

**І.В. Рой,  
І.К. Бабова,  
Л.О. Драч**

## **БІОМЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ХОДИ У ХВОРИХ ПІСЛЯ ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА**

*ДУ «Інститут травматології та ортопедії АМН України»*

*м. Київ*

*Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України*

*м. Одеса*

**Ключові слова:** *біомеханіка ходи, опорні реакції, ендопротезування кульшового суглоба, рання санаторна реабілітація*

**Key words:** *biomechanics of gait, support reactions, hip joint replacement, early health-resort rehabilitation*

**Резюме.** *В статті представлено динаміку біомеханічних показників ходьби у больних після ендопротезування тазобедренного суглоба, проходивших санаторну реабілітацію в ранньому післяопераційному періоді, в порівнянні з больними, які не проходили ранню санаторну реабілітацію. Використані методики опорних реакцій дозволили об'єктивно оцінити ефективність ранньої санаторної реабілітації та динаміку відновлення порушених функцій тазобедренного суглоба.*

**Summary.** *In the article dynamics of biomechanical data of gait in patients after hip joint replacement who received health-resort rehabilitation in early postoperative period in comparison with patients, who did not undergo early resort rehabilitation is shown. Used methods of support reactions, allowed to objectively estimate effectiveness of early health-resort rehabilitation and dynamics of restoration of hip joint functions.*

Кульшовий суглоб функціонально є особливим, він має значні амплітуди руху у всіх трьох площинах та виконує з'єднувальну роль між усією нижньою кінцівкою та тулубом. Це місце передачі та трансформації усіх зусиль та прискорень, які виникають з кінцівок на тулуб та в зворотному напрямку [2]. У зв'язку з цим порушення функції кульшового суглоба відображається у порушенні ходи хворих.

Біомеханіка є одним з основних методів дослідження локомоторної функції людини, що характеризує зміни у статичі та динаміці [1,3], є найбільш глобальним руховим тестом для об'єктивної оцінки стану опорно-рухового апарату (ОРА) у хворих з патологією кульшового суглоба.

Хо́да – основна функція нижніх кінцівок – являє собою складний циклічний руховий акт, в якому всі фази повторюються від кроку до кроку, створюючи добре сформований руховий стереотип. Рациональні заходи оперативного лікування та реабілітації потребують точних кількісних даних про біомеханічну структуру ходи до та після лікування [4]. Хо́да людини з ушкодженою кінцівкою можлива завдяки великій спроможності організму до компенсаторних пристосувань, адже при хірургічному втручанні відсікається деяка кількість м'язів, які повинні бути компенсовані функціонально і енергетично. Ураження кульшового суглоба супроводжується деформаціями та контрактурами з дискордан-

тними установками кінцівок, які призводять до часткової або повної втрати функції ОРА. Функціональні можливості ураженої кінцівки підтримувати вагу тіла, як правило, знижуються. Це особливо актуально в період одиночної опори, коли змінюються в залежності від патології як силові, так і часові характеристики.

Багатьма авторами показано значне покращення біомеханічних показників ходи після ендопротезування кульшового суглоба, доведена необхідність етапної реабілітації [6,9,11]. Саме аналіз динаміки біомеханічних показників найбільш об'єктивно оцінює ефективність реабілітації хворих після ендопротезування кульшового суглоба [7,8,10], особливо у зв'язку з концепцією раннього навантаження оперованої кінцівки.

### **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Аналіз результатів досліджень опорних реакцій (ОР) у хворих на остеоартроз кульшового суглоба проводили у групі хворих з одностороннім ураженням суглоба (105 хворих). У всіх хворих було проведено ендопротезування кульшового суглоба з цементним способом фіксації ендопротеза в ДУ «Інститут травматології та ортопедії АМН України», м. Київ. Основна група – 75 хворих, які проходили комплексне лікування з етапом ранньої санаторної реабілітації, контрольна – 30 хворих, у реабілітацію яких не входило санаторне лікування. Основна та контрольна групи були співставні за статтю, віком, основною та супутньою патологією.

Дослідження ОР проводили до оперативного лікування, через 2 тижні (при надходженні на етап ранньої санаторної реабілітації) та через 6 тижнів після оперативного лікування (при виписуванні з санаторію). Хворі після ендопротезування кульшового суглоба при ходьбі користувались додатковою опорою – 2 милиці.

Біомеханічні дослідження проводили на базі ДУ «Інститут травматології та ортопедії АМН України», ранню санаторну реабілітацію хворі проходили в спеціалізованому відділенні ДП «Клінічний санаторій «Жовтень» ЗАТ «Укрпрофоздоровниця», м. Київ, за розробленою нами програмою [5].

У дослідженні була використана методика реєстрації ОР, яка дозволяє реєструвати та аналізувати одночасно три складові загальної ОР [2,4]:

- вертикальну складову (силу опори, яка направлена вгору);
- поздовжню складову (силу, яка діє в сагітальній площині в напрямку руху);
- поперечну складову (силу, яка направлена у горизонтально-поперечному напрямку руху). Були визначені силові і часові характеристики ходи

одноопорного періоду – тобто характеристики перекату стопи.

Теоретичною основою даного дослідження є третій закон Ньютона: «дія дорівнює протидії ( $F = -F$ )». Дана взаємодія, непомітна на твердій поверхні, стає очевидною при ходьбі по пружній поверхні.

За допомогою програми "опорні реакції" на моніторі програмно-апаратного комплексу були оброблені графічні та цифрові усереднені дані. Для роботи за методикою ОР було використано тензометричну площину, багатоканальний підсилювач, програмно-комп'ютерний комплекс. Досліджуваний проходив по контактній доріжці під метроном 3 - 4 рази, після чого проводили програмну обробку даних.

Після програмної обробки силових та часових параметрів ОР визначали середні значення по кожній складовій (рис. 1).

Обробку результатів вимірювань за методикою ОР проводили методом математичної статистики з використанням комп'ютерних програм Microsoft Excel – 97 та Statistic for Windows фірми STAT SOFT за допомогою програмно-комп'ютерного комплексу.

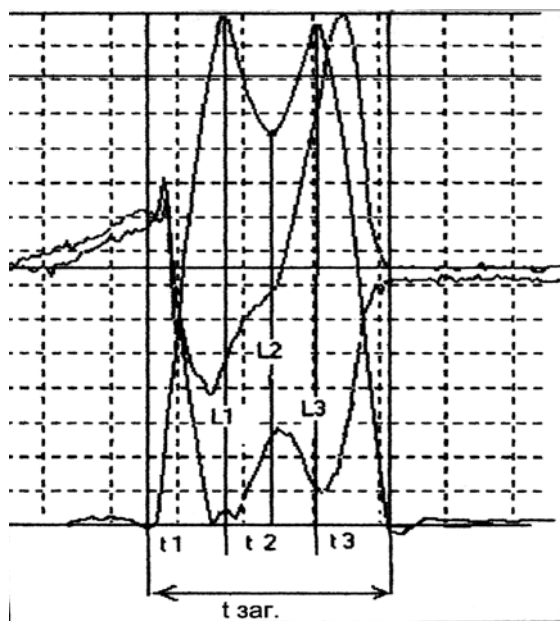


Рис.1. Загальний вигляд графіку кривої опорних реакцій

*часові характеристики:*  $t_{\text{зар}}$  – загальний час опори (у с),  $t_1$  – час опори переднього поштовху (у % до загального часу опори),  $t_2$  – час опори міжпоштовхового періоду (у % до загального часу опори),  $t_3$  – час опори заднього поштовху (у % до загального часу опори); *силові характеристики:*  $L_1$  – максимум переднього поштовху (у % до ваги тіла досліджуваного);  $L_2$  – міжпоштовховий період (у % до ваги тіла досліджуваного);  $L_3$  – максимум заднього поштовху (у % до ваги тіла досліджуваного).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Нами був проведений кількісний аналіз силових та загальних часових характеристик опори патологічної ходи хворих на базі порівняння характеристик вертикальної складової реакцій опори з нормою та здоровою кінцівкою. Потім

методом математичної статистики були розраховані середні арифметичні параметри та оцінений клінічний стан. Для аналізу брали характеристики опори в одноопорну фазу кроку, коли друга кінцівка переноситься над опорою.

Загалом вертикальна складова ОР у всіх хворих мала нетиповий спотворений характер та характеризувалась нестабільними показниками. Так, якщо крива ОР реакцій у нормі має типовий двогорбий характер, то графік вертикальної складової хворих на остеоартроз кульшового суглоба має значно занижені характеристики сили опори переднього та заднього поштовхів, що свідчить про повільне наступання на опору та відштовхування (рис. 2).

У міжпоштовховий період відмічається зміщення мінімальних значень у бік заднього поштовху та значно завищені силові навантаження, і при цьому на графіку динамограми виникають ще додаткові мінімуми, що свідчить про нестабільність кінцівки при опорі та недостатнє використання гравітаційних та інерційних сил. Такі зміни в динаміці ходи відбуваються внаслідок больових відчуттів при навантаженні або відштовхуванні від опори. Хода хворих у цілому здійснюється з використанням додаткової опори – 35-40 % опори припадає на допоміжні засоби опори.

При дослідженні ОР хворої кінцівки в обох групах, як і було відмічено вище, з'являється характерне зниження відносно норми силових характеристик переднього та заднього поштовхів відповідно на 34,6 % та 37,0 %, підвищення силових характеристик міжпоштовхового пері-

оду на 12,4 %. Деформовані фронти максимальних і мінімальних характеристик сили опори та збільшення часу опори на 80,9 % відносно норми свідчить про шадний, кульгаючий характер ходи хворих.

На контрлатеральному боці у хворих також відмічається незначне деформування графіку вертикальної складової реакції опори, значне збільшення загального опорного часу (на 113,5 %) відносно норми та (на 18,0 %) відносно часу опори хворої кінцівки. Розвантажування хворої кінцівки компенсовано збільшенням навантаження протилежної, і тому загальний час опори здорової кінцівки збільшується при збереженні співвідношень елементів внутрішньоопорного періоду. Це нормальний механізм компенсації, який дозволяє здійснювати часткове розвантаження ураженої кінцівки – здорова кінцівка копіює функцію хворої з метою зменшення функціональної асиметрії. Таким чином, здорова кінцівка виконує переважно функцію опори, а хвора – переважно функцію переносу.

Всі ці характеристики вказують на те, що хворі не мають надійної опори при ході – хода хворих має «статичний, кульгаючий» характер. Характеристики опори при ході основної та контрольної групи до оперативного лікування достовірних відмінностей не мали.

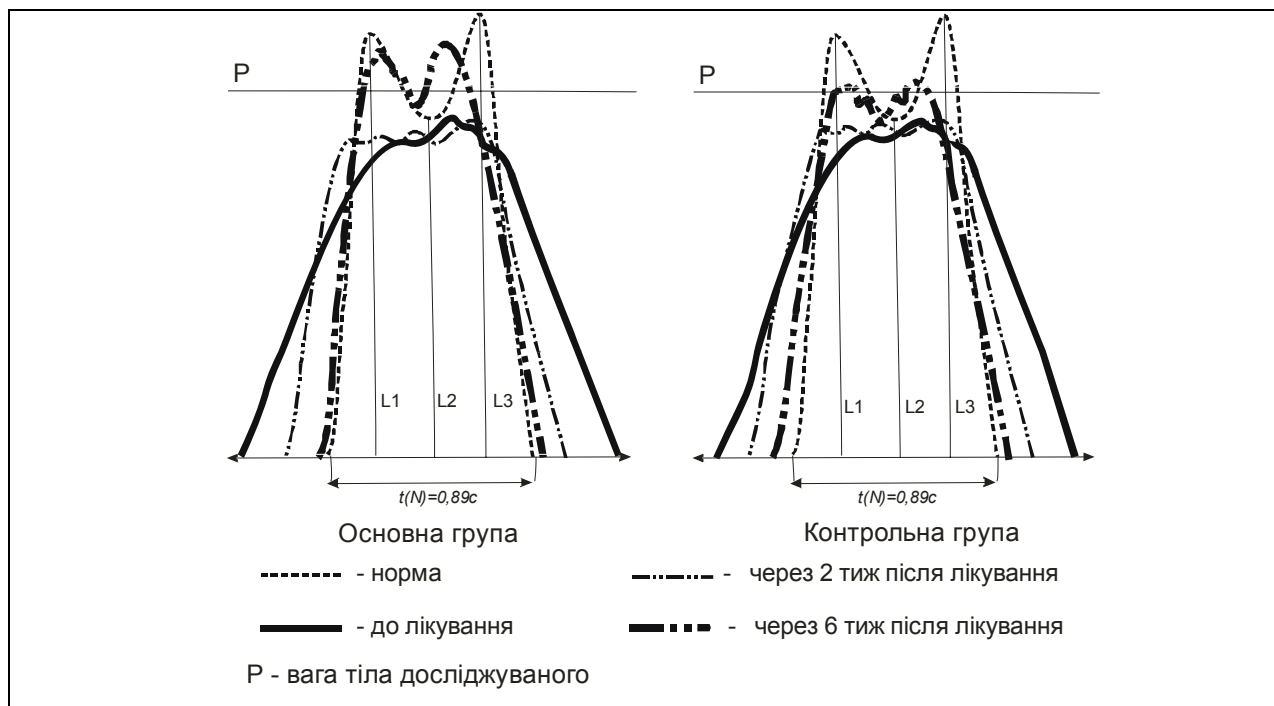


Рис. 2. Схема динаміки ОР у хворих основної та контрольної групи

силові характеристики: L<sub>1</sub> – максимум переднього поштовху (у % до ваги тіла досліджуваного); L<sub>2</sub> – міжпоштовховий період (у % до ваги тіла досліджуваного); L<sub>3</sub> – максимум заднього поштовху (у % до ваги тіла досліджуваного); часові характеристики: t – загальний час опори (с)

Через 2 тижні після ендопротезування кульшового суглоба були відмічені незначні позитивні тенденції змін динамограми вертикальної складової без достовірних відмінностей в обох групах (табл.). Силкові та часові характеристики опори хворої кінцівки мають тенденцію наближення до норми, але практично зберігають ті самі характеристики опори, що і до оперативного втручання: спостерігається незначне збільшення навантаження на передній та задній поштовхи при одночасному збереженні завищених силових навантажень у міжпоштовховий період – (L<sub>1</sub>-86,1%; L<sub>2</sub>-92,1 %; L<sub>3</sub>-87,0 %). Загальні часові характеристики опори хворої кінцівки при ходьбі по динамометричній доріжці до лікування склали (1,61±0,02) с, а через 2 тижні зменшилися лише до (1,49±0,01) с при нормі (0,89±0,05) с, тобто відмічається незначне зростання темпу ходи хворого. Така ж тенденція відмічається і на здоровому боці, але він продовжує виконувати відносно більшу функцію опори, ніж хворий, – час його опори відносно хворої кінцівки ще збільшено в середньому на 19,4 %. Це також підтверджує, що режим функціонування хворої кінцівки забезпечується за рахунок функціонального напруження здорової. Аналогічні зміни були характерні і для хворих

контрольної групи. Загалом після оперативного лікування показники ОР характеризують ходу хворого все ще як «статичну», хворі продовжують використовувати додаткову опору для ходьби (рис. 2).

Через 6 тижнів у хворих основної групи для хворої кінцівки графік динамограми вертикальної складової одноопорного періоду характеризувався значним збільшенням силових навантажень переднього поштовху (L<sub>1</sub>) до 106,8 % та заднього поштовху (L<sub>3</sub>) до 107,8 % при нормі відповідно (L<sub>1</sub>) 108,1 % та (L<sub>3</sub>) 112,7 %, і в той же час значно зменшилось навантаження міжпоштовхового періоду (L<sub>2</sub>) на 8,5 % при збереженні додаткових мінімумів. Загальний час опори становив 1,0 с. Це свідчить про більш значне навантаження оперованої кінцівки та стабільність в одноопорну фазу кроку.

Така сама тенденція відмічається і на здоровому боці, але він продовжував виконувати відносно більшу функцію опори, ніж хворий: час його опори відносно норми був збільшений в середньому на 40,4 %, а відносно хворої кінцівки на 25,0 %. Все це також підтверджує, що режим функціонування хворої кінцівки забезпечується за рахунок функціонального напруження здорової.

**Результати силових та часових характеристик ходи хворих за методикою опорних реакцій до та після лікування ( M±m )**

Показники			L <sub>1</sub> передній поштовх			L <sub>2</sub> міжпоштовховий період			L <sub>3</sub> задній поштовх			t <sub>зар</sub>		
			до лікування		після лікування		до лікування		після лікування		до лікування		після лікування	
			2		6		2		6		2		6	
			тижні			тижні			тижні			тижні		
Групи хворих														
Норма (у % до ваги тіла)			108,1±0,5			81,0±0,5			112,7±0,6			0,89±0,04		
Z	основна група	здорова	104,6±1,5°	105,7±1,3°	108,9±1,7	86,9±1,1°	85,6±1,2°	82,0±1,1*	106,6±1,6°	108,2±1,8	112,0±1,7*	1,90±0,03°	1,78±0,08°	1,25±0,05*°
		хвора	73,5±1,3#°	86,1±3,4#°	106,8±1,9*°	93,4±1,3#°	92,1±1,1#°	83,6±1,5*°	75,7±1,7#°	87,0±2,5#°	107,8±2,3*°	1,61±0,03#°	1,49±0,07#°	1,00±0,01*#°
кон-троль-на група	здорова	здорова	103,9±1,5°	105,2±1,2°	106,3±1,4	87,1±1,5°	86,0±1,2°	84,2±2,3	106,3±1,4°	107,9±2,7	108,4±3,5	1,87±0,05°	1,74±0,1°	1,65±0,07°
		хвора	73,9±1,3#°	87,9±2,9#°	100,2±1,4*#°	94,0±2,1#°	92,3±1,3#°	87,4±2,7°	76,0±1,5#°	86,9±3,2#°	101,5±1,1*#°	1,59±0,02#°	1,48±0,08#°	1,34±0,04*#°

Примітки: Z — вертикальна складова; L<sub>1</sub> - L<sub>3</sub> — силові характеристики опорних реакцій у % до ваги тіла; t<sub>зар</sub> — загальний час опори у сек; \* - достовірність при порівнянні результатів до та після лікування (p < 0,05), ° - достовірність при порівнянні результатів після лікування в основній групі та контрольній групі (p < 0,05), # - достовірність при порівнянні результатів здорової та хворої кінцівки (p < 0,05), ° - достовірність при порівнянні результатів з нормою (p < 0,05)

Загалом графік вертикальної складової реакцій опори після санаторного етапу реабілітації набув вираженого двогорбого характеру (рис. 1), силові та часові характеристики одноопорного

періоду характеризувались позитивними змінами – вони наблизились до норми. Позитивні зміни ОР підтверджують наявність стабільності кінці-

вок при опорі, хода хворих стала більше наближеною до динамічної (табл.).

У контрольної групи хворих через 6 тижнів після оперативного лікування графік вертикальної складової реакції опори хворої кінцівки не мав чітко вираженого двогорбого типу, характеризувався незначним збільшенням силових навантажень переднього поштовху (L1) до 100,2 % та заднього поштовху (L3) до 101,5 %, що в середньому на 6,5 % нижче відповідних показників хворих основної групи, зберігались збільшені відносно норми навантаження міжпоштовхового періоду (L2) на 6,4 % та майже не зникали додаткові мінімуми, що свідчить про недостатню стабільність в одноопорну фазу кроку (рис. 2).

Загальний час опори хворої кінцівки був більше норми на 50,5 % і становив 1,34 с. Загальний опорний час здорової кінцівки був збільшений відносно норми на 85,4 %. Хода хворих залишається наближеною до більш статичного типу (табл.).

Біомеханічні дослідження за методикою ОР дозволили визначити ступінь порушень показників функції ОРА у хворих на остеоартроз кульшового суглоба, а також оцінити ефективність проведеного лікування із застосуванням етапу ранньої санаторної реабілітації і простежити динаміку відновлення порушених функцій. Аналіз результатів досліджень хворих виявив, що силові та часові параметри ОР знаходились у прямій залежності від опороздатності нижніх кінцівок та відповідали їх порушенням. Деформація графіку вертикальної складової реакції опори відносно норми є результатом прояву компенсаторно-приспосувальних механізмів, дозволяючих оптимізувати стереотип ходи хворого при наявності патології ОРА нижніх кінцівок.

Прогресування нестабільності біомеханічних параметрів при патологічній ході відбувається внаслідок порушення аферентації із суглобових та м'язових поверхонь. Патологія суглобів сприяє деформації суглобових поверхонь та пору-

шенню пропріоцептивної імпульсації з них. Одночасно больові відчуття призводять до розвантаження кінцівки з ураженням суглобом, наслідком чого знижується її опороздатність та виникає послаблення біомеханічних функцій м'язів кінцівки в руховому акті.

Після лікування відчуття болю припиняється, і хворий починає більше навантажувати уражену кінцівку, що призводить до збільшення її опорності і покращує аферентацію з м'язових рецепторів. Покращення потоку аферентної інформації приводить до зменшення нестабільності біомеханічних параметрів ходи, таким чином відбувається зменшення корекційних рухів, направлених на стабілізацію стереотипу ходи хворого. Одночасно покращення функціонального стану м'язів ураженої кінцівки сприяє нормалізації форми вертикальної складової реакції опори за рахунок більш раціонального використання поєднання м'язових, інерційних та гравітаційних сил.

Підвищення темпу ходи хворого після лікування, а саме: скорочення часу опори та перерозподіл силових навантажень, свідчить про покращення функціонального стану м'язів нижніх кінцівок.

Після проведеного комплексного лікування із застосуванням санаторної реабілітації параметри досліджень ходи обох нижніх кінцівок змінюються, наближуючись до норми, що свідчить про позитивну динаміку лікування. Часові показники ще не відповідають нормі, але хода хворих стала більш динамічною, при цьому здоровий бік продовжує виконувати відносно більшу функцію опори, що пов'язано з невеликим терміном між дослідженнями.

#### ПІДСУМОК

Таким чином, використані методики опорних реакцій дозволили об'єктивно оцінити ефективність ранньої санаторної реабілітації та динаміку відновлення порушених функцій кульшового суглоба.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Белова А.Н. Руководство по реабилитации больных с двигательными нарушениями. Т. 1 / А.Н. Белова, О.Н. Щепетова – М.: Антидор, 1998. – 224 с.
2. Богданов В.А. Биомеханика локомоций человека / В.А. Богданов, В.С. Гурфинкель // Физиология движений: Руководство по физиологии. – Л., 1976. – С. 276-315.
3. Надеев Ал.А. Рациональное эндопротезирование тазобедренного сустава / Ал.А. Надеев, А.А. Надеев, С.В. Иванников [и др.]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 239 с.
4. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений: Анализ походки / Д.В. Скворцов. – М., 1996. – 343с.
5. Стани після травм та оперативних втручань на органах опори та руху / Г.В. Гайко, І.К. Бабова, І.В. Рой [та ін.] // Лікувальна фізкультура в санаторно-курортних закладах / за ред. Л.І.Фісенко. – К.: Купріянова, 2005. – С. 332-343.
6. Brander V. Rehabilitation after hip- and knee-joint replacement: an experience- and evidence-based approach to care / V. Brander, S.D. Stulberg // Am. J.

Phys. Med. Rehabil. – 2006. – Vol. 85, Suppl. – S.98-S.118.

7. Brander V.A. Rehabilitation after total joint replacement for osteoarthritis: An evidence-based approach / V.A. Brander, C.F. Mullarkey, S.D. Stulberg // Physical Med. Rehabilitation. – 2001. – Vol. 15, N 1. – P. 175-197.

8. Cane-assisted gait biomechanics and electromyography after total hip arthroplasty / S. Ajemian, D. Thon, P. Clare [et al.] // Arch. Phys. Meed. Rehabil. – 2004. – Vol. 85. – P. 1966-1971.

9. Dohnke B. Perceived self-efficacy gained from, and health effects of, a rehabilitation program after hip

joint replacement / B. Dohnke, B. Knauper, W. Muller-Fahrnow // Arthritis Rheum. – 2005. – Vol. 53. – P. 585-592.

10. Illyes A. Gait analysis of patients with osteoarthritis of the hip joint / A. Illyes, R.M. Kiss // Facta Universitatis: Physical Education and Sport. – 2005. – Vol. 3, N 1. – P. 1-9.

11. Physical Medicine and Rehabilitation // Principles and Practice / Fourth Edition edited by Joel A. DeLisa and Bruce M. Gans. – Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers, 2005. – Vol. 1. – P. 855-872.

