

RADIOMETRIC CHANGES IN ADJACENT INTERVERTEBRAL DISCS FOLLOWING TRANSPEDICULAR FIXATION OF THE LUMBAR SPINE IN THE TREATMENT OF DEGENERATIVE DISEASES

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy
of Medical Sciences of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

helen.karpinska@gmail.com

Transpedicular spinal fixation disrupts the normal biomechanical relationships between the spinal-motor segments and accelerates degenerative changes. The aim was to determine the nature of changes in intervertebral discs and adjacent vertebral bodies in dynamics after transpedicular fixation at the L4-L5 level. To assess the condition of the vertebrae and discs, the disc index (Id), the disc shape index (If), and the vertebral-disc ratio (Kdp) were determined. A statistically significant change in Id over time was found, as well as a significant interaction between time and level of fixation. There was an increase in Id after surgery, a period of stability, and then a significant decrease. The index of intervertebral disc shape (If) demonstrated statistically substantial dynamics over time, regardless of the level of fixation. The interaction between time and level of fixation is not statistically significant, which indicates the same form of dynamics regardless of the anatomical level (above, at the level of, below fixation). A statistically significant change in Kdp over time and a U-shaped dynamics of the indicator were found, indicating a pronounced decrease after the initial period with subsequent partial recovery. The changes in dynamics are presented. The analysis of changes during the year after the operation showed that changes occur both above the fixation zone and below it. It was determined that in the upper adjacent segments, the first signs appear as early as 6 months after surgery, while in the segments below, only a year later, and are not so pronounced. It was noted that when assessing the destruction of the disc and vertebrae, no obvious trends in the priority of changes were identified; rather, it may depend on other reasons, such as the patient's age, the state of bone structures, features of the anatomical structure, etc. Identifying these reasons requires additional research.

Key words: transpedicular fixation, disc index, disc shape index, vertebral-disc ratio.

Connection of the publication with the planned research works.

The work was performed within the framework of the research project "Improving the diagnosis and treatment of degenerative diseases of the lumbar spine in military personnel (clinical and experimental study)". State registration number 0123U104221.

Introduction.

Transpedicular fixation is a widely used surgical method for the treatment of spinal diseases, deformities, and injuries [1]. Posterior bone-grafting fusion with transpedicular screws ensures stabilization of the affected segment; however, it simultaneously disrupts the natural biomechanical relationships between vertebral motion segments. This disruption may lead to or accelerate degenerative changes in adjacent spinal segments. Such pathological changes are often characterized by reduced disc height, disc herniation, scoliotic deformities, spondylolisthesis, or spinal canal stenosis. Notably, radiographic signs of adjacent segment disease may be present without clinical symptoms in 12.2-42.6% of cases, while radiographic changes accompanied by clinical manifestations are observed in 4-20% [2, 3]. The most common risk factors for the development of adjacent segment syndrome (AS) include pre-existing degeneration in adjacent levels, sagittal imbalance, rigid fixation constructs, and intraoperative muscle trauma [4, 5]. Despite the existence of clear predisposing factors, available data on radiographic changes in adjacent intervertebral discs during the postoperative period remain limited.

The aim of the study.

To study the nature of changes in the intervertebral discs and bodies of adjacent vertebrae in the dynamics after transpedicular fixation at the level of L4-L5.

Object and research methods.

The study involved 21 patients who received treatment at the Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine starting from 2022. Ethical approval was granted by the Ethics and Bioethics Expert Committee of the Sytenko Institute (Protocol No. 252). The research was carried out in accordance with Ukrainian legislation and the principles of the Declaration of Helsinki on ethical conduct in medical research involving human subjects. All participants provided informed, voluntary consent prior to inclusion in the study.

The average age of the participants was 39.7±12 years (range: 20-60 years). The inclusion criteria were: transpedicular fusion at L4-L5 for degenerative diseases of the lumbar spine, including intervertebral hernias and spinal canal stenosis. Exclusion criteria were a history of previous lumbar surgery, degenerative scoliosis, spondylolisthesis, or tumors.

The condition of the intervertebral discs was assessed before surgery, as well as 3, 6 and 12 months after surgery based on magnetic resonance imaging (MRI) of the lumbar spine (**figures 1, 2**).

To assess the condition of the vertebrae and intervertebral discs, the disc index (Id), disc shape index (If), and vertebral-disc ratio (Kdp) were determined from MRI images (**fig. 3**).

The disc index (Id) is the ratio of the area of the disc to the area of the vertebrae located above (in the sag-

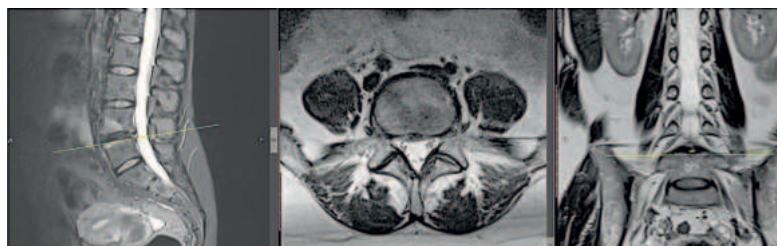


Figure 1 – MRI before surgery, L4-L5 level.

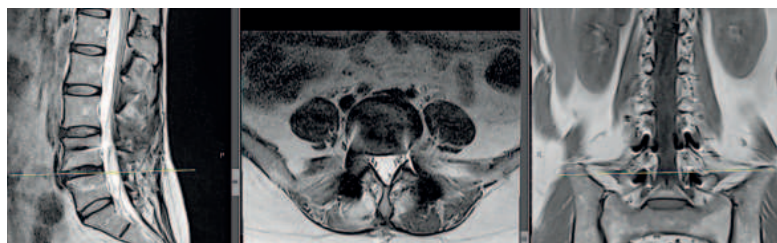


Figure 2 – MRI 12 months after surgery, L4-L5 level.

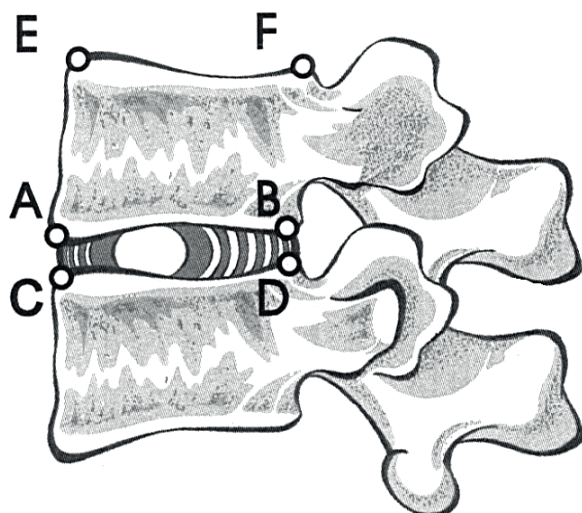


Figure 3 – Scheme for determining the indices Id, If, Kdp.

ittal plane). Normally, Id ranges from 0,35 to 0,45. It is calculated by the formula:

$$Id = \frac{Sd}{Sv},$$

where

$$Sd = \frac{AC+BD}{2} \times \frac{AB+CD}{2} \quad \text{— is the area of the disk,}$$

$$Sv = \frac{AE+FB}{2} \times \frac{AB+EF}{2} \quad \text{— the area of the vertebra lying above}$$

The disc shape index (If) is the ratio of the medial height of the disc (AC) to the lateral height (BD). Normally, If ranges from 1.2 to 1.5. It is determined by the formula:

$$If = \frac{AC}{BD}$$

Vertebral-disc ratio (Kdp) is the ratio of the height of the disc to the height of the vertebra located above it. Normally, it is equal to 0,2 to 0,25. Calculation formula:

$$Kdp = \frac{AD + CB}{AF + BE}$$

The obtained radiometric parameters were statistically processed with the determination of the

mean value and standard deviation ($M \pm SD$) and the limits of the range of scatter ($\min \div \max$). Given the presence of multiple repeated measurements in three anatomical zones and four time periods, GLM (Generalized Linear Model) with repeated measurements for the indices was used for statistical processing. This made it possible to assess both the dynamics of changes and the influence of the anatomical level of fixation. The sufficiency of the sample size was assessed retrospectively based on the time effect (Partial Eta Squared) in the GLM model with repeated measurements. The detected large effect ($\eta^2_p > 0,14$) suggests that the sample size of $n=21$ is sufficient to reliably detect dynamic changes in the studied indicators. GLM data analysis was performed in IBM SPSS Statistics 26.0.

The assessment of compliance with the normal values of the indices was carried out by ranking the data obtained – below normal, normal interval, above normal with an assessment by frequency analysis for each level that was studied. Graphical analysis of the distribution of individual indicators was performed in R. The diagrams determined the mean value of the sample, standard deviation, distribution of individual indicators, and the limit of the norm, according to the index.

Research results and their discussion.

Let's consider the change in the disc index (Id) in patients within a year after surgery (tables 1, 2).

According to the multivariate analysis of variance, a statistically significant change in the index over time (Wilks' Lambda = 0,412, $p < 0,001$), as well as a significant interaction between time and level of fixation (Wilks' Lambda = 0,671; $p = 0,001$), indicating a different trajectory of changes in the index in different anatomical zones, was found. The change in the disc index has a pronounced linear ($p < 0,001$) and quadratic ($p = 0,006$) components, i.e., there is an increase in the disc index after surgery, a period of stability, and then a significant decrease, which is confirmed graphically (fig. 4). The interaction between time and level of fixation was insignificant ($p = 0,359$), indicating the same direction of change in Id at the three anatomical levels. There were no overall differences between the levels of fixation ($p = 0,743$).

The diagram (fig. 4) shows a gradual decrease in the disc index at all levels.

Based on the fact that the borderline of the norm is quite wide – from 0,35 to 0,45, and according to the statistical analysis, the indicators at all levels during the observation were statistically significantly ($p < 0,001$)

Table 1 – Disk index (Id) values by observation periods and fixation levels ($M \pm SD/\min \div \max$)

Fixation area	Change the disk index (Id)			
	Before the operation	After 3 months	After 6 months	After 12 months
Above the area of fixation	0,31±0,05 0,20÷0,40	0,32±0,06 0,23÷0,45	0,31±0,05 0,23÷0,44	0,25±0,06 0,15÷0,39
Fixation area	0,30±0,09 0,18÷0,48	0,30±0,11 0,18÷0,70	0,28±0,12 0,15÷0,69	0,27±0,12 0,15÷0,68
Under the zone fixations	0,32±0,07 0,20÷0,45	0,32±0,08 0,20÷0,50	0,30±0,08 0,17÷0,47	0,28±0,08 0,13÷0,43

Table 2 – Results of GLM analysis of changes in disk index (Id)

Parameter. Test.	Coef. F	p	Interpretation
Wilks' Lambda Total effect indicator period	0,412 27,648	<0,001	The disk index is statistically significantly changes over time
period*level	0,671 4,270	0,001	Indicates a significant difference in the trajectory of change in the indicators
Tests of Within-Subjects Effects (Greenhouse-Geisser) Total effect of time (period)	12,683	<0,001	The indicator is statistically significantly changes over time
Interaction period * level	1,083	0,359	The dynamics of the indicator does not differs between the levels of fixation
Tests of Between-Subjects Effects Between-group differences (level)	0,298	0,743	The total difference between the levels of fixation levels is not determined
Tests of Within-Subjects Contrasts Linear change over time	17,495	<0,001	Linear change is significant
Quadratic change in time	8,270	0,006	There is a U-shaped dynamics of the indicator

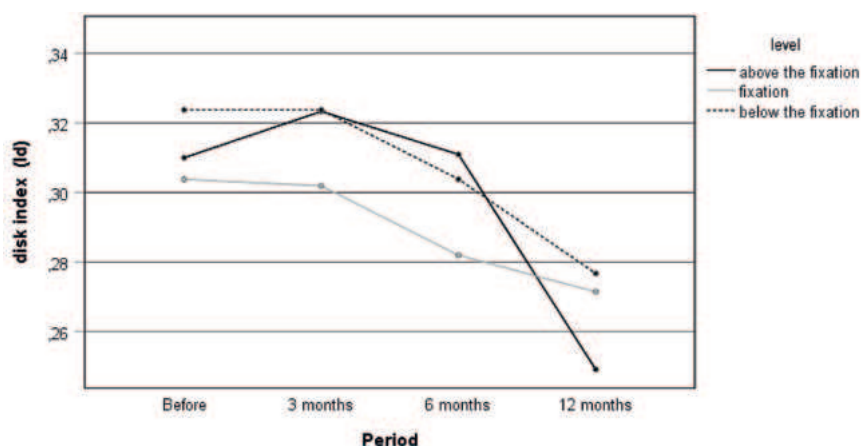


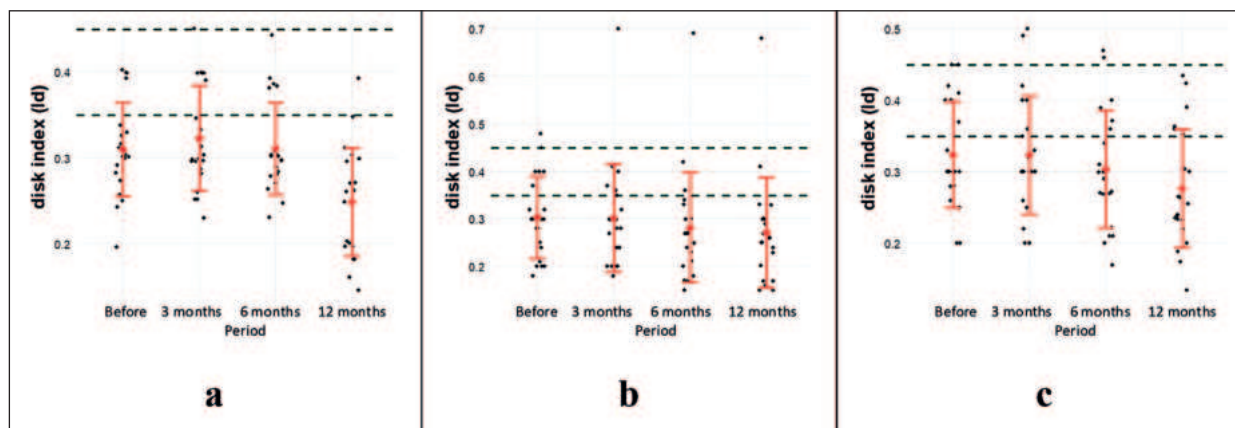
Figure 4 – Dynamics of disk index change.

lower than the upper limit, we will present the assessment of the ratio to the norm graphically (fig. 5).

If we analyze the obtained diagrams of the distribution of individual disc index data, we can say that the vast majority of patients had a reduced disc

Table 3 – Values of the disk shape index (If) by observation periods and fixation levels (M± SD/min÷ max)

Fixation area	Change the disk index (If)			
	Before the operation	After 3 months	After 6 months	After 12 months
Above the fixation zone	0,90±0,44 0,30÷1,80	1,21±,69 0,30÷2,60	1,12±0,58 0,20÷2,32	1,31±,55 0,39÷2,50
Fixation area	0,93±0,56 0,36÷2,50	1,10±0,64 0,15÷2,22	0,98±,56 0,15÷2,20	0,93±0,54 0,14÷2,19
Under the fixation area	1,11±0,70 0,20÷2,80	1,43±1,05 0,20÷3,40	1,31±0,97 0,27÷3,18	1,21±0,85 0,37÷3,07


Figure 5 – Dynamics of changes in individual indices (Id) over time:
a – above the fixation zone, b – in the fixation zone, c – under the fixation zone.

index – 15 (71.4%) in the fixation zone (fig. 5b), 17 (81.0%) above the fixation level (fig. 5a), and 14 (66.7%) below the fixation level. It can be observed that more points are located below the border of normal values, and the average values are also below the normal level. At 3 months after the surgery, the values of the disc index remained unchanged. At 6 months after the operation, a decrease in the index above the level of fixation was noted in 16 (76.2%), in the fixation zone – 18 (85.7%), and below – 14 (66.7%)

patients. At 12 months after the operation, an increase in the number of patients with a decrease in the disc index was noted: 15 (90,5%) above the level of fixation, 19 (90,5%) at the level of fixation, and 15 (71.4%) below.

In two patients, the disc index value was higher than normal (Id=0,45) in the area below the fixation at 3 and 6 months after surgery, and a return to a decrease in the index at 12 months of follow-up.

The analysis of changes in the disk shape index is shown in tables 3 and 4.

According to the results of multivariate analysis of variance with repeated measures, the index of intervertebral disc shape (If) demonstrated statistically significant dynamics over time regardless of the level of fixation (Wilks' Lambda = 0,823, p=0,010). No

interaction between the periods observed and the level of fixation was found (Wilks' Lambda = 0,840, $p=0,113$). Contrast analysis revealed that the dynamics is best described by the quadratic ($p=0,016$) and cubic ($p=0,002$) models of change, which reflects a wave-like or nonlinear change in the index over time, with stages of improvement and further deterioration, as shown in **fig. 6** for the level above the fixation zone. The interaction between time and level of fixation is not statistically significant ($p=0,276$), indicating the same form of dynamics regardless of the anatomical level (above, at, or below the level of fixation). There was no statistically significant overall difference between the levels of fixation ($p=0,332$).

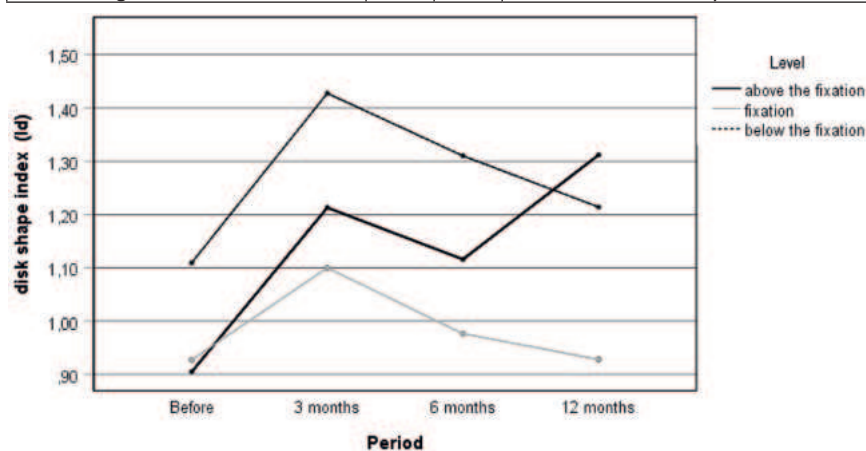
According to the data presented in the diagram (**fig. 6**), it can be seen that after surgery, patients have an increase in the disc shape index at all levels. However, within a year after surgery, there is a significant loss of shape in the fixation zone and below the level of fixation. A change in the shape of the disc above the level of fixation is characteristic – a slight decrease in the shape index is followed by its increase.

The analysis of the deviation of If from normal values is shown graphically (**fig. 7**).

According to the frequency analysis and graphical representation of the distribution of individual indicators of the disc shape index, it was determined that before surgery, most patients had a lower than normal If at all levels of interest: 16 (76.2%) above the fixation zone, 17 (81.0%) in the fixation zone, and 12 (57.1%) at the inferior level, i.e., a decrease in the medial side of the disc. At the same time, 6 (28.6%) patients had a lateral decrease in height at a level lower than the fixation. For other levels, the lateral reduction in disc height did not

Table 4 – Results of GLM analysis of changes in disk index (If)

Parameter. Test.	F	p	Interpretation
Wilks' Lambda Indicator of the overall effect period	0,823 4,990	0,010	Disk index statistically significantly changes over time
period*level	0,840 1,761	0,113	There is no statistically significant difference between periods is not determined
Tests of Within-Subjects Effects (Greenhouse-Geisser) Total effect of time (period)	4,990	0,006	Disk shape index statistically changes significantly over time
Interaction period * level	1,288	0,276	The dynamics of the indicator does not does not differ between the levels of fixation
Tests of Between-Subjects Effects Between-group differences (level)	1,122	0,332	The total difference between the levels of fixation levels is not determined
Tests of Within-Subjects Contrasts Quadratic change in time Cubic change in time	6,150 10,722	0,016 0,002	There is a U-shaped dynamics of the indicator There is a wave-like dynamics


Figure 6 – Dynamics of changes in the disk shape index.

exceed 15%. At all levels, the mean If value was below the normal range.

At 3 months after surgery, the disc shape index remained mostly below normal in 11 (52.4%) patients at all levels. At the same time, in 9 (42.9%) patients, If was higher than normal at the level above fixation, and in 8 (38.1%) at the level below.

At 6 months postoperatively, the majority of patients had If below normal, i.e., reduction of the medial edge of the disc was noted in 12 (57.1%) cases above and below the level of fixation. The index was within the normal range in 2 (9.5%) cases above and below fixation, respectively, and above the normal range in 7 (33.3%)

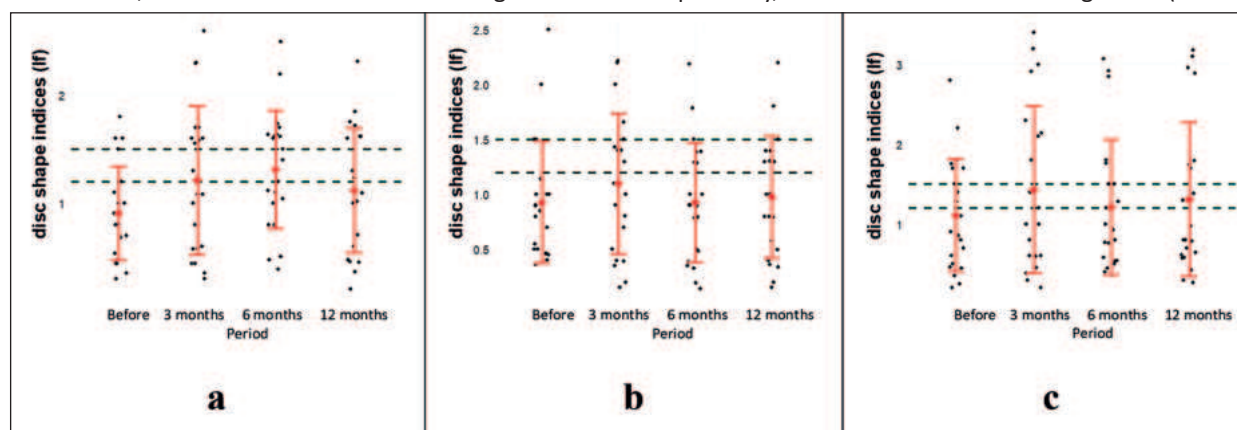

Figure 7 – Dynamics of changes in individual disc shape indices (If) over time:
a – above the fixation zone, b – in the fixation zone, c – under the fixation zone.

Table 5 – Vertebral-disc coefficient (Kdp) values by observation periods and fixation levels (M±SD/min÷ max)

Fixation area	Change the disk index (Kdf)			
	Before the operation	After 3 months	After 6 months	After 12 months
Above the fixation zone	0,32±0,08 0,20÷0,54	0,34±0,08 0,20÷0,50	0,29±0,08 0,16÷0,46	0,27±0,08 0,15÷0,44
Fixation area	0,30±0,09 0,20÷0,50	0,32±0,13 0,19÷0,80	0,34±0,18 0,17÷0,90	0,31±0,18 0,15÷0,85
Under the fixation area	0,31±0,05 0,19÷0,42	0,31±0,07 0,20÷0,47	0,31±0,07 0,20÷0,45	0,33±0,34 0,17÷10,80

at the same levels. Medial deformation of the fixation gap was observed in 12 (57.1%) cases, and lateral deformation in 2 (9.5%). At 12 months postoperatively, the disc shape index at the level above the fixation was observed in 9 (42.9%) cases above and below the normal range. At the level below, cases below the norm prevailed – 12 (57.1%), with 4 (19.0%) within the normal range. A decrease in the medial height of the gap was observed in the fixation zone. According to the data presented in **fig. 7c**, it can be seen that the average values under the level of fixation are closer to the normal range.

Table 6 – Results of the GLM analysis of changes in the vertebral-disc coefficient (Kdp)

Parameter. Test.	F	p	Interpretation
Wilks' Lambda Total effect indicator period	0,436 25,060	<0,001	Kdp statistically significantly changes over time
period*level	0,839 1,775	0,110	There is no statistically significant difference between periods is not determined
Tests of Within-Subjects Effects (Greenhouse-Geisser) Total effect of time (period)	4,393	0,020	Kdp is statistically significant changes in time
Interaction period * level	1,301	0,277	The dynamics of the indicator does not differ between the levels of fixation
Tests of Between-Subjects Effects Between-group differences (level)	0,284	0,754	The total difference between the levels of fixation levels is not determined
Tests of Within-Subjects Contrasts Quadratic change in time	15,722	<0,001	There is a U-shaped dynamics of the indicator There is a wave-like dynamics

According to general observations, it can be determined that at 3 months after spinal fusion surgery, there is a significant scatter of index values on the adjacent discs from the level of fixation, at 6 months, relative stabilization is noted, as evidenced by a decrease in the standard deviation of the values, but at 12 months, a significant increase in the scatter is again noted, which may indicate a partial loss of stabilization.

Let us consider how the vertebral-disc ratio (Kdp) changes over time. The results of the analysis are shown in **tables 5, 6**.

According to the results of multivariate analysis of variance, a statistically significant change in Kdp over time was found (Wilks' Lambda =0,436; $p<0,001$), which was also confirmed by univariate analysis with sphericity correction

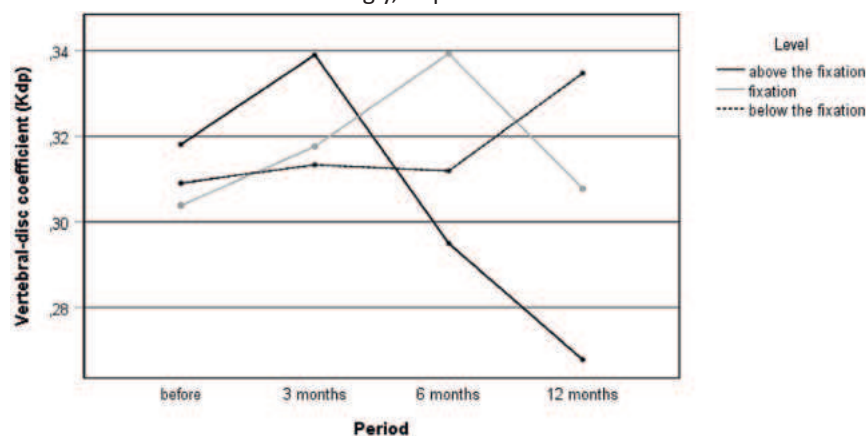
(Greenhouse-Geisser: $F=4.393$; $p=0,020$). The overall differences between the anatomical levels of fixation ($p=0,754$) and the interaction «period × level» ($p=0,277$) were not statistically significant, indicating similar dynamics of changes in the index in all zones. The results of the contrast analysis revealed a U-shaped dynamic of the indicator ($F=15.722$; $p<0,001$), which indicates a pronounced decrease in the indicator after the initial period with subsequent partial recovery. Changes in dynamics are shown in **fig. 8**.

The diagram shows that at 3 months after surgery, there is a slight increase in Kdp, and starting from 6 months of follow-up, there is a noticeable drop in the coefficient. This behavior may indicate a loss of bone mass of the vertebra located above the fixation. That is, based on the diagram, the condition of the L4 vertebra is relatively stable, and the condition of the L3 and L5 vertebrae is experiencing a slight loss of bone tissue. However, based on the calculation formula, in the 6-place fixation zone, both the intervertebral space and the height of the L4 vertebra may decrease simultaneously, which will not be reflected in the change in the coefficient.

The analysis of the ratio of individual Kdp coefficients to the norm is shown in **fig. 9**.

According to the analysis, before treatment, the majority of cases had Kdp above normal at all study levels – 17 (81.0%) above fixation, 14 (66.7%) in the fixation zone, and 19 (90,5%) below. There were no cases below normal, except for 1 (4.8%) at the lower level. At 3 months after surgery, the trend remained at the level above fixation, with minor changes in the fixation zone – 5 (23.8%) had normal Kdp, 15 (71.4%) – below normal. At the lower level, the number of normal Kdp increased to 5 (23.8%), and the number of below normal coefficients decreased to 16 (76.2%). At 6 months

postoperatively, at the level above fixation, Kdp was below normal in 2 (9.5%) of the observations and at 12 months of follow-up increased to 5 (23.8%). The number of cases of Kdp within the normal range did not change at 6 months, and increased to 6 (28.6%) at 12 months. Accordingly, Kdp below normal at 6 and 12 months was

**Figure 8 – Dynamics of vertebral-disc ratio (Kdp) changes.**

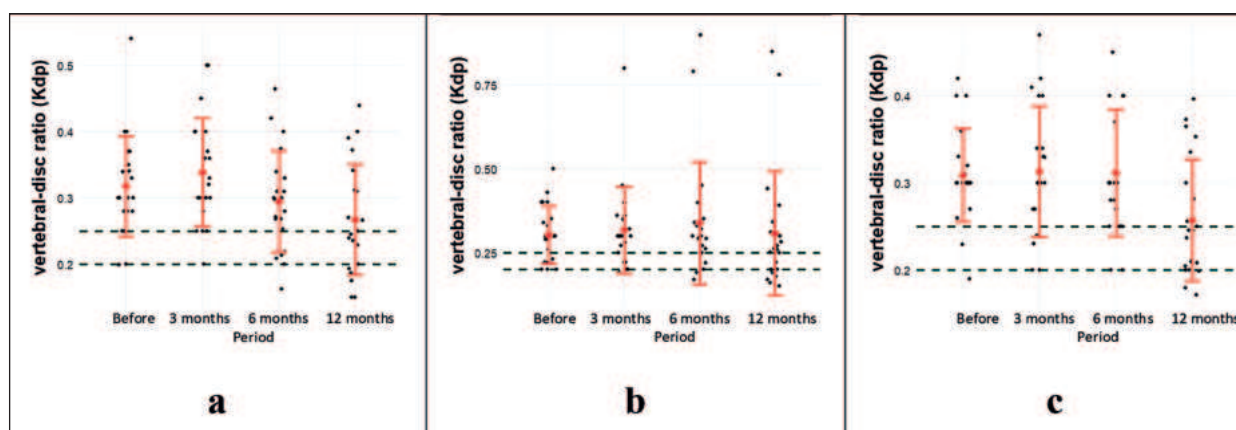


Figure 9 – Dynamics of changes in individual vertebral-disc coefficients (Kdp) over time:
a – above the fixation zone, b – in the fixation zone, c – below the fixation zone.

15 (71.4%) and 10 (47.6%), respectively. In the fixation zone, there was a slight increase in the number of cases below normal – 6 (28.6%) at 12 months after surgery and a decrease in the number of increased coefficients – 11 (52.4%) for the same period.

In the zone below the 12-month fixation, there were noticeable changes in Kdp: 10 (47.6%) fell into the normal zone, and 7 (33.3%) had a higher coefficient.

Transpedicular spinal fusion with subsequent formation of spondylodesis is a generally accepted method of surgical treatment of degenerative spinal diseases [6]. One of the serious long-term complications of such an intervention is adjacent segment disease (ASD), which is considered a factor affecting the success of posterior instrumentation and fusion. ASD involves the development of arthritic-like changes in the segments located near the area of instrumented fusion. Presumably, the occurrence of this condition is multifactorial in nature, where rigid fixation is a key contributing factor [7].

Over the past two decades, a number of dynamic spinal stabilization systems and techniques have been proposed to reduce the incidence of PPS compared to standard rigid fixation [8, 9]. In particular, hybrid dynamic systems create a gradual transition between the fused segment and the moving adjacent areas, reducing the load on adjacent segments. However, despite the promise of the approach, research results remain controversial: the benefits of hybrid systems in terms of clinical and radiological outcomes have not been convincingly proven [10, 11].

Our study was aimed at a step-by-step assessment of changes in the adjacent segments using quantitative indices that allow us to identify which structures (disc or vertebra) are undergoing primary degenerative processes.

Based on the relative nature of the disc index, i.e. the ratio of the sagittal plane of the disc to the area of the vertebra located above, the disc index in the fixation zone (L4-L5) takes into account the area of the L4 vertebra, for the L3-L4 disc – the area of the L3 disc, and for the L5-S1 disc, respectively, the area of the L5 disc.

Based on the formula $Id = \frac{S_d}{S_v}$, the disc index will also depend on changes in the vertebrae. Thus, even with a stable disc area, a decrease in the vertebral area will lead to an increase in the index, which does not always indicate an improvement in the condition. To take these

changes into account, the direction of deviation from the norm can be represented as follows

$$0,35 < Id < 0,45$$

disc degeneration $\Leftrightarrow$ *vertebral degeneration*

The reasons for the decrease in the height of the intervertebral disc above a fixed level may be microcirculatory disorders, reduced mobility of the downstream segments (e.g., L4-L5), or non-compliance with lordosis during surgery. These factors contribute to an asymmetrical redistribution of the load and can cause subsidence of the anterior or posterior edges of the disc.

Changes in the disc index in the fixation area can be caused by both compaction of the surrounding tissues and the visual effect of the implant «sinking» into the vertebral body. In situations where the degeneration affects both the disc and the vertebra, the Id may remain within the normal range, which requires additional evaluation by other parameters.

Transpedicular fixation at the L4-L5 level creates stiffness, as a result of which the compensatory load is transferred to the segment above – L3-L4. This is manifested not only by a decrease in the height of the disc, but also by asymmetric deformation of its edges.

The disc shape index $If = \frac{h_m}{h_l}$, which reflects the ratio of medial to lateral height, allows you to assess the direction of deformation: with a decrease in If, medial subsidence, with an increase, lateral subsidence. Based on the formula for the disc shape index, it is possible to determine in which direction the disc is deformed:

$$1.2 < If < 1.5$$

reduction of medial height $\Leftrightarrow$ *reduction of lateral height*

The medial part of the disc is usually more resistant to deformation, but in the case of kyphotic changes, it is the first to undergo compression. The lateral edges can be vulnerable with increased lordosis or load on the facet joints

The vertebral-disc coefficient, based on the formula for its calculation $Kdp = \frac{h_d}{h_v}$, is a relative coefficient, i.e., it depends on two variables that can change over time – changes in the height of the disc and the height of the vertebrae that is higher. Therefore, the Kdp value can be used to determine which structures are undergoing changes.

$$0,2 < Kdp < 0,25$$

disc degeneration $\Leftrightarrow$ *vertebral degeneration*

Based on the results obtained, it can be argued that at the level below fixation (L5-S1), a decrease in Kdp is most often a consequence of degeneration of the L5 vertebra. In the upper segment (L3-L4), changes may indicate L3 destruction. At the same time, stable Kdp values in the fixation zone may be the result of balanced changes in the disc and vertebrae, as well as effective stabilization by the implant.

Conclusions.

The analysis of radiographic changes in the adjacent spinal segments demonstrated the informativeness of the proposed indices (Id, If, Kdp) for assessing structural changes in intervertebral discs and vertebral bodies. These indices make it possible to differentiate which anatomical components undergo degenerative changes and assess the degree of their deviation from the norm.

Within one year after transpedicular fixation at the L4-L5 level, changes were recorded in both the segments

located above and below the fixation zone. At the same time, in the segments located above (L3-L4), degenerative processes are detected earlier – already 6 months after surgery. Instead, changes in the lower segments (L5-S1) are less pronounced and mostly manifest themselves in a year.

The assessment results did not reveal a clear sequence or preference in the nature of structural changes, i.e. whether the discs or vertebrae are subject to destruction first. Presumably, such differences are due to individual factors, including the patient's age, bone condition, anatomy, and the presence of comorbidities. Identification of these factors requires further research.

Prospects for further research.

This study did not identify unambiguous factors that affect changes in adjacent segments; in further studies, it is planned to determine the effect of such factors on the SLA as the patient's age and the state of bone structures.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-176-190

УДК 617.3/616-092

Корж М. О., Барков О. О., Карпінська О. Д.

РЕНТГЕНОМЕТРИЧНІ ЗМІНИ ПРИЛЕГЛИХ МІЖХРЕБЦЕВИХ ДИСКІВ ПІСЛЯ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЇ ФІКСАЦІЇ ПОПЕРЕКОВОГО ВІДДІЛУ ХРЕБТА В ЛІКУВАННІ ДЕГЕНЕРАТИВНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України»
(м. Харків, Україна)

helen.karpinska@gmail.com

Транспедиккулярна фіксація хребта порушує нормальні біомеханічні взаємовідношення між хребтрово-руховими сегментами та прискорює дегенеративні зміни. Мета – визначали характер змін у міжхребцевих дисках та тілах суміжних хребців у динаміці після встановлення транспедиккулярної фіксації на рівні L4-L5. Для оцінки стану хребців та дисків визначали індекс диску (Id), індекс форми диска (If) та хребцево-дисковий коефіцієнт (Kdp). Виявлено статистично значущу зміну Id в часі, а також значущу взаємодію між часом і рівнем фіксації. Спостерігається збільшення Id після операції, деякий період стабільності, а потім значне зниження. Індекс форми міжхребцевого диска (If) продемонстрував статистично значущу динаміку у часі незалежно від рівня фіксації. Взаємодія між часом та рівнем фіксації статистично не значуща, що свідчить про однакову форму динаміки незалежно від анатомічного рівня (вище, на рівні, нижче фіксації). Виявлено статистично значущу зміну Kdp в часі, а також U-подібну динаміку показника, що вказує на виражене зниження після початкового періоду з подальшим частковим відновленням. Аналіз змін впродовж року після проведеної операції, показав, що відбуваються зміни як вище зони фіксації, так і нижче неї. Визначено, що у верхніх прилеглих сегментах перші ознаки появляються вже на 6 місяць після операції, тоді як в сегментах нижче – тільки через рік і не такі виражені. Відмічено, що при оцінці руйнування диску та хребців, не було визначено явних тенденцій до першочерговості змін, скоріше це може залежати від інших причин, таких як вік пацієнта, стану кісткових структур, особливостей анатомічної будови, тощо. Визначення цих причин потребує додаткових досліджень.

Ключові слова: транспедиккулярна фіксація, індекс диску, індекс форми диска, хребцево-дисковий коефіцієнт.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота виконана в рамках НДР «Удосконалити діагностику та лікування дегенеративних захворювань поперекового відділу хребта у військовослужбовців (клініко-експериментальне дослідження)», номер державної реєстрації 0123U104221

Вступ.

Транспедиккулярна фіксація є поширеним методом хірургічного лікування захворювань, деформацій і травм хребта [1]. Встановлення заднього кістково-пластичного спондилодезу з використанням транспедиккулярних гвинтів забезпечує стабілізацію ураженого сегмента, але водночас порушує нормальні біомеханічні взаємовідносини між хребцево-руховими сегментами. Це спричиняє або прискорює розвиток дегенеративних змін у прилеглих сегментах хребта. Патологічні зміни в суміжних ділянках можуть проявлятися зниженням висоти дисків, формуванням гриж, розвитком сколіотичних деформацій,

цій і травм хребта [1]. Встановлення заднього кістково-пластичного спондилодезу з використанням транспедиккулярних гвинтів забезпечує стабілізацію ураженого сегмента, але водночас порушує нормальні біомеханічні взаємовідносини між хребцево-руховими сегментами. Це спричиняє або прискорює розвиток дегенеративних змін у прилеглих сегментах хребта. Патологічні зміни в суміжних ділянках можуть проявлятися зниженням висоти дисків, формуванням гриж, розвитком сколіотичних деформацій,

спондилолітезу або стенозу хребтового каналу. За значимо, що рентгенологічні ознаки захворювання прилеглого сегмента можуть спостерігатися без клінічних симптомів у 12,2-42,6% випадків, тоді як рентгенологічні зміни з клінічними проявами – у 4-20% [2, 3]. Найчастішими факторами ризику розвитку синдрому прилеглого сегмента (ЗПС) вважаються наявні дегенеративні зміни в суміжних сегментах, сагітальний дисбаланс, ригідна фіксація та інтраопераційне пошкодження м'язів [4, 5]. Незважаючи на наявність передумов для ЗПС, відомості про рентгенометричні зміни прилеглих міжхребцевих дисків у післяопераційний період є обмеженими.

Мета дослідження.

Визначити характер змін у міжхребцевих дисках та тілах суміжних хребців у динаміці після встановлення транспедикулярної фіксації на рівні L4-L5.

Об'єкт і методи дослідження.

У дослідження було включено 21 пацієнта, які проходили лікування у ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» з 2022 року. На проведення наукового дослідження було отримано дозвіл від експертної комісії з питань етики та біоетики ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» (Протокол №

252). Дослідження проводилось з дотриманням прав людини відповідно до діючого в Україні законодавства та Гельсінської декларації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». Усі хворі надали інформовану добровільну згоду для участі у дослідженні.

Середній вік учасників становив $39,7 \pm 12$ років (діапазон: 20-60 років). Критеріями включення були: проведення транспедикулярної фіксації на рівні L4-L5 з приводу дегенеративних захворювань поперекового відділу хребта, включаючи міжхребцеві грижі та стеноз хребтового каналу. Критеріями виключення – наявність в анамнезі попередніх оперативних втручань на поперековому відділі, дегенеративний сколіоз, спондилолітез або пухлини.

Оцінювання стану міжхребцевих дисків проводили до хірургічного втручання, а також через 3, 6 та 12 місяців після операції на підставі даних магнітно-резонансної томографії (МРТ) поперекового відділу (рис. 1, 2).

Для оцінки стану хребців та міжхребцевих дисків за МРТ-знімками, визначали індекс диску (Id), індекс форми диска (If) та хребцево-дисковий коефіцієнт (Kdp) (рис. 3).

Індекс диску (Id) – відношення площі диска до площі хребця, що розташований вище (у сагітальній площині). У нормі Id становить від 0,35 до 0,45. Розраховується за формулою:

$$Id = \frac{Sd}{Sv}$$

Де

$$Sd = \frac{AC+BD}{2} \times \frac{AB+CD}{2} - \text{площа диска,}$$

$$Sv = \frac{AE+FB}{2} \times \frac{AB+EF}{2} - \text{площа хребця, що лежить вище.}$$

Індекс форми диска (If) – співвідношення медіальної висоти диска (AC) до латеральної (BD). У нормі If становить від 1,2 до 1,5. Визначається за формулою:

$$If = \frac{AC}{BD}$$

Хребцево-дисковий коефіцієнт (Kdp) – відношення висоти диска до висоти хребця, розташованого над ним. У нормі від дорівнює від 0,2 до 0,25. Формула розрахунку:

$$Kdp = \frac{AD + CB}{AF + BE}$$

Отримані рентгенометричні показники оброблені статистично з визначенням середнього значення та стандартного відхилення ($M \pm SD$) та меж діапазону розкиду ($\min \div \max$). З огляду на наявність множинних повторних вимірювань у трьох анатомічних зонах і чотирьох часових періодах, для статистичної обробки було використано GLM (Generalized Linear Model) з повторними вимірюваннями, що до індексів. Це дозволило оцінити як динаміку змін, так і вплив анатомічного рівня фіксації. Достатність обсягу вибірки оцінювали ретроспективно на основі ефекту часу (Partial Eta Squared) у моделі GLM з повторними вимірюваннями. Виявлений великий ефект ($\eta^2_p > 0,14$) дає підстави вважати, що обсяг вибірки $n=21$ є достатнім

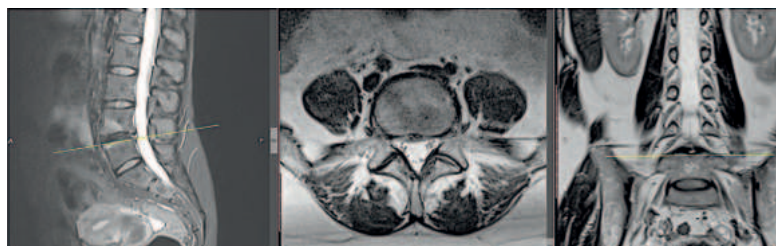


Рисунок 1 – МРТ до операції, рівень L4-L5.

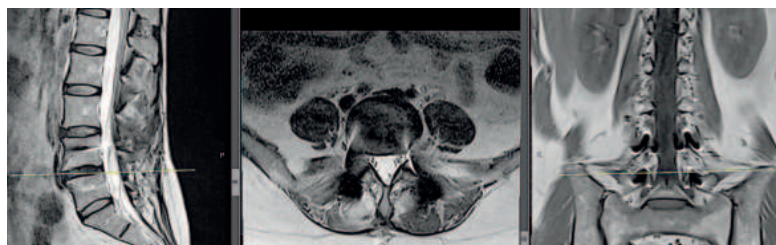


Рисунок 2 – МРТ через 12 міс. після операції, рівень L4-L5.

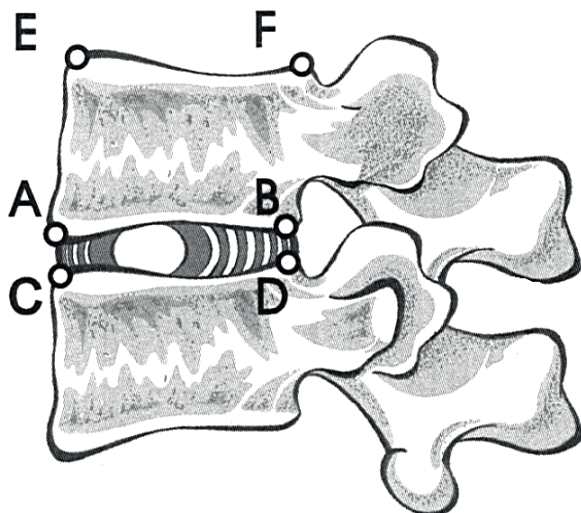


Рисунок 3 – Схема визначення індексів Id, If, Kdp.

для достовірного виявлення динамічних змін досліджуваних показників. Аналіз даних за GLM проводили в пакеті IBM SPSS Statistics 26.0.

Оцінку відповідності нормальним значенням проводили індексів проводили методом ранжування отриманих даних – нижче норми, інтервал норми, вище норми з оцінкою частотним аналізом за кожним рівнем, що досліджували. Графічний аналіз розподілу індивідуальних показників проводили в пакеті R. Діаграми визначали середнє значення вибірки, стандартне відхилення, розподіл індивідуальних показників та межу норми, відповідно до індексу.

Результати дослідження та їх обговорення.

Розглянемо зміну індексу диска (Id) у пацієнтів впродовж року після оперативного втручання (табл. 1, 2).

Згідно з багатовимірним аналізом дисперсії, було виявлено статистично значущу зміну показника в часі (Wilks' Lambda = 0,412, $p < 0,001$), а також значущу взаємодію між часом і рівнем фіксації (Wilks' Lambda = 0,671, $p = 0,001$), що вказує на різну траєкторію змін показника в різних анатомічних зонах. Зміна індексу диска має виражену лінійну ($p < 0,001$) та квадратичну ($p = 0,006$) компоненти, тобто спостерігається збільшення індексу диска після операції, деякий період стабільності, а потім значне зниження, що підтверджується графічно (рис. 4). Взаємодія між часом і рівнем фіксації виявилась незначущою ($p = 0,359$), що свідчить про однакову направленість зміни Id на трьох анатомічних рівнях. Загальні відмінності між рівнями фіксації були відсутні ($p = 0,743$).

На діаграмі (рис. 4) спостерігається поступове зниження індексу диска на всіх рівнях.

Виходячи з того, що межа норми доволі широка – від 0,35 до 0,45, і за даними статистичного аналізу показники на всіх рівнях впродовж спостереження статистично значущо ($p < 0,001$) були менше верхньої межі, оцінку відношення до норми представимо графічно (рис. 5).

Якщо проаналізувати отримані діаграми розподілу індивідуальних даних індексу диска, можна сказати, що переважна кількість пацієнтів мала знижений індекс диска – в зоні фіксації 15 (71,4%) (рис. 5б), вище рівня фіксації – 17 (81,0%)

Таблиця 1 – Значення індексу диска (Id) за періодами спостережень та рівнями фіксації ($M \pm SD$ / min÷max)

Зона фіксації	Зміна індексу диска (Id)			
	До операції	Через 3 міс	Через 6 міс	Через 12 міс
Над зоною фіксації	0,31±0,05 0,20÷0,40	0,32±0,06 0,23÷0,45	0,31±0,05 0,23÷0,44	0,25±0,06 0,15÷0,39
Зона фіксації	0,30±0,09 0,18÷0,48	0,30±0,11 0,18÷0,70	0,28±0,12 0,15÷0,69	0,27±0,12 0,15÷0,68
Під зоною фіксації	0,32±0,07 0,20÷0,45	0,32±0,08 0,20÷0,50	0,30±0,08 0,17÷0,47	0,28±0,08 0,13÷0,43

(рис. 5а), і нижче фіксації – 14 (66,7%). Ще можна спостерігати, що більше точок розташовано нижче межі нормальних значень, нижче рівня норми знаходяться і середні значення. Через 3 місяці після операції значення індексу диска не змінилися. Через 6 місяців після операції зниження індексу вище рівня фіксації відмічено у 16 (76,2%), в зоні фіксації – 18 (85,7%), нижче – 14 (66,7%) пацієнтів. На 12 місяць після операції відмічено збільшення кількості пацієнтів, у кого відмічено зменшення індексу диска: вище рівня фіксації – 15 (90,5%), на рівні фіксації – 19 (90,5%), нижче – 15 (71,4%) спостережень.

У двох пацієнтів відмічено значення індексу диска більше норми ($Id = 0,45$) в зоні нижче фіксації в періоди 3 та 6 місяців після операції, і повернення в бік зменшення індексу на 12 місяць спостереження.

Аналіз зміни індексу форми диска наведено в табл. 3 та 4.

Згідно з результатами багатовимірної дисперсійної аналізу з повторними вимірюваннями, індекс форми міжхребцевого диска (If) продемонстрував статистично значущу динаміку у часі незалежно

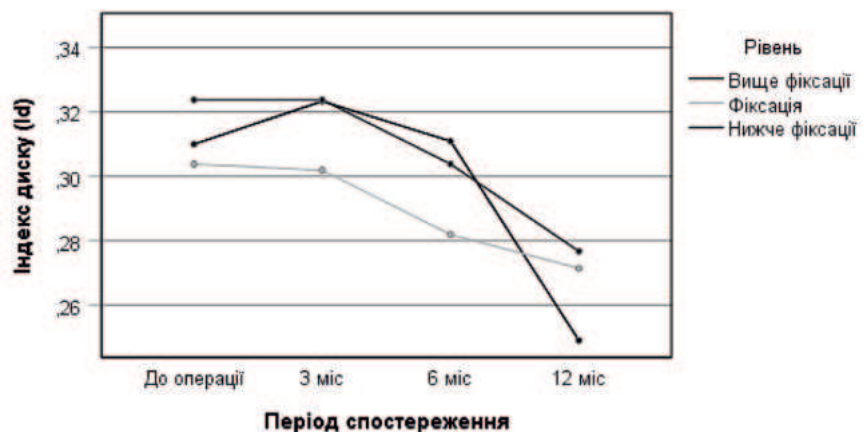


Рисунок 4 – Динаміка зміни індексу диска.

Таблиця 2 – Результати аналізу зміни індексу диска (Id) за GLM

Параметр Тест	Коеф. F	p	Інтерпретація
Wilks' Lambda	0,412	$< 0,001$	Індекс диска статистично значущо змінюється у часі
Індикатор загального ефекту період	27,648		
період*рівень	0,671 4,270	0,001	Вказує на значущу різну траєкторію зміни показників
Tests of Within-Subjects Effects (Greenhouse–Geisser)	12,683	$< 0,001$	Показник статистично значущо змінюється в часі
Загальний ефект часу (період)			
Взаємодія період * рівень	1,083	0,359	Динаміка зміни показника не відрізняється між рівнями фіксації
Tests of Between-Subjects Effects	0,298	0,743	Загальної різниці між рівнями фіксації не визначено
Міжгрупові відмінності (рівень)			
Tests of Within-Subjects Contrasts	17,495	$< 0,001$	Лінійна зміна значуща
Лінійна зміна в часі			
Квадратична зміна в часі	8,270	0,006	Є U-подібна динаміка показника

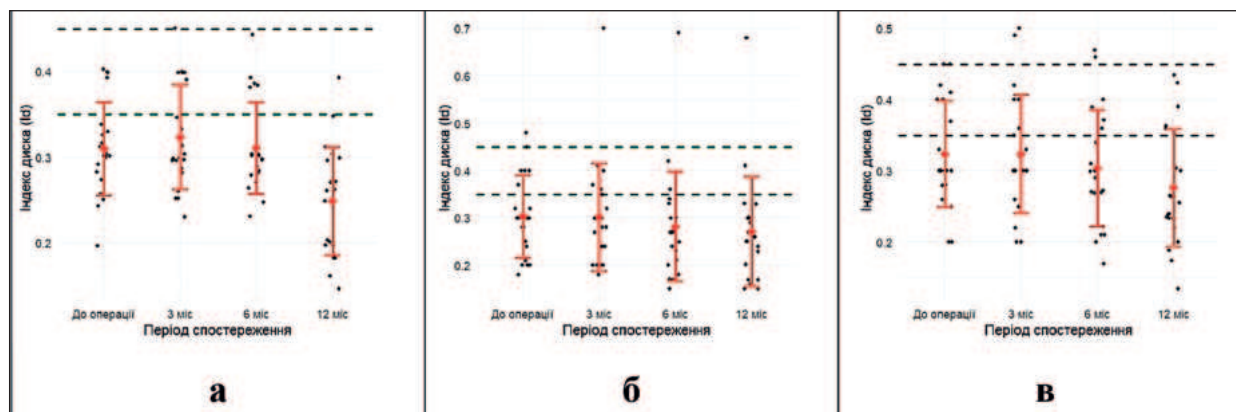


Рисунок 5 – Динаміка зміни індивідуальних індексів (Id) з часом: а – над зоною фіксації, б – в зоні фіксації, в – під зоною фіксації.

від рівня фіксації (Wilks' Lambda = 0,823, $p=0,010$). взаємодії між періодами спостереження і рівнем фіксації = не виявлено (Wilks' Lambda = 0,840; $p=0,113$). Аналіз контрастів виявив, що найкраще динаміку описує квадратична ($p=0,016$) та кубічна ($p=0,002$) моделі змін, що відображає хвилюподібну або нелінійну зміну індексу в часі, з етапами покращення та подальшого погіршення, що показано на **рис. 6** для рівня вище зони фіксації. Взаємодія між часом та рівнем фіксації статистично не значуща ($p=0,276$), що свідчить про однакову форму динаміки незалежно від анатомічного рівня (вище, на рівні, нижче фіксації). Не виявлено статистично значущої загальної відмінності між рівнями фіксації ($p=0,332$).

За даними, представленими на діаграмі (**рис. 6**), можна побачити, що після операції у пацієнтів збільшується індекс форми диска на всіх рівнях. Але в продовж року після операції, спостерігається значна втрата форми в зоні фіксації та нижче рівня фіксації. Характерна зміна форми диска вище рівня фіксації – незначне зниження індексу форми змінюється його збільшенням.

Аналіз відхилення If від нормальних значень наведено графічно (**рис. 7**).

За даними частотного аналізу та графічного подання розподілу індивідуальних показників індексу форми диска, визначено, що до операції у більшості пацієнтів спостерігали менший за норму If на всіх рівнях: у 16 (76,2%) вище зони фіксації, 17 (81,0%) в зоні фіксації та 12 (57,1%) на нижчому рівні, тобто спостерігається зменшення медіального боку диска. При цьому у 6 (28,6%) пацієнтів спостерігалось латеральне зменшення висоти на нижчому від фіксації рівні. Для інших рівнів латеральне зменшення висоти диска не перевищувало 15%. На всіх рівнях середнє значення If знаходиться нижче нормального значення.

Через 3 місяці після операції індекс форми диска залишався переважно нижче норми у 11 (52,4%) пацієнтів на всіх рівнях. При цьому у 9 (42,9%) пацієнтів

Таблиця 3 – Значення індексу форми диска (If) за періодами спостережень та рівнями фіксації ($M \pm SD$ / $\min \div \max$)

Зона фіксації	Зміна індексу диска (If)			
	До операції	Через 3 міс	Через 6 міс	Через 12 міс
Над зоною фіксації	0,90±0,44 0,30÷1,80	1,21±0,69 0,30÷2,60	1,12±0,58 0,20÷2,32	1,31±0,55 0,39÷2,50
Зона фіксації	0,93±0,56 0,36÷2,50	1,10±0,64 0,15÷2,22	0,98±0,56 0,15÷2,20	0,93±0,54 0,14÷2,19
Під зоною фіксації	1,11±0,70 0,20÷2,80	1,43±1,05 0,20÷3,40	1,31±0,97 0,27÷3,18	1,21±0,85 0,37÷3,07

If був вище норми на рівні вище фіксації, і у 8 (38,1%) на рівні нижче.

Через 6 міс після операції переважна кількість пацієнтів мала If нижче норми, тобто зменшення медіального краю диска відмічали у 12 (57,1%) випадках вище і нижче рівня фіксації. Індекс у межах норми був у 2 (9,5%) вище і нижче фіксації, відповідно вище норми у 7 (33,3%) на тих же рівнях. Деформації проміжку фіксації в медіальний бік спостерігали у 12 (57,1%) випадках, в латеральний – у 2 (9,5%). На 12 місяців після операції індекс форми диска на рівні вище фіксації спостерігали по 9 (42,9%) випадків вище і нижче норми. На рівні нижче переважали випадки нижче норми – 12 (57,1%), при тому 4 (19,0%) у межах норми. В зоні фіксації спостерігалось зменшення медіальної висоти проміжка. За даними, представленими на **рис. 7в**, можна бачити, що середні значення під рівнем фіксації знаходяться ближче до зони норми.

За загальними спостереженнями можна визначити, що на 3 місяці після операції спонділодезу, спостерігається значний розкид значень індексів на

Таблиця 4 – Результати аналізу зміни індексу форми диска (If) за GLM

Параметр Тест	Коеф F	p	Інтерпретація
Wilks' Lambda	0,823	0,010	Індекс диска статистично значущо змінюється у часі
Індикатор загального ефекту період	4,990		
період*рівень	0,840 1,761	0,113	Статистично значущої різниці між періодами не визначено
Tests of Within-Subjects Effects (Greenhouse-Geisser)	4,990	0,006	Індекс форми диска статистично значущо змінюється в часі
Загальний ефект часу (період)			
Взаємодія період * рівень	1,288	0,276	Динаміка зміни показника не відрізняється між рівнями фіксації
Tests of Between-Subjects Effects	1,122	0,332	Загальної різниці між рівнями фіксації не визначено
Міжгрупові відмінності (рівень)			
Tests of Within-Subjects Contrasts	6,150 10,722	0,016 0,002	Є U-подібна динаміка показника Є хвилюподібна динаміка
Квадратична зміна в часі Кубічна зміна в часі			

суміжних від рівня фіксації дисків, на 6 місяць відмічається відносна стабілізація, про що свідчить зменшення стандартного відхилення значень, але на 12 місяць, знову відмічається значне збільшення розкиду, що може свідчити про часткову втрату стабілізації.

Розглянемо як змінюється в часі хребцево-дисковий коефіцієнт (Kdp). Результати аналізу наведені в табл. 5, 6.

Згідно з результатами багатовимірної дисперсійної аналізу, було виявлено статистично значущу зміну Kdp в часі (Wilks' Lambda = 0,436; $p < 0,001$), що підтверджується також уніваріантним аналізом із корекцією сферичності (Greenhouse-Geisser: $F=4,393$; $p=0,020$). Загальні відмінності між анатомічними рівнями фіксації ($p=0,754$) та взаємодія «період × рівень» ($p=0,277$) не були статистично значущими, що свідчить про подібну динаміку змін показника у всіх зонах. За результатами аналізу контрастів виявлено U-подібну динаміку показника ($F=15,722$; $p < 0,001$), що вказує на виражене зниження показника після початкового періоду з подальшим частковим відновленням. Зміни динаміки представлена на рис. 8.

На діаграмі можна бачити, що на 3 місяці після операції відбувається не значне збільшення Kdp, а починаючи з 6 місяця спостереження помітне падіння коефіцієнта. Така поведінка може свідчити про втрату кісткової маси хребця, розташованого вище фіксації. Тобто, виходячи з діаграми, стан хребця L4 відносно стабільний, а стан хребців L3 та L5 відчувують не значну втрату кісткової тканини. Але виходячи з формули розрахунку, у зоні фіксації на 6 місяць може відбуватися одночасно зменшення і міжхребцевого проміжка, і зменшення висоти хребця L4, що не відобразиться на зміні коефіцієнта.

Аналіз відношення індивідуальних коефіцієнтів Kdp до норми наведено на рис. 9.

За даними аналізу, до лікування переважна кількість випадків мала Kdp вище норми причому на всіх

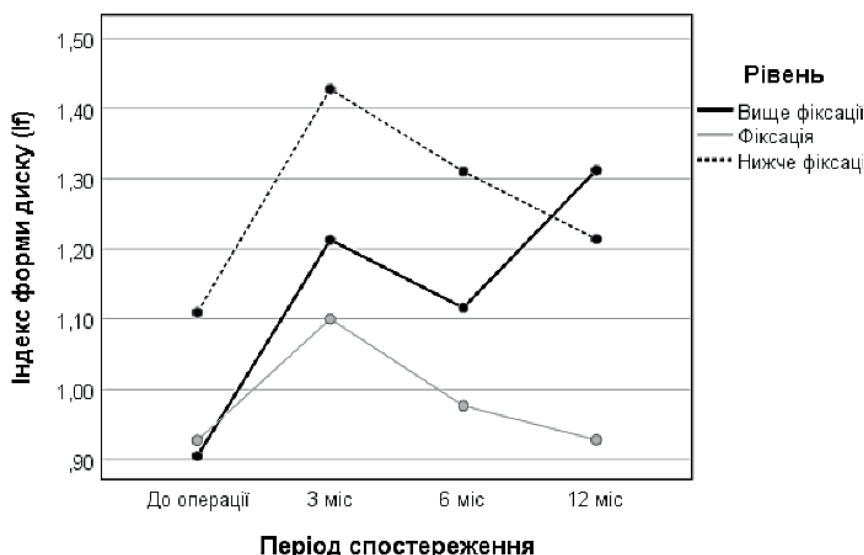


Рисунок 6 – Динаміка зміни індексу форми диска.

Таблиця 5 – Значення хребцево-дискового коефіцієнту (Kdp) за періодами спостережень та рівнями фіксації (M±SD / min÷max)

Зона фіксації	Зміна індексу диска (Kdf)			
	До операції	Через 3 міс	Через 6 міс	Через 12 міс
Над зоною фіксації	0,32±0,08 0,20÷0,54	0,34±0,08 0,20÷0,50	0,29±0,08 0,16÷0,46	0,27±0,08 0,15÷0,44
Зона фіксації	0,30±0,09 0,20÷0,50	0,32±0,13 0,19÷0,80	0,34±0,18 0,17÷0,90	0,31±0,18 0,15÷0,85
Під зоною фіксації	0,31±0,05 0,19÷0,42	0,31±0,07 0,20÷0,47	0,31±0,07 0,20÷0,45	0,33±0,34 0,17÷10,80

дослідних рівнях – вище фіксації 17 (81,0%), в зоні фіксації – 14 (66,7%), і нижче – 19 (90,5%). Випадки нижче норми не спостерігали, крім 1 (4,8%) на нижньому рівні. На 3 місяці після операції тенденція зберігається на рівні вище фіксації, незначні зміни відбулися у зоні фіксації – 5 (23,8%) мали нормальний Kdp, 15 (71,4%) – нижче норми. На нижньому рівні збільшилась кількість нормальних Kdp до 5 (23,8%), відповідно коефіцієнтів нижче норми зменшилось – 16 (76,2%). На 6 місяць після операції на рівні вище фіксації у 2 (9,5%) спостережень Kdp був нижче норми і на 12 місяць спостережень зросла до 5 (23,8%). Кількість випадів Kdp в межах норми на 6 місяць не змінилась, на 12 – збільшилась на 6 (28,6%). Відповідно

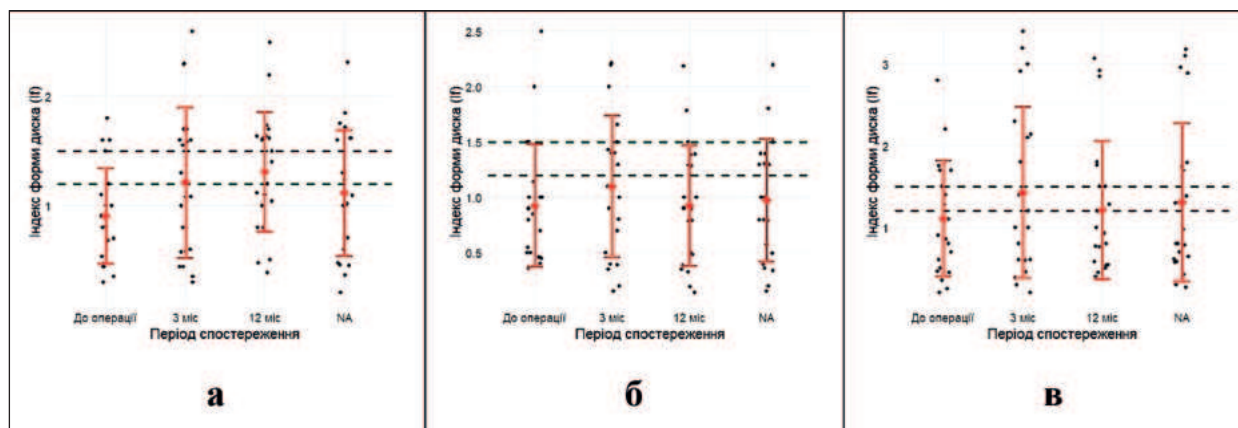


Рисунок 7 – Динаміка зміни індивідуальних індексів форми диска (If) з часом: а – над зоною фіксації, б – в зоні фіксації, в – під зоною фіксації.

Kdp нижче норми на 6 і 12 місяць були 15 (71,4%) та 10 (47,6%), відповідно. У зоні фіксації спостерігали незначне збільшення кількості випадків нижче норми – 6 (28,6%) на 12 місяць після операції і зменшення кількості збільшення коефіцієнта – 11 (52,4%) на той же період.

В зоні нижче фіксації на 12 місяць відбулися помітні зміни Kdp – в зону норми потрапило 10 (47,6%), і у 7 (33,3%) коефіцієнт був вище.

Транспедикулярна фіксація хребта з наступним формуванням спондилодезу є загально визначним методом хірургічного лікування дегенеративних захворювань хребта [6]. Одним із серйозних віддалених ускладнень такого втручання є захворювання прилеглих сегментів (ЗПС), що розглядається як фактор, що впливає на успішність задньої інструментації та спондилодезу. ЗПС передбачає розвиток артритоподібних змін у сегментах, розташованих поряд із ділянкою інструментального зрощення. Імовірно, виникнення цього стану має багатофакторну природу, де жорстка фіксація є ключовим сприяючим чинником [7].

Протягом останніх двох десятиліть запропоновано низку динамічних систем і технік стабілізації хребта, покликаних зменшити частоту виникнення ЗПС у порівнянні зі стандартною ригідною фіксацією [8, 9]. Зокрема, гібридні динамічні системи створюють поступовий перехід між зрощеним сегментом і рухомими прилеглими ділянками, знижуючи навантаження на суміжні сегменти. Однак, попри перспективність підходу, результати досліджень залишаються суперечливими: переваги гібридних систем щодо клінічних і радіологічних наслідків не є переконливо доведеними [10, 11].

Наше дослідження було спрямоване на поетапну оцінку змін у прилеглих сегментах із використанням

Таблиця 6 – Результати аналізу зміни хребцево-дискового коефіцієнту (Kdp) за GLM

Параметр Тест	F	p	Інтерпретація
Wilks' Lambda Індикатор загального ефекту період	0,436 25,060	<0,001	Kdp статистично значущо змінюється у часі
період*рівень	0,839 1,775	0,110	Статистично значущої різниці між періодами не визначено
Tests of Within-Subjects Effects (Greenhouse–Geisser) Загальний ефект часу (період)	4,393	0,020	Kdp статистично значущо змінюється в часі
Взаємодія період * рівень	1,301	0,277	Динаміка зміни показника не відрізняється між рівнями фіксації
Tests of Between-Subjects Effects Міжгрупові відмінності (рівень)	0,284	0,754	Загальної різниці між рівнями фіксації не визначено
Tests of Within-Subjects Contrasts Квадратична зміна в часі	15,722	<0,001	Є U-подібна динаміка показника Є хвилеподібна динаміка

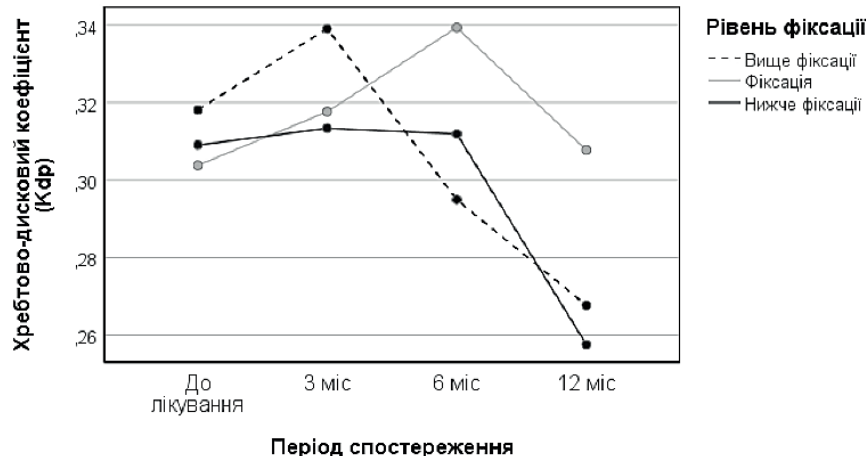


Рисунок 8 – Динаміка зміни хребцево-дискового коефіцієнту (Kdp).

кількісних індексів, які дозволяють ідентифікувати, у яких саме структурах (диск чи хребець) відбуваються первинні дегенеративні процеси.

Виходячи з відносного характеру індексу диску, тобто відношення сагітальної площини диску до площі розташованого вище хребця, то індекс диску в зоні фіксації (L4-L5) враховує площу хребця L4, для диска L3-L4 – площу диска L3, а диска L5-S1, відповідно площу диска L5. Виходячи з формули $Id = \frac{Sd}{Sv}$ індекс диска буде залежати і від змін хребців. Таким чином, навіть при стабільній площі диска, зменшення площі хребця призведе до підвищення індексу,

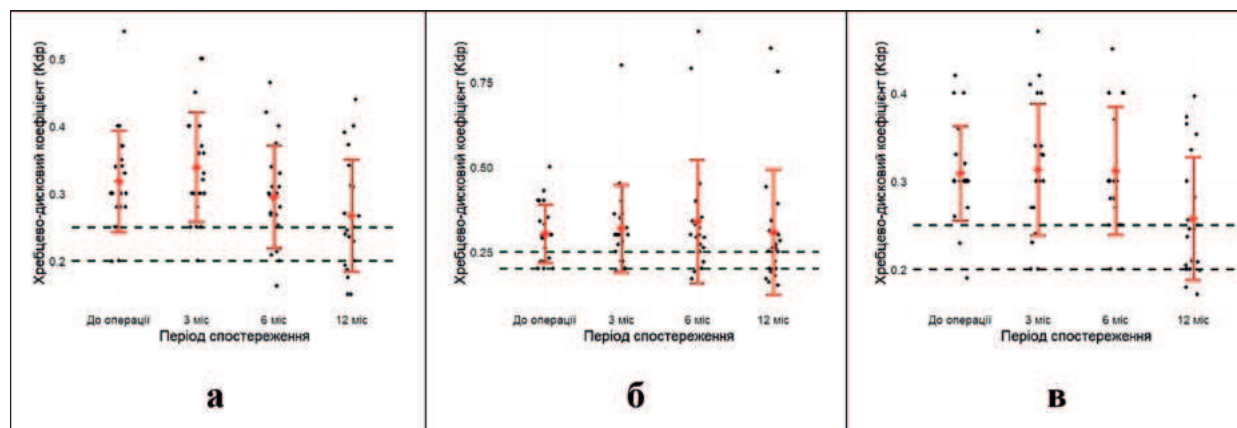


Рисунок 9 – Динаміка зміни індивідуальних хребцево-дискових коефіцієнтів (Kdp) з часом: а – над зоною фіксації, б – в зоні фіксації, в – під зоною фіксації.

що не завжди свідчить про покращення стану. Для урахування цих змін напрямом відхилення від норми можна представити наступним чином:

$$0,35 < Id < 0,45$$

дегенерация диска $\Leftrightarrow$ дегенерация хребца

Причинами зменшення висоти міжхребцевого диска над фіксованим рівнем можуть бути порушення мікроциркуляції, зниження рухливості нижче розташованих сегментів (наприклад, L4-L5), або недотримання лордозу в ході операції. Ці чинники сприяють асиметричному перерозподілу навантаження та можуть викликати просідання переднього або заднього країв диска.

Зміни індексу диска в зоні фіксації можуть бути зумовлені як ущільненням навколишніх тканин, так і візуальним ефектом «занурення» імплантату в тіло хребця. У ситуаціях, коли дегенерація стосується і диска, і хребця, Id може залишатися в межах норми, що потребує додаткової оцінки за іншими параметрами.

Транспедиккулярна фіксація на рівні L4-L5 створює жорсткість, унаслідок чого компенсаторне навантаження переноситься на сегмент вище – L3-L4. Це проявляється не лише зниженням висоти диска, а й асиметричною деформацією його країв.

Індекс форми диска $If = \frac{h_m}{h_l}$, що відображає співвідношення медіальної до латеральної висоти, дозволяє оцінити напрямом деформації: при зниженні If – медіальне просідання, при підвищенні – латеральне. Виходячи з формули для індексу форми диска, можна визначити в який бік відбувається деформація диску:

$$1.2 < If < 1.5$$

зменшення медіальної h $\Leftrightarrow$ зменшення латеральної h

Медіальна частина диска зазвичай має більшу стійкість до деформацій, однак у разі кіфотичних змін саме вона першою зазнає компресії. Латеральні краї можуть бути вразливими при збільшенні лордозу або навантаження на фасеткові суглоби

Хребцево-дисковий коефіцієнт, виходячи з формули його розрахунку $Kdp = \frac{h_d}{h_v}$, відносний

коефіцієнт, тобто одразу залежить від двох змінних, які можуть змінюватися в час – зміни висоти диска і висоти хребця, що знаходиться вище. Тому за значенням Kdp можна визначити які саме структури зазнають змін.

$$0,2 < Kdp < 0,25$$

дегенерация диска $\Leftrightarrow$ дегенерация хребца

На підставі отриманих результатів можна стверджувати, що на рівні нижче фіксації (L5-S1) зниження Kdp найчастіше є наслідком дегенерації хребця L5. У верхньому сегменті (L3-L4) зміни можуть вказувати на руйнування L3. Водночас стабільні значення Kdp у зоні фіксації можуть бути наслідком збалансованих змін диска й хребця, а також ефективної стабілізації імплантатом.

Висновки.

Проведений аналіз рентгенометричних змін у прилеглих сегментах хребта продемонстрував інформативність запропонованих індексів (Id, If, Kdp) для оцінки структурних змін міжхребцевих дисків і тіл хребців. Ці індекси дозволяють диференціювати, які саме анатомічні компоненти зазнають дегенеративних змін та оцінити ступінь їх відхилення від норми.

Упродовж одного року після транспедиккулярної фіксації на рівні L4-L5 зафіксовано зміни як у сегментах, розташованих вище, так і нижче зони фіксації. При цьому в сегментах, що розташовані вище (L3-L4), дегенеративні процеси виявляються раніше – вже через 6 місяців після оперативного втручання. Натомість зміни у нижніх сегментах (L5-S1) є менш вираженими та переважно проявляються через рік.

За результатами оцінки не виявлено чіткої послідовності чи переваги у характері структурних змін – чи то диски, чи хребці піддаються руйнуванню першочергово. Імовірно, такі відмінності зумовлені індивідуальними чинниками, зокрема віком пацієнта, станом кісткової тканини, особливостями анатомії та наявністю супутніх змін. Ідентифікація цих чинників потребує подальших досліджень.

Перспективи подальших досліджень.

У даному дослідженні не були визначені однозначні фактори, які впливають на зміни прилеглих сегментів, в подальших дослідженнях планується визначити вплив таких факторів на ЗПС як вік пацієнта та стан кісткових структур.

References / Література

1. Arim O, Alshalcy A, Shakir M, Agha O, Alhamdany H. Transpedicular Screw Fixation In Degenerative Lumbosacral Spine Disease Surgical Outcome. *Georgian Med News*. 2024;348:117-121.
2. Burch MB, Wieggers NW, Patil S, Nourbakhsh A. Incidence and risk factors of reoperation in patients with adjacent segment disease: A meta-analysis. *J Craniovertebr Junction Spine*. 2020;11(1):9-16. DOI: [10.4103/jcvjs.JCVJS_10_20](https://doi.org/10.4103/jcvjs.JCVJS_10_20).
3. Sagheboud S, Zare R, Chaurasia B, Vakizadeh MM, Yousefi O, Boustani MR. Dynamic Rod Constructs as the Preventive Strategy against Adjacent Segment Disease in Degenerative Lumbar Spinal Disorders: A Retrospective Comparative Cohort Study. *Arch Bone Jt Surg*. 2023;11(6):404-413. DOI: [10.22038/ABJS.2022.68498.3239](https://doi.org/10.22038/ABJS.2022.68498.3239).
4. Barkov OO, Malyk RV, Karpinska OD. Doslidzhennya navantazhennya u kryzhovo-klubovomu zchlenuvanni pry dynamichniy symulyatsiyi rukhiv u poperekovomu viddili khrebtu na skeletno-myazovykh modelyakh pislya vykonannya zadnoho bisehmentarnoho spondylodezu. *Trauma*. 2023;24(2):54-59. DOI: [10.22141/1608-1706.2.24.2023.944](https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.24.2023.944). [in Ukrainian].
5. Barkov OO, Malyk RV, Karpinska OD. Doslidzhennya navantazhennya tila khrebtysya L4 pry dynamichniy symulyatsiyi rukhiv u poperekovomu viddili khrebtu na skeletno-myazovykh modelyakh pislya vykonannya zadnoho bisehmentarnoho spondylodezu. *Ortopediya, travmatolohiya ta protezuvannya*. 2023;3:13-18. DOI: [10.15674/0030-59872023333-18](https://doi.org/10.15674/0030-59872023333-18). [in Ukrainian].
6. Lin X, Zhu J, Song J, Wang L, Ge J, Sha W. The Effect of L5 Morphology on Prevention of L5-S1 Degeneration Following Floating Fusion for Degenerative Spine Disorders. *Global Spine J*. 2025;15(4):2300-2308. DOI: [10.1177/21925682241297934](https://doi.org/10.1177/21925682241297934).
7. Fuster S, Martínez-Anda JJ, Castillo-Rivera SA, Vargas-Reverón C, Tornero E. Dynamic Fixation Techniques for the Prevention of Adjacent Segment Disease: A Retrospective Controlled Study. *Asian Spine J*. 2022;16(3):401-410. DOI: [10.31616/asj.2020.0585](https://doi.org/10.31616/asj.2020.0585).
8. Kashkoush A, Agarwal N, Paschel E, Goldschmidt E, Gerszten PC. Evaluation of a Hybrid Dynamic Stabilization and Fusion System in the Lumbar Spine: A 10 Year Experience. *Cureus*. 2016;8(6):e637. DOI: [10.7759/cureus.637](https://doi.org/10.7759/cureus.637).
9. Botelho RV, Bastianello R Jr, Albuquerque LD, Bernardo WM. Dynamic compared to rigid fixation in lumbar spine: a systematic review. *Rev Assoc Med Bras (1992)*. 2014;60(2):151-5. DOI: [10.1590/1806-9282.60.02.013](https://doi.org/10.1590/1806-9282.60.02.013).

10. Herren C, Simons RM, Bredow J, Oikonomidis S, Westermann L, Sobottke R, et al. Posterior Lumbar Interbody Fusion versus Dynamic Hybrid Instrumentation: A Prospective Randomized Clinical Trial. *World Neurosurg*. 2018;117:e228-e237. DOI: [10.1016/j.wneu.2018.06.005](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.06.005).
11. Guan J, Liu T, Li W, Zhao H, Yang K, Li C, et al. Effects of posterior lumbar nonfusion surgery with isobar devices versus posterior lumbar interbody fusion surgery on clinical and radiological features in patients with lumbar degenerative diseases: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):116. DOI: [10.1186/s13018-022-03015-6](https://doi.org/10.1186/s13018-022-03015-6).

РЕНТГЕНОМЕТРИЧНІ ЗМІНИ ПРИЛЕГЛИХ МІЖХРЕБЦЕВИХ ДИСКІВ ПІСЛЯ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЇ ФІКСАЦІЇ ПОПЕРЕКОВОГО ВІДДІЛУ ХРЕБТА В ЛІКУВАННІ ДЕГЕНЕРАТИВНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Корж М. О., Барков О. О., Карпінська О. Д.

Резюме. Транспедикулярна фіксація хребта порушує нормальні біомеханічні взаємовідносини між хребцево-руховими сегментами та може сприяти прискореному розвитку дегенеративних змін у прилеглих структурах.

Мета дослідження. Визначити характер змін у міжхребцевих дисках та тілах суміжних хребців у динаміці після транспедикулярної фіксації на рівні L4-L5.

Об'єкт і методи дослідження. Дослідження проведено у 21 пацієнта віком $39,7 \pm 12$ років, яким виконано транспедикулярну фіксацію на рівні L4-L5 з приводу дегенеративних захворювань поперекового відділу. Стан міжхребцевих дисків та хребців оцінювали за даними МРТ із розрахунком індексу диска (Id), індексу форми диска (If) та хребцево-дискового коефіцієнта (Kdp).

Результати дослідження. Встановлено статистично значущі зміни Id протягом часу, а також взаємодію між часом та анатомічним рівнем. Індекс диска зростав після операції, демонстрував фазу стабільності, а згодом – зниження. Індекс форми диска (If) мав достовірну динаміку незалежно від рівня фіксації, без значущої взаємодії з локалізацією. Kdp змінювався в U-подібній формі: первинне зниження змінювалося частковим відновленням.

Висновки. Запропоновані індекси дозволяють ефективно ідентифікувати локалізацію (диск чи хребець) та ступінь ураження структур, прилеглих до зони фіксації. У верхніх сегментах зміни виникають раніше (через 6 місяців), тоді як у нижніх – лише через рік і менш виражені. Первинність ураження (диск чи хребець) залишається не визначеною, що свідчить про потребу в додаткових дослідженнях із врахуванням віку пацієнтів, стану кісткової тканини та анатомічних особливостей.

Ключові слова: транспедикулярна фіксація, індекс диска, індекс форми диска, хребцево-дисковий коефіцієнт.

RADIOMETRIC CHANGES IN ADJACENT INTERVERTEBRAL DISCS FOLLOWING TRANSPEDICULAR FIXATION OF THE LUMBAR SPINE IN THE TREATMENT OF DEGENERATIVE DISEASES

Korzh M. O., Barkov O. O., Karpinska O. D.

Abstract. Transpedicular spinal fixation disrupts normal biomechanical relationships between vertebral motor segments and may contribute to the accelerated development of degenerative changes in adjacent structures.

The aim of the study. To investigate the nature of changes in the intervertebral discs and bodies of adjacent vertebrae in the dynamics after transpedicular fixation at the L4-L5 level.

Object and research methods. The study was conducted in 21 patients aged 39.7 ± 12 years who underwent transpedicular fusion at the L4-L5 level for degenerative diseases of the lumbar spine. The condition of the intervertebral discs and vertebrae was assessed by MRI data with the calculation of the disc index (Id), disc shape index (If) and vertebral-disc ratio (Kdp).

Research results. Statistically significant changes in Id over time were found, as well as the interaction between time and anatomical level. The disc index increased after surgery, demonstrated a phase of stability, and subsequently decreased. The disc shape index (If) had a significant dynamics regardless of the level of fixation, without a significant interaction with localization. Kdp changed in a U-shaped pattern: the initial decrease was followed by partial recovery.

Conclusions. The proposed indices allow to effectively identify the localization (disc or vertebra) and the degree of damage to the structures adjacent to the fixation zone. In the upper segments, changes occur earlier (after 6 months), while in the lower segments they occur only after a year and are less pronounced. The primary nature of the lesion (disc or vertebra) remains uncertain, which indicates the need for additional studies taking into account the age of patients, bone tissue condition and anatomical features.

Key words: transpedicular fixation, disc index, disc shape index, vertebral-disc ratio.

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Korzh M. O.: <https://orcid.org/0000-0002-0489-3104>^{AEF}

Barkov O. O.: <https://orcid.org/0000-0003-2161-416X>^{BD}

Karpinska O. D.: <https://orcid.org/0000-0002-1482-7733>^{CD}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Karpinska Olena Dmytrivna / Карпінська Олена Дмитрівна

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine / ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України»

Ukraine, 61024, Kharkiv, 80 Pushkinska str. / Адреса: Україна, 61024, м. Харків, вул. Пушкінська 80
Tel.: +380994863463 / Тел.: +380994863463
E-mail: helen.karpinska@gmail.com

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статистичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 28.01.2025 / Стаття надійшла 28.01.2025 року
Accepted 02.05.2025 / Стаття прийнята до друку 02.05.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-190-198

UDC 616.345-006.6-06-085/-089-072.1

Kubrak M. A., Zavgorodnii S. M., Danyliuk M. B.

EVALUATION OF THE QUALITY OF LIFE OF PATIENTS AFTER SURGICAL INTERVENTIONS FOR COMPLICATED FORMS OF MALIGNANT DISEASES OF THE LARGE INTESTINE

Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University (Zaporizhzhia, Ukraine)

braviorio@gmail.com

The study aimed to analyse changes in the quality of life of patients who underwent surgery for complicated forms of colon cancer in the long-term postoperative period.

The study included 180 (100%) patients who were treated for complicated colon cancer. All patients were divided into two groups. In the leading group, patients were treated according to a developed strategy of an individualised approach to treatment, while in the comparison group, they were treated according to standard methods to surgical treatment.

The maximum deterioration in the quality of life of patients in both groups was observed in cases of colostomy – 35 (62.50%) and 14 (14.14%) patients, respectively. The deterioration in the quality of life of patients with colostomy is due to a decrease in life activity, social functioning and role functioning, caused by emotional and physical conditions.

Surgical interventions for complicated forms of colon cancer, which end in colostomy, significantly worsen the quality of life of patients due to their impact on both the mental ($p=0.0147$ in the main group and $p=0.0338$ in the comparison group) and physical components ($p=0.0338$ and $p=0.0471$, respectively). The use of a developed strategy of a comprehensive individualised approach to the treatment of complicated colon cancer allows for a reduction in the number of surgical interventions resulting in stoma formation (21.62% in the main group and 59.2% in the comparison group, $p=0.0081$), thereby improving the quality of life of patients in the postoperative period.

Key words: cancer, colon, complications, surgery, quality of life, health.

Connection of the publication with planned research works.

The study was conducted as part of the research work of the Department of General Surgery and Postgraduate Surgical Education of the Educational and Scientific Institute of Postgraduate Education ZSMPhU 'Modification of surgical aspects of treatment of patients of different age groups in peacetime and wartime', state registration number 0122U201230.

Introduction.

Malignant neoplasms of the colon are a serious problem for the modern healthcare system, ranking third in prevalence among oncological diseases and second in mortality worldwide [1, 2].

In 2020, 19.30 million new cases of cancer were registered worldwide, of which 10.00% were colon cancer - about 1.93 million cases. In the same year, nearly 10 million people died from cancer, with 9.40% of these deaths related to colon cancer, representing approximately 940,000 deaths [3].

At the same time, about 50.00% of patients seek medical help already at the stage of a complicated oncological process, which requires urgent surgical interventions aimed primarily at saving the patient's life. In such cases, radical oncological treatment takes a back seat, which negatively affects treatment outcomes – according to the National Cancer Institute of Ukraine, almost

25.00% of patients with newly diagnosed cancer do not survive for more than a year [4].

This is primarily because 30.00% to 60.00% of patients do not receive radical treatment but only palliative or even symptomatic decompression of the colon, which deprives them of any chance of recovery [5, 6].

A separate issue is the quality of life of patients after emergency surgery, since most such operations (over 60.00%) result in the formation of a colostomy, which negatively affects the social activity of patients of working age and worsens their moral and mental state [7, 8].

Thus, in modern emergency surgical treatment of complicated forms of colon cancer, several acute problems require in-depth study and resolution.

The aim of the study.

To analyse changes in the quality of life of patients who underwent surgery for complicated forms of colon cancer in the long-term postoperative period.

Object and research methods.

A prospective cohort study was conducted at the surgical hospitals of the municipal non-profit enterprise 'City Hospital of Emergency and Ambulance Medical Care' of the Zaporizhzhia City Council and the municipal non-profit enterprise 'City Hospital No. 7' of the Zaporizhzhia City Council between 2018 and 2023. In total, the study group included 180 (100%) patients with complicated forms of malignant colon pathology.