

Л.В. Лукашенко, Ю.О. Синяченко, Т.Б. Бевзенко, Ю.О. Брыжатая, Е.Г. Игнатенко

## АДСОРБЦИОННО-РЕОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЫВОРОТКИ КРОВИ И МОЧИ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ

Донецкий национальный медицинский университет им. М.Горького, Украина

**Реферат.** Пол и возраст людей оказывают влияние на интегральные показатели адсорбционно-реологических свойств сыворотки крови и мочи, причем гендерные особенности мочи преимущественно касаются равновесного (статического) поверхностного натяжения, а в меньшей степени — вязкоэластичных, релаксационных, поверхностных вязких и упругих свойств. С возрастом изменяются значения угла наклона и фазового угла тензиограмм, а состояние межфазной активности этой биологической жидкости у мужчин и женщин имеет разнонаправленную корреляционную связь. Адсорбционные и реологические параметры мочи коррелируют между собой и с отдельными физико-химическими показателями крови, причем половой диморфизм таких взаимоотношений касается поверхностного натяжения при коротких временах существования поверхности и интегрального адсорбционного коэффициента.

**Ключевые слова:** здоровые люди, кровь, моча, адсорбция, реология

Уровень взвешенных плотных стойких частиц и взаимоотношения концентрации сурфактантов и инсурфактантов определяют адсорбционные и реологические свойства сложных растворов, какими являются кровь и моча [10, 16]. Изменения площади межфазной поверхности этих биологических жидкостей нарушают адсорбционное равновесие и инициируют процессы, которые ведут к восстановлению статического состояния системы [11, 21]. Такими процессами являются диффузионный перенос вещества из объема поверхности, химические реакции в поверхностном слое, адсорбция/десорбция сурфактанта, конформационные изменения или агрегация адсорбированных молекул.

Современные исследования адсорбционно-реологических свойств сыворотки крови (АРСК) и мочи (АРСМ) основываются на методах максимального давления в пузырьке, анализа формы осесимметричных капель и осциллирующей капли. За последние годы появилась возможность оценивать не только динамическую межфазную активность, релаксацию, суммарный модуль вязкоэластичности, но и отдельно поверхностную вязкость и упругость биологических жидкостей [4, 9, 11]. В конце прошлого столетия с помощью компьютерных регистрирующих приборов "MPT1-Lauda" и "MPT2-Lauda" сотрудники Донецкого медицинского университета впервые у здоровых людей измерили динамическое поверхностное натяжение крови и мочи при разных временах существования поверхности (0,01 с, 1 с, 100 с), а затем доказали диагностическую значимость этого интегрального высокоточного метода при различных заболеваниях, связь с уровнями в организме белковых и липидных сурфактантов [7]. Последующая разработка метода, реализо-

ванного в компьютерном тензиометре "ADSA-Toronto", позволила оценивать вязкоэластичные и релаксационные свойства крови и мочи [19]. Наконец, разработка и внедрение в клиническую практику прибора "PAT2-Sinterface" дали возможность определять отдельно вязкие и упругие поверхностные параметры биологических жидкостей [7, 8]. Имеются данные, что объемная вязкость плазмы крови, как реологический показатель, прямо коррелирует со значениями аналогичного биофизического теста мочи, который увеличивается согласно повышению мочевых концентраций небелковых азотистых продуктов [18].

Необходимо отметить, что компьютерные физико-химические исследования АРСК и АРСМ точно (ошибка измерений не более 0,1%) позволяют в интегральном виде оценивать содержание сурфактантов и инсурфактантов, что может в будущем повысить качество диагностики многих заболеваний, раскрыть новые звенья их патогенеза, разработать высокоинформативные прогностические критерии. Вместе с тем, еще окончательно не изучены такие показатели у здоровых людей, абсолютно не определены значения у представителей разного пола и возраста [1, 2]. Гендерные особенности и возрастной диморфизм АРСК и АРСМ здоровых людей стали целью данного исследования.

### М а т е р и а л и м е т о д ы

Обследованы 52 практически здоровых человека, среди которых было 18 мужчин (35%) и 34 (65%) женщины в возрасте от 18 до 58 лет (в среднем  $33 \pm 1,3$  года). Представители разного пола по возрасту между собой не отличались.

Межфазную тензиометрию сыворотки крови и мочи проводили с использованием компьютерных аппаратов "MPT2-Lauda" (Германия), основанного на методе максимального давления в пузырьке, "ADSA-Toronto" (Германия-Канада), основанного на методе анализа формы осесимметричных капель, и "PAT2-Sinterface" (Германия), основанного на методе осциллирующей капли. Изучали поверхностное натяжение при временах (t) существования поверхности, равных 0,01 с ( $\sigma_{0,01}$ ), 1 с ( $\sigma_1$ ), 100 с ( $\sigma_{100}$ ), а также равновесное (статическое) поверхностное натяжение при t стремящемся к бесконечности ( $\sigma_{\text{бесконечности}}$ ), модуль вязкоэластичности ( $\epsilon$ ), время релаксации ( $\tau$ ), поверхностные упругость ( $\rho_0$ ) и вязкость ( $\mu$ ), угловые коэффициенты реальной и мнимой вязкоупругости (соответственно  $\nu$  и  $\omega$ ), интегральный угловой коэффициент вязкоупругости ( $\text{ipsilon}$ ). В наших исследованиях применялась быстрая стрессовая деформация расширения поверхности (при  $t=1200$

Таблица 1. Показатели АРСК у здоровых людей (M±m)

Показатели	Группы обследованных		
	все (n=52)	мужчины (n=18)	женщины (n=34)
$\sigma_{0,01}$ , мН/м	73,0±0,29	67,8±0,20	56,5±0,53
$\sigma_{100}$ , мН/м	42,7±0,28	58,5±0,48	13,8±0,60
$\sigma_{100}$ , мН/м	2,8±0,03	17,8±0,72	145,6±8,04
$\sigma_{\text{бесконечности}}$ , мН/м	15,6±1,44	5,6±0,62	42,8±0,69
$\zeta$ , %	15,5±0,24	1,3±0,03	23,7±1,05
$\delta$ , мН/м	114,0±3,21	21,0±0,33	23,0±0,3
$\psi$ , о.е.	73,1±0,34	67,7±0,27	56,0±1,00
$\lambda$ , мН/м <sup>1</sup> х с <sup>1/2</sup>	43,2±0,32	59,1±0,61	12,7±0,92
$f_i$ , мН/м <sup>1</sup> х с <sup>1/2</sup>	2,7±0,05	18,7±1,39	130,2±9,92
$\kappa$ , %	16,0±1,68	4,4±0,57	43,0±0,98
$\xi$ , о.е.	15,8±0,47	1,3±0,05	24,0±1,60
$\rho$ , мН/м	117,9±4,47	20,2±0,57	2,9±0,4
$\mu$ , мН/м	73,0±0,41	67,9±0,28	56,8±0,62
$\eta$ , мПа х с	42,5±0,39	58,3±0,66	14,3±0,77
$\epsilon$ , мН/м	2,9±0,04	17,3±0,82	153,5±10,98
$\tau$ , сек	15,3±2,03	6,3±0,88	42,6±0,92
$\theta$ , град.	15,4±0,26	1,3±0,04	23,5±1,38
$\nu$ , о.е.	111,9±4,30	21,4±0,40	3,0±0,44

с или  $t=1800$  с). После расширения капли поверхностное натяжение медленно релаксировало, т.е. возвращалось к своему первоначальному значению. Релаксационные свойства сыворотки характеризовали способность монослоя восстанавливать исходное состояние [7, 10, 11]. Мы подсчитывали соотношение  $\sigma_{\text{бесконечности}}/\sigma_{0,01}$  ( $\zeta$ ), разницу между  $\sigma_{100}$  и  $\sigma_{\text{бесконечности}}$  ( $\delta$ ), угол наклона ( $\lambda$ ) и фазовый угол тензиореограмм ( $f_i$ ), их соотношение ( $\kappa$ ). Впервые высчитывали сурфактантный критерий межфазной активности ( $\psi$ ) по формуле:

$$1) \psi = (\sigma_{0,01} + \sigma_1 + \sigma_{0,01} + \sigma_{\text{бесконечности}}) : \omega,$$

где  $\omega$  — протеино-липидный сурфактантный коэффициент, определяемый по формуле:

$$2) \omega = (A+B+10C+20D+5E+10F+G+10H+5I+5J+5K+5L+10M+10N) : 14,$$

где А — общий белок, В — альбумины, С — фибриноген, D — фибронектин, E — С-реактивный протеин, F — 2-микроглобулин, G — иммуноглобулин-G, H — общие липиды, I — холестерин, J — триглицериды, K — липопротеиды высокой плотности, L — липопротеиды низкой плотности, M — аполипопротеиды-A1, N — аполипопротеиды-B (все показатели в г/л), 14 — число показателей.

С помощью ротационного вискозиметра "Low Shear-30" (Швейцария) исследовали объемную вязкость ( $\eta$ ) сыворотки крови. Показатели общего белка, альбуминов, фибриногена, С-реактивного протеина,  $\beta_2$ -микроглобулина, иммуноглобулина-G, общих липидов, фосфолипидов, холестерина, триглицеридов, липопротеидов высокой плотности, липопротеидов низкой плотности, аполипопротеидов А1 и В, калия, натрия, кальция, магния и хлора изучали с помощью биохимических анализаторов "BS-200" (Китай) и "Olympus-AU-640" (Япония), уровень фибронектина — иммуноферментным методом с помо-

щью ридера "PR2100 Sanofi diagnostic pasteur" (Франция).

Фазовый сдвиг между амплитудами колебаний равен углу между реальной и мнимой компонентами вязкости [2]. При этом амплитудные значения поверхностного натяжения отстают от амплитуды колебаний площади. Зависимости, представляемые кривыми упругости и вязкости, являются линейными функциями логарифма частоты. Значения реальной и мнимой составляющих модуля вязкоупругости сывороточного альбумина человека чрезвычайно чувствительны к изменениям поверхностно-активных веществ. Так, добавление всего 1% неионного оксиэтилированного сурфактанта С14Е08 (от массы альбумина) драматическим образом влияет на дилатационную реологию раствора альбумина. Этот результат указывает на очень высокую чувствительность метода для исследования сыворотки крови человека. Как и для модельных растворов, существует зависимость реальной компоненты (упругости) и мнимой (вязкости) для сыворотки крови от логарифма угловой частоты.

Статистическая обработка полученных результатов исследований проведена с помощью компьютерного вариационного, корреляционного, непараметрического, одно- (ANOVA) и многофакторного (ANOVA/MANOVA) дисперсионного анализа (программы "Microsoft Excel" и "Statistica-Stat-Soft", США). Оценивали средние значения (M), их ошибки (m), стандартные ошибки, коэффициенты корреляции, критерии дисперсии, Стьюдента, Уилкоксона-Рао, Макнемара-Фишера и достоверность статистических показателей (p).

#### Результаты и обсуждение

Показатели АРСК здоровых людей представлены в таблице 1, а АРСМ — в таблице 2. Как видно, отсутствуют отличия отдельных физико-химических параметров у мужчин и женщин,

Таблица 2. Показатели APCM у здоровых людей (M±m)

Показатели	Группы обследованных		
	все (n=52)	мужчины (n=18)	женщины (n=34)
$\sigma_{0,01}$ , мН/м	70,9±0,19	68,0±0,48	60,2±1,02
$\sigma_1$ , мН/м	46,2±0,51	65,2±0,66	14,2±0,80
$\sigma_{100}$ , мН/м	17,3±1,34	101,2±5,29	20,8±1,94
$\sigma_{\text{бесконечности}}$ , мН/м	3,3±0,35	37,2±1,60	7,8±0,60
$\zeta$ , %	20,3±0,78	327,0±20,77	9,4±0,85
$\delta$ , мН/м	3,6±0,81	69,8±0,15	65,2±0,54
$\lambda$ , мН/м <sup>1</sup> х с <sup>1/2</sup>	54,0±1,03	44,0±0,34	63,1±0,40
$\eta$ , мН/м <sup>1</sup> х с <sup>1/2</sup>	10,4±0,89	22,3±2,29	77,8±6,06
$\kappa$ , %	30,6±2,43	1,5±0,10	34,2±2,30
$\xi$ , о.е.	7,6±0,97	19,2±1,50	291,0±29,26
$\rho$ , мН/м	10,1±1,25	5,8±1,61	71,8±0,14 *
$\mu$ , мН/м	70,5±0,20 *	65,7±0,35 *	48,2±0,70 *
$\epsilon$ , мН/м	67,1±1,06 *	17,5±0,82 *	12,8±0,78 *
$\tau$ , сек	121,1±5,86 *	12,2±1,47 *	4,9±0,44 *
$\psi$ , град.	39,8±2,12	8,0±0,74	21,3±0,64
$\nu$ , о.е.	358,5±28,34	8,8±1,17	1,6±0,21 *

\* Различия между отдельными аналогичными показателями у мужчин и женщин статистически достоверны (p<0,05)

хотя по данным многофакторного дисперсионного анализа пол людей оказывает высокодостоверное влияние на интегральные показатели APCM, но не отдельно на адсорбционное и реологическое состояние крови. Как свидетельствует ANOVA/MANOVA, возраст обследованных лиц влияет на интегральное состояние APCM. Однофакторный дисперсионный анализ указывает на достоверную связь с полом людей параметров  $\zeta$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $\nu$  и  $\psi$ . Следовательно, адсорбционные и реологические значения сыворотки крови здоровых лиц зависят от их пола, хотя гендерные особенности средних показателей отсутствуют.

С возрастом связаны уровни в сыворотке крови  $\sigma_{100}$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $\eta$ ,  $\epsilon$  и  $\psi$ . Как показывает корреляционный анализ, согласно возрасту людей увеличиваются показатели  $\eta$  и  $\epsilon$ , но уменьшаются к старости значения межфазной активности при времени существования поверхности, равному 100 с, показатели  $\delta$  и  $\rho$ .

Параметры  $\omega$  у мужчин и женщин мало отличаются между собой, соответственно составляя 22,0±0,31 о.е. и 21,4±0,24 о.е. На этот интегральный сурфактантный показатель слабо влияет возраст людей, о чем свидетельствует однофакторный дисперсионный анализ. Существуют определенные корреляционные связи между отдельными значениями адсорбционных и реологических свойств крови. Так, уровень  $\rho$  коррелирует с  $\sigma_{100}$  и  $\delta$ , а обратно — с  $\kappa$ , показатели  $\psi$  достоверно соотносятся с  $\sigma_{100}$ ,  $\zeta$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ . Модуль вязкоэластичности сыворотки крови имеет обратные связи с равновесным поверхностным натяжением, с показателями  $\zeta$  и  $\kappa$ , а прямые — с  $\eta$  и  $\xi$ . Если  $\sigma_{\text{бесконечности}}$  и  $\eta$  коррелируют только с  $\epsilon$ , то  $\eta$  и  $\psi$  — лишь с  $\rho$  (соответственно позитивная и негативная). С

показателями реологии крови отсутствуют корреляции межфазной активности сыворотки в зоне очень коротких времен "жизни поверхности" ( $\sigma_{0,01}$ ).

Типичные тензиореограммы мочи, выполненные на "ADSA-Toronto" и "PAT2-Sinterface", представлены на рисунках 1 и 2. По данным многофакторного дисперсионного анализа, отмечается высокодостоверное влияние пола и возраста людей на интегральные показатели APCM, а также отдельно на адсорбционное и реологическое состояние мочи.

Однофакторный дисперсионный анализ свидетельствует о достоверной зависимости от пола обследованных лиц параметров  $\sigma_{\text{бесконечности}}$ ,  $\zeta$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\eta$ ,  $\kappa$ ,  $\xi$ ,  $\rho$ ,  $\mu$  и  $\nu$  мочи. По сравнению с женщинами, у мужчин на 74% увеличиваются параметры  $\lambda$ , в 2,5 раза значения  $\kappa$  и в 3,6 раза  $\psi$ . Половой диморфизм состояния APCM проявляется более высокими значениями у женщин  $\sigma_{0,01}$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{100}$ ,  $\sigma_{\text{бесконечности}}$ ,  $\zeta$ ,  $\delta$ ,  $\eta$  и  $\xi$ . Установлено, что гендерное влияние не касается показателей динамического поверхностного натяжения, вязкоэластичных и релаксационных свойств мочи.

Отсутствуют достоверные взаимоотношения  $\delta$  с составляющими реологических свойств мочи. Уровень  $\psi$  обратно коррелирует с динамическим поверхностным натяжением ( $\sigma_{0,01}$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{100}$ ,  $\sigma_{\text{бесконечности}}$ ,  $\zeta$ ) и  $\xi$ . Кроме того, значения  $\sigma_{0,01}$  мочи прямо связаны с  $\rho$ ;  $\sigma_1$  — с  $\rho$ ,  $\mu$  и  $\epsilon$ ;  $\sigma_{\text{бесконечности}}$  — только с  $\epsilon$ ;  $\zeta$  и  $\lambda$  — лишь с  $\tau$ ;  $\eta$  и  $\kappa$  — с  $\mu$ ,  $\tau$  и  $\psi$ ;  $\xi$  — с  $\tau$  и  $\psi$ . У мужчин и женщин общностью достоверных корреляций (или общностью их отсутствия) в отношении реологии мочи можно считать такие значения адсорбционных свойств данной биологической жидкости, как  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{100}$ ,  $\sigma_{\text{бесконечности}}$ ,  $\zeta$ ,  $\delta$ ,  $\eta$  и  $\kappa$ , тогда как в группе мужчин  $\sigma_{0,01}$  коррелирует с  $\mu$ ,

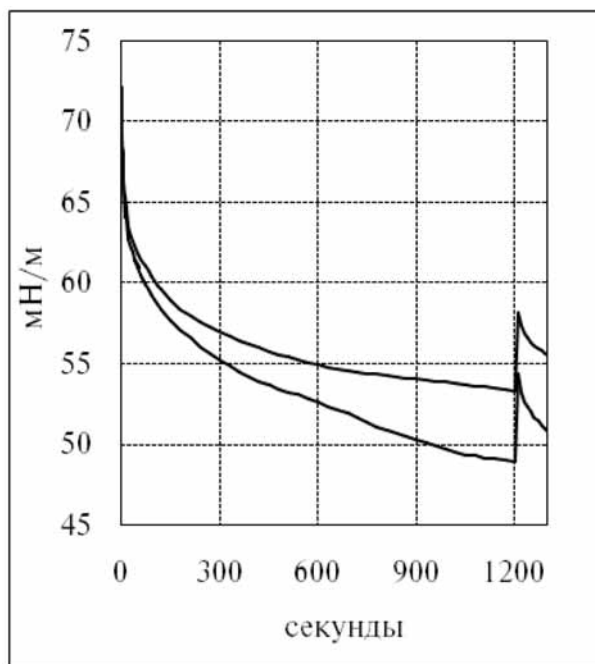


Рис. 1. Тензиореограммы мочи здоровых людей (верхняя — мужчина 50 лет, нижняя — мужчина 20 лет). "ADSA-Toronto"

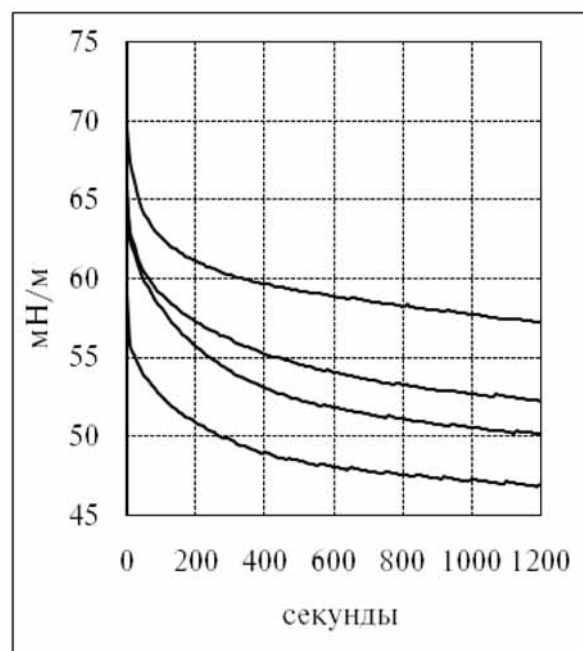


Рис. 2. Тензиореограммы мочи здоровых людей (две верхние — женщины, две нижние — мужчины). "PAT2-Sinterface"

тау, и ipsilon, а в женской группе обследованных — с epsilon и ipsilon; соответственно lambda — с ro, epsilon, nu и с mu, tau, ipsilon; соответственно xi — с mu, ipsilon и с tau, nu.

Ранее было показано, что АРСК здоровых людей определяются концентрациями в сыворотке липидов (холестерин, триглицериды, фосфолипиды, липопротеиды низкой плотности, аполипопротеиды А1 и В) [15, 17] и протеинов (альбумин, С-реактивный белок, beta<sub>2</sub>-микроглобулин, фибриноген, фибронектин, иммуноглобулин-Г) и др. [3, 6, 20]. По нашим данным, уровень omega влияет на интегральное состояние реологических, но не адсорбционных свойств крови, о чем свидетельствует ANOVA/MANOVA. По результатам ANOVA, от omega зависят параметры ro, тогда как корреляционная связь установлена в отношении omega и eta. Пол и возраст людей не оказывают воздействия на интегральный уровень белково-липидных сурфактантов и электролитных инсурфактантов в крови. В свою очередь, возраст влияет на общий липидный статус.

Существует половой диморфизм в отношении концентрации альбуминов в крови, которая у мужчин на 12% выше. Исходя из ANOVA, возраст людей влияет на содержание в сыворотке альбуминов и фибронектина, а корреляционный анализ демонстрирует обратную связь с возрастом параметров протеинемии и прямое соотношение с уровнем в крови липопротеидов низкой плотности. Уровень общего белка в сыворотке крови коррелирует с ipsilon, альбуминов — с mu, С-реактивного протеина — с mu и tau, фибриногена и холестерина — с eta, липопротеидов низкой плотности — с sigma<sub>0,01</sub> и eta, высокой плотности — с sigma<sub>1</sub>, аполипопротеидов-А1 — с ro и tau, аполипопротеидов-В — с ro и eta. Следовательно, при разных обстоятельствах одни и те же белки

и липиды могут выступать в роли сурфактантов и поверхностно-инактивных веществ.

Необходимо отметить, что предыдущие исследования [7, 19] свидетельствуют о том, что поверхностное натяжение при коротких временах существования поверхности (sigma<sub>0,01</sub>, sigma<sub>1</sub>) определяется уровнями в моче низкомолекулярных сурфактантов, а при длинных временах (sigma<sub>100</sub>, sigma<sub>бесконечности</sub>) — высокомолекулярных поверхностноактивных веществ (например, фибронектина, beta2-микроглобулина). По нашим данным, гендерные особенности АРСМ зависят от уровня в моче эйкозаноидов (простаноиды, жирные оксикислоты, лейкотриены), нелипидных (пальмитиновая и гиалуроновая кислоты) и небелковых азотистых компонентов (нитриты, мочевина, креатинин, мочевая кислота). У мужчин особенности сурфактантных компонентов мочи приводят в большей степени к изменению перемещения и мобилизации поверхностно-активных молекул из глубже лежащего слоя в наружный.

В отличие от взрослых людей, для детского возраста мало типичны корреляционные связи между отдельными показателями АРСК и АРСМ, однако у девочек имеет место взаимозависимость sigma<sub>0,01</sub>, sigma<sub>1</sub> и sigma<sub>100</sub> мочи и sigma<sub>бесконечности</sub> крови. У детей sigma<sub>0,01</sub> и ro мочи выше, чем у взрослых. Половые различия у детей касаются лишь параметров тензиореограмм мочи в области коротких времен существования поверхности и поверхностной вязкоупругости (в группе мальчиков показатели значительно выше, чем в группе девочек). Если lambda и epsilon тензиореограмм мочи к четвертому десятилетию жизни людей постепенно увеличивается и затем практически остается без изменений, то такие же показатели сыворотки крови с возрастом постоянно уменьшаются.

Если изменение площади поверхности происходит по гармоническому закону (синусоидальные деформации) и относительно невелико (менее 10%), то связь между площадью поверхности и ответом системы на это воздействие (изменением динамического поверхностного натяжения) может быть выражена через дилатационный модуль, учитывающий все релаксационные процессы, влияющие на межфазную активность [4, 5]. Дилатационный модуль характеризует вязкоупругие свойства поверхностных (межфазных) слоев, а фазовый сдвиг между амплитудами колебаний равен углу между реальной и мнимой компонентами вязкости, причем амплитудные значения поверхностного натяжения отстают от амплитуды колебаний площади. Зависимости, представляемые кривыми упругости и вязкости, являются линейными функциями логарифма частоты [9].

Поскольку упругость при фиксированной концентрации сурфактантов возрастает с увеличением частоты, то параметры  $\rho$  и  $\mu$  всегда положительны, а величина этих показателей определяется характером поверхностно-активных веществ [9-11]. Сложная картина наблюдается для смесей белков с низкомолекулярными поверхностно-активными веществами в сыворотке крови. Увеличение кислотности этой биологической жидкости повышает эластичные свойства поверхности вследствие усиления электростатических взаимодействий, компенсированных для уменьшения внутримолекулярной ассоциации [14].

В заключение следует отметить, что динамическая межфазная тензиореометрия растворов различных органических и неорганических веществ *in vitro*, являющиеся компонентами крови и мочи, в настоящее время выполняется в основном в области больших времен (10 с и более), тогда как практический интерес для медицинской практики имеют быстропротекающие процессы в концентрированных растворах. Пока еще установлено ограниченное число общих закономерностей динамического адсорбционного поведения белков, небелковых азотистых продуктов и неорганических электролитов на границе фаз в индивидуальных и смешанных растворах, особенно в условиях разных pH, однако эти сведения уже сейчас могут быть определенной базой для анализа динамических тензиореограмм реальных крови и мочи.

Таким образом, пол и возраст людей оказывают высокостойкое влияние на интегральные показатели АРСК и АРСМ, причем гендерные особенности АРСМ преимущественно касаются равновесного (статического) поверхностного натяжения, а в меньшей степени — вязкоэластичных, релаксационных, поверхностных вязких и упругих свойств. Существует связь с полом людей отдельных параметров адсорбционных ( $\zeta$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ) и реологических ( $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $\nu$ ) характеристик сыворотки крови, которые коррелируют между собой.

С возрастом увеличиваются показатели мочи, но уменьшаются значения  $\eta$  и  $\nu$ , хотя состояние межфазной активности этой биологи-

ческой жидкости у мужчин и женщин имеет разнонаправленную корреляционную связь. Адсорбционные и реологические параметры мочи коррелируют не только между собой, а и с отдельными физико-химическими показателями АРСК. Половой диморфизм таких взаимоотношений касается поверхностного натяжения при коротких временах существования поверхности и интегрального адсорбционного коэффициента.

Представленные данные открывают хорошие перспективы для оценки АРСК и АРСМ в клинической практике с целью улучшения качества диагностики сердечно-сосудистых, ревматологических, нефрологических, инфекционных, неврологических, онкологических и многих других болезней, что, мы надеемся, позволит повысить уровень прогнозирования течения патологического процесса и эффективность проводимых лечебных мероприятий, разработать принципиально новые методы терапии заболевания.

L.V. Lukashenko, Yu.O. Sinyachenko, T.B. Bevzenko, Yu.O. Brizhata, K.G. Ignatenko

### **Adsorptive and Rheological Condition of Blood Serum and Urine of Healthy Persons**

Sex and age of people influence the integral indexes of adsorptive and rheological properties of blood serum and urine; sex specifics of urine mainly concern equilibrium (static) surface tension but in lesser degree viscoelastic, relaxational, surface viscous and resilient properties. The value of the angle of inclination and phase angle change with the age; the condition of interphase activity of this biological fluid in men and women has differently directed correlation. Adsorptive and rheological parameters of urine correlate with each other and with separate physicochemical parameters of blood; sexual dimorphism of such relationships deals with surface tension in short times of surface existence and integral adsorptive coefficient (Arch. Clin. Exp. Med.—2013.—Vol.22, №2.—P.201-206).

**Key words:** healthy people, blood, urine, adsorption, rheology

Л.В. Лукашенко, Ю.О. Синяченко, Т.Б. Бевзенко, Ю.О. Брижата, К.Г. Игнатенко

### **Адсорбційно-реологічний стан сироватки крові та сечі здорових людей**

Стать і вік людей діють вплив на інтегральні показники адсорбційно-реологічних властивостей сироватки крові й сечі, причому гендерні особливості сечі переважно стосуються рівноважного (статичного) поверхневого натягу, а у меншому ступені — в'язкоеластичних, релаксацийних, поверхневих в'язких та пружних властивостей. З віком змінюються значення кута нахилу й фазового кута тензіограм, а стан міжфазної активності цієї біологічної рідини у чоловіків і жінок мають різноспрямований кореляційний зв'язок. Адсорбційні та реологічні параметри сечі корелюють між собою і з окремими фізико-хімічними показниками крові, причому статевий диморфізм таких взаємовідношень стосується поверхневого натягу при коротких часах існуван-

на поверхні й інтегрального адсорбційного коефіцієнту (Арх. клін. експ. мед.— 2013.— Т.22, №2.— С.201-206).

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ariola F. S.* Interfacial rheology of blood proteins adsorbed to the aqueous-buffer/air interface / F. S. Ariola, A. Krishnan, E. A. Vogler // *Biomaterials*. — 2006. — Vol. 27, No. 18. — P. 3404-3412.
2. *Fainerman V. B.* Adsorption layer characteristics of mixed oxyethylated surfactant solutions / V. B. Fainerman, E. V. Aksenenko, J. T. Petkov, R. Miller // *J. Phys. Chem B*. — 2010. — Vol. 114, No. 13. — P. 4503-4508.
3. *Kaliviotis E.* An energy-rate based blood viscosity model incorporating aggregate network dynamics / E. Kaliviotis, M. Yianneskis // *Biorheology*. — 2009. — Vol. 46, No. 6. — P. 487-508.
4. *Katayama Y.* Determinants of blood rheology in healthy adults and children using the microchannel array flow analyzer / Y. Katayama, H. Horigome, H. Takahashi, K. Tanaka // *Clin. Appl. Thromb. Hemost.* — 2010. — Vol. 16, No. 4. — P. 414-421.
5. *Kazakov V.N.* Dynamic surface tensiometry in medicine / V. N. Kazakov, O. V. Sinyachenko, V. B. Fainerman, R. Miller. — Amsterdam: Elsevier, 2000. — 373 p.
6. *Kazakov V.N.* Dilational rheology of serum albumin and blood serum solutions as studied by oscillating drop tensiometry / V. N. Kazakov, V. B. Fainerman, P. G. Kondratenko, O. V. Sinyachenko // *Colloids Surf. B. Biointerfaces*. — 2008. — Vol. 62, No. 1. — P. 77-82.
7. *Kazakov V.N.* Interfacial rheology of biological liquids: Application in medical diagnostics and treatment monitoring / V. N. Kazakov, V. M. Knyazevich, O. V. Sinyachenko, V. B. Fainerman / In: *Interfacial Rheology* [Ed. R. Miller and L. Liggieri]. — Leiden: Brill Publ., 2009. — P. 519-566.
8. *Koos E.* Capillary forces in suspension rheology / E. Koos, N. Willenbacher // *Science*. — 2011. — Vol. 331, No. 6019. — P. 897-900.
9. *Kotsmar C.* Thermodynamics, adsorption kinetics and rheology of mixed protein-surfactant interfacial layers / C. Kotsmar, V. Pradines, V. S. Alahverdijeva, E. V. Aksenenko // *Adv. Colloid Interface Sci.* — 2009. — Vol. 150, No. 1. — P. 41-54.
10. *Kovalchuk V.I.* Surface dilational rheology of mixed adsorption layers of proteins and surfactant at liquid interfaces / V. I. Kovalchuk, E. V. Aksenenko, R. Miller, V. B. Fainerman / In: *Interfacial Rheology* [Ed. R. Miller and L. Liggieri]. — Brill Publ., Leiden, 2009. — P. 332-371.
11. *Lucassen-Reynders E.H.* Dilational rheology of protein films adsorbed at fluid interfaces / E. H. Lucassen-Reynders, J. Benjamins, V. B. Fainerman // *Curr. Op. Coll. Interf. Sci.* — 2010. — Vol. 15. — P. 264-270.
12. *Maldonado-Valderrama J.* Effect of gastric conditions on OI-lactoglobulin interfacial networks: influence of the oil phase on protein structure / J. Maldonado-Valderrama, R. Miller, V. B. Fainerman, P. J. Wilde // *Langmuir*. — 2010. — Vol. 26, No. 20. — P. 15901-15908.
13. *Nara M.* Impaired blood rheology and elevated remnant-like lipoprotein particle cholesterol in hypercholesterolaemic subjects / M. Nara, H. Sumino, M. Nara, T. Machida // *J. Int. Med. Res.* — 2009. — Vol. 37, No. 2. — P. 308-317.
14. *Noskov B.A.* Dilational surface visco-elasticity of polyelectrolyte/surfactant solutions: Formation of heterogeneous adsorption layers / B.A. Noskov, G. Loglio, R. Miller // *Adv. Colloid. Interface Sci.* — 2011. — Vol. 163, No. 3. — P. 50-55.
15. *Park Y. J.* Inference from clinical and fluid dynamic studies about underlying cause of spontaneous isolated superior mesenteric artery dissection / Y.J. Park, C.W. Park, K.B. Park, Y.N. Roh // *J. Vasc. Surg.* — 2011. — Vol. 53, No. 1. — P. 80-86.
16. *Rowat A.* A pilot study to assess if urine specific gravity and urine colour charts are useful indicators of dehydration in acute stroke patients / A. Rowat, L. Smith, C. Graham, D. Lyle // *J. Adv. Nurs.* — 2011. — Vol.67, No. 9. — P. 1976-1983.
17. *Sinyachenko O.V.* Dynamic surface tension and surface rheology of biological liquids / O.V. Sinyachenko, D.V. Trukhin, V.N. Kazakov, S.V. Lylyk // *Coll. Surf. Biointerface*. — 2001. — Vol. 21. — P. 231-238.
18. *Zhang W.* A method of printing uniform protein lines by using flat PDMS stamps / W. Zhang, C.Y. Xue, K.L. Yang // *J. Colloid Interface Sci.* — 2011. — Vol. 353, No. 1. — P. 143-148.
19. *Zholob S.A.* Optimisation of calculation methods for determination of surface tensions by drop profile analysis tensiometry / S. A. Zholob, A. V. Makievski, R. Miller, V. B. Fainerman // *Adv. Colloid Interface Sci.* — 2007. — Vol. 31, No. 134 – 135. — P. 322-329.

Надійшла до редакції: 28.11.12 р.