

КОМПЬЮТЕРНАЯ СТАБИЛОМЕТРИЯ В ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПУНКЦИОННОЙ ВЕРТЕБРОПЛАСТИКИ У ПАЦИЕНТОВ С ОСТЕОПОРОЗОМ ПОЗВОНОЧНИКА

И.Е. Повереннова, Д.Р. Икромов, Ю.С. Комарова, Е.В. Хивинцева, С.А. Ананьева

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

Резюме. Остеопороз часто называют «тихой эпидемией», т.к. уменьшение костной массы зачастую протекает бессимптомно до тех пор, пока не происходит перелом. Одним из наиболее тяжёлых проявлений заболевания является остеопороз тел позвонков, перелом которых приводит к инвалидизации. При остеопорозе позвоночника основной причиной патологических компрессионных переломов является падение по причине нарушения функции равновесия. Остаётся недостаточно изученной динамика нарушения функции равновесия после хирургического лечения компрессионных переломов тел позвонков. Проведено стабилметрическое исследование у 103 пациента в возрастном диапазоне от 44 до 79 лет с остеопорозом позвоночника, осложнённого компрессионным переломом на грудном и поясничном уровне. Всем пациентам выполнялась пункционная вертебропластика. Продемонстрировано, что у пациентов с остеопорозом позвоночника сохраняются выраженные изменения в показателях стабิโลграммы несмотря на их положительную динамику. Наиболее значимые изменения отмечены в показателях индекса энергозатрат, уровне 60 % мощности спектра в сагиттальной плоскости и дисперсии отклонения центра давления в горизонтальной плоскости. Сохраняющиеся выраженные изменения стабилметрических показателей в отдалённый послеоперационный период делают необходимым проведение реабилитации по восстановлению равновесия и походки.

Ключевые слова: остеопороз, пункционная вертебропластика, стабилметрия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо.

Для цитирования: Повереннова И.Е., Икромова Д.Р., Комарова Ю.С., Хивинцева Е.В., Ананьева С.А. Компьютерная стабилометрия в оценке результатов пункционной вертебропластики у пациентов с остеопорозом позвоночника. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2023;13(4):102–108. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.4.CLIN.13>

COMPUTERIZED STABILOMETRY IN ASSESSING THE RESULTS OF PUNCTURE VERTEBROPLASTY IN PATIENTS WITH SPINAL OSTEOPOROSIS

I.E. Poverennova, D.R. Ikromova, Yu.S. Komarova, E.V. Khivintseva, S.A. Anan'eva

Samara State Medical University, Samara, Russia

Abstract. Osteoporosis is often referred to as a "silent epidemic" because the decrease in bone mass is often asymptomatic until a fracture occurs. One of the most severe manifestations of the disease is osteoporosis of vertebral bodies, the fracture of which leads to disability. In spinal osteoporosis, the main cause of pathologic compression fractures is a fall due to impaired balance. The dynamics of balance dysfunction after surgical treatment of vertebral body compression fractures remains insufficiently studied. We performed a stabilometric study in 103 patients with osteoporosis of the spine complicated by compression fracture at the thoracic and lumbar levels in the age range from 44 to 79 years. All patients underwent puncture vertebroplasty. It was demonstrated that patients with osteoporosis of the spine still have pronounced changes in the stabilogram parameters despite their positive dynamics. The most significant changes were noted in the energy expenditure index, 60% power spectrum level in the sagittal plane and dispersion of the deviation of the center of pressure in the horizontal plane. The persisting pronounced changes in stabilometric indices in the distant postoperative period make it necessary to perform rehabilitation to restore balance and gait.

Key words: osteoporosis, puncture vertebroplasty, stabilometry.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Compliance with ethical principles. The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary.

Cite as: Poverennova I.E., Ikromova D.R., Komarova Yu.S., Khivintseva E.V., Anan'eva S.A. Computerized stabilometry in assessing the results of puncture vertebroplasty in patients with vertebral osteoporosis. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health.* 2023;13(4):102–108. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.4.CLIN.13>

Введение

Остеопороз – метаболическое заболевание костной системы, сопровождающееся снижением плотности костей, нарушением архитектоники костной ткани и повышением их хрупкости. По данным Всемирной организации здравоохранения примерно 200 миллионов людей по всему миру имеют те или иные признаки остеопороза, из которых 22 миллиона проживает в Европе. В США эту болезнь диагностируют у 54 миллионов человек [1]. В России остеопороз обнаруживается у 33,8 % женского и 26,9 % мужского населения в возрасте 50 лет и старше [2]. Женщины страдают от остеопороза в четыре раза чаще, чем мужчины, что связано с наступлением постменопаузы [3, 4]. Таким образом, остеопороз является глобальной проблемой здравоохранения наряду с болезнями сердечно-сосудистой системы, сахарным диабетом и онкологией.

Остеопороз является основной причиной патологических переломов, преимущественно костей позвоночника, бедра и предплечья [1]. Наиболее часто встречается остеопороз позвоночника, прогрессирование которого вызывает переломы тел позвонков, что приводит к инвалидизации данных пациентов [1].

Течение неосложнённого остеопороза может долгое время оставаться бессимптомными, до тех пор, пока не произойдет перелом. Достаточно часто такие симптомы остеопороза как: боль в тазобедренных суставах, крестцовом отделе позвоночника, ребрах и грудной клетке, судороги в икроножных мышцах, симптомы рефлюксной болезни, воспринимаются как симптомы сопутствующих заболеваний [5]. Хроническая боль в спине, шее и пояснице, снижение роста, гиперкифоз, уменьшение силы мышц и гибкости, постуральная неустойчивость и другие клинические проявления остеопороза являются комплексом причин нарушений со стороны равновесия, которые могут сопровождаться падениями и, как следствие, возрастанием риска патологических переломов. Одним из методов диагностики проявлений остеопороза со стороны нарушений статолокомоторной функций является стабилметрическое исследование.

Стабилметрическое исследование зарекомендовало себя как информативный метод оценки функции равновесия, имеющий высокую чувствительность при самых различных заболеваниях [6, 7]. Восстановление функции равновесия является одним из необходимых условий спешной реабилитации всех двигательных расстройств [8–10]. Изменение отдельных стабилметрических показателей имеет тесную корреляцию с определёнными клиническими проявлениями остеопороза.

В структуре изменений, фиксируемых при проведении стабилметрического исследования, у пациентов с остеопорозом выявляют увеличение площади опорной поверхности, что связано со снижением устойчивости. Отмечается увеличение амплитуды колебаний центра давления вследствие компенсаторных механизмов поддержания равновесия [2, 11]. Пациенты с остеопорозом и переломами позвонков имеют большие отклонения постуральных колебаний в медиолатеральном и передне-заднем направлении [12]. Повышенное смещение центра давле-

ния свидетельствует о нарушении равновесия и более высоком риске падений [13]. Сочетание низкой плотности костной ткани и сильной постуральной нестабильности представляет ещё более высокий риск переломов, чем любой из этих факторов по отдельности [14]. Проводимое лечение остеопороза влияет на его различные проявления, в том числе и на функцию равновесия [12, 15].

В настоящее время основным методом хирургического лечения компрессионных переломов позвонков при остеопорозе является проведение пункционной вертебропластики, в задачи которой входит укрепление поврежденного позвонка, восстановление его поддерживающей функции и предотвращение дальнейшего разрушения. Вместе с тем данная процедура дополнительно способствует регрессу болевых ощущений путём заполнения полости повреждённого позвонка костным цементом, что снижает активность болевых рецепторов. Высокая эффективность пункционной вертебропластики в лечении остеопороза тел позвонков в совокупности с низким риском осложнений делают данный метод привлекательным и способствуют его широкому распространению [16].

Остаются недостаточно изученными изменения со стороны функции равновесия в результате проводимой пункционной вертебропластики. Исследование функции равновесия после проведённой вертебропластики необходимо для определения тактики ведения пациентов с остеопорозом в послеоперационном периоде для уточнения необходимости и тактики проводимой реабилитации.

Цель настоящего исследования заключалась в анализе функции равновесия у пациентов с компрессионными переломами тел позвонков, которым проводилась чрескожная пункционная вертебропластика, на основании стабилметрического исследования. В задачи исследования входило выявление особенностей стабилметрических изменений, наблюдаемых у пациентов с компрессионным переломом позвоночника, на фоне остеопороза в различные периоды: предшествующий операции, послеоперационный и отдалённый.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 103 пациента в возрастном диапазоне от 44 до 79 (61 ± 18) лет с компрессионным переломом тел позвонков грудного и поясничного уровней вследствие остеопороза позвоночника. Среди включённых в исследование пациентов было 76 (74 %) женщин и 27 (26 %) мужчин. Неврологическое обследование выявило наличие у всех пациентов вертеброгенного болевого синдрома в области локализации патологического процесса. У половины пациентов наблюдались чувствительные и рефлекторные симптомы выпадения вследствие поражения спинномозговых нервов. В качестве здоровых испытуемых в исследование включено 30 человек, сопоставимых по полу и возрасту (60 ± 17 лет) с группой пациентов. Соотношение женщин и мужчин в группе контроля соответствовало 3:1.

По поводу компрессионного перелома тел позвонков вследствие остеопороза позвоночника пациентам выпол-

нялась пункционная вертебропластика. Оперативное вмешательство производилось в условиях нейрохирургического отделения ГБУЗ СОКБ им. В.Д. Середавина. У всех пациентов компрессионный перелом наблюдался впервые и сопровождался повреждением тела только одного позвонка.

Компьютерная стабилметрия проводилась с оценкой изучения показателей основной стойки в европейской позиции в период предшествующей пункционной вертебропластики, на 2–3 день после выполненного оперативного вмешательства и через 1 месяц, в отдаленном послеоперационном периоде.

В компьютерной стабилметрии анализировались следующие параметры:

- стандартные статические показатели: среднее значение положения центра давления относительно условного центра координат во фронтальной ($\sim X$, мм) и сагиттальной ($\sim Y$, мм) плоскостях; минимальное ($\text{Min}(X)$, $\text{Min}(Y)$, мм) и максимальное значение смещения центра давления во фронтальной ($\text{Max}(X)$, мм) и сагиттальной плоскостях ($\text{Max}(Y)$, мм); стандартное квадратическое отклонение во фронтальной ($\text{SqD}(X)$, мм) и сагиттальной плоскостях ($\text{SqD}(Y)$, мм); дисперсия отклонения центра давления во фронтальной ($D(X)$, мм) и сагиттальной плоскостях ($D(Y)$, мм); коэффициент ковариации ($\text{Cov}(XY)$, Ед);

- показатели спектрального состава стабилграммы: основная частота колебаний во фронтальной ($F(X)$, Гц) и сагиттальной плоскостях ($F(Y)$, Гц); уровень 60 % мощности спектра во фронтальной ($F60(X)$, Гц) и сагиттальной плоскостях ($F60(Y)$, Гц);

- показатели, характеризующие параметры статокинезиограммы: площадь статокинезиограммы, характеризующаяся площадью эллипса, куда с 90 % вероятностью входят все точки измерения в системе координат (S , мм²); средняя скорость перемещения центра давления

(V , мм/с); среднее направление плоскости колебаний (Angle , Град); отношение длины эллипса к его ширине (Le/We , Ед);

- специальные показатели: индекс энергозатрат (E_i , Дж); коэффициенты, характеризующие сопоставление показателей из различных групп, – отношение длины стабилкинезиограммы к её плотности (LFS , 1/мм); коэффициент Ромберга (QR , %); индекс стабильности (S_i , Ед).

В качестве статистических методов использованы методы оценки распределения анализируемых данных по критерию Колмогорова – Смирнова. Для оценки связи между отдельными признаками использовалась корреляция Пирсона. Исследование независимых выборок осуществлялось с использованием двунаправленного критерия Стьюдента. Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения SPSS 22.0.

Дизайн и протокол исследования утверждён комитетом по биоэтике ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава РФ.

Результаты

У пациентов с остеопорозом позвоночника до оперативного вмешательства обнаружена множественность изменений во всех основных группах стабилметрических показателей. Данные изменения имеют значительную выраженность в момент, предшествующий пункционной вертебропластики, по сравнению с стабилметрическими показателями здоровых испытуемых (табл. 1).

Наиболее существенное изменение обнаруживалось в смещении центра давления в горизонтальной плоскости ($2,15 \pm 3,48$ мм). При этом изменения в сагиттальной плоскости ($\text{Max}(Y) -44,65 \pm 14,31$ мм) были минимальны. Отмечается существенное увеличение площади колебания центра давления ($S 550,06 \pm 103,51$ мм²) и возрастание индекса энергозатрат ($E_i 165,79 \pm 30,11$ Дж).

Таблица 1. Сравнение стабилметрических показателей группы контроля и пациентов с остеопорозом позвонков до оперативного вмешательства
Table 1. Comparison of the stabilometric indicators of the control group and patients with vertebral osteoporosis before surgery

Показатель	Здоровые испытуемые (M1)	До оперативного лечения (M2)	SD (1)	SD (2)	F	p
QR	219,54	462,40	19,94	50,08	6,30	0,00
$\sim(X)$	-6,09	5,76	0,94	3,28	12,20	0,00
$\sim(Y)$	-53,28	43,92	2,12	26,15	151,60	0,00
Max(X)	1,59	2,15	5,74	3,48	2,70	0,00
Max(Y)	-29,67	-44,65	13,06	14,31	1,20	0,36
D(Y)	4,31	40,47	0,53	14,87	776,60	0,00
D(X)	7,67	12,15	1,02	8,09	62,70	0,00
SqD(X)	3,16	8,36	0,35	5,64	265,60	0,00
SqD(Y)	3,53	45,07	1,27	11,60	83,20	0,00
Cov(XY)	1,54	-10,50	0,62	4,74	58,90	0,00
F(X)	1,88	2,11	0,21	0,12	3,40	0,00
F(Y)	1,85	2,11	0,32	0,13	6,10	0,00
F60(X)	0,26	10,19	0,01	3,16	57656,20	0,00
F60(Y)	0,13	34,83	0,02	14,22	727449,50	0,00
V	6,02	15,23	0,21	7,63	1260,50	0,00
Angle	14,86	35,61	0,17	12,00	5185,40	0,00
S	38,54	550,06	4,25	103,51	594,50	0,00
Le/We	1,40	1,85	0,08	0,06	2,00	0,00
LFS	11,34	26,51	7,39	4,18	3,10	0,00
Si	24,45	10,16	0,34	3,19	89,40	0,00
Ei	8,37	165,79	2,26	30,11	178,10	0,00

Примечание: M – среднее значение, SD – стандартное отклонение, F – плотность распределения, p – уровень значимости двухвыборочного t критерия Стьюдента.

После оперативного вмешательства положительная динамика наблюдалась в виде уменьшения показателя отношения длины стабилрокинезиограммы и её плотности (LFS $15,89 \pm 6,53$ 1/м). Однако большинство параметров стабилрокинезиограммы продолжали демонстрировать существенные различия относительно показателей группы здоровых добровольцев (табл. 2).

Снижение плотности стабилрокинезиограммы свидетельствует об нормализации соотношения сагиттальных колебаний центра давления к фронтальным. Также отмечается переход к нормальным значениям максимального

отклонения центра давления в горизонтальной плоскости (Max(X) $2,80 \pm 4,84$ мм).

В отдалённом периоде, через 30 дней после пункционной вертебропластики, при стабилметрическом исследовании также обнаруживалась множественность изменений во всех основных группах стабилметрических показателей. Очевидно, данные изменения связаны с сохраняющимся патологическим процессом, а именно, остеопорозом и связанным с ним болевым синдромом, а также нарушением биомеханики по причине снижения плотности костной ткани позвонков (табл. 3).

Таблица 2. Сравнение стабилметрических показателей группы контроля и пациентов с остеопорозом позвонков после оперативного вмешательства

Table 2. Comparison of the stabilometric parameters of the control group and patients with vertebral osteoporosis after surgery

Показатель	Здоровые испытуемые (M1)	После оперативного вмешательства (M2)	SD (1)	SD (2)	F	p
QR	219,54	327,56	19,94	41,68	4,40	0,00
~(X)	-6,09	4,42	0,94	2,60	7,70	0,00
~(Y)	-53,28	4,30	2,12	11,19	27,70	0,00
Max(X)	1,59	2,80	5,74	4,84	1,40	0,09
Max(Y)	-29,67	32,07	13,06	13,34	1,00	0,83
D(Y)	4,31	27,83	0,53	14,36	724,20	0,00
D(X)	7,67	9,38	1,02	5,35	27,40	0,00
SqD(X)	3,16	3,33	0,35	2,16	38,90	0,00
SqD(Y)	3,53	12,07	1,27	3,52	7,70	0,00
Cov(XY)	1,54	-7,65	0,62	4,20	46,10	0,00
F(X)	1,88	1,90	0,21	0,17	1,70	0,01
F(Y)	1,85	1,79	0,32	0,11	8,60	0,00
F60(X)	0,26	7,89	0,01	3,53	72106,80	0,00
F60(Y)	0,13	22,34	0,02	11,04	438335,40	0,00
V	6,02	11,44	0,21	6,22	838,30	0,00
Angle	14,86	23,04	0,17	8,49	2595,30	0,00
S	38,54	240,11	4,25	105,65	619,30	0,00
Le/We	1,40	1,44	0,08	0,11	1,80	0,01
LFS	11,34	15,89	7,39	6,53	1,30	0,21
Si	24,45	18,40	0,34	4,66	191,40	0,00
Ei	8,37	68,38	2,26	15,11	44,80	0,00

Примечание: M – среднее значение, SD – стандартное отклонение, F – плотность распределения, p – уровень значимости двухвыборочного t критерия Стьюдента.

Таблица 3. Сравнение стабилметрических показателей группы контроля и пациентов с остеопорозом позвонков после оперативного вмешательства в отдалённом периоде

Table 3. Comparison of stabilometric indicators of the control group and patients with vertebral osteoporosis after surgery in the long-term period

Показатель	Здоровые испытуемые (M1)	Отдаленный период (M2)	SD (1)	SD (2)	F	p
QR	219,54	213,89	19,94	32,41	2,60	0,00
~(X)	-6,09	3,51	0,94	2,15	5,30	0,00
~(Y)	-53,28	4,20	2,12	1,32	2,60	0,00
Max(X)	1,59	1,24	5,74	5,83	2,20	0,43
Max(Y)	-29,67	-28,57	13,06	4,97	6,90	0,36
D(Y)	4,31	12,90	0,53	6,65	155,40	0,00
D(X)	7,67	5,89	1,02	4,72	21,30	0,00
SqD(X)	3,16	2,42	0,35	1,15	11,00	0,00
SqD(Y)	3,53	10,75	1,27	3,02	5,60	0,00
Cov(XY)	1,54	-2,17	0,62	2,44	15,60	0,00
F(X)	1,88	1,64	0,21	0,20	1,10	0,48
F(Y)	1,85	1,71	0,32	0,08	15,10	0,00
F60(X)	0,26	6,49	0,01	1,37	10839,30	0,00
F60(Y)	0,13	14,48	0,02	6,59	156271,60	0,00
V	6,02	8,55	0,21	4,24	389,80	0,00
Angle	14,86	19,88	0,17	4,62	769,00	0,00
S	38,54	96,14	4,25	59,14	194,10	0,00
Le/We	1,40	1,04	0,08	0,08	1,10	0,64
LFS	11,34	11,67	7,39	4,57	21,10	0,34
Si	24,45	21,76	0,34	4,07	45,80	0,04
Ei	8,37	22,12	2,26	5,56	6,10	0,00

Примечание: M – среднее значение, SD – стандартное отклонение, F – плотность распределения, p – уровень значимости двухвыборочного t критерия Стьюдента.

Данные изменения носят комплексный характер и, следовательно, зависят от дополнительного множества факторов: степени выраженности остеопороза, успешности его коррекции в результате проводимой медикаментозной терапии, а также длительности заболевания и возраста пациента. Таким образом эти факторы оказывают дополнительное влияние на стабилметрические показатели и, очевидно, требуют более длительной коррекции, а также реабилитации для восстановления выявленных нарушений функции равновесия. Среди параметров, восстановление которых произошло в отдаленном периоде после оперативного вмешательства, следует также отметить отношение длины эллипса к его ширине (Le/We $1,04 \pm 0,08$ Ед), что также указывает на увеличение устойчивости. Существенный регресс обнаруживается в значениях индекса энергозатрат (Ei $22,12 \pm 5,56$ Дж). При этом индекс стабильности также существенно повысился и приблизился к значениям нормы (Si $21,76 \pm 4,07$ Ед).

На основании оценки корреляции стабилметрических показателей между собой, были отобраны наиболее значимые показатели, а именно: индекс энергозатрат, уровень 60 % мощности спектра в сагиттальной плоскости и дисперсия отклонения центра давления в горизонтальной плоскости (рис. 1).

Визуализация взаимоотношения между данными параметрами до проведения пункционной вертебропластики, в послеоперационном и отдаленном периодах в целом демонстрирует положительную динамику гиперплоскости графиков.

Это является визуальным подтверждением существенной положительной динамики статокинезиограммы и, следовательно, улучшения функции равновесия пациента, несмотря на сохраняющиеся статистически достоверные различия между отдельными параметрами даже в отдаленном послеоперационном периоде.

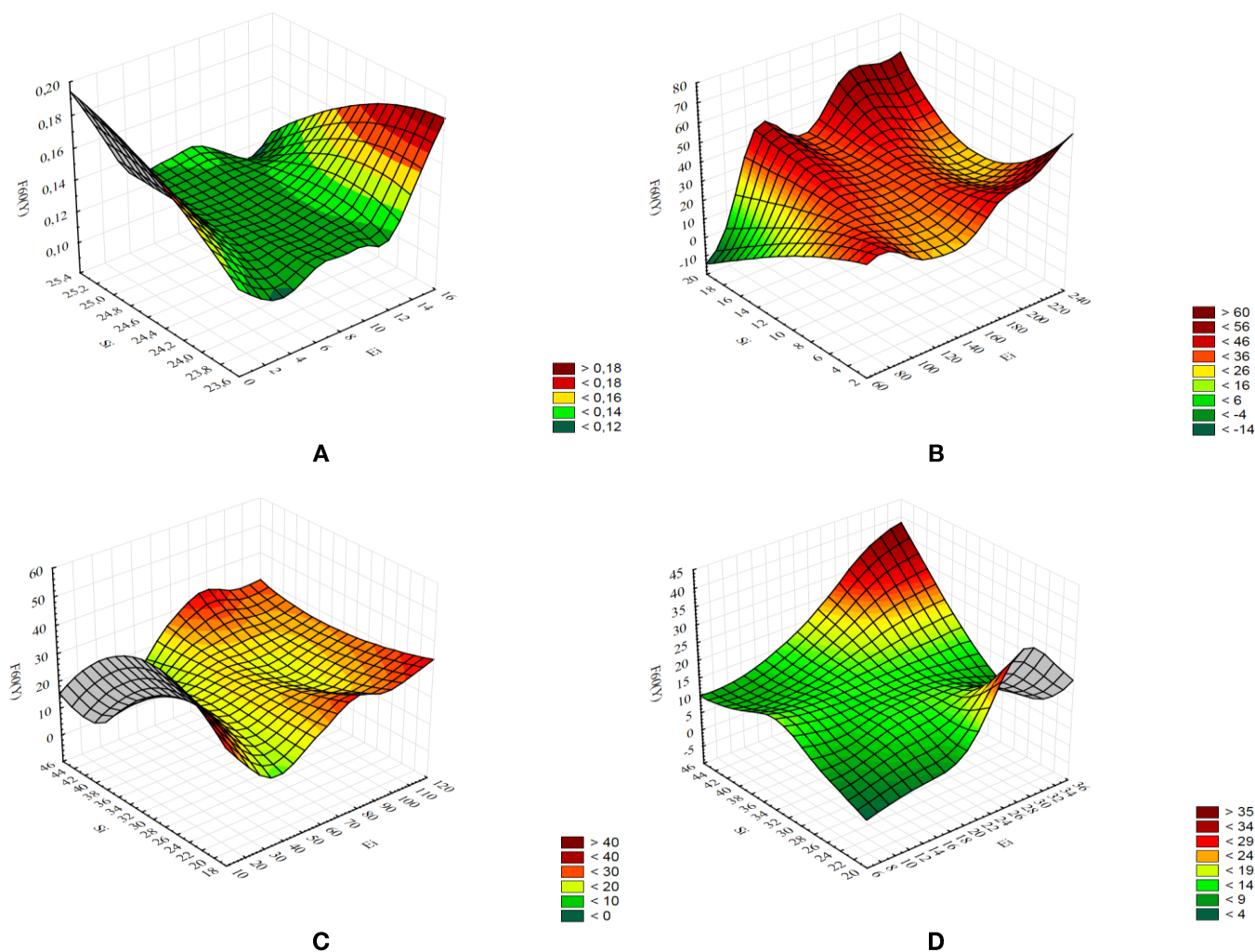


Рисунок 1. Графическое представление динамики изменений наиболее значимых параметров статокинезиограммы у пациентов с остеопорозом позвоночника: **A** – группа здоровых испытуемых, **B** – исследуемая группа, **C** – после проведения пункционной вертебропластики, **D** – отдаленный период после оперативного вмешательства

Figure 1. Graphical representation of the dynamics of changes in the most significant parameters of the statokinesio-gram in patients with spinal osteoporosis: **A** – group of healthy subjects, **B** – study group, **C** – after puncture vertebroplasty, **D** – long-term period after surgery

Заключение

Изменения стабилметрических показателей при остеопорозе характеризуются множественностью изменений. На фоне проведенной пункционной вертебропластики отмечается нормализация смещенного центра давления в горизонтальной плоскости уже сразу после операции. В отдаленном периоде происходит восстановление устойчивости за счёт снижения энергозатрат на поддержание равновесия и нормализация соотношения колебания центра давления в сагиттальной и горизонтальной плоскостях.

Проводимое хирургическое лечение компрессионных переломов вследствие остеопороза позвоночника оказывает существенное влияние на показатели стабильности и, следовательно, функцию равновесия. Наблюдаемые при этом изменения статокинезиограммы заключаются в повышении устойчивости, снижении энергозатрат на поддержание равновесия.

У пациентов с остеопорозом позвоночника в целом наблюдается положительная динамика в показателях статокинезиограммы во всех послеоперационных периодах, однако данные изменения не достигают значений, регистрируемых у группы здоровых добровольцев, что, очевидно, сопряжено с сохраняющимся остеопорозом – заболеванием, связанным с системным поражением кост-

ной ткани. При этом изменения являются более выраженными в отдаленный период, что обусловлено не только проведенным хирургическим лечением, но и получаемой консервативной терапией по поводу остеопороза.

Выводы

Исследование стабилметрических показателей является высокочувствительным методом для оценки изменений функции равновесия у пациентов с заболеваниями нервной системы и опорно-двигательного аппарата. У пациентов с остеопорозом тел позвонков обнаруживаются значимые отличия в стабилметрических параметрах, что позволяет использовать этот метод для диагностики и оценки результатов лечения.

Учитывая множественность нарушений, регистрируемых при стабилметрическом исследовании, можно сделать заключение относительно сохранения у пациентов нарушений со стороны функции равновесия как в послеоперационный период, так и при последующем наблюдении. Именно поэтому у пациентов с остеопорозом позвоночника необходимо проводить реабилитационные мероприятия в послеоперационном периоде на всех этапах, направленные на восстановление нарушенной функции равновесия для предупреждения сохраняющихся высоких рисков падения и травматизма.

Литература [References]

- 1 NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA*. 2001 Feb 14;285(6):785–95. <https://doi.org/10.1001/jama.285.6.785>
- 2 Макарова Е.В., Марченкова Л.А., Еремушкин М.А., Еремушкин М.А., Шакурова Л.Р., Стяжкина Е.М. и др. Изменения состава тела и нарушения координации у пациентов с компрессионными переломами тел позвонков на фоне остеопороза. *Вестник восстановительной медицины*. 2019;2(90):13–20. [Makarova E.V., Marchenkova L.A., Eremushkin M.A., Eremushkin M.A., Shakurova L.R., Styazhkina E.M., etc. Changes in body composition and coordination disorders in patients with compression fractures of vertebral bodies on the background of osteoporosis. *Bulletin of Restorative Medicine*. 2019;2(90):13–20. (In Russ)].
- 3 Yong EL, Logan S. Menopausal osteoporosis: screening, prevention and treatment. *Singapore Med J*. 2021 Apr;62(4):159–166. <https://doi.org/10.11622/smedj.2021036>
- 4 Management of osteoporosis in postmenopausal women: the 2021 position statement of The North American Menopause Society. *Menopause*. 2021 Sep 1;28(9):973–997. <https://doi.org/10.1097/GME.0000000000001831>
- 5 Sözen T, Özyık L, Başaran NÇ. An overview and management of osteoporosis. *Eur J Rheumatol*. 2017 Mar;4(1):46–56. <https://doi.org/10.5152/eurjrheum.2016.048>
- 6 Zakharov A.V., Vlasov Ia.V., Poverennova I.E., Khivintseva E.V., Antipov O.I. Posture disorders in patients with multiple sclerosis. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*. 2014;114(2 Pt 2):55–8. (In Russ)].
- 7 Захаров А.В., Кузнецова Н.И., Хивинцева Е.В., Власов Я.В. Особенности реабилитации при рассеянном склерозе. *Неврологический вестник*. 2010;42(1):110–114. [Zakharov A.V., Kuznetsova N.I., Khivintseva E.V., Vlasov Ya.V. Features of rehabilitation in multiple sclerosis. *Neurological Bulletin*. 2010;42(1):110–114. (In Russ)].
- 8 Захаров А.В., Хивинцева Е.В., Чаплыгин С.С., Стариковский М.Ю., Елизаров М.А., Колсанов А.В. Двигательная реабилитация пациентов в остром периоде инсульта с использованием технологии виртуальной реальности. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2021;121(8-2):71–75. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112108271> [Zakharov A.V., Khivintseva E.V., Chaplygin S.S., Starikovskiy M.Yu., Elizarov M.A., Kolsanov A.V. Motor rehabilitation of patients in the acute period of stroke using virtual reality technology. *Journal of Neurology and Psychiatry named after S.S. Korsakov*. 2021;121(8-2):71–75. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112108271> (In Russ)].
- 9 Zakharov A.V., Bulanov V.A., Khivintseva E.V., Kolsanov A.V., Bushkova Y.V., Ivanova G.E. Stroke Affected Lower Limbs Rehabilitation Combining Virtual Reality With Tactile Feedback. *Front Robot AI*. 2020 Jul 9;7:81. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00081>
- 10 Повереннова И.Е., Захаров А.В., Хивинцева Е.В., Пятин В.Ф., Колсанов А.В., Чаплыгин С.С. и др. Предварительные результаты исследования эффективности использования методики виртуальной реальности для восстановления двигательной функции нижних конечностей у пациентов в остром периоде инсульта. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2019;15(1):172–176. [Poverennova I.E., Zakharov A.V., Khivintseva E.V., Pyatin V.F., Kolsanov A.V., Chaplygin S.S., etc. Preliminary results of the study of the effectiveness of using virtual reality techniques to restore the motor function of the lower extremities in patients in the acute period of stroke. *Saratov Scientific and Medical Journal*. 2019;15(1):172–176. (In Russ)].
- 11 Макарова Е.В., Марченкова Л.А., Чесникова Е.И. Нарушения функции координации у пациентов, перенесших остеопоротические компрессионные переломы позвонков. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2020; 97(6-2):73. [Makarova E.V., Marchenkova L.A., Chesnokova E.I. Coordination disorders in patients who have undergone osteoporotic compression fractures of the vertebrae. *Questions of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture*. 2020; 97(6-2):73. (In Russ)].

- 12 Bhattacharya A, Watts NB, Dwivedi A, Shukla R, Mani A, Diab D. Combined Measures of Dynamic Bone Quality and Postural Balance--A Fracture Risk Assessment Approach in Osteoporosis. *J Clin Densitom.* 2016 Apr-Jun;19(2):154-64. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.03.005>
- 13 Prado JM, Stoffregen TA, Duarte M. Postural sway during dual tasks in young and elderly adults. *Gerontology.* 2007;53(5):274-281. <https://doi.org/10.1159/000102938>
- 14 Qazi SL, Sirola J, Kröger H, Honkanen R, Isanejad M, Airaksinen O, Rikkinen T. High Postural Sway Is an Independent Risk Factor for Osteoporotic Fractures but Not for Mortality in Elderly Women. *J Bone Miner Res.* 2019 May;34(5):817-824. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3664>
- 15 Promsri A, Cholanjiak P, Federolf P. Walking Stability and Risk of Falls. *Bioengineering (Basel).* 2023 Apr 12;10(4):471. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10040471>
- 16 Xu HT, Zheng S, Kang MY, Yu T, Zhao JW. A novel computer navigation model guided unilateral percutaneous vertebroplasty for vertebral compression fracture: A case report. *Medicine (Baltimore).* 2020 Oct 30;99(44):e22468. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000022468>

Авторская справка**Повереннова Ирина Евгеньевна**

Д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой неврологии и нейрохирургии, Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, д. 89, Самара, Россия, 443099.
ORCID 0000-0003-3233-8324, samaranevr@mail.ru.

Вклад автора: разработка концепции исследования, интерпретация данных, обоснование рукописи, проверка критически важного интеллектуального содержания, окончательное утверждение для публикации рукописи.

Икромова Дилфуза Рахмоновна

Аспирант кафедры неврологии и нейрохирургии, Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, д. 89, Самара, Россия, 443099.

ORCID 0000-0001-6383-6946; dikromova6@gmail.com

Вклад автора: разработка концепции, дизайна исследования, интерпретация данных.

Комарова Юлия Сергеевна

Научный сотрудник научно-исследовательского института нейронаук, Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, д. 89, Самара, Россия, 443099.

ORCID 0000-0003-3435-1477; ju.s.komarova@samsmu.ru

Вклад автора: анализ, интерпретация данных.

Хивинцева Елена Викторовна

Канд. мед. наук, доцент кафедры неврологии и нейрохирургии, Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, д. 89, Самара, Россия, 443099.

ORCID 0000-0003-1709-6195; e.v.hivinceva@samsmu.ru

Вклад автора: разработка дизайна исследования.

Ананьева Светлана Анатольевна

Канд. мед. наук, доцент кафедры неврологии и нейрохирургии Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, д. 89, Самара, Россия, 443099.

ORCID 0000-0002-2226-546X; saanaeva@mail.ru

Вклад автора: анализ, интерпретация данных.

Author's reference**Irina E. Poverennova**

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Neurology and Neurosurgery, Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russia.

ORCID 0000-0003-3233-8324, samaranevr@mail.ru.

Author's contribution: development of the research concept, interpretation of data, justification of the manuscript, verification of critical intellectual content, final approval for publication of the manuscript.

Dilfuza R. Ikromova

Postgraduate student of the Department of Neurology and Neurosurgery, Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russia.

ORCID 0000-0001-6383-6946; dikromova6@gmail.com

Author's contribution: development of the concept, design of the study, interpretation of data.

Yuliya S. Komarova

Researcher at the Research Institute of Neuroscience, Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russia.

ORCID 0000-0003-3435-1477; ju.s.komarova@samsmu.ru

Author's contribution: data analysis, interpretation.

Elena V. Khivintseva

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Neurology and Neurosurgery, Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russia.

ORCID 0000-0003-1709-6195; e.v.hivinceva@samsmu.ru

Author's contribution: development of research design.

Svetlana A. Anan'eva

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Neurology and Neurosurgery Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russia.

ORCID 0000-0002-2226-546X; saanaeva@mail.ru

Author's contribution: data analysis, interpretation.