЗ, 1947.
15. Tirado M.M., Martinez C.L., Garcia de la Torre J. Comparison of theories for the translational and rotational diffusion coefficients of rodlike macromolecules. Application to short DNA fragments // The Journal of Chemical Physics. 1984. Vol. 81. PP. 2047-2052.
16. Hunter R.J., Ottewill R.H., Rowell R.L. Zeta Potential in Colloid Science. – Elsevier, 1981.
17. Цветков В.Н., Эскин В.Е., Френкель С.Я. Структура макромолекул в растворах. – М.: Наука, 1964.

*Сергей Андреевич Терещенко,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
Павел Владимирович Шалаев,
магистр,*

*Юрий Петрович Маслобоев,
канд. физ.-мат. наук, доцент,*

*Сергей Анатолиевич Долгушин,
канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник,
кафедра биомедицинских систем,
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,*

г. Москва, г. Зеленоград,

Виктор Альфредович Дешабо,

ст. научный сотрудник,

Игорь Кронидович Юдин,

*канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
лаборатория фазовых переходов*

и критических явлений,

Институт проблем нефти и газа РАН,

г. Москва,

e-mail: tsa@miee.ru

А.А. Десова, А.А. Дорофеюк, А.М. Анохин

Выявление артериальной гипертензии в детском и подростковом возрасте на основе анализа пульсового сигнала лучевой артерии

Аннотация

Рассмотрена процедура выявления ранней стадии артериальной гипертензии в детском и подростковом возрасте на основе анализа характеристик пульсового сигнала лучевой артерии. Приведены результаты типологического анализа формы базового периода сигнала, а также его ритмической структуры. На основе алгоритмов распознавания образов оценена степень информативности признаков, определяемых параметрами колебательных компонент сигнала. Сформировано решающее правило для выявления артериальной гипертензии у пациентов в детском и подростковом возрасте, приведены вероятностные оценки его эффективности.

Введение

Известно, что решение проблемы диагностики артериальной гипертензии на ранних стадиях ее проявления сопряжено со значительными трудностями в силу отсутствия информативных диагностических неинвазивных тестов. Широкое распространение гипертонической болезни ставит проблему ее ранней диагностики и профилактики на одно из первых мест в области здравоохранения. Многочисленными исследованиями доказано, что истоки гипертонической болезни взрослых находятся в детском и подростковом возрасте [1], [2]. Именно в этом возрасте должна проводиться активная профилактика не только ранних стадий повышения артериального давления, но и предрасположенности к его повышению. Сложность выявления ранних форм артериальной гипертензии определяется тем, что в начальной стадии заболевания повышение давления регистрируется не всегда. В то же время отсутствуют доступные практическому здравоохранению диагностические неинвазивные тесты, обеспечивающие выявление ранних стадий

заболевания. Именно поэтому задача совершенствования методов диагностики, обеспечивающих возможность проведения широкой профилактики первичной артериальной гипертензии у детей и подростков, является весьма актуальной.

Известно, что в сигнале периферического пульса, в частности лучевой артерии, находят свое отражение как процессы высших уровней регуляции, так и многие гемодинамические характеристики сердечно-сосудистой системы [3]. Ценность пульсового анализа заключается в том, что функциональные дисбалансы определяются раньше момента их проявления на уровне клеточных изменений. Это дает большие преимущества в диагностике и профилактике болезней сердечно-сосудистой системы задолго до их проявления на морфологическом уровне.

Проведенные ранее исследования авторов [4], [5] по оценке диагностической значимости характеристик пульсового сигнала лучевой артерии позволили сформулировать основные подходы к анализу этих сигналов применительно, в частности, к выявлению артериальной гипертензии в детском и под-