

5. Щербинская И.П., Замбжицкий О.Н., Бацукова Н.Л. Использование методов донозологической диагностики для оценки критериальной значимости состояния биосистем организма у работающих во вредных условиях // Медицинский журнал: научно-практический рецензируемый журнал. – 2007. – № 1. – С. 107-108.

МЕХАНИЗМ ПИТАНИЯ МЕЖПОЗВОНОКОВОГО ДИСКА СЕГМЕНТА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ

¹Жарнова В.В., ²Жарнова О.А.

¹*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы*

²*Гродненский государственный медицинский университет, Гродно*

Деформационные процессы в позвоночно-двигательных сегментах (ПДС), исключая их травматическое либо воспалительное происхождение, возникают вследствие изменений состояния межпозвонкового диска. Дегенеративный процесс в ПДС начинается в пульпозном ядре, фиброзном кольце, либо одновременно в этих структурных элементах, составляющих межпозвонковый диск (МПД). Одной из причин начала разрушения диска (в первую очередь фиброзного кольца) может быть нарушение механизма его питания [1, 2]. Исследования по метаболизму в межпозвонковых дисках при воздействии статического давления представлены в [3, 4]. Показано, что клетки пульпозного ядра и фиброзного кольца по-разному ведут себя при воздействии на диск внешнего механического напряжения. Для нормального функционирования МПД, заключающегося в вязкоупругой реакции при воздействии на диск, в него должны поступать питательные вещества (микроэлементы и кислород), а выводиться – метаболиты. При этом в самом диске поддерживается количество воды, находящейся в связанном состоянии, необходимое для нормального функционирования диска.

В настоящий момент считается, что одним из механизмов обмена плазмы вещества между диском и околодисковым пространством является процесс, обусловленный градиентом осмотического давления между ядром и околодисковым пространством [1] при перераспределении гравитационной нагрузки вследствие перехода человека из вертикального состояния в горизонтальное. В работах [2] теоретически и

экспериментально показано, что во время движения позвоночника в сагиттальной плоскости при сгибании давление в пульпозном ядре возрастает, что приводит к появлению градиента давления в радиальном направлении фиброзного кольца. Возникновение градиента давления, в свою очередь, может приводить к массообменным процессам между диском и околодисковым пространством. В настоящей работе исследуются массообменные процессы, происходящие в межпозвонковом диске при движении позвоночно-двигательного сегмента в сагиттальной плоскости. Одной из основных причин дегенерации межпозвонкового диска является нарушение адекватного питания его клеточных элементов, поскольку клетки межпозвонкового диска достаточно чувствительны к дефициту кислорода и глюкозы. Нарушение функции клеток приводит к изменению состава межклеточной матрицы, что запускает и ускоряет дегенеративные процессы в диске. Питание клеток межпозвонкового диска происходит опосредовано, поскольку кровеносные сосуды располагаются от них на удалении до 8 мм. Кроме того, нарушения в диске наблюдаются при перегрузках и недостаточных нагрузках на него.

Основным элементом дегенерации межпозвонкового диска является уменьшение количества протеингликанов. Происходит фрагментация агреканов, потеря глюкозаминогликанов, что приводит к падению осмотического давления и, как следствие, дегидратации диска. Потеря протеингликанов и дегидратация диска приводят к снижению их амортизационной и опорной функций. Межпозвонковые диски уменьшаются по высоте, постепенно начинают пролабировать в позвоночный канал. Дистрофические изменения не ограничиваются только межпозвонковым диском, поскольку изменение его высоты приводит к патологическим процессам в соседних образованиях. Так, снижение опорной функции диска приводит к перегрузкам в фасеточных суставах, что способствует развитию остеоартроза и уменьшению натяжения желтых связок, что приводит к снижению их эластичности.

В [2] показано, что в наиболее подвижных сегментах ШОП при его движении внутридисковое давление может повышаться в 3-5 раз. При этом возникает движение жидкости внутри тел

позвонков, подчиняющееся линейному закону Дарси – закону фильтрации жидкостей в пористой среде:

$$\text{div} \vec{u} = \frac{f}{b} \Delta P \quad (1)$$

где: $\vec{u}$ – вектор скорости фильтрации жидкой фазы, ΔP – давление в пористой среде, f – коэффициент проницаемости среды, b – коэффициент сопротивления течению жидкости, определяемый ее вязкостью, проницаемостью и пористостью тел позвонков.

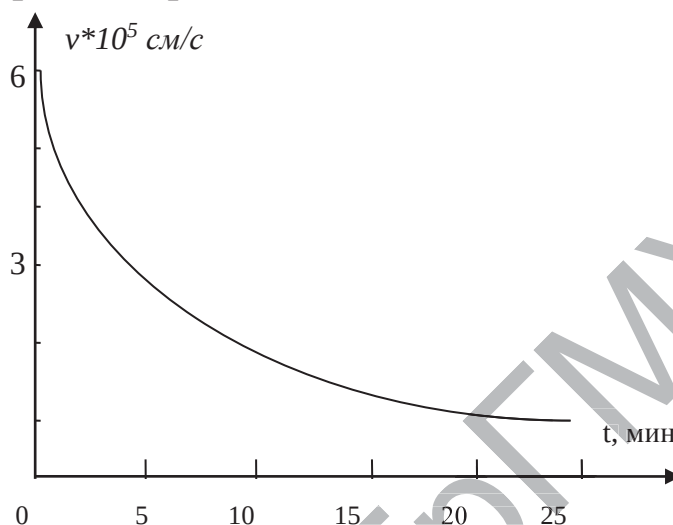


Рисунок 1 – Скорость фильтрации веществ через тела позвонков

Определение давления в пульпозном ядре [2] позволяет рассчитать скорость фильтрации жидкости через пористую структуру тел позвонков как функцию времени, представленную на рисунке 1. Изменение объема межпозвонкового диска определяет изменение сил натяжения продольных связок и, соответственно, уменьшение давления внутри пульпозного ядра. Задача считается до тех пор, пока давление в ядре не принимает значения, при котором длина связок возвращается к исходному состоянию. Как показывают оценки, время возвращения связок в исходное состояние порядка 25 минут. Другим механизмом питания межпозвонкового диска является диффузионный за счет осмотического давления. В [3, 4] приведены результаты численного расчета по образованию продуктов метаболизма (в частности лактата) при воздействии на МПД статической и динамической нагрузок (до 0,5 МПа). Соотношение для коэффициента диффузии лактата из межпозвонкового диска:

$$D = D_0 \exp \left(-A \left(\frac{r}{\sqrt{k}} \right)^B \right) \quad (2)$$

где для лактата $D_0 = 1,28 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$, его гидродинамический радиус $r = 0,255 \text{ нм}$, параметр проницаемости в гиалиновой пластинке

$k=0,06 \text{ нм}^2$, A и B – параметры, зависящие от структуры вещества, в котором происходит диффузия (для гиалиновой пластинки $A=1,29$, $B=0,372$). Коэффициент диффузии лактата через гиалиновую пластинку, согласно формуле (2), будет составлять $D=3,45*10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

Рассчитанные значения скорости диффузии лактата через пористую гиалиновую пластинку при повышении гидростатического давления в межпозвонковом диске во время движения позвоночника в сагиттальной плоскости позволяют оценить коэффициент диффузии лактата согласно собственным расчетам. При толщине гиалиновой пластинки $\approx 1,5 \text{ мм}$ коэффициент диффузии лактата в тела позвонков будет составлять $D=(3,0 \pm 0,6)*10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, что достаточно хорошо согласуется с вышеприведенными данными.

Выводы:

1. В наименее подвижных сегментах ШОП механизмом питания межпозвонковых дисков является диффузионный вследствие перераспределения гравитационных нагрузок.

2. В наиболее подвижных сегментах механизм питания диска может осуществляться при движении позвоночника в сагиттальной плоскости.

3. Определена скорость фильтрации метаболитов для наиболее подвижных сегментов при движении позвоночника, достигающая $\approx 6*10^{-5} \text{ см/с}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жарков П.Л. Остеохондроз и другие дистрофические изменения опорно-двигательной системы у взрослых и детей. – М.: Издательский дом Видар-М, 2009. – 375 с.
2. Жарнов А.М., Жарнова О.А. Биомеханические процессы в межпозвонковом диске шейного отдела позвоночника при его движении // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17, № 1 (59). – С. 32-40.
3. Jacson A.R., Huang C.-Y., Yong G.W. Effect of endplate calcification and mechanical deformation on the distribution of glucose in intervertebral disc: a 3D finite element study // Comp. metods in Biomech. and Biomed. Eng. – 2011. – Vol. 14, № 2. – P. 195-204.
4. Huang C.-Y., Yong G.W. Effects of mechanical compression on metabolism and distribution of oxygen and lactate in intervertebral disc // J. Bomech. – 2008. – Vol. 41, № 6. – P. 1184-1196.