

УДК 616.711

ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ НАРУШЕНИЙ БИОМЕХАНИКИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ПО ДАННЫМ ВИДЕОАНАЛИЗА У ПАЦИЕНТОВ С НЕВРОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЯВЛЕНИЯМИ ОСТЕОХОНДРОЗА

С.А. ЛИХАЧЕВ, С.В. ЕЛЕНСКАЯ *, В.В. ВАЩИЛИН, И.С. ГУРСКИЙ

ГУ «РНПЦ неврологии и нейрохирургии»
Скорины, 24, 220030, Минск, Беларусь

*ГУ «Республиканский госпиталь Департамента финансов и тыла МВД Республики Беларусь»
Золотая Горка, 4, 220005, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 1 апреля 2014

Разработан новый метод объективизации движений в поясничном отделе позвоночника. Метод осуществляется за счет видеорегистрации цветowych маркеров, размещенных на коже над остистыми отростками позвонков поясничного отдела позвоночника. Приведен математический инструмент для обработки полученных данных.

Ключевые слова: позвоночник, остеохондроз, функциональные пробы, видеорегистрация, видеоанализ движений.

Введение

Оценка движений позвоночника важна для диагностики вертеброгенных заболеваний, сопровождающихся поясничными или шейными болевыми синдромами, повышением мышечного тонуса, ограничением объема движений. В клинической практике оценка движений в позвоночнике проводится врачом путем визуального наблюдения за движениями анатомических ориентиров при выполнении пациентом определенных функциональных проб, таких как наклоны вперед, назад, вправо и влево [1]. Подобная оценка движений позвоночника в значительной степени субъективна.

Используемые угломеры требуют затраты времени и оценка углов также субъективна. Для измерения подвижности позвоночника во фронтальной плоскости может использоваться транспортер со стрелкой [2]. Широко используются в объективизации патологии позвоночника рентгенологические методы, в которых положение позвонков в процессе выполнения функциональных проб оценивают, просвечивая рентгеновскими лучами соответствующий отдел позвоночника [3]. Однако частое применение рентгенологических методов ограничено допустимой лучевой нагрузкой.

Целью работы явилась разработка метода объективизации движений поясничного отдела позвоночника во фронтальной плоскости у пациентов с неврологическими проявлениями поясничного остеохондроза (НППО) с помощью видеоанализа. Сущность способа заключается в регистрации видеокамерой максимальных наклонов пациента вправо и влево (функциональных проб), с последующей обработкой на компьютере полученных видеоизображений.

Методика исследования

Способ реализуют следующим образом: на коже пациента над остистыми отростками Th12, L1, L2, L3, L4, L5, S1 позвонков закрепляют маркеры, выполненные в виде окрашенных в красный цвет полимерных сфер на плоском основании. Исследование проводят в обычных условиях освещенности рассеянным светом. Посредством цифровой видеокамеры с частотой

30 кадров в секунду с расстояния 1 м регистрируют цветное видеоизображение маркеров в процессе выполнения следующих функциональных проб: наклоны влево и наклоны вправо.

Для выполнения наклона влево пациент из исходной позиции с максимально комфортной скоростью наклоняется влево, скользя левой рукой вдоль бедра (насколько возможно, без ротации и наклонов вперед и назад), до ощущения боли или достижения максимально возможного объема движений в этом направлении. Затем пациент медленно возвращается в исходную позицию. После этого он выполняет наклон вправо аналогичным образом (рис. 1).



Рис. 1. Динамика движений пациента

Способ обработки полученных данных

На полученном с камеры изображении цвет каждого пикселя задается тремя числами: R , G , B , характеризующими интенсивность красного, зеленого и синего компонентов соответственно.

Для сравнения цвета пикселей изображения с известным цветом маркера изображение представляют в цветовом пространстве HSV.

Значение H («оттенок») рассчитывают по формуле:

$$H = \begin{cases} H_0 + \pi, & \text{при } (2R - G - B) = 0 \text{ AND } (G - B) = 0, \\ \arctan\left(\frac{0,866025404 \cdot (G - B)}{0,5 \cdot (2R - G - B)}\right), & \text{при } (2R - G - B) \neq 0 \text{ OR } (G - B) \neq 0, \end{cases}$$

где H_0 – известный оттенок цвета маркера; R , G и B – интенсивность красного, зеленого и синего компонентов пикселя соответственно.

Значение S («насыщенность») рассчитывают по формуле:

$$S = \begin{cases} 0,0, & \text{при } \max(R, G, B) = 0, \\ \frac{(\max(R, G, B) - \min(R, G, B))}{\max(R, G, B)}, & \text{при } \max(R, G, B) \neq 0, \end{cases}$$

где R , G и B – интенсивность красного, зеленого и синего компонентов пикселя соответственно; $\max(R, G, B)$ – наибольшее из значений R , G и B ; $\min(R, G, B)$ – наименьшее из значений R , G и B .

Величину D , характеризующую степень соответствия цвета пикселя известному цвету маркера, рассчитывают по формуле:

$$D = \frac{255 \cdot S}{1 + 4 \cdot (\sin(H_0) - \sin(H))^2 + 4 \cdot (\cos(H_0) - \cos(H))^2},$$

где S и H – значения насыщенности и оттенка цвета пикселя, H_0 – значение оттенка цвета маркера. Чем больше величина D , тем больше цвет пикселя соответствует цвету маркера.

Значение функции $W(x, y, r)$, характеризующей степень соответствия изображению маркера с координатами центра (x, y) и радиусом r рассчитывают по формуле:

$$W(x, y, r) = r \cdot \left(\frac{\sum_{(i-x)^2+(j-y)^2 \leq r^2} D_{i,j}}{\sum_{(i-x)^2+(j-y)^2 \leq r^2} 1} - \frac{\sum_{(i-x)^2+(j-y)^2 \in [r^2, (2r)^2]} D_{i,j}}{\sum_{(i-x)^2+(j-y)^2 \in [r^2, (2r)^2]} 1} \right),$$

где i, j – целые числа; $D_{i,j}$ – значение величины D (характеризующей степень соответствия цвета пикселя известному цвету маркера) для пикселя с координатами i, j ; r – радиус маркера; x и y – координаты центра маркера.

Координату x_m центра маркера рассчитывают по формуле: $x_m = \arg \max_x W(x, y, r)$, где

$W(x, y, r)$ – функция, характеризующая степень соответствия изображению маркера с координатами центра (x, y) и радиусом r . При этом $x \in [x_{\min}, x_{\max}]$, $y \in [y_{\min}, y_{\max}]$, $r \in [r_{\min}, r_{\max}]$, где x_{\min} и x_{\max} – минимальное и максимальное значения координаты x , задающие область поиска маркера на изображении, y_{\min} и y_{\max} – минимальное и максимальное значения координаты y , задающие область поиска маркера на изображении, r_{\min} и r_{\max} – минимальное и максимальное возможные значения радиуса маркера r .

Координату y_m центра маркера рассчитывают по формуле: $y_m = \arg \max_y W(x, y, r)$, где

$W(x, y, r)$ – функция, характеризующая степень соответствия изображению маркера с координатами центра (x, y) и радиусом r . При этом $x \in [x_{\min}, x_{\max}]$, $y \in [y_{\min}, y_{\max}]$, $r \in [r_{\min}, r_{\max}]$, где x_{\min} и x_{\max} – минимальное и максимальное значения координаты x , задающие область поиска маркера на изображении; y_{\min} и y_{\max} – минимальное и максимальное значения координаты y , задающие область поиска маркера на изображении; r_{\min} и r_{\max} – минимальное и максимальное возможные значения радиуса маркера r .

Измерив на каждом изображении в последовательности из N изображений координаты каждого маркера, получают ряды данных:

1) $Th12x_i$ – координата x центра маркера над $Th12$ позвонком, $Th12y_i$ – координата y центра маркера над $Th12$ позвонком, где $i = 0 \dots (N-1)$ – номер изображения;

2) $L1x_i$ – координата x центра маркера над $L1$ позвонком, $L1y_i$ – координата y центра маркера над $L1$ позвонком, где $i = 0 \dots (N-1)$ – номер изображения;

3) $L2x_i$ – координата x центра маркера над $L2$ позвонком, $L2y_i$ – координата y центра маркера над $L2$ позвонком, где $i = 0 \dots (N-1)$ – номер изображения;

4) $L3x_i$ – координата x центра маркера над $L3$ позвонком, $L3y_i$ – координата y центра маркера над $L3$ позвонком, где $i = 0 \dots (N-1)$ – номер изображения;

5) $L4x_i$ – координата x центра маркера над $L4$ позвонком, $L4y_i$ – координата y центра маркера над $L4$ позвонком, где $i = 0 \dots (N-1)$ – номер изображения;

6) $L5x_i$ – координата x центра маркера над $L5$ позвонком, $L5y_i$ – координата y центра маркера над $L5$ позвонком, где $i = 0 \dots (N-1)$ – номер изображения;

7) $S1x_i$ – координата x центра маркера над $S1$ позвонком, $S1y_i$ – координата y центра маркера над $S1$ позвонком, где $i = 0 \dots (N-1)$ – номер изображения.

Время t_i , когда было получено i -ое изображение, рассчитывают по формуле $t_i = i / fps$, где $fps = 30$ Гц – частота следования кадров.

Таким образом получают зависимость координат центров маркеров $(Th12x_i, Th12y_i)$, $(L1x_i, L1y_i)$, $(L2x_i, L2y_i)$, $(L3x_i, L3y_i)$, $(L4x_i, L4y_i)$, $(L5x_i, L5y_i)$, $(S1x_i, S1y_i)$ от времени t_i , отражающую движения исследуемого отдела позвоночника.

Для оценки движений позвонков в смежных сегментах рассчитывают значения углов $Th12L1L2$, $L1L2L3$, $L2L3L4$, $L3L4L5$, $L4L5S1$, образованных прямыми, соединяющими центры трех маркеров над тремя соседними позвонками поясничного отдела позвоночника (например, угол $L2L3L4$, образованный центрами маркеров над позвонками $L2$, $L3$ и $L4$ на рис. 2).

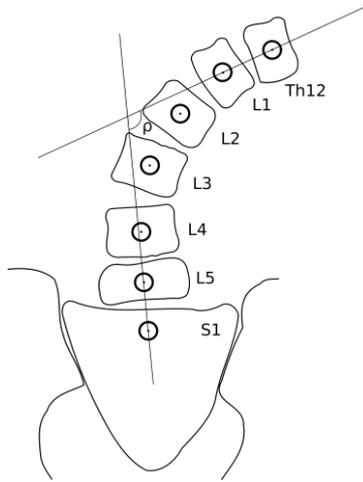


Рис. 2. Схема движений отделов позвоночника

Обозначим как $\varphi(A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y)$ угол, образованный центрами маркеров A, B и C с координатами $(A_x, A_y), (B_x, B_y), (C_x, C_y)$ соответственно, причем B – вершина угла (рис. 2). Точки A, B и C образуют треугольник ABC , стороны которого AB, BC и AC рассчитывают по формулам:

$$AB = \sqrt{(B_x - A_x)^2 + (B_y - A_y)^2}, BC = \sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2}, AC = \sqrt{(C_x - A_x)^2 + (C_y - A_y)^2}.$$

Значение $\varphi(A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y)$ (в градусах) рассчитывают по формуле:

$$\varphi(A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y) = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \cdot \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC^2}{2 \cdot \sqrt{AB^2 \cdot BC^2}}, & \text{при } ((B_y - A_y) \cdot (C_x - A_x) - (B_x - A_x) \cdot (C_y - A_y)) > 0, \\ 360 - \frac{180}{\pi} \cdot \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC^2}{2 \cdot \sqrt{AB^2 \cdot BC^2}}, & \text{при } ((B_y - A_y) \cdot (C_x - A_x) - (B_x - A_x) \cdot (C_y - A_y)) \leq 0. \end{cases}$$

Искомые значения углов на i -ом изображении $Th12L1L2_i, L1L2L3_i, L2L3L4_i, L3L4L5_i, L4L5S1_i$ рассчитывают по формулам:

$$Th12L1L2_i = \varphi(Th12x_i, Th12y_i, L1x_i, L1y_i, L2x_i, L2y_i),$$

$$L1L2L3_i = \varphi(L1x_i, L1y_i, L2x_i, L2y_i, L3x_i, L3y_i),$$

$$L2L3L4_i = \varphi(L2x_i, L2y_i, L3x_i, L3y_i, L4x_i, L4y_i),$$

$$L3L4L5_i = \varphi(L3x_i, L3y_i, L4x_i, L4y_i, L5x_i, L5y_i),$$

$$L4L5S1_i = \varphi(L4x_i, L4y_i, L5x_i, L5y_i, S1x_i, S1y_i).$$

Для оценки объема движений отдела позвоночника в целом рассчитывают значение общего угла ρ , между прямой, проведенной через центры маркеров над двумя верхними позвонками ($Th12$ и $L1$), и прямой, проведенной через центры маркеров над двумя нижними позвонками ($L5$ и $S1$) исследуемого отдела (рис. 2).

Обозначим как $\alpha(A_x, A_y, B_x, B_y, D_x, D_y, E_x, E_y)$ угол, образованный прямой, проходящей через центры маркеров A и B с координатами $(A_x, A_y), (B_x, B_y)$ соответственно, и прямой, проходящей через центры маркеров D и E с координатами $(D_x, D_y), (E_x, E_y)$ соответственно; прямые пересекаются в точке O . Построим отрезок BC , параллельный DE ; тогда $\angle ABC = \angle AOE = \alpha$. Координаты (C_x, C_y) точки C рассчитывают по формулам: $C_x = B_x + E_x - D_x$; $C_y = B_y + E_y - D_y$. Точки A, B и C образуют треугольник ABC , стороны которого AB, BC и AC рассчитывают по формулам:

$$AB = \sqrt{(B_x - A_x)^2 + (B_y - A_y)^2}, BC = \sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2}, AC = \sqrt{(C_x - A_x)^2 + (C_y - A_y)^2}.$$

Значение угла $\alpha(A_x, A_y, B_x, B_y, D_x, D_y, E_x, E_y)$ (в градусах) рассчитывают по формуле:

$$\alpha(A_x, A_y, B_x, B_y, D_x, D_y, E_x, E_y) = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \cdot \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC^2}{2 \cdot \sqrt{AB^2 \cdot BC^2}}, & \text{при } ((B_y - A_y) \cdot (C_x - A_x) - (B_x - A_x) \cdot (C_y - A_y)) > 0, \\ 360 - \frac{180}{\pi} \cdot \arccos \frac{AB^2 + BC^2 - AC^2}{2 \cdot \sqrt{AB^2 \cdot BC^2}}, & \text{при } ((B_y - A_y) \cdot (C_x - A_x) - (B_x - A_x) \cdot (C_y - A_y)) \leq 0. \end{cases}$$

Искомое значение общего угла на i -ом кадре ρ_i рассчитывают по формуле: $\rho_i = \alpha(Th12x_i, Th12y_i, L1x_i, L1y_i, L5x_i, L5y_i, S1x_i, S1y_i)$. Для характеристики изменения углов при выполнении функциональной пробы используют угловые отклонения, которые рассчитывают по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta\rho_i &= \rho_i - \rho_0, \\ \Delta Th12L1L2_i &= Th12L1L2_i - Th12L1L2_0, \\ \Delta L1L2L3_i &= L1L2L3_i - L1L2L3_0, \\ \Delta L2L3L4_i &= L2L3L4_i - L2L3L4_0, \\ \Delta L3L4L5_i &= L3L4L5_i - L3L4L5_0, \\ \Delta L4L5S1_i &= L4L5S1_i - L4L5S1_0, \end{aligned}$$

где $\Delta\rho_i$ – значение углового отклонения угла ρ для i -ого кадра, ρ_i – значение угла ρ для i -го кадра; ρ_0 – значение угла ρ для первого кадра (до начала выполнения функциональной пробы); $\Delta Th12L1L2_i$ – значение углового отклонения угла $Th12L1L2$ для i -ого кадра; $Th12L1L2_i$ – значение угла $Th12L1L2$ для i -го кадра; $Th12L1L2_0$ – значение угла $Th12L1L2$ для первого кадра; $\Delta L1L2L3_i$ – значение углового отклонения угла $L1L2L3$ для i -ого кадра; $L1L2L3_i$ – значение угла $L1L2L3$ для i -го кадра; $L1L2L3_0$ – значение угла $L1L2L3$ для первого кадра; $\Delta L2L3L4_i$ – значение углового отклонения угла $L2L3L4$ для i -ого кадра; $L2L3L4_i$ – значение угла $L2L3L4$ для i -го кадра; $L2L3L4_0$ – значение угла $L2L3L4$ для первого кадра; $\Delta L3L4L5_i$ – значение углового отклонения угла $L3L4L5$ для i -ого кадра; $L3L4L5_i$ – значение угла $L3L4L5$ для i -го кадра; $L3L4L5_0$ – значение угла $L3L4L5$ для первого кадра; $\Delta L4L5S1_i$ – значение углового отклонения угла $L4L5S1$ для i -ого кадра; $L4L5S1_i$ – значение угла $L4L5S1$ для i -го кадра; $L4L5S1_0$ – значение угла $L4L5S1$ для первого кадра.

Максимальное по модулю значение углового отклонения $\max(\Delta\rho_i)$, достигнутое во время функциональной пробы, используют для характеристики объема движений в поясничном отделе позвоночника в целом. Находят m – номер кадра, на котором значение $\Delta\rho$ достигло $\max(\Delta\rho_i)$. Значения $\Delta Th12L1L2_m$, $\Delta L1L2L3_m$, $\Delta L2L3L4_m$, $\Delta L3L4L5_m$, $\Delta L4L5S1_m$, используют для характеристики объема движений в соответствующих сегментах поясничного отдела позвоночника.

Результаты и их анализ

Пациент О. 60 лет поступил в 1-е неврологическое отделение ГУ РНПЦ неврологии и нейрохирургии с жалобами на стойкие боли в пояснице, онемение голени и стоп. Движения позвоночника были исследованы вышеописанным способом.

Результаты измеренных величин углов до выполнения функциональных проб (до пробы – влево, до пробы – вправо), величин углов при максимальном отклонении влево (макс. влево) и вправо (макс. вправо), величины соответствующих угловых отклонений (Δ влево и Δ вправо) представлены в таблице.

Величины углов поясничных сегментов по данным видеонализа движений поясничного отдела позвоночника пациента О.

Угол	до пробы– влево	макс. влево	Δ влево	до пробы– вправо	макс. вправо	Δ вправо
ρ	185,2	194,6	9,4	186,1	170,3	-15,8
$Th12L1L2$	179,5	182,6	3,1	179,9	171,0	-8,9
$L1L2L3$	181,6	189,0	7,4	181,4	182,8	1,4
$L2L3L4$	184,7	184,4	-0,3	184,9	174,1	-10,8
$L3L4L5$	179,2	180,4	1,1	180,9	177,6	-3,2
$L4L5S1$	180,4	188,8	8,5	178,7	176,9	-1,8

Из таблицы видно, что максимальное угловое отклонение поясничного отдела позвоночника в целом (ρ) при наклоне вправо превышает по модулю таковое для наклона влево

(–15,8 и 9,4 градуса соответственно). Угловое отклонение в сегментах *Th12–L1–L2* при наклоне вправо превышает по модулю таковое при наклоне влево (–8,9 и 3,1 градуса соответственно). Угловое отклонение в сегментах *L1–L2–L3* при наклоне влево превышает по модулю таковое при наклоне вправо (7,4 и 1,4 градуса соответственно). Угловое отклонение в сегментах *L2–L3–L4* при наклоне вправо превышает по модулю таковое при наклоне влево (–10,8 и –0,3 градуса соответственно). Угловое отклонение в сегментах *L4–L5–S1* при наклоне влево превышает по модулю таковое при наклоне вправо (8,5 и –1,8 градусов соответственно).

По результатам исследования можно сделать заключение: у пациента выраженное ограничение наклонов туловища влево и умеренное ограничение наклонов вправо. На уровне *L2L3L4* зафиксировано отсутствие движения в этом сегменте, а при наклоне вправо зарегистрирован наибольший изгиб позвоночной дуги, что может говорить о локальной миофиксации слева. Полученные данные соответствуют данным неврологического статуса.

Заключение

Таким образом, нами разработан метод регистрации движений позвоночника во фронтальной плоскости, позволяющий зафиксировать, обработать и изучить биомеханику позвоночно-двигательных сегментов поясничного уровня. Отсутствие лучевой нагрузки позволяет контролировать заболевание в динамике, не ограничивая количество обследований, сохраненные результаты обследования на бумажных носителях или в электронном виде могут быть использованы для последующей экспертной оценки состояния здоровья.

THE OBJECTIVITY OF BIOMECHANICAL DISORDERS OF THE LUMBAR SPINE ACCORDING TO VIDEO ANALYSIS IN PATIENTS WITH NEUROLOGICAL MANIFESTATIONS OF SPINE OSTEOCHONDROSIS

S.A. LIKHACHEV, S.V. ELENSKAYA, V.V. VASHCHYLIN, I.S. GOURSKY

Abstract

A new method for objective movement registration of lumbar spine is developed. Method is implemented by means of videoregistration of color markers situated at the skin over the lumbar spine spinous processes. Mathematic tool is demonstrated for processing of the data acquired.

Список литературы

1. *Недзьведь Г.К., Анацкая Л.Н., Забаровский В.К. и др.* Клиника, диагностика и лечение дисфиксационных синдромов поясничного остеохондроза. Минск, 1993.
2. *Билялов М.Ш., Веселовский В.П., Попелянский А.Я. и др.* Особенности клинического обследования при вертеброгенных заболеваниях нервной системы. Казань, 1980.
3. *Тагер И.Л.* Рентгенодиагностика заболеваний позвоночника. М., 1985.