

РЕАБІЛІТАЦІЯ

УДК 616.711-018.3-002-036.82:615.825](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026393-102>

Вплив реабілітації з використанням тренажерів та віртуального середовища на параметри ходьби у пацієнтів із остеохондрозом поперекового відділу хребта

В. А. Стауде^{1,3}, Ю. М. Случак^{1,2}, О. І. Галашко³,
Д. С. Задорожний¹, О. О. Кузнєцов^{1,3}

¹ ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

² Харківський національний медичний університет, Україна

³ Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, Україна

The lower back and pelvic pain in patients with lumbar osteochondrosis is primary cause of gait disorders. Objective. To study the effect of rehabilitation treatment using FitCurves exercise equipment and a virtual environment on gait parameters in patients with osteochondrosis of the lumbar spine. Methods. Group 1 (1) — patients with lumbar spine osteochondrosis, lower back and pelvic pain (9 women and 36 men). Group 2 (2) — patients with lumbar spine osteochondrosis after lumbar surgery (15 women and 17 men). Results. Training was performed using FitCurves equipment in the physical therapy under the control of a physical therapist every day for 2 weeks and the «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE» system 3 times a week for 2 weeks. The gait parameters became more better in both groups after training. However, step width in Group 2 (after lumbar fusion) was smaller than in Group 1, the step width in Group 1 increased by one centimeter after rehabilitation treatment. Conclusions. The use of a virtual environment and intelligent automation can be applied in the long-term after surgery rehabilitation period for patients after lumbar spine surgery. The proposed rehabilitation restores the strength, endurance, and coordinated muscle contraction of the postural and vertical body stabilizer muscles. These muscles involved in the complex act of walking. This was confirmed by a statistically significant improvement of gait parameters in these patients. Key words. Rehabilitation, osteochondrosis, FitCurves equipment, «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE» system.

Проблема реабілітації пацієнтів із поперековим остеохондрозом і нижньопоперековим боєм є актуальною, оскільки цей біль дуже часто спричинює порушення ходи. Мета. Вивчити вплив реабілітаційного лікування з використанням тренажерів FitCurves і віртуального середовища на параметри ходьби в пацієнтів із остеохондрозом поперекового відділу хребта. Методи. Перша група (1) — пацієнти з остеохондрозом поперекового відділу хребта та нижньопоперековим і тазовим боєм, 9 жінок і 36 чоловіків. Друга група (2) — хворі з остеохондрозом поперекового відділу хребта, після операції, 15 жінок та 17 чоловіків. Результати. Виконували заняття на тренажерах FitCurves в залі фізичної терапії під контролем фізичного терапевта та на системі «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE» 3 рази на тиждень протягом 2 тижнів. Хода стала більш впевненою в обох групах. Але в той самий час ширина кроку в групі 2 (після спондилодеза) була менше, ніж у групі 1, урахувавши те, що ширина кроку в групі 1 після реабілітаційного лікування збільшилася на сантиметр. Висновки. Використання віртуального середовища та інтелектуальної автоматизації може застосовуватися в довготривалому періоді післяопераційної реабілітації у пацієнтів після хірургічного лікування остеохондрозу поперекового відділу хребта. Запропонована реабілітація відновлює силу, витривалість і координоване м'язове скорочення м'язів стабілізаторів вертикального положення тіла та постави, задіяних у складному акті ходьби. Це підтвердилось статистично достовірним покращенням параметрів ходьби у цих пацієнтів.

Ключові слова. Реабілітація, остеохондроз, використання тренажерів FitCurves і системи «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE»

Вступ

Проблема реабілітації пацієнтів із поперековим остеохондрозом і нижньопоперековим боєм є актуальною, оскільки цей біль дуже часто спричинює порушення ходи. Деякі автори наголошують, що це пов'язано з ушкодженням координації м'язового скорочення таких пацієнтів [1]. Під час повільної ходи горизонтальна ротація таза та грудної клітини у них майже синхронна, але зі збільшенням швидкості порушується. Така сама ситуація спостерігається в осіб із тазовим боєм чи з поперековим остеохондрозом після хірургічного лікування [2]. Кількість операцій на хребті, які виконуються у світі для лікування поперекового остеохондрозу та болю в спині невинно збільшується та досягає 7,6 млн у 2022 році, із прогнозом зростання 7,9 % на рік [3].

Виникнення болю після операції з приводу поперекового остеохондрозу — нормальне явище, але якщо він триває довгий час, то знижується активність пацієнта. З'являється рефлекторне гальмування глибоких (локальних) м'язів-стабілізаторів вертикального положення тіла та постави (*m. multifidus*, *m. transversus abdominis*), посилюється гіпертонус поверхневих (глобальних) м'язів-стабілізаторів вертикального положення тіла та постави (*m. erectorspinae*, *m. quadratuslumborum*, *m. rectus abdominis*, *m. obliquus abdominis internus*, *m. obliquus abdominis externus*, *m. latissimus dorsi*, *m. trapezius*, *m. pectoralis major*, *m. pectoralis minor*, *m. serratus posterior*, *m. gluteus maximus*, *m. gluteus medius*, *m. quadriceps femoris*, *m. biceps femoris*, *m. semimembranosus*, *m. semitendinosus*, *m. adductor magnus*, *m. adductor longus*, *m. tibialis anterior*, *m. peroneus longus*) [4–7]. Це викликає порушення координованого м'язового скорочення і стабілізації вертикального положення тіла [6, 7], що спричинює зменшення напруження глибоких м'язів-стабілізаторів, а поверхневі м'язи перенавантажуються [1, 5, 6].

Після операцій на хребті спостерігається:

- 1) атрофія, особливо *m. multifidus*, які часто травмуються в разі хірургічного втручання;
- 2) жирова інфільтрація, яка знижує функціональні характеристики м'язів і часто асоційована з хронічним боєм;
- 3) фіброзні зміни, пов'язані з рубцюванням після хірургічного втручання, обмеженням рухливості й порушенням еластичності м'язів, зв'язок, фасцій і координованого м'язового скорочення [8–11].

Зміни функції локальних стабілізаторів хребта призводять до порушення м'язово-зв'язкової стабілізації хребта, а дегенеративні спричинюють нестабільність суміжних хребтово-рухових сегментів, і, відповідно, біль та ще більші дегенеративні зміни [12–16]. Як наслідок — пацієнт уникає певних рухів, а біль може переходити у хронічний. З'являється навантаження на елементи суміжних сегментів (дуговідросткові суглоби, диски, зв'язки). Тобто компенсаторно змінюються постава і рухові патерни з порушенням координованого м'язового скорочення [17, 18].

Порушення ходьби після операції на хребті — це найвагоміший індикатор того, як біль і дегенеративні зміни впливають на цю функцію. Ходьба — складний моторний акт і будь-які зміни у функції як глобальних, так і локальних стабілізаторів хребта, а саме — біль під час симетричного координованого скорочення м'язів відображаються на її параметрах [19, 20].

Біль і зниження функціональних можливостей глобальних і локальних стабілізаторів (особливо *m. multifidus*) призводить до зменшення довжини кроку, зниження частоти, тобто до «обережної ходи». Пацієнт знижує швидкість, щоб зменшити вертикальне і ротаційне навантаження на хребет. Крок стає коротшим, таз крутиться менше. Час опору на хворому боці зменшується, крок на протилежному боці стає довшим, з'являється латеральне зміщення центра маси. Ритм стає нерегулярним, змінюється процес перенесення з п'ятки на носок, збільшується час подвійного опору [19–22].

Мета: вивчити вплив реабілітаційного лікування з використанням тренажерів FitCurves і віртуального середовища на параметри ходьби в пацієнтів із остеохондрозом поперекового відділу хребта.

Матеріал і методи

Усі пацієнти проходили лікування в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» у відділенні реабілітації. Роботу виконано з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини. Матеріали дослідження розглянуто та ухвалено локальним комітетом із біоетики (протокол № 265 від 01.06.2026 р.).

Перша група (1) — пацієнти з остеохондрозом поперекового відділу хребта та нижньопоперековим і тазовим боєм, 9 жінок і 36 чоловіків. Вік жінок коливався від 18 до 76 років (медіана — 49 років, інтерквартильний розмах — 40–55). Вік чоловіків коливався у межах 39–56 років (медіана — 49 років, інтерквартильний розмах — 39–55).



Рис. 1. Тренажер FitCurves «зведення / розведення ніг». Під час заняття на ньому спина притиснута щільно до тренажера, найбільше включаються в роботу такі м'язи: *erector spinae, quadratus lumborum, rectus abdominis, gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps femoris, adductor magnus, adductor longus*. Важливо слідкувати за симетричним і рівномірним виконанням цієї вправи



Рис. 2. Тренажер FitCurves «жим від плечей тяга зверху». Спина щільно притиснута до спинки, тому в роботу найбільше вмикаються такі м'язи: *erector spinae, quadratus lumborum, rectus abdominis, latissimus dorsi, trapezius, pectoralis major, pectoralis minor, serratus posterior*. Важливо слідкувати за симетричним і рівномірним виконанням цієї вправи



Рис. 3. Тренажер FitCurves «прес/спина». Направлений на роботу та активацію таких м'язів: *erector spinae, quadratus lumborum, rectus abdominis, obliquus abdominis internus, obliquus abdominis externus, latissimus dorsi, pectoralis major, pectoralis minor, serratus posterior*. Важливо — симетричне та рівномірне виконання цієї вправи

Друга група (2) — хворі з остеохондрозом поперекового відділу хребта, після операції, 15 жінок та 17 чоловіків. Вік жінок варіював у межах 18–78 р. (медіана — 48 років, та інтерквартильний розмах — 39–54). Вік чоловіків становив 18–78 р. (медіана — 49 р., інтерквартильний розмах — 40–55). Спонділодез на рівні L_{III} – L_{IV} , L_{IV} – L_V здійснено 27 пацієнтам



Рис. 4. Тренажер FitCurves «груди/спина», задіяні такі м'язи: *latissimus dorsi, trapezius, pectoralis major, pectoralis minor, serratus posterior*. Важливо — симетричне та рівномірне виконання цієї вправи

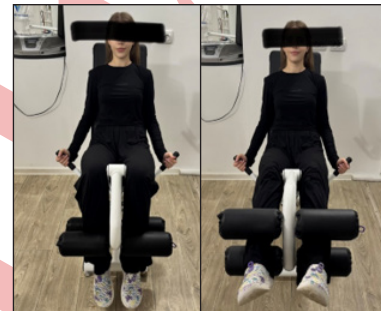


Рис. 5. Тренажер FitCurves «згинання / розгинання ніг», направлений на роботу таких м'язів: *gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps femoris, biceps femoris*. Важливо — симетричне та рівномірне виконання

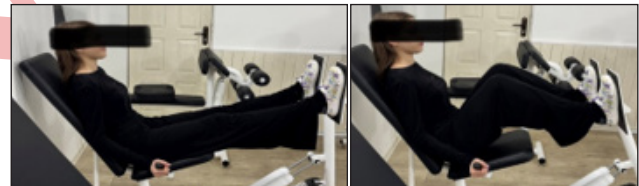


Рис. 6. Тренажер FitCurves «жим ногами». Під час роботи на ньому, за умови щільно притиснутої спини до спинки тренажера, вмикаються такі м'язи: *erector spinae, quadratus lumborum, rectus abdominis, gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps femoris, biceps femoris, semimembranosus, semitendinosus, adductor magnus, adductor longus, tibialis anterior, peroneus longus*. Важливо — симетричне та рівномірне виконання

(15 жінок, 12 чоловіків), а на на рівні L_{III} – L_{IV} , L_{IV} – L_V , L_V – S_I — 5 чоловікам. Після контрольного огляду в терміни від 6 до 9 міс. після операції, хворих було скеровано на реабілітаційне лікування.

За віком та статтю обидві групи були повністю співставними. Отримані дані оброблені статистично (критерій Манна-Уїтні, критерій Вілкоксона).

Пацієнти скаржились на біль у поперековому відділі хребта, порушення функції ходьби. Усі були обстежені рентгенологічно, клінічно, за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ), за опитувальниками Barthel, Oswestryта на системі «h-r-cosmos locomotion 150/50 DE».

Критерії включення: наявність періодичного болю в поперековому відділі хребта з можливим іррадіюванням в сідниці або нижню кінцівку, у оперованих пацієнтів — стабільність спондилодезу.

Критерії виключення: онкологічна патологія.

Хворі обох груп отримували розроблені нами реабілітаційне лікування, яке складалося з 2-х блоків. Перший — заняття на тренажерах FitCurves в залі фізичної терапії під контролем

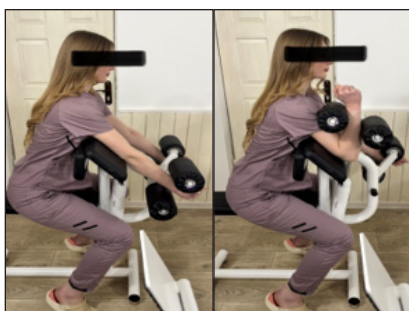


Рис. 7. Тренажер FitCurves «біцепс/трицепс». М'язи, які працюють під час роботи на цьому тренажері: *latissimus dorsi, trapezius, pectoralis major, pectoralis minor, serratus posterior*. Важливо — симетричне та рівномірне виконання



Рис. 8. Система «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE»



Рис. 9. Аналіз ходи на системі «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE»

фізичного терапевта (рис. 1–7), які були скеровані на відновлення сили, витривалості м'язів локальних і глобальних стабілізаторів вертикального положення тіла та координованого м'язового скорочення цих м'язів. На цих тренажерах тренували такі м'язи: *erector spinae, quadratus lumborum, rectus abdominis, obliquus abdominis internus, obliquus abdominis externus, latissimus dorsi, trapezius, pectoralis major, pectoralis minor, serratus posterior, gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps femoris, biceps femoris, adductor magnus, adductor longus, tibialis anterior, peroneus longus, multifidus, transversus abdominis* [4, 5, 20, 23]. Під час тренування стежили, щоб усі вправи виконувались з прямою спиною, максимально щільно притискаючи її до спинки тренажера. Якщо з'являвся біль, то кількість підходів зменшувалась і пацієнт переходив до іншого завдання. Вправи на кожному тренажері виконувались по 10–15 разів, у повільному темпі по 2–3 підходи. Темп виконання визначав фізичний терапевт залежно від стану кожного пацієнта. Великою перевагою цих тренажерів є наявність блока гідравлічних амортизаторів, що дозволяє повільно збільшувати та зменшувати навантаження на м'язи, які тренують. Це запобігає травмуванню пацієнтів і дозволяє точно регулювати ступінь навантаження й ефективно тренувати м'язи, зокрема ті, які мають дегенеративні зміни. Заняття на цих тренажерах дозволяють рівномірно та симетрично тренувати всі перераховані м'язи. Це дуже важливо для відновлення стереотипу ходьби та постави [4, 5, 23].

Другий блок — заняття на системі «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE» 3 рази на тиждень протягом 2 тижнів (рис. 8) з метою вимірювання параметрів ходьби та тренування. Великою перевагою цієї системи є те, що вона, за допомогою віртуальної реальності та інтелектуальної автоматизації, на базі параметрів ходи пацієнта визначає ступінь навантаження та складність тренування ходи. Залежно від параметрів ходьби інтелектуальна автоматизація змінює кут нахилу поверхні, якою ходять, збільшує або зменшує дистанцію між мітками куди треба ступати або змінює дистанцію між перепонами, які треба обійти у віртуальній реальності. Зауважимо, що дуже важливим для відновлення параметрів ходьби є те, що кожен пацієнт має змогу переглянути запис своєї ходи з фіксацією відхилення тіла від вертикальної осі, як в сагітальній, так і у фронтальній площинах із кореляцією розподілу навантаження по площині стопи на моніторах. Дуже важливо, що хворий бачить помилки, які він робить під час ходьби

Таблиця 1

Показники до лікування групи 1

Параметр	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Lower - Quartile	Upper - Quartile	Std.Dev.
Середнє максимальне навантаження на Носок Л, %	45	78,44222	80,8	36,9	101,9	67,3	91,2	16,73994
Середнє максимальне навантаження на Носок П, %	45	80,08667	79,4	26,2	103,4	73,1	64,3	18,58292
Середнє максимальне навантаження на П'ятку Л, %	45	72,82000	75,8	30,5	98,1	67,1	79,4	12,79616
Середнє максимальне навантаження на П'ятку П, %	45	71,33778	73,2	32,1	93,1	64,7	81,4	13,35446
Виворітність стопи Л, град	45	8,56000	9,0	-17,6	17,5	5,5	11,9	5,83027
Виворітність стопи П, град	45	10,33778	10,7	-13,5	22,6	7,1	13,8	6,25472
Довжина кроку Л, см	45	33,63111	34,5	18,5	47,6	31,0	37,8	6,81228
Довжина кроку П, см	45	31,77778	32,9	8,0	45,5	27,6	37,5	8,34467
Довжина подвійного кроку, см	45	65,50889	66,3	26,9	89,9	59,4	75,8	13,68655
Ширина кроку (база опори), см	45	14,33778	14,4	1,9	24,4	11,0	17,5	4,51131
Час кроку Л, с	45	0,81556	0,8	0,5	1,3	0,7	0,9	0,16370
Час кроку П, с	45	0,82889	0,8	0,5	1,3	0,8	0,9	0,16871
Час подвійного кроку, с	45	1,70444	1,7	1,1	2,4	1,6	1,9	0,30298
Темп, кроків/хв	45	70,72222	67,9	48,5	107,7	61,9	74,9	13,60651
Швидкість, км/год	45	1,33778	1,3	0,7	2,2	1,2	1,5	0,24242

Таблиця 2

Показники після лікування групи 1

Параметр	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Lower - Quartile	Upper - Quartile	Std.Dev.
Середнє максимальне навантаження на Носок Л, %	45	78,44222	80,8	36,9	101,9	67,3	91,2	16,73994
Середнє максимальне навантаження на Носок П, %	45	80,08667	79,4	26,2	103,4	73,1	94,3	18,58292
Середнє максимальне навантаження на П'ятку Л, %	45	72,82000	75,8	30,5	98,1	67,1	79,4	12,79616
Середнє максимальне навантаження на П'ятку П, %	45	71,33778	73,2	32,1	93,1	64,7	81,4	13,35446
Виворітність стопи Л, град	45	8,56000	9	-17,6	17,5	5,5	11,9	5,83027
Виворітність стопи П, град	45	10,33778	10,7	-13,5	22,6	7,1	13,8	6,25472
Довжина кроку Л, см	45	33,63111	34,5	18,5	47,6	31,0	37,8	6,81228
Довжина кроку П, см	45	31,77778	32,9	8,0	45,5	27,6	37,5	8,34467
Довжина подвійного кроку, см	45	65,50889	66,3	26,9	89,9	59,4	75,8	13,68655
Ширина кроку (база опори), см	45	14,33778	14,4	1,9	24,4	11,0	17,5	4,51131
Час кроку Л, с	45	0,81556	0,8	0,5	1,3	0,7	0,9	0,16370
Час кроку П, с	45	0,82889	0,8	0,5	1,3	0,8	0,9	0,16871
Час подвійного кроку, с	45	1,70444	1,7	1,1	2,4	1,6	1,9	0,30298
Темп, кроків/хв	45	70,72222	67,9	48,5	107,7	61,9	74,9	13,60651
Швидкість, км/год	45	1,33778	1,3	0,7	2,2	1,2	1,5	0,24242

(рис. 9 — фото дослідження). Це дозволило вчасно їх виправляти, покращувати відновлення стереотипу ходьби та комплексно тренувати координоване м'язове скорочення всіх вищеназваних м'язів, як локальних, так і глобальних стабіліза-

торів. Тривалість кожного тренування на цій системі складає 40 хв. Перевагою таких занять є те, що за допомогою штучного інтелекту визначається ступень навантаження для кожного пацієнта (рис. 10).

Таблиця 3

Показники до лікування групи 2

Параметр	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Lower - Quartile	Upper - Quartile	Std.Dev.
Середнє максимальне навантаження на Носок Л, %	32	74,8625	78,75	32,1	106,6	61,65	89,35	19,41155
Середнє максимальне навантаження на Носок П, %	32	78,25313	83,60	27,6	102,1	63,40	94,95	20,47107
Середнє максимальне навантаження на П'ятку Л, %	32	69,70625	72,55	34,3	96,6	63,10	77,10	14,03273
Середнє максимальне навантаження на П'ятку П, %	32	69,40000	71,10	38,2	98,8	57,75	79,05	13,87992
Виворітність стопи Л, град	32	9,39063	10,40	-0,7	19,9	5,65	12,65	5,24960
Виворітність стопи П, град	32	10,58438	10,55	-2,6	22,6	6,45	14,10	5,53896
Довжина кроку Л, см	32	27,10312	27,65	9,9	41,9	21,45	31,85	7,21309
Довжина кроку П, см	32	26,12812	24,85	10,3	43,2	21,45	30,45	9,17845
Довжина подвійного кроку, см	32	53,35000	53,35	20,3	84,6	41,45	61,75	15,37186
Ширина кроку (база опори), см	32	14,19375	14,35	6,1	21,9	12,15	16,7	3,84799
Час кроку Л, с	32	0,84375	0,80	0,4	1,7	0,60	0,95	0,29505
Час кроку П, с	32	0,83438	0,80	0,4	1,5	0,70	1,00	0,26471
Час подвійного кроку, с	32	1,71875	1,60	0,9	3,2	1,40	1,95	0,52390
Темп, кроків/хв	32	73,10313	73,70	37,5	127,2	59,75	84,45	19,60644
Швидкість, км/год	32	1,09375	1,15	0,5	1,7	0,80	1,30	0,30998

Таблиця 4

Показники після лікування групи 2

Параметр	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Lower - Quartile	Upper - Quartile	Std.Dev.
Середнє максимальне навантаження на Носок Л, %	32	74,50625	77,75	27,6	106,6	59,65	90,70	20,84652
Середнє максимальне навантаження на Носок П, %	32	82,52188	89,50	21,7	107,7	65,45	96,80	19,91055
Середнє максимальне навантаження на П'ятку Л, %	32	74,20313	77,60	44,6	88,9	67,80	83,50	12,09579
Середнє максимальне навантаження на П'ятку П, %	32	75,44062	76,50	48,6	93,7	68,35	84,15	10,79103
Виворітність стопи Л, град	32	10,06875	10,20	-1,5	22,9	6,45	13,15	5,23071
Виворітність стопи П, град	32	10,39375	9,65	-2,7	20,0	6,90	14,60	5,37557
Довжина кроку Л, см	32	33,47813	33,35	16,1	48,4	28,65	40,25	8,24334
Довжина кроку П, см	32	31,86562	32,85	13,7	49,2	25,60	37,65	8,13862
Довжина подвійного кроку, см	32	65,45313	66,95	29,8	97,7	56,50	75,10	15,18076
Ширина кроку (база опори), см	32	13,34687	13,10	4,8	22,4	11,45	16,25	3,99144
Час кроку Л, с	32	0,89375	0,90	0,5	1,2	0,80	1,00	0,16052
Час кроку П, с	32	0,88438	0,90	0,5	1,2	0,80	1,00	0,16086
Час подвійного кроку, с	32	1,81250	1,80	1,0	2,4	1,65	2,00	0,30241

Результати

Отримані результати параметрів ходьби на системі «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE» пацієнтів групи 1 та 2 наведені в таблицях 1–4.

За критерієм Манна-Уїтні статистично значимих відмінностей між двома групами до реабілітації немає, тобто вони зіставні.

Динаміка лікування для кожної з груп

Проаналізовано середні дані в групах 1 та 2 до та після курсу лікування. У 1 показник — середнє максимальне навантаження на лівий носок (average max load носок Л, %) збільшився на 4,4 %; на правий (average max load носок П, %) — зросло на 5,7 % після лікування. Середнє максималь-

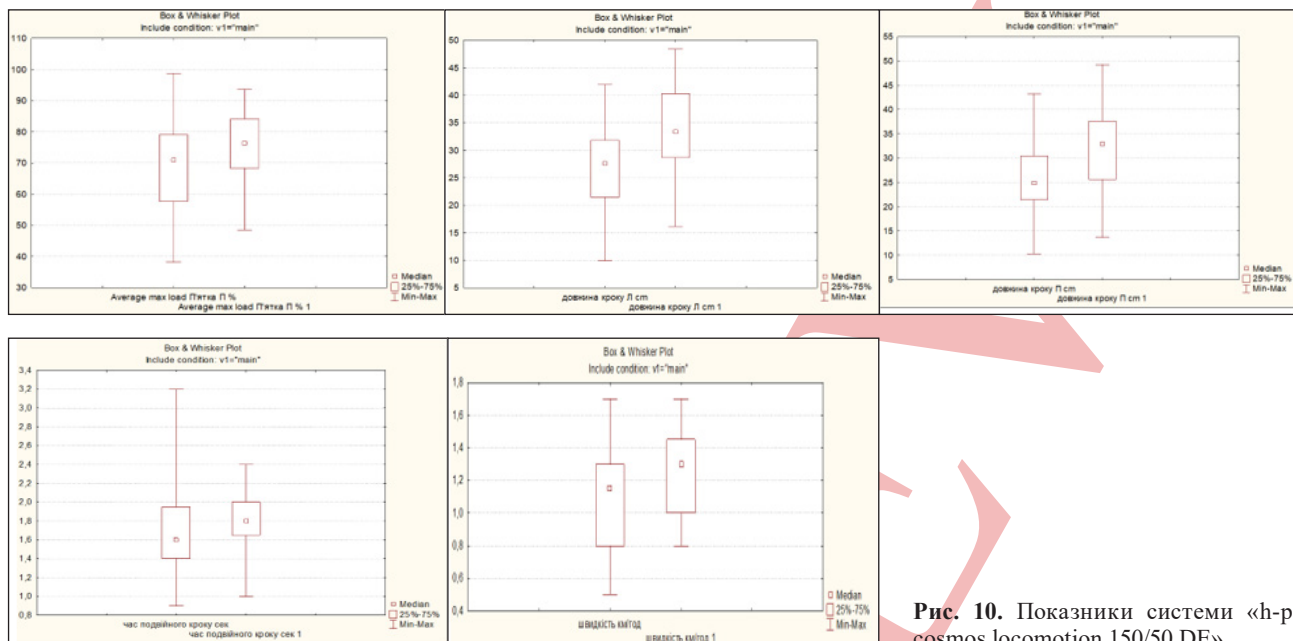


Рис. 10. Показники системи «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE»

Динаміка лікування в групі 1

Параметр	Valid N	T	Z	p-level
Довжина кроку Л, см	45	270,5	2,788025	0,005303
Довжина кроку П, см	45	306,5	2,381673	0,017235
Довжина подвійного кроку, см	45	289,0	2,579206	0,009903
Швидкість, км/год	45	226,0	2,288620	0,022102

Таблиця 5

на 0,1 секунди. Темп зменшився на 5,1 кроків/хв. Швидкість збільшилася на 0,1 км/год (табл. 5).

У групі 2 середнє максимальне навантаження на ліву п'ятку збільшилося на 5,05 %, а с на праву — на 5,4 % після лікування (табл. 6).

Середнє максимальне навантаження на лівий носок зменшилося на 1 %, а на правий — збільшилося на 5,9 %. Довжина кроку лівою ногою зросла на 5,7 см; правою — збільшилася на 8 см.

Довжина подвійного кроку зросла на 13,35 см. Виворітність лівої стопи зменшився на 0,2°, правої — на 0,9°. Ширина кроку зменшилася на 1,25 см. Час подвійного кроку збільшився на 0,2 с.

Темп зменшився на 8,4 кроків/хв. Швидкість збільшилася на 0,15 км/год.

Аналізуючи групи 1 та 2 необхідно звернути увагу на те, що в групі 2 показник «час кроку Л і П у секундах» збільшився на 0,1 секунду, у той час, коли у групі 1 цей показник не змінився взагалі.

Результати, які ми отримали після розробленого нами реабілітаційного лікування в групі 1, свідчать, що довжина кроку в цих пацієнтів збільшилася, хворі стали більш вільно виконувати переكات з п'ятки на носок, зросла ширина кроку. Це дозволило збільшити швидкість ходьби зі зменшенням кількості кроків у хвилину.

У групі 2 ми отримали після реабілітаційного лікування подібні зміни. Значно покращився переكات з п'ятки на носок, збільшилася довжина кроку та подвійного кроку, ширина зменшилася. Швидкість ходьби збільшилася зі зменшенням кількості кроків за хвилину.

Оцінювання динаміки показників до та після лікування групи 2

Таблиця 6

Параметр	Valid N	T	Z	p-level
Середнє максимальне навантаження на п'ятку П, %	32	183,0	2,075582	0,037933
Довжина кроку Л, см	32	86,0	3,328411	0,000874
Довжина кроку П, см	32	102,0	3,029228	0,002452
Час подвійного кроку, с	32	0,0	4,936520	0,000001
Час подвійного кроку, с	32	113,5	2,635735	0,008396

не навантаження на ліву п'ятку (average max load п'ятка Л, %) збільшилося на 2,5 %; середнє максимальне навантаження на праву п'ятку — зросло на 0,7 %. Розворот стопи збільшився на 0,1° на лівій нозі і на 0,3° на правій. Ширина кроку зросла на сантиметр. Довжина кроку лівою ногою збільшилася на 5,6 см (табл. 5); правою — на 4,5 см (табл. 5). Довжина подвійного кроку збільшилася на 8,4 см (табл. 1, 2). Час подвійного кроку зріс

Тобто, хода стала більш впевненою в обох групах. Але в той самий час ширина кроку в групі 2 (після спондилодеза) була менше, ніж у 1, урахуовуючи те, що ширина кроку в групі 1 після реабілітаційного лікування збільшилася на сантиметр. Це говорить про менш впевнену ходьбу, що скоріш за все відбувається через дегенеративні зміни та дисфункцію м'язів локальних і глобальних стабілізаторів вертикального положення тулуба й таза. Ці зміни, напевно, пов'язані з наслідками хірургічного лікування.

Обговорення

Деякі дослідники зазначають, що пацієнти з хронічним нижньопоперековим болем часто скаржаться на труднощі під час ходьби і зазвичай ходять повільніше, ніж здорові. На думку авторів у таких пацієнтів змінюється координація ходи. Передбачається, що у них ротатори таза та грудної клітки знаходяться в гіпертонусі, щоб попередити надмірну ротацію хребта [1].

S. Song та співавт. [22] виявили, що частіше в разі нижньопоперекового болю спостерігається порушення рухомого контролю під час ходьби. Це проявляється зменшенням довжини кроку [24, 25], й означає зменшення зміщення центра тяжіння та зменшення швидкості ходьби [26].

S. Gianola та співавт. [27] продемонстрували, що мануальна терапія та терапевтичні вправи ефективні в разі болю та порушень ходьби у хворих із неспецифічним нижньопоперековим болем, як у короткотривалий, так і довготривалий перспективі. Реабілітаційні заходи були направлені на тренування м'язів осової стабільності.

Комплекс терапевтичних вправ складався із 5 хв роботи на велотренажері, динамічних вправ на зміцнення м'язів тулуба і живота, 6 вправ на розтягування м'язів попереку, сідничних та hamstring м'язів.

R. D. Fonseka та співавт. [2] не отримали значного покращення параметрів ходьби у таких пацієнтів після реабілітації. Але вони підтверджують відновлення навантаження на передній відділ стопи, що говорить про покращення перекату з п'ятки на носок. Вони також зафіксували збільшення довжини кроку після реабілітації.

Це збігається з результатами досліджень параметрів ходи інших авторів [25, 26], котрі говорять про зменшення довжини кроку та швидкості ходьби через дискомфорт у хворих із хронічним неспецифічним болем.

R. D. Fonseka та співавт. [2] виявили, що пацієнти з проблемою поперекового відділу хребта, у порівнянні зі здоровими демонструють зміни параметрів ходьби. Це включає в себе такі показники: швидкість ходьби [28–31] (повільніше), час кроку [28, 31, 32] (довше), довжина кроку [28–31] (коротше). У двох дослідженнях отримали подібні результати під час вивчення параметрів ходьби після хірургічного лікування поперекового відділу хребта [28, 30].

R. D. Fonseka та співавт. [2] зазначили, що вони не знайшли значного поліпшення в параметрах ходьби після хірургічного лікування на поперековому відділі хребта. Напроти, F. Ghent і співавт. [29] (у пацієнтів із грижами дисків) та R. J. Mobbs і співавт. [30] (дослідження пацієнтів зі стенозом поперекового відділу хребта) спостерігали значне покращення швидкості ходьби та довжини кроку в своїх дослідженнях (9 тижнів і 3 місяці після операції).

Тим не менш, S. Loske та співавт. [28] не спостерігали покращення параметрів ходьби навіть після 12 міс. після операції. Такі суперечливі результати досліджень параметрів ходьби після хірургічного лікування поперекового відділу хребта можуть залежати від термінів після операції, особливості післяопераційного ведення та говорять про необхідність розробки адекватних програм реабілітації.

Висновки

Реабілітація за допомогою тренажерів FitCurves та тренування ходьби з використанням віртуального середовища й інтелектуальної автоматизації показала статистично достовірно відновлення параметрів ходьби в пацієнтів із поперековим остеохондрозом.

Використання віртуального середовища та інтелектуальної автоматизації може застосовуватися в довготривалому періоді післяопераційної реабілітації у пацієнтів після хірургічного лікування остеохондрозу поперекового відділу хребта. Запропонована реабілітація відновлює силу, витривалість та координоване м'язове скорочення м'язів стабілізаторів вертикального положення тіла та постави, задіяних у складному акті ходьби. Це підтвердилось статистично достовірним покращенням параметрів ходьби у цих пацієнтів.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають бути довготривалішими з більшою вибіркою пацієнтів. Таким чином використання тренажерів Fit Curves і системи «h-p-cosmos locomotion 150/50 DE» як додаткових

методів до стандартних реабілітаційних заходів буде позитивно впливати на покращення фізичного стану й параметрів ходьби.

Інформація про фінансування. Автори заявляють, що ця стаття була фінансово підтримана ТОВ «Світ Злагоди», ліцензіат Fit Curves в Україні. Компанія не мала впливу на дизайн дослідження, аналіз даних та інтерпретацію результатів. Автори гарантують, що результати подані об'єктивно.

Внесок авторів. Стауде В. А. — обґрунтував доцільність дослідження, розробив його методику; Слушак Ю. М. — аналіз отриманих даних, розробка результатів; Галашко О. І. — розробка концепції дослідження, аналіз отриманих даних; Задорожний Д. С., Кузнецов О. О. — участь у зборі даних. Усі автори схвалили остаточний рукопис.

Список літератури

- Huang, Y. P., Bruijn, S. M., Lin, J. H., Meijer, O. G., Wu, W. H., Abbasi-Bafghi, H., Lin, X. C., & Van Dieën, J. H. (2010). Gait adaptations in low back pain patients with lumbar disc herniation: Trunk coordination and arm swing. *European Spine Journal*, 20(3), 491-499. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1639-8>
- Fonseka, R. D., Natarajan, P., Maharaj, M. M., Koinis, L., Sy, L., & Mobbs, R. J. (2024). Objective gait analysis using a single-point wearable sensor to assess lumbar spine patients pre- and Postoperatively. *Surgical Techniques Development*, 13(1), 58-75. <https://doi.org/10.3390/std13010004>
- Mainard, N., Chapon, R., & Meyblum, J. (2022). Global French spine surgery activity: Executive report of demographics data and trends. *Brain and Spine*, 2, 101173. <https://doi.org/10.1016/j.bas.2022.101173>
- Due, T. (2026). Oral presentation: Single treatment points for each of the human myofascial meridians earlier described by Thomas Myers in the book "Anatomy trains". *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 47, 704. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2025.11.136>
- Richardson, C. A., Hodges, P., & Hides, J. A. (2004). Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization: A Motor Control Approach for the Treatment and Prevention of Low Back Pain. 2nd ed. London, United Kingdom: Churchill Livingstone. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-07293-2.X5001-8>
- Chen, Z., Shi, X., Tirosh, O., El-Ansary, D., Adams, R., Han, J., & Pranata, A. (2025). Lower limb proprioception and postural control strategies in people with non-specific low back pain: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*, 39(9), 1181-1196. <https://doi.org/10.1177/02692155251362719>
- Staude, V., Romanenko, K., & Staude, A. (2024). Recovery of stabilizing muscles that provide a vertical position of the trunk in patients with post-traumatic deformities of the long bones of the lower limbs in the distant period. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 79–86. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023479-86>
- Aly, T. (2022). Back muscles injury during posterior lumbar spine surgeries: Minimally invasive versus open approaches — A review of the literature. *Advanced Spine Journal*, 41(2), 61-72. <https://doi.org/10.57055/2314-8969.1259>
- Sakaguchi, T., Sake, N., Tanaka, M., Fujiwara, Y., Arataki, S., Taoka, T., Kodama, Y., Takamatsu, K., Yasuda, Y., Nakagawa, M., Utsunomiya, K., & Tomiyama, H. (2024). Use of a triaxial accelerometer to measure changes in gait sway and related motor function after corrective spinal fusion surgery for adult spinal deformity. *Journal of Clinical Medicine*, 13(7), 1923. <https://doi.org/10.3390/jcm13071923>
- Jung, B., Mathew, J., Sheikh, A. B., Elysee, J., Duvvuri, P., Fallon, J., Abbas, A., Katz, A., Song, J., Strigenz, A., Zappia, L., Lafage, R., Essig, D., Lafage, V., & Virk, S. (2025). A comprehensive analysis between disk geometry and posterior muscle characteristics among degenerative spine patients. *Clinical Spine Surgery*, 38(10), 506-512. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000001773>
- Ferraz de Campos, M., Carlos Rodrigues Junior, J., Salatii, T., Maximo Grecco, R., Soares de Souza, I., Mesarocho, A., Rodrigues Andrade, N., Matos Araújo Silva, Y., A. Kallas Bachur, C., & Alexandre Bachur, J. (2023). Percutaneous lumbar discectomy: A systematic review. *Journal of Human Growth and Development*, 33(1), 74-83. <https://doi.org/10.36311/jhgd.v33.14187>
- Marques, R., Silva, A. C., Nogueira, J., Afonso, M., & Duarte, N. (2023). Spinopelvic parameters in the clinical and functional outcomes of patients submitted to lumbar Interbody fusion surgery — A prospective study. *Arquivos Brasileiros de Neurocirurgia: Brazilian Neurosurgery*, 42(03), e210-e219. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1758209>
- Manzetti, M., Ruffilli, A., Barile, F., Fiore, M., Viroli, G., Cappello, L., & Faldini, C. (2022). Sacroiliac joint degeneration and pain after spinal arthrodesis. *Clinical Spine Surgery*, 36(4), 169-182. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000001341>
- Colò, G., Cavagnaro, L., Alessio-Mazzola, M., Zanirato, A., Felli, L., & Formica, M. (2019). Incidence, diagnosis and management of sacroiliitis after spinal surgery: A systematic review of the literature. *Musculoskeletal surgery*, 104(2), 111-123. <https://doi.org/10.1007/s12306-019-00607-0>
- Arima, H., Yamato, Y., Hasegawa, T., Togawa, D., Kobayashi, S., Yasuda, T., & Matsuyama, Y. (2015). Gait analysis after corrective surgery for adult spinal deformity - good sagittal balance with improved lumber lordosis is important. *Scoliosis*, 10(S1). <https://doi.org/10.1186/1748-7161-10-s1-o76>
- Han, G., Wu, H., Dai, J., Li, X., Yue, L., Fan, Z., Li, Q., Shao, Q., Jiang, Y., & Li, W. (2023). Does paraspinal muscle morphometry predict functional status and re-operation after lumbar spinal surgery? A systematic review and meta-analysis. *European Radiology*, 33(8), 5269-5281. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09548-6>
- Amir Rashedi Bonab, M., Kuru Colak, T., Toktas, Z. O., & Konya, D. (2019). Assessment of spatiotemporal gait parameters in patients with lumbar disc herniation and patients with chronic mechanical low back pain. *Turkish Neurosurgery*. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.jtn.27499-19.2>
- Koch, D., Nüesch, C., Ignasiak, D., Aghlmandi, S., Caimi, A., Perrot, G., Prüfer, F., Harder, D., Santini, F., Schären, S., Ferguson, S., Mündermann, A., & Netzer, C. (2023). The role of muscle degeneration and spinal balance in the pathophysiology of lumbar spinal stenosis: Study protocol of a translational approach combining in vivo biomechanical experiments with clinical and radiological parameters. *Plos one*, 18(10), e0293435. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293435>
- Pinto, S. M., Cheung, J. P., Samartzis, D., Karppinen, J., Zheng, Y., Pang, M. Y., Fortin, M., & Wong, A. Y. (2025). Relationship between lumbar Multifidus Morphometry and pain/Disability in individuals with chronic Nonspecific low back pain after considering demographics, fear-avoidance beliefs, insomnia, and spinal degenerative changes. *Jor spine*, 8(2). <https://doi.org/10.1002/jsp2.70071>
- Biçer, B., Şişli, T., Fakioglu, M., Cilli, K., & Gökdemir, C. E. (2022). Non-specific chronic low back pain: Which exercise? Ankara Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 182-198. <https://doi.org/10.33689/spormetre.1069777>
- Dal Farra, F., Lopomo, N. F., Fascia, M., Scalona, E., Cerfoglio, S., & Cimolin, V. (2025). How non-specific low back pain affects gait kinematics: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Pain Research*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpain.2025.1693068>
- Song, S., Cho, N., & Kim, H. (2022). Changes in gait patterns

- after physical therapy in patients with non-specific chronic low back pain: A pilot study. *Physical Therapy Rehabilitation Science*, 11(1), 105-112. <https://doi.org/10.14474/ptrs.2022.11.1.105>
23. Smrcina, Z., Woelfel, S., & Burcal, C. (2022). A systematic review of the effectiveness of core stability exercises in patients with non-specific low back pain. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 17(5). <https://doi.org/10.26603/001c.37251>
 24. Zahraee, M. H., Karimi, M. T., Mostamand, J., & Fatoye, F. (2014). Analysis of asymmetry of the forces applied on the lower limb in subjects with Nonspecific chronic low back pain. *BioMed Research International*, 2014, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2014/289491>
 25. Müller, R., Ertelt, T., & Blickhan, R. (2015). Low back pain affects trunk as well as lower limb movements during walking and running. *Journal of Biomechanics*, 48(6), 1009-1014. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.01.042>
 26. Lamothe, C. J., Daffertshofer, A., Meijer, O. G., & Beek, P. J. (2006). How do persons with chronic low back pain speed up and slow down? *Gait & Posture*, 23(2), 230-239. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.02.006>
 27. Gianola, S., Barger, S., Del Castillo, G., Corbetta, D., Turolla, A., Andreano, A., Moja, L., & Castellini, G. (2021). Effectiveness of treatments for acute and subacute mechanical non-specific low back pain: A systematic review with network meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 56(1), 41-50. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103596>
 28. Loske, S., Nüesch, C., Byrnes, K. S., Fiebig, O., Schären, S., Mündermann, A., & Netzer, C. (2018). Decompression surgery improves gait quality in patients with symptomatic lumbar spinal stenosis. *The Spine Journal*, 18(12), 2195-2204. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.04.016>
 29. Ghent, F., Mobbs, R. J., Mobbs, R. R., Sy, L., Betteridge, C., & Choy, W. J. (2020). Assessment and post-intervention recovery after surgery for lumbar disk Herniation based on objective gait metrics from wearable devices using the gait posture index. *World Neurosurgery*, 142, e111-e116. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.06.104>
 30. Mobbs, R. J., Mobbs, R. R., & Choy, W. J. (2019). Proposed objective scoring algorithm for assessment and intervention recovery following surgery for lumbar spinal stenosis based on relevant gait metrics from wearable devices: The gait posture index (GPI). *Journal of Spine Surgery*, 5(3), 300-309. <https://doi.org/10.21037/jss.2019.09.06>
 31. Perring, J., Mobbs, R., & Betteridge, C. (2020). Analysis of patterns of gait deterioration in patients with lumbar spinal stenosis. *World Neurosurgery*, 141, e55-e59. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.04.146>
 32. Kang, X., Li, K., Li, J., Wei, N., & Yue, S. (2020). Abnormal gait and neuromuscular dysfunction analysis in patients with lumbar disc Herniation. *IFAC-PapersOnLine*, 53(5), 244-249. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.04.104>

Стаття надійшла до редакції 27.05.2026	Отримано після рецензування 20.06.2026	Прийнято до друку 23.06.2026
---	---	---------------------------------

THE EFFECT OF REHABILITATION USING EXERCISE EQUIPMENT AND A VIRTUAL ENVIRONMENT ON GAIT PARAMETERS IN PATIENTS WITH LUMBAR SPINE OSTEOCHONDROSIS

V. A. Staude ^{1,3}, Yu. M. Sluchak ^{1,2}, O. I. Halashko ³, D. S. Zadorozhnyi ¹, O. O. Kuznetsov ^{1,3}

¹ Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

² Kharkiv National Medical University, Ukraine

³ Stepan Gzhytskyi Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies

✉ Volodymyr Staude, MD, DMSc: staudev1@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2959-9208>

✉ Yuliia Sluchak: yuliasluchak904@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-6816-8983>

✉ Oleksandr Halashko: alexgalashko73@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0829-2186>

✉ Dmytro Zadorozhnyi: dmitrik16.07@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-2584-550X>

✉ Oleksandr Kuznetsov: sash.kuznetso@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-2874-5730>