

5. Harper A., Vijayakumar V., Ouwehand A. et al. Viral Infections, the Microbiome, and Probiotics // Front Cell Infect Microbiol. – 2021. – Vol. 10. – P. 596166.

6. Sonnenburg J., Sonnenburg E. Vulnerability of the industrialized microbiota // Science. – 2019. – Vol. 366, № 6464. – P. eaaw9255.

7. Varesi A., Pierella E., Romeo M. The Potential Role of Gut Microbiota in Alzheimer's Disease: From Diagnosis to Treatment // Nutrients. – 2022. – Vol. 14, № 3. – P. 688.

8. Zhu Y., Wan L., Wen L. et al. Recent advances on 2'-fucosyllactose: physiological properties, applications, and production approaches // Crit Rev Food Sci Nutr. – 2022. – Vol. 62. – P. 2083–2092.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ХОНДРОЦИТЫ В МЕЖПОЗВОНКОВЫХ ДИСКАХ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

*Жарнова О. А.<sup>1</sup>, Крупская Т. К.<sup>1</sup>,  
Жарнова В. В.<sup>1</sup>, Подгайская В. М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь

<sup>2</sup>Городская поликлиника № 4 г. Гродно, Гродно, Беларусь

**Введение.** В настоящее время известно, что деформационные процессы в позвоночно-двигательных сегментах (при условии исключения их травматического либо воспалительного происхождения) обусловлены изменением состояния межпозвонкового диска. Разрушительные процессы в данных сегментах начинаются, как правило, либо в пульпозном ядре, либо фиброзном кольце, значительно реже – одновременно в этих структурных элементах, представляющих собой межпозвонковый диск любого отдела позвоночника. В то же время основные механические свойства фиброзного кольца (наиболее важным из которых является упругость при механическом воздействии) непосредственно связаны с биохимическими процессами, протекающими в межпозвонковом диске. Следовательно, состояние вещества межпозвонкового диска (а точнее его пульпозного ядра), в частности, агрегана при воздействии механических нагрузок зависит от вида клеток, составляющих структуру диска, а также величины и продолжительности механической нагрузки. Одной из причин начала разрушения диска, начинающегося в первую очередь с фиброзного кольца, может быть нарушение механизма его питания [1]. Известно, что клетки таких компонентов межпозвонкового диска, как пульпозное ядро и фиброзное кольцо, по-разному ведут себя при воздействии на межпозвонковый диск механического напряжения [2]. Нормальной реакцией межпозвонкового

диска при воздействии на него механического напряжения считается вязкоупругое поведение, аналогично демпфирующему устройству в технических средствах перемещения. А для этого в него должны поступать питательные вещества (микроэлементы, глюкоза и кислород), а выводиться – продукты метаболизма. Одновременно с этим в диске для его нормального функционирования должно находиться необходимое количество воды (преимущественно в связанном состоянии).

**Цель.** В работе Guilak F. [2] показано, что изменение механического напряжения на 15% приводит к изменению высоты и объема хондроцитов (до 11%), а также высоты и объема ядра (до 10%). В настоящей работе экспериментально оцениваются изменение механических напряжений для наиболее подвижных сегментов шейного отдела позвоночника при его движении в сагиттальной плоскости, и изменения объема и высоты ядра, происходящие при этом.

**Методы исследования.** Оценка состояния межпозвонкового диска проводилась с помощью исследования прямотеневых рентгенофункциональных изображений шейного отдела позвоночника. Прямотеневые рентгенофункциональные изображения обрабатывались с помощью собственной разработанной программы «PDisk», позволяющей рассчитать угловые и пространственные перемещения тел позвонков и межпозвонковых дисков, так как именно эти параметры отвечают за механические напряжения в межпозвонковом диске. На прямотеневых рентгенофункциональных изображениях видны только твердые ткани. Для определения площади рентгенологического межпозвонкового пространства, которая находится между телами позвонков, определяют границы на рентгенофункциональных изображениях. Рентгенофункциональный метод исследования позволяет увидеть изменение межпозвонковых дисков в динамике в отличие от магнитно-резонансной и компьютерной томографии.

Во время движения позвоночника в сагиттальной плоскости как при сгибании, так и при разгибании давление в пульпозном ядре возрастает. Это в свою очередь приводит к появлению градиента давления в радиальном направлении фиброзного кольца. Как следует из вышеизложенного, возникновение градиента давления может приводить к массообменным процессам между элементами межпозвонкового диска и тканями, окружающими диск. Межпозвонковый диск представляет собой неоднородную ткань, которая подвергается механическим напряжениям при движении позвоночника, что влияет на внеклеточный матрикс. Однако влияние механических напряжений на клетки межпозвонкового диска и внеклеточный матрикс еще до конца не изучено.

**Результаты и их обсуждение.** Хрящевая ткань межпозвонкового диска шейного отдела позвоночника состоит из матрикса и клеток.

В надхрящнице содержатся хондробласты – небольшие клетки, способные к пролиферации и синтезу компонентов межклеточного вещества хряща. Развиваются они из хондрогенных клеток и выделяют компоненты межклеточного вещества, «замуровывают» себя в нем и превращаются в хондроциты.

В межпозвонковых дисках присутствует сравнительно небольшое количество хондроцитов. Хондроциты – это клетки в межпозвонковом диске, которые отвечают за синтез коллагеновых и неколлагеновых макромолекул во внеклеточном матриксе, что особо важно для поддержания жизнедеятельности диска. Компоненты межклеточного матрикса состоят из воды, протеогликановых агрегатов, гликопротеинов, минеральных веществ. Объем хондроцитов составляет 1-10% от общего объема тканей в межпозвонковом диске. Хондроциты имеют овальную форму и больший, чем хондробласты, размер. Хондроциты имеют необычную ионную среду, поскольку они окружены отрицательно заряженными протеогликанами, привлекающими большое количество катионов, таких как  $K^+$  и  $Ca^{2+}$ , создавая высокую внеклеточную осмолярность при движении шейного отдела позвоночника в саггитальной плоскости.

Хондроциты не являются возбудимыми клетками, но их плазматическая мембрана содержит многие разновидности ионных каналов. Ионные каналы, выявленные в хондроцитах, включают калиевые каналы  $K^+$ , натриевые  $Na^+$ , кальциевые  $Ca^{2+}$ , а также аквапорины. Аквапорины представляют собой семейство небольших интегральных мембранных белков. Эти аквапорины могут транспортировать небольшие незаряженные молекулы, такие как глицерин и мочевины. Мембранный потенциал покоя суставных хондроцитов находится между -50 мВ и -90 мВ и поддерживается ионами калия  $K^+$ , натрия  $Na^+$ , кальция  $Ca^{2+}$ . Зная концентрацию ионов калия снаружи и внутри клетки и полагая, что  $K_0/K_i = 4/138$  (где  $K_0$  – концентрация ионов калия внутри клетки,  $K_i$  – концентрация ионов калия снаружи клетки), потенциал покоя можно оценить следующим образом:

$$E = \frac{RT}{F} \ln \frac{K_0}{K_i} \quad (1)$$

где  $T$  – абсолютная температура;

$R$  – газовая постоянная;

$F$  – постоянная Фарадея.

Подставляя численные значения в (1), можно получить  $E = -0,083$  В.

При расчете вязкоупругих напряжений на основе результатов обработки прямолинейных рентгенофункциональных изображений для шейного отдела позвоночника было установлено, что при максимальном сгибании давление в межпозвонковом диске и в пульпозном ядре межпозвонкового диска наиболее подвижных сегментах возрастает примерно в пять раз, а площади рентгенологически определяемого пространства уменьшаются.

Давление внутри фиброзного кольца, рассматриваемого как набор мембран с жидким веществом между ними, содержащим клетки, возрастает от наружных слоев к пульпозному ядру [1]. В работе Guilak F. [2] показано, что изменение давления влияет на изменения формы и объема клеток. Незначительное сжатие ткани до 15% поверхностной деформации приводит к значительному уменьшению высоты и объема хондроцитов на  $14,7 \pm 6,4$  и  $11,4 \pm 8,4\%$ , соответственно, а высоты и объема ядра – на  $8,8 \pm 6,2$  и  $9,8 \pm 8,8\%$ . В свою очередь, деформация хондроцитов может вызывать деформацию внутриклеточных органелл и, более конкретно, клеточного ядра.

**Выводы.** В работе представлена оценка равновесного калиевого потенциала покоя хондроцитов. Показано, что в наиболее подвижных сегментах шейного отдела позвоночника при его движении возникают существенные градиенты давления, приводящие также к существенной деформации поверхности межпозвонкового диска. Вследствие этого в диске должны происходить изменения в геометрии клеток, что предстоит изучить при дальнейших исследованиях.

#### Литература

1. Жарнова О. А. и др. Биофизическая модель транспорта веществ в межпозвонковом диске шейного отдела позвоночника // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 2, Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 79–87.
2. Guilak F. Compression-induced changes in the shape and volume of the chondrocyte nucleus // J. Biomech. – 1995. – Vol. 28, № 12. – P. 1529–1541.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДИСТРОФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА С АКЦЕНТОМ НА ОСТЕОХОНДРОЗ

*Жарнова О. А.<sup>1</sup>, Крупская Т. К.<sup>1</sup>, Гаманович А. И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь

<sup>2</sup>Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

**Введение.** Применение портативных пирометров в медицине для определения температуры отдельных частей тела человека – широко изучаемый метод исследования при дегенеративно-дистрофических процессах в позвоночнике и заболеваний внутренних органов. При диагностике с помощью пирометров используется следующий физический принцип: температурное поле на поверхности любого тела (в том числе и на поверхности