

Вязкоупругие характеристики тканей и их изменения после остеопатической коррекции

Ю. П. Потехина¹, профессор, докт. мед. наук, профессор кафедры нормальной физиологии им. Н. Ю. Беленкова;

Scopus Author ID: 55318321700; ORCID ID: 0000-0001-8674-5633

Е. М. Тиманин², докт. тех. наук, ведущий научный сотрудник; Scopus Author ID: 6701417691;

ORCID ID: 0000-0003-0095-5504

А. Е. Кантинов³, врач-osteopat, акушер-гинеколог

¹ Приволжский исследовательский медицинский университет.

603005, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1

² Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук.

605005, Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46

³ Медико-генетический центр «Геном». 603005, Нижний Новгород, Верхневолжская наб., д. 25

Введение. Объективное измерение степени выраженности мышечного тонуса, особенно локальное, представляет серьезную клиническую проблему. Самый известный объективный способ исследования функции мышц — электромиография. Неинвазивная оценка тонуса и жесткости мышц возможна с помощью прибора для «цифровой пальпации» Myoton. Однако эти методы имеют ряд недостатков, не позволяющих широко применять их для динамической оценки вязкоупругих свойств мышц в процессе лечения.

Цель исследования — изучение вязкоупругих характеристик тканей пальпаторным и инструментальным методами до и после остеопатической коррекции.

Материалы и методы. Были обследованы 14 студентов 18–23 лет (7 занимающихся спортом и 7 — не занимающихся), не имеющих жалоб со стороны опорно-двигательного аппарата. Проводили остеопатическую диагностику и измерение вязкоэластических свойств мышц методом вибрационной вискоэластометрии до и после остеопатической коррекции.

Результаты. Эластичность мышц у занимающихся спортом студентов выше, чем у не занимающихся ($p=0,04$). Сравнение вязкости отличий не обнаружило ($p=0,6$). В группе не занимающихся спортом остеопатическое воздействие приводило к уменьшению эластичности мышц ($p=0,000002$), что может свидетельствовать об их расслаблении. Вязкость при этом практически не менялась ($p=0,45$). В группе занимающихся спортом после сеанса остеопатической коррекции эластичность и вязкость мышц увеличились (соответственно $p=0,0000002$ и $p=0,001$). Перед вторым сеансом (через 2 нед после первого) в этой группе эластичность мышц уменьшилась ($p=0,02$), а вязкость увеличилась ($p=0,03$). Эти изменения можно рассматривать как благоприятные. После второго сеанса эластичность еще понизилась ($p=0,04$), то есть мышцы расслабились.

Заключение. Полученные результаты показали, что метод вискоэластометрии действительно имеет потенциал для объективизации состояния скелетных мышц и эффектов остеопатического воздействия. Изменения вязкоэластических свойств тканей демонстрируют, что эффекты остеопатического воздействия являются неоднозначными и зависят от исходного состояния мышц.

Ключевые слова: тонус мышц, эластичность тканей, вязкость тканей, вибрационная вискоэластометрия, остеопатическая коррекция

Viscoelastic properties of tissues and changes in them after osteopathic correction

Yu. P. Potekhina¹, professor, Ph. D., M. D., D. Sc., professor in the N. Yu. Belenkov Department of Normal Physiology;

Scopus Author ID: 55318321700; ORCID ID: 0000-0001-8674-5633

E. M. Timanin², Ph. D., D. Sc. in engineering, senior researcher; Scopus Author ID: 6701417691;

ORCID ID: 0000-0003-0095-5504

A. E. Kantinov³, osteopathic physician, obstetrician-gynecologist

¹ Privolzhskiy Research Medical University. 10/1, Minin and Pozharsky square, Nizhny Novgorod, 603005

² Federal Research Centre Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences.
46, Ulyanov str., Nizhny Novgorod, 605005

³ Genetic Medical Centre «Genom». 2B, Verkhnevolzhskaya emb., Nizhny Novgorod, 603005

Introduction. Objective measurement of the muscle tone, especially on specific areas, represents a serious clinical issue. The most objective and well-known method for studying muscular function is electromyography. A non-invasive assessment of muscle tone and rigidity is possible by using Myoton digital palpation device. However, these methods have a range of disadvantages, which disable them to be widely used for dynamic evaluation of muscles' viscoelastic properties during treatment, including after osteopathic correction.

Goal of research — to evaluate the viscoelastic properties of tissues using palpation and instrumental techniques before and after osteopathic correction.

Materials and methods. 14 students (7 practicing sports and 7 not practicing sports) aged 18–23 without problems with the musculoskeletal system were examined. Osteopathic diagnostics and measurement of viscoelastic properties of muscles before and after osteopathic correction were performed by vibrational viscoelastometry.

The results. The elasticity in sportsmen's muscles is higher compared to the elasticity of muscles of those who do not practice sports ($p=0,04$). Viscosity comparison did not show any difference ($p=0,6$). In the non-practicing sports group, the osteopathic treatment decreased muscle elasticity ($p=0,000002$), that may indicate their relaxation. At the same time, the viscosity was practically unchanged ($p=0,45$). In the sports-practicing group the elasticity and the viscosity of the muscles increased after the osteopathic correction session ($p=0,0000002$ and $p=0,001$, respectively). In the same group, two weeks after the first session, muscle elasticity decreased ($p=0,02$) and the viscosity increased ($p=0,03$). These changes may be considered as favorable. After the second session of osteopathic correction, the elasticity decreased even more ($p=0,04$), which means that muscles became relaxed.

Conclusions. Therefore, reported results showed that the viscoelastometry method had a real potential for an objective evaluation of the skeletal muscles' condition and the effects of osteopathic treatment. Modifications in the viscoelastic properties of the tissues demonstrate that the effects of osteopathic treatment are ambiguous and depend on the initial muscle's condition.

Key words: muscle tone, tissue elasticity, tissue viscosity, vibrational viscoelastometry, osteopathic correction

Введение

Руки врача-остеопата — его основной инструмент диагностики и лечения. Развитое осязание позволяет ему определять мышцы с повышенным тонусом. Они пальпируются как ткани, отличающиеся по плотности, однородности и смещаемости от соседних участков тела. Иногда в мышцах присутствуют более плотные локальные участки с повышенной болезненностью или без неё. Мышца может иметь повышенный тонус и/или быть укороченной [1].

Объективное измерение степени выраженности мышечного тонуса, особенно локальное, представляет серьезную клиническую проблему. Самый известный объективный способ исследования функции мышц — электромиография (ЭМГ). Это регистрация их электрической активности, которая позволяет устанавливать поражение самих мышц, периферических нервов и мотонейронов передних рогов спинного мозга. На электрической активности мышц отражаются и патологические изменения в надсегментарных структурах ЦНС [2]. С помощью поверхностных электродов можно регистрировать лишь суммарную активность мышц. Для исследования отдельных мышц используют игольчатые электроды, вводимые в толщу мышцы, то есть это инвазивная болезненная процедура.

Неинвазивная оценка тонуса и жесткости мышцы возможна с помощью прибора для «цифровой пальпации» Myoton [3]. Это компактный переносной прибор с небольшим округлым зондом, который направляется перпендикулярно участку кожи над исследуемой мышцей. Зонд

имеет преднагрузку для небольшого давления на подкожные ткани, производя краткий механический импульс и выявляя затухающие колебания. Акселерометр, находящийся внутри прибора, записывает колебания, а программное обеспечение одновременно производит вычисление параметров тканей (эластичность и жесткость). Есть исследования, посвященные его применению у спортсменов [4], а также у больных с цервикогенной головной болью [5] и после перенесенного инсульта [6].

Нужно отметить, что определяемые с помощью прибора Myoton параметры, при всей их бесспорной феноменологической ценности и информативности, являются сложными и несут терминологическую путаницу. Базовыми вязкоупругими характеристиками любого материала являются упругость (эластичность) и вязкость. Жесткость является характеристикой объекта, зависящей от упругости материала и его геометрических размеров: чем толще стержень, тем больше у него жесткость при одной и той же эластичности материала. Определяемые с помощью прибора Myoton параметры «oscillation frequency» и «stiffness» не являются объективными характеристиками свойств мышц, так как зависят не только от их свойств, но и от массы и диаметра тестового наконечника («test in gend»). Свойства мышц в эти параметры входят сложным образом, причем как их упругость, так и вязкость. Параметр, названный «oscillation logarithmic decrement», отражает вязкость тканей, а не их эластичность, как утверждают авторы, причем снова отражает сложным образом и не является базовой характеристикой свойств тканей.

В доступной литературе мы не нашли исследований, посвященных сопоставлению объективной и остеопатической оценок тонуса мышц. Цель нашего исследования — изучение вязкоупругих характеристик тканей пальпаторным и инструментальными методами до и после остеопатической коррекции.

Материалы и методы

Были обследованы 14 студентов 18–23 лет (6 женщин и 8 мужчин), не имеющих жалоб со стороны опорно-двигательного аппарата. Обследуемые были разделены на две группы по 7 человек — занимающихся спортом (чирлидинг) и не занимающихся.

Всем проводили остеопатическую диагностику. Сначала осмотр пациента в положении стоя: позиция головы, симметричность надплечий и ключиц, уровень и положение лопаток, положение и форма грудной клетки, таза, изгибы позвоночника, осанка в целом. Затем пальпация мышечного тонуса и состояния мышц в шейном и грудном регионах с оценкой их симметричности слева и справа. Выраженность мышечного тонуса субъективно оценивали в баллах от 0 до 3.

Мышцы шеи и верхней части грудной клетки исследовали методом вибрационной вискоэластометрии [7,8]. Метод основан на вдавливании в ткани колеблющегося с низкой частотой индентора, что позволяет измерять эластичность и вязкость тканей. Такие измерения являются способом объективизации пальпации и вполне могут быть использованы для контроля мышечного тонуса. При этом значительно расширяются возможности получения количественной информации о тканях. Такие измерения могут быть проведены за 1 с, что позволяет регистрировать изменения свойств тканей в ходе физиологических процессов и при развитии реакций на различные воздействия.

Вязкоупругие характеристики тканей определяют при контакте с их поверхностью специализированного вибродатчика, содержащего колеблющийся с частотой 40 Гц с амплитудой около 0,1 мм цилиндрический индентор (рис. 1). Вибродатчик содержит, кроме того, акселерометр для регистрации ускорения индентора (A), а также датчики силы — для регистрации силы статического давления индентора на ткани (P) и силы сопротивления тканей колебательному движению индентора (F). Сигналы датчиков считываются управляющей программой, которая в реальном времени за один период колебаний индентора определяет действительную и мнимую части ди-

намической жесткости тканей $K = -\omega^2 F/A$ (ω — круговая частота колебаний индентора), а из них нормировкой на диаметр индентора (d) и частоту колебаний ω определяют эффективные модули упругости (E) и вязкости (V):

$$E = \frac{ReK}{4d}, \quad V = \frac{ImK}{4d\omega}.$$

Величины E (кПа) и V (Па·с) непрерывно регистрируются программой, обеспечивая возможность мониторинга свойств тканей. Сила статического давления индентора на ткани P регистрируется синхронно с величинами E и V и используется для стабилизации условий их измерения за счет организации в управляющей программе звуковой биологической обратной связи по P .

Измерения эластичности и вязкости производили в точках над исследуемыми мышцами, указанных остеопатом (помечались на коже фломастером), симметрично справа и слева (рис. 2). Исследование осуществляли в проекции следующих мышц: трапецевидной, поднимающей лопатку, лестничных, грудино-ключично-сосцевидной, ромбовидных, широчайшей мышцы спины. У одного человека производили исследование от 6 до 14 точек в проекции различных мышц (всего 180 точек), в каждой точке проводили по три замера и потом вычисляли среднее арифметическое.

Далее производили остеопатическую коррекцию с использованием мягкотканых техник: разминание, растяжение, ритмическая тракция, ингибция, вибрация. Их цель — восстановление тонуса мышц и эластичности фасций, уменьшение давления на нервы и сосуды. После остеопатической коррекции измерения повторяли в тех же точках.

Обработку полученных данных производили с использованием пакета прикладных программ Statistica 10.0. Так как распределение в выборках отличалось от нормального, использовали методы непараметрической статистики. Определяли медианы, нижнюю и верхнюю квартили. Вычисляли корреляцию методом Спирмена. Различия между двумя выборками оценивали по U -критерию Манна-Уитни, между тремя выборками — по критерию Краскелла-Уоллиса, изменения показателей после остеопатической коррекции — по критерию Вилкоксона. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$ [9].

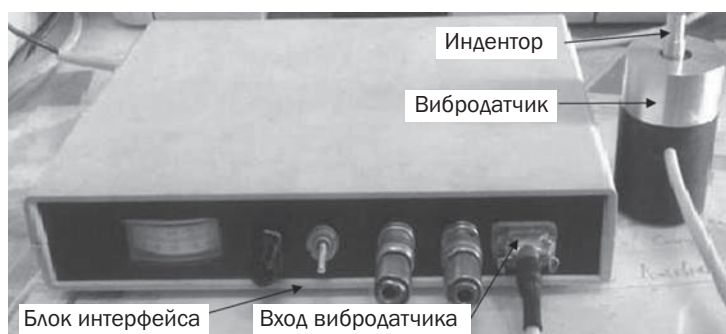


Рис. 1. Внешний вид аппарата для вибрационной вискоэластометрии



Рис. 2. Процесс измерения вязкоупругих свойств мышц

Исследование проведено в соответствии с Хельсинской декларацией (принята в июне 1964 г., пересмотрена в октябре 2000 г.) и одобрено этическим комитетом ПИМУ. От каждого участника исследования получено информированное согласие.

Результаты и обсуждение

Сравнение эластичности и вязкости мышц, тонус которых субъективно оценивался остеопатом в 1, 2 или 3 балла, показало статистически значимые отличия (рис. 3). Эластичность мышц по мере увеличения мышечного тонуса закономерно увеличивается. Коэффициент корреляции по Спирмену $r=0,31$, $p<0,05$. Вязкость не демонстрирует такой четкой закономерности, $r=0,15$, $p<0,05$, что может быть связано с зависимостью вязкости мышцы от количества в ней жидкости [10], то есть от степени ее кровоснабжения.

Сравнение вязкоупругих свойств мышц в разных группах обследуемых показало, что эластичность мышц, свидетельствующая об их тонусе, у занимающихся спортом статистически значимо выше, чем у не занимающихся ($p=0,04$). Сравнение вязкости отличий не обнаружило ($p=0,6$).

После остеопатической коррекции изменения эластичности и вязкости тканей у всех обследуемых не были статистически значимыми ($p=0,36$ и $p=0,18$ соответственно). Результаты остеопатической коррекции у обследуемых обеих групп показаны в табл. 1.

У студентов, не занимающихся спортом, мышцы при пальпаторном исследовании имели повышенный тонус, но не были укорочены и не имели уплотненных участков. Из данных табл. 1 видно, что у них остеопатическое воздействие приводило к статистически значимому уменьшению эластичности мышц ($p=0,000002$), что может свидетельствовать об их расслаблении. Вязкость при этом практически не менялась ($p=0,45$).

В группе занимающихся спортом остеопатическое обследование показало укорочение мышц и их повышенную плотность. После сеанса остеопатической коррекции эластичность и вязкость мышц в этой группе статистически значимо увеличивались (соответственно $p=0,0000002$ и $p=0,001$). Увеличение эластичности может быть связано с особенностями регуляции мышечного тонуса у лиц этой группы. Увеличение вязкости мышц после остеопатической коррекции можно объяснить значительным улучшением их кровоснабжения.

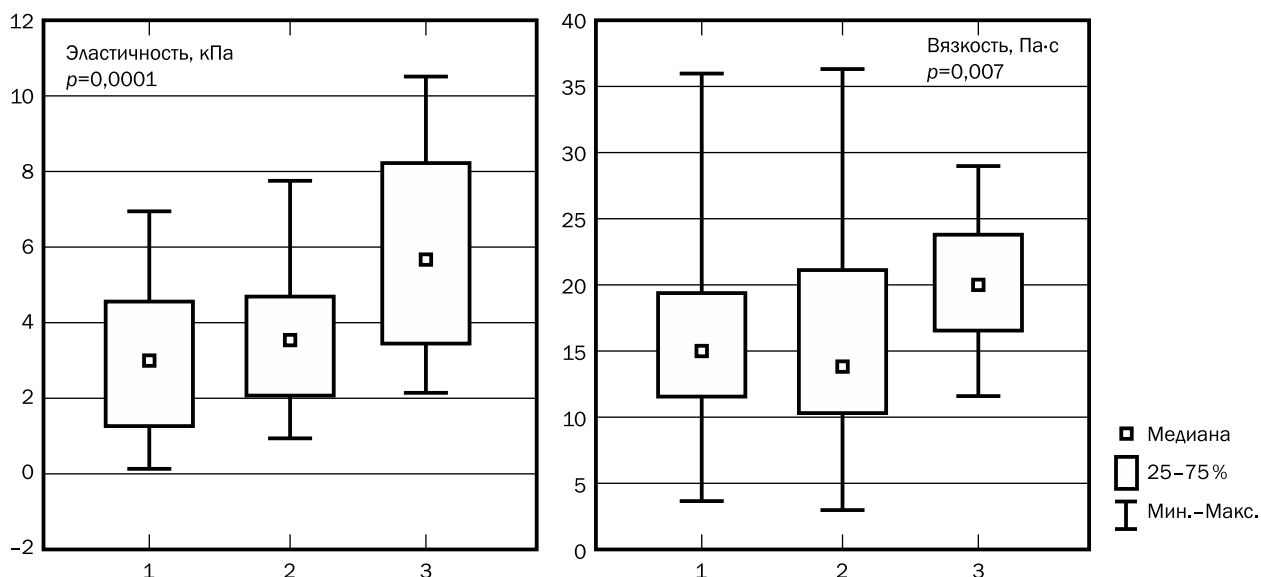


Рис. 3. Сравнение эластичности и вязкости мышц при разной выраженности мышечного тонуса

Таблица 1

Сравнение вязкоупругих характеристик мышц до и после остеопатической коррекции (ОК)

Группа обследуемых	Эластичность, кПа		Отличия по критерию Вилкоксона, <i>p</i>	Вязкость, Па·с		Отличия по критерию Вилкоксона, <i>p</i>
	до ОК	после ОК		до ОК	после ОК	
Занимающиеся спортом (84 точки измерения)	4,52 0,3–10,6	5,4 0,54–23	0,0000002	13,45 3–31	19,4 2,6–50,6	0,001
Не занимающиеся спортом (96 точек измерения)	3,5 0,3–7,2	2,11 0,05–11,2	0,0000002	16,3 3–48,5	15,45 2,7–47,2	0,45
Отличия по <i>U</i> -критерию Манна–Уитни, <i>p</i>	0,04	—	—	0,6	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 2 представлены средние значения с минимумом и максимумом, полужирным выделены статистически значимые различия, $p < 0,05$

При спортивных нагрузках мышцы не просто длительно находятся в состоянии повышенного тонуса, но и могут испытывать гипоксию [1]. Вследствие этого соединительная ткань, входящая в их состав, становится более грубой с преобладанием толстых коллагеновых волокон [11]. Деформация фибробластов под действием механического напряжения также вызывает индукцию синтеза коллагена [12]. Структурно измененные мышцы не могут сразу расслабиться, но остеопатическая коррекция может запустить в них восстановительные процессы.

Три человека из группы занимающихся спортом пришли на повторный сеанс остеопатической коррекции через 2 нед. У них проводили пальпаторное исследование мышц и измерение их вязкоэластических свойств в 36 точках (примерно в тех же, что и на первом сеансе). После остеопатической коррекции измерения повторяли. Субъективно выявленный мышечный тонус перед первым сеансом определяли в 1–3 бала, а перед вторым — от 0 до 2. Динамика вязкоэластических свойств мышц представлена в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что через 2 нед после первого сеанса остеопатической коррекции эластичность мышц статистически значимо уменьшилась ($p=0,02$), а вязкость увеличилась ($p=0,03$). Эти изменения можно рассматривать как благоприятные. Они могут свидетельствовать об уменьшении мышечного тонуса и улучшении кровоснабжения мышц, а также о восстанов-

Таблица 2

Сравнение вязкоупругих характеристик мышц у занимающихся спортом до и после остеопатической коррекции (ОК)

Показатель	Перед 1-м сеансом ОК	Перед 2-м сеансом ОК	Отличия по критерию Вилкоксона, <i>p</i>	После 2-го сеанса ОК	Отличия по критерию Вилкоксона от показателей перед 1-м сеансом ОК, <i>p</i>
Эластичность, кПа	4,52 0,3–10,6	3,26 0,2–8,7	0,02	2,87 0,8–6,1	0,04
Вязкость, Па·с	13,45 3–31	16 5,7–50,6	0,03	15,8 4,5–36,3	0,7

лении их структуры. После второго сеанса эластичность еще понизилась ($p=0,04$), то есть мышцы расслабились.

Заключение

Полученные результаты показали, что метод вискоэластометрии действительно имеет потенциал для объективизации состояния скелетных мышц и эффектов остеопатического воздействия. Для восстановления нормального мышечного тонуса используют различные медикаментозные, физиотерапевтические, мануальные и другие методы лечения. Объективный контроль эффективности всех этих воздействий уже на ранних стадиях лечения, когда еще нет очевидных результатов, возможен средствами вискоэластометрии. Метод может дать информацию для своевременной коррекции лечения.

Изменения вязкоэластических свойств тканей демонстрируют, что эффекты остеопатического воздействия являются неоднозначными и зависят от исходного состояния мышц. Согласно полученным предварительным результатам, увеличение эластичности мышц после остеопатической коррекции может быть показанием для повторного сеанса.

Исследование не финансировалось каким-либо источником, конфликт интересов отсутствует.

Литература / References

1. Чейтоу Л. Искусствопальпации. Контактная диагностика и оценка состояния пациента. М.: ДОЦ; 2007; 393 с. Chejtou L. *Iskusstvo pal'pacii. Kontaktnaja diagnostika i ocenka sostojanija pacienta* [The art of palpation. Contact diagnosis and assessment of the patient]. Moscow: DOC; 2007; 393 p.
2. Прянишникова О. А., Городничев Р. М., Городничева Л. Р., Ткаченко А. В. Спортивная электронейромиография. Теория и практика физической культуры 2005; 9. Pryanishnikova O. A., Gorodnichev R. M., Gorodnicheva L. R., Tkachenko A. V. *Sports Electroneuromyography*. URL: <http://lib.sportedu.ru/Press/tpfk/2005n9/p6-11.htm>
3. <http://www.myoton.com/technology/>
4. Gervasi M., Sisti D., Amatori S., Andreazza M., Benelli P., Sestili P., Rocchi M. B. L., Calavalle A. R. Muscular viscoelastic characteristics of athletes participating in the European Master Indoor Athletics Championship. *European Journal of Applied Physiology* 2017; 117 (8): 1739–1746. <http://doi:10.1007/s00421-017-3668-z>
5. Park S. K., Yang D. J., Kim J. H., Heo J. W., Uhm Y. H., Yoon J. H. Analysis of mechanical properties of cervical muscles in patients with cervicogenic headache. *J Phys Ther Science* 2017; 29 (2): 332–335. <http://doi:10.1589/jpts.29.332>
6. Lo W. L. A., Zhao J. L., Chen L., Lei D., Huang D. F., Tong K. F. Between-days intra-rater reliability with a hand held myotonometer to quantify muscle tone in the acute stroke population. *Scientific Reports* 2017; 7. <http://doi:10.1038/s41598-017-14107-3>
7. Тиманин Е. М., Еремин Е. В. Аппаратно-программные комплексы для вибрационной вискоэластометрии биологических мягких тканей. Альманах клинической медицины 2008; 17 (2): 143–146. Timanin E. M., Eremin E. V. Hardware-software devices for vibrational viscoelastometry of biological soft tissues. *Al'manah klinicheskoy mediciny* 2008; 17 (2): 143–146.
8. Тиманин Е. М., Густов А. В., Александрова Е. А., Устимкина М. А. Виброакустические методы и аппаратно-программный комплекс для неврологической диагностики. Фундаментальные науки — медицине: Биофизические медицинские технологии: Монография (в 2-х т.). Т. 2. М.: МАКС Пресс; 2015; 194–215. Timanin E. M., Gustov A. V., Aleksandrova E. A., Ustimkina M. A. *Fundamental'nyye nauki — meditsine: Biofizicheskiye meditsinskiye tekhnologii: Monografiya (v 2 t.) T. 2* [Vibroacoustic methods and hardware-software complex for neurological diagnostics]. Moscow: MAKSPress; 2015; 194–215.
9. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера; 2002; 312 с. Rebrova O. Yu. *Statisticheskij analiz medicinskih dannyh. Primenenie paketa prikladnyh programm STATISTICA* [Statistical analysis of medical data. Application of the STATISTICA application package]. Moscow: MediaSfera; 2002; 312 p.
10. Дубровский В. И., Федорова В. Н. Биомеханика. М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС; 2003; 672 с. Dubrovskij V. I., Fedorova V. N. *Biomehanika* [Biomechanics]. Moscow: Izd-vo VLADOS-PRESS; 2003; 672 p.
11. Серов В. В., Шехтер А. Б. Соединительная ткань (функциональная морфология и общая патология). М.: Медицина; 1981; 312 с. Serov V. V., Shehter A. B. *Soedinitel'naya tkan' (funkcional'naya morfologiya i obshhaya patologiya)* [Connective tissue (functional morphology and general pathology)]. Moscow: Medicina; 1981; 312 p.

12. Жукова Т.В. О некоторых изменениях структуры коллагена под действием механического напряжения. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія» 2005; 1–2 (709); 39–43. Zhukova T. V. Influence of mexanical stress — straine on same structural propertiese of collagene's molecule. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series «Biology»* 2005; 1–2 (709); 39–43.

Дата поступления 26.12.2017

Контактная информация:

Юлия Павловна Потехина

e-mail: newtmed@gmail.com

Потехина Ю.П., Тиманин Е.М., Кантинов А.Е. Вязкоупругие характеристики тканей и их изменения после остеопатической коррекции. *Российский остеопатический журнал* 2018; 1–2 (40–41): 38–45.

Potekhina Yu. P., Timanin E. M., Kantinov A. E. Viscoelastic properties of tissues and changes in them after osteopathic correction. *Russian osteopathic journal* 2018; 1–2 (40–41): 38–45.