

*Николенко В.Н.*

**БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДОЙ ОБОЛОЧКИ  
СПИННОГО МОЗГА ВЗРОСЛЫХ ЛЮДЕЙ В АСПЕКТЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ВОЗМОЖНОГО КАНДИДАТА В  
МАТРИЦЫ ТКАНЕИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В  
РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ**

*ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет)»; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия*

*В связи с тем, что твердая оболочка спинного мозга (ТОСМ) испытывает различные напряжения при движениях позвоночного столба, дыхательных экскурсий грудной клетки, пульсаций спинномозговой жидкости и кровеносных сосудов, которые моделируют геометрию и состав ее соединительнотканной основы, знание ее прочностных, эластических и упругих и других биомеханических свойств представляют интерес для решения ряда теоретических и практических вопросов регенеративной медицины, нейрохирургии, неврологии и трансплантологии.*

**Ключевые слова:** *твердая оболочка, спинной мозг*

*Nikolenko V.N.*

**BIOMECHANICAL PROPERTIES OF THE SOLID SHELL OF THE SPINAL CORD OF ADULT PEOPLE IN THE ASPECT OF USE AS A POSSIBLE CANDIDATE IN THE MATERIALS OF CANINE ENGINEERING STRUCTURES IN THE REGENERATIVE**

*I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University);  
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*Due to the fact that the hard shell of the spinal cord undergoes various stresses during movements of the spinal column, respiratory excursions of the chest, pulsations of cerebrospinal fluid and blood vessels, which simulate the geometry and composition of its connective tissue base, knowledge of its strength, elastic and elastic and other biomechanical properties They are of interest for solving a number of theoretical and practical issues of regenerative medicine, neurosurgery, neurology and transplantology.*

**Keywords:** *hard shell, spinal cord*

Создание тканеинженерных конструкций органов идет по пути соответствия биомеханических свойств вживляемых конструкторов упруго-эластическим свойствам органов реципиента. Во-вторых, создание тканеинженерных конструкций требует поиска тканевой «подложки или ложа» (из гомологичных и других тканей) для заселения ее выращенными специализированными клетками [2,3]. Развитие этой симбиотической области медицины, отнесенной к персонифицированной [4,6], обозначило потребность знаний и активизации исследований по прочностной анатомии образований и структур тела человека как в плане их биомеханического соответствия вживляемых конструкторов или органов, так и в плане изготовления из тканей и органов необходимых тканевых конструкторов для нанесения на них клеточных продуктов и последующей пересадки в тело человека. Более того, наш век породил новое научное направления, названного синтетической морфологией [5]. В указанных этих двух аспектах может представлять интерес исследование особенностей строения и биомеханических свойств ТОСМ взрослых людей различного возраста. Между тем, сведения о деформативно-прочностных свойствах ТОСМ, особенно касающиеся их топографических и возрастных особенностей, единичны и опубликованы 3-4 десятилетий назад [1,7]. Восполнение этого пробела явилось **целью** данной работы.

**Материал и методы.** Были изучены деформативно-прочностные свойства твердой оболочки спинного мозга, изъятой у 70 трупов взрослых людей 20-90 лет, причиной смерти которых не являлись заболевания спинного мозга или позвоночного столба, и взятые не позднее 12-14 часов после наступления смерти. Образцы стандартных размеров (15x5 мм), иссеченные из 13 участков передней и задней стенок ТОСМ, растягивали в продольном

(кранио-каудальном) и поперечном (латеро-латеральном) направлениях на разрывных машинах "РТ-250 М", "2 000 Р 05", "Goodbrand". По принятой в биосопромате методике определяли: предел прочности, относительное удлинение и модуль упругости. Использована возрастная периодизация, рекомендованная VII Всесоюзной научной конференцией по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии (Москва, 1965): первый период зрелого возраста (22-35 лет для мужчин и 21-35 лет для женщин), второй период зрелого возраста (36-60 лет для мужчин и 35-55 лет для женщин), пожилой возраст (61- 74 года для мужчин и 56-74 года для женщин), старческий возраст (75-90 лет для мужчин и женщин).

**Результаты исследования.** По своим биомеханическим свойствам ТОСМ является анизотропной структурой, что проявляется при растяжении ее во взаимно перпендикулярных направлениях. Так, прочность оболочки при продольной тракции (испытано 190 образцов) больше, чем при поперечной (испытано 163 образца) - спереди в 5,8 раз ( $22,72 \pm 1,69$  и  $3,9 \pm 0,28$  Мпа, соответственно), сзади в 7,4 раз ( $20,8 \pm 1,48$  и  $2,8 \pm 0,14$  Мпа, соответственно). При упругой продольной деформации ее относительное удлинение в 1,5 раз превышает ( $17,5 \pm 1,35\%$  спереди и  $18,4 \pm 1,44\%$  сзади), таковую при поперечной ( $11,4 \pm 1,00$  спереди и  $12,3 \pm 0,84\%$  сзади). В целом, ТОСМ может быть растянута в длину без разрывов на 17-20 %, а по периметру - на 12,5%. Спереди ТОСМ является менее растяжимой и более прочной, особенно при поперечной деформации (при продольном растяжении ее модуль упругости равен  $13,2 \pm 0,97$  н/мм<sup>2</sup>, при поперечном растяжении -  $3,5 \pm 0,24$  н/мм<sup>2</sup>), чем сзади (при продольном растяжении -  $11,3 \pm 0,78$  н/мм<sup>2</sup>, поперечном  $1,9 \pm 0,14$  н/мм<sup>2</sup>). Такая анизотропия биомеханических свойств объясняется моделирующим влиянием преимущественно продольно направленной динамической нагрузкой, проходящейся на ТОСМ при движениях позвоночного столба.

Наиболее прочна и растяжима ТОСМ у лиц первого периода зрелого возраста. Тенденция к снижению ее деформативно-прочностных свойств начинает проявляться во втором периоде зрелого возраста, но не имея в этот период еще статистически достоверной разницы. Значимо ее прочность уменьшается в пожилом возрасте - при продольной деформации на 30 %, при поперечной на 53 % по сравнению с таковыми у лиц, находящихся в первом периоде зрелого возраста. К старческому возрасту предел прочности оболочки на разрыв становится наименьшим: он снижается при продольной тракции на 40 %, при поперечной - на 74 % (по сравнению с первым периодом зрелого возраста). Растяжимость ТОСМ после 60 лет уменьшается в среднем на 27-35%.

Вектор возрастных изменений упруго-эластических свойств ТОСМ одинаков у мужчин и женщин и обозначается у них в одни и те же возрастные периоды.

**Заключение.** Таким образом, ТОСМ характеризуется различными биомеханическими свойствами при растяжении в продольном и поперечном направлениях. Эти свойства неодинаковы у ее передней и задней полуокружностей. Они детерминированы особенностями конструкции ее соединительнотканного каркаса. С возрастом деформативно-прочностные свойства ТОСМ снижаются. Изученные свойства оболочки, их топографическая и возрастная изменчивость могут представлять интерес для специалистов в области регенеративной медицины при выборе оптимальной матрицы для тканеинженерной конструкции при использовании клеточных продуктов.

#### Литература:

1. Бурдей Г.Д., Горелик М.М., Николенко В.Н. Механические свойства твердой оболочки головного и спинного мозга. - В кн.: Труды 2-й Закавказской конференции морфологов. - Баку, 1978. - С.58-59.
2. Глыбочко П.В., Аляев Ю.Г., Николенко В.Н., Шехтер А.Б., Винаров А.З., Истранов Л.П., Истранова Е.В., Абоянц Р.К., Люндуп А.В., Данилевский М.И., Гуллер А.Е., Елистратов П.А., Бутнару Д.В., Кантимеров Д.Ф., Машин Г.А., Титов А.С., Проскура А.В., Кудричевская К.В. Экспериментальное обоснование создания матрицы на основе децеллюляризированной сосудистой стенки с целью последующей заместительной уретропластики. - [Урология](#). 2014. [№ 6](#). - С. 41-46.
3. Глыбочко П.В., Аляев Ю.Г., Николенко В.Н., Шехтер А.Б., Винаров А.З., Истранов Л.П., Истранова Е.В., Абоянц Р.К., Люндуп А.В., Данилевский М.И., Гуллер А.Е., Елистратов П.А., Бутнару Д.В., Кантимеров Д.Ф., Машин Г.А., Титов А.С., Проскура А.В., Кудричевская К.В. Заместительная уретропластика с использованием тканеинженерной конструкции на основе децеллюляризированной сосудистой матрицы и аутологичных клеток слизистой оболочки щеки: первый опыт. - [Урология](#). 2015. [№ 3](#). - С. 4-10.
4. Николенко В.Н., Никитюк Д.Б., Чава С.В. Отечественная конституциональная медицина в аспекте персонифицированной медицины. - Сеченовский вестник. 2013, №4 (14). - С. 9-17.
5. Николенко В.Н., Миронов В.А. Научные аспекты анатомии: эскиз состояния и перспективы развития. - Морфология. 2018. Т. 153. №3. - С. 203-203а.
6. Николенко В.Н., Никитюк Д.Б., Ключкова С.В. Соматическая конституция и клиническая медицина. – Москва: Изд-во Первого МГМУ им. И.М.Сеченова. – 2017.
7. Haupt W., Stofft E. Dehnbarkeit und Reibfestigkeit der Dura mater spinalis des Menschen. - Anat. Anz., 1978, B. 144. – S. 139-144.