

ОГЛЯДИ ТА РЕЦЕНЗІЇ

УДК 616.728.2/.3-089.23-089.168:615.84](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872021267-72>**Доцільність раннього призначення нейром'язової електричної стимуляції після ортопедичних операцій на кульшових і колінних суглобах (огляд літератури)****Н. Ю. Притула, І. Ф. Федотова**

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

Every year the number of cases of anterior cruciate ligament reconstruction, total hip and knee arthroplasty increases. This leads to the improvement of rehabilitation protocols for patients after surgery to quickly restore normal range of motion and return to normal life. Objective. Provide physical therapists with an evidence-based resource that can guide clinical decision making, thereby enabling clinicians to make effective use of electrical stimulation to improve muscle function in patients after orthopedic operations and increase awareness of the range of applications for neuromuscular electrical stimulation (NMES). Methods. Electronic databases PMC, PUBMED and SCOPUS were used to search the relevant literature, which was published in the period from the creation of databases to December 2020. Additional articles were identified by analyzing bibliographies in systematic reviews. We have reviewed the full text of selected articles to confirm that all included studies meet the stated objectives of the review. Results. In patients after orthopedic surgery on the hip and knee joints, the inclusion of NMES in standard physical therapy significantly increases the strength of the quadriceps muscle compared to conventional physical therapy. Early activation can be helpful to avoid suppression of quadriceps function and atrophy, provide the patient with the most effective course of rehabilitation, and return to active life after anterior cruciate ligament reconstruction or knee arthroplasty. It is also advisable to use NMES as an alternative mechanical prevention of deep vein thrombosis and edema in the early period after hip arthroplasty. In the presented studies, patients tolerated NMES well even when it initiated on 1–2 postoperative days. However, no standardized NMES protocols reported in the literature, so the choice of stimulation parameters is at the discretion of the physician and usually depends on the individual tolerability of the patients. Key words. Neuromuscular electrical stimulation, anterior cruciate ligament reconstruction, arthroplasty, hip joint, knee joint.

Щорічне збільшення випадків виконання операцій реконструкції передньої схрещеної зв'язки, тотального ендопротезування кульшового та колінного суглобів обумовлює вдосконалення протоколів реабілітації пацієнтів після хірургічного втручання для швидшого відновлення нормального обсягу рухів і повернення до звичного способу життя. Мета. Надання доказового ресурсу, який може дозволити клініцистам ефективно використовувати електричну стимуляцію для поліпшення функції м'язів у пацієнтів після ортопедичних операцій і збільшити обізнаність щодо сфери застосувань нейром'язової електричної стимуляції (НМЕС). Методи. Електронні бази даних PMC, PUBMED і SCOPUS застосовано для пошуку відповідної літератури, яка була опублікована в період від створення баз до грудня 2020 року. Додаткові статті виявлено шляхом аналізу бібліографій у систематичних оглядах. Переглянуто повні тексти обраних статей, щоб підтвердити, що всі включені дослідження відповідають меті огляду. Результати. У хворих після ортопедичних операцій на кульшових і колінних суглобах включення НМЕС до стандартної фізичної терапії дає змогу суттєво збільшити силу чотириголового м'яза стегна порівняно зі звичайною фізичною терапією. Рання активація може бути корисною для уникнення пригнічення функції й атрофії чотириголового м'яза, забезпечення пацієнта найефективнішим курсом реабілітації та повернення до активного способу життя після реконструкції передньої схрещеної зв'язки чи ендопротезування колінних суглобів. Також доцільно використовувати НМЕС як альтернативну механічну профілактику тромбозу глибоких вен і набряку в ранньому періоді після ендопротезування кульшового суглоба. У проаналізованих роботах відмічено, що пацієнти добре переносили призначення НМЕС на 1–2-й день після операції. Проте протоколи НМЕС дуже відрізняються, тому вибір параметрів стимуляції залишається на розсуд лікаря та, зазвичай, залежить від толерантності до стимуляції пацієнта.

Ключові слова. Нейром'язова електрична стимуляція, реконструкція передньої схрещеної зв'язки, ендопротезування, кульшовий суглоб, колінний суглоб

Вступ

Кожного року зростає частота виконання операцій реконструкції передньої схрещеної зв'язки (ПСЗ) [1] і тотального ендпротезування кульшового та колінного суглобів [2].

Виникає необхідність постійного вдосконалення протоколів реабілітації пацієнтів після хірургічних втручань, щоб вони мали можливість швидше відновити нормальний обсяг рухів і повернутися до якісного життя. Використання неінвазивної нейром'язової електричної стимуляції (НМЕС) як доповнення до стандартних реабілітаційних програм має широкий діапазон застосування.

У 2017 році у відповідь на запити фізіотерапевтів про рекомендації щодо оптимальної стимуляції м'язів за допомогою НМЕС, проведено огляд і синтез ключових даних із літератури шістьма канадськими викладачами фізичної терапії, клініцистами та дослідниками в галузі електрофізичних агентів [3]. Клінічна ортопедична практика свідчить, що в реабілітації пацієнтів після реконструкції ПСЗ і тотального ендпротезування кульшового та колінного суглобів починати НМЕС доцільно на 1–2-й післяопераційний день (ПОД). Але в наведених джерелах літератури застосування НМЕС було спрямоване лише на зміцнення та посилення чотириголових м'язів стегна. Ми провели детальніший аналіз і розглянули ефективність раннього призначення НМЕС для таких станів: профілактика тромбоемболічних ускладнень після операцій на нижніх кінцівках, зміцнення м'язів і збільшення їхньої сили, зменшення післяопераційного набряку.

Мета статті: надання доказового ресурсу, який може дозволити клініцистам ефективно використовувати електричну стимуляцію для поліпшення функції м'язів у пацієнтів після ортопедичних операцій і збільшити обізнаність щодо сфери застосувань нейром'язової електричної стимуляції.

Матеріал і методи

Три електронні бази даних (PMC, PUBMED і SCOPUS) використано для пошуку відповідної літератури, опублікованої в період від створення баз даних до грудня 2020 року. Додаткові статті виявлено шляхом аналізу бібліографій у систематичних оглядах. Ми переглянули повний текст обраних статей, щоб підтвердити, що всі включені дослідження відповідають меті огляду.

Результати та їх обговорення

Реконструкція передньої схрещеної зв'язки

Атрофія та слабкість м'язів неминуче виникають після травми ПСЗ, тому фізично активні особи найчастіше потребують реконструкції зв'язки для відновлення стійкості колінного суглоба, поліпшення функції нижніх кінцівок і повернення до звичного способу життя [4]. Через обмеження рухів та іммобілізацію після операції пацієнтові необхідні додаткові методи ранньої активації м'язів. У разі недосконало проведеної реабілітації ускладнення, спричинені зменшенням сили м'язів, призводять до незадоволення результатами операції та можуть прискорити прогресування артрозу [5] або повторного ушкодження зв'язки [6], тому поліпшення м'язової сили — головна мета, яку слід досягти на ранніх етапах реабілітації після реконструкції ПСЗ.

В опублікованих дослідженнях застосовували такі параметри стимуляції: форма хвилі — моно- [7], двофазний імпульсний [7–10] чи змінний струм [11]; використовували частоти — 20–50 Гц імпульсного струму, 2 500 Гц змінного; тривалість імпульсу — 150–400 мкс [7, 8, 10, 12], час ON:OFF (чергування посилення струму та пауз) — 5–10:2–110 с. Амплітуду встановлювали з урахуванням реакції пацієнта.

I. Wigerstad-Lossing та співавт. [12] розпочали НМЕС на 2-й ПОД (тривалість сеансу 40 хв, 3 рази на тиждень, 6 тижнів). Вони повідомили, що серед пацієнтів, які одержували НМЕС протягом періоду іммобілізації після реконструкції ПСЗ, втрата ізометричної сили (39 %) і зменшення площі поперечного перерізу чотириголового м'яза стегна (23 %) були значно меншими, ніж у контрольній групі (КГ) (58 і 29 % відповідно). Також збільшення відносної площі м'язових волокон типу 2 порівняно з типом 1 свідчить про інтенсивніше скорочення м'язів у пацієнтів, які отримували НМЕС. Підсумовуючи результати дослідження, автори відмітили, що НМЕС у поєднанні з довільним скороченням м'язів під час сеансу терапії суттєво захищає від атрофії та запобігає розвитку вторинної слабкості м'язів.

A. F. Anderson і A. B. Lipscomb [8] відібрали 100 пацієнтів, яким виконано реконструкцію ПСЗ за однаковою методикою та розділили їх на 5 груп, щоб визначити ефекти різних методів лікування (деякі в поєднанні): черезшкірна електрична стимуляція нервів (ЧЕНС), іммобілізація в стані флексії або екстензії, електрична міостимуляція (ЕМС) і тренування за допомогою

пасивних рухів. Починали електростимуляцію на 1-й ПОД. Довільне скорочення м'язів одночасно з ЕМС не проводили. Недоліком був дуже вимогливий протокол — 10 год на день упродовж 12 тижнів, тому 5 пацієнтів не завершили дослідження. Використання ЕМС не зменшило атрофію, але було ефективним щодо мінімізації зниження сили, яке відбувається під час іммобілізації. Несподіваною перевагою виявився вагомо більший обсяг рухів у пацієнтів після ЕМС порівняно з групами пасивних тренувань і значне зменшення частоти наколінково-стегнової кріпачі порівняно з усіма групами.

D. P. Currier і співавт. [9] поєднали використання НМЕС та імпульсного електромагнітного поля (ІЕМП). Вони розподілили 17 пацієнтів на три групи: I — НМЕС (n = 7), II — НМЕС/ІЕМП (n = 7), III — контрольна (n = 3). Терапія НМЕС була розпочата на 1-й ПОД (тривалість сеансу 30 хв, 3 рази на тиждень, 6 тижнів) в обох групах. ІЕМП додали до протоколу на 4-й день. Для визначення ефективності оцінювали величину окружності стегна до та через 6 тижнів після операції. У I і II групах однаково добре зменшувався цей показник, але у II групі пацієнти витримували більшу інтенсивність стимуляції.

S. Hasegawa і співавт. [11] дослідили вплив електричної стимуляції на профілактику м'язової атрофії у 20 пацієнтів на ранній стадії реабілітації після реконструкції ПСЗ. Хворих у випадковий спосіб розподілили на дві групи — контрольну (n = 10) та НМЕС (n = 10). Пацієнти контрольної групи брали участь лише у звичайній реабілітаційній програмі. У другій групі на додаток до цього протоколу використовували НМЕС із 2-го ПОД до 4 тижнів після операції (тривалість сеансу 20 хв, 5 разів на тиждень). Стимулювали чотириголовий і задню групу м'язів стегна, передній великогомілковий і триголовий м'язи литки оперованої ноги. У результаті зниження м'язової сили чотириголового м'яза оперованої кінцівки виявилось значно меншим у групі НМЕС (1,2 %), порівняно з контрольною (39,2 %) через 4 тижні після операції. Коефіцієнт відновлення в групі НМЕС був вищим, ніж у контролі через 3 місяці. Автори вважають, що різниця м'язової сили між групами зумовлена профілактикою атрофії шляхом застосування НМЕС протягом 4 тижнів.

M. J. Toth і співавт. [7] опублікували результати рандомізованого, засліпленого, плацебо-контрольованого дослідження, в якому всебічно вивчено ефекти НМЕС щодо збереження розміру та функції скелетних м'язів. Аналізували результати білатеральної біопсії латерального широкого м'яза стегна. Терапію з НМЕС починали якомога раніше, але не пізніше 3-го ПОД. Тривалість сеансу 60 хв, 5 разів на тиждень, протягом 3 тижнів. Показано, що раннє застосування НМЕС сприяло зменшенню атрофії скелетних м'язових волокон у важких ланцюгах міозину (myosin heavy chain — МНС) II та збереженню скоротливості у волокнах МНС I. Отримані результати демонструють корисність раннього застосування НМЕС для зменшення атрофії та збільшення сили скорочень чотириголового м'яза стегна.

Ендопротезування кульшового суглоба

Тотальне ендопротезування кульшового суглоба є загальноновизнаним успішним хірургічним втручанням на пізніх стадіях артрозу. Розвиток і вдосконалення хірургічних методик, стратегій управління болем і посиленої реабілітації після операції сприяють покращенню результатів функціонального відновлення суглобів [10]. Проте пацієнти в післяопераційному періоді можуть мати ускладнення: зменшення сили м'язів, набряк оперованої кінцівки, тромбоз вен нижніх кінцівок. Досвід сучасної фізіотерапії свідчить, що включення в стандартні реабілітаційні програми НМЕС може ефективно зменшувати прояви ускладнень.

У літературі виявлено два невеликі рандомізовані клінічні дослідження впливу НМЕС на чотириголовий м'яз стегна після ендопротезування кульшового суглоба. В одному використанні НМЕС починали через 2 тижні після операції [13], у другому [14] порівнювали ефективність стандартної реабілітації, НМЕС та однобічного тренування опору. При цьому використання НМЕС починали з 1-го ПОД протягом 12 тижнів. Параметри стимуляції: форма хвилі — двофазний імпульсний струм, частота — 40 Гц, тривалість імпульсу — 250 мкс, час ON:OFF — 10:20 с, амплітуда — максимальна, яку пацієнт може витримати, тривалість сеансу — 60 хв. Визначено, що функціональна активність м'язів зростала після НМЕС на 15 % більше, ніж у групі стандартної реабілітації [14].

У перші два тижні після тотального ендопротезування кульшового суглоба існує високий ризик розвитку тромбозу глибоких вен, а пік їхнього виникнення найчастіше спостерігають через 1–3 дні. Ураховуючи це, разом із фармакологічними заходами для покращення венозного кровообігу нижніх кінцівок ефективно застосовують компресійні панчохи та НМЕС.

У двох дослідженнях використано НМЕС одразу після операції для стимуляції литкових м'язів обох кінцівок (оперованої та неоперованої) протягом 4 год [15, 16]. В. J. Broderick і співавт. [16] вивчали, чи застосування НМЕС збільшує венозний відтік від нижньої кінцівки в умовах спокою в ранні терміни після ендопротезування та наскільки пацієнти можуть переносити розширений сеанс НМЕС. Параметри стимуляції: форма хвилі — двофазний імпульсний струм, частота — 36 Гц, тривалість імпульсу — 350 мкс, амплітуда — поступове збільшення до виникнення невеликого згинання стопи. Електроди встановлювали під компресійні панчохи. Автори виявили сприятливу гемодинамічну реакцію на НМЕС у пацієнтів у ранньому післяопераційному періоді (збільшення пікової та середньої венозної швидкості, об'ємного потоку в нижніх кінцівках порівняно зі станом спокою). Усі учасники легко переносили чотиригодинний сеанс НМЕС.

У 2017 році проведено клінічне спостереження, де оцінено ефект застосування портативного прилада НМЕС для профілактики тромбозу глибоких вен [17]. Після операції НМЕС починали застосовувати протягом перших 24 год, курс лікування складав 3 дні. Зазвичай, використовували інтенсивність на рівні 3–4 (згідно з інструкцією з експлуатації пристрою), залежно від толерантності пацієнта до стимуляції, з поступовим збільшенням інтенсивності. Встановлено, що використання НМЕС сприяло збільшенню кровотоку в глибоких венах нижньої кінцівки, розширенню кровоносних судин та ефективному зниженню частоти тромбозу глибоких вен.

Пізніше було завершено рандомізоване клінічне дослідження, де порівняно ефективність використання портативного прилада НМЕС та компресійних панчіх [18] для профілактики тромбозу глибоких вен у пацієнтів після планової заміни кульшового суглоба. Оцінювали також гемодинамічні реакції на дію прилада, набряки нижніх кінцівок, діапазон рухів стегна, виконували тести Sit to Stand та Timed Up and Go. У групі пацієнтів зі застосуванням компресійних панчіх за допомогою методики доплерографії судин через 48 год після операції виявлено два випадки безсимптомного тромбозу глибоких вен. У хворих, яким використано НМЕС, визначено загальну тенденцію до зменшення набряку в післяопераційному періоді, водночас об'єм ніг залишався, в основному, незмінним у групі зі застосуванням компресійних панчіх. Крім того, у групі НМЕС виявлено позитивні гемодинамічні ефекти в контралатераль-

ній кінцівці. Показники Timed Up and Go тесту були кращими у групі з НМЕС: (150 ± 152) % проти (363 ± 257) % у разі компресійних панчіх ($p = 0,03$). Будь-які відмінності в оцінках Sit to Stand у стегнах не встановлені.

На користь використання НМЕС для зменшення післяопераційного набряку також свідчать результати іншого клінічного дослідження [19], в якому проаналізовані показники 40 учасників, яким лікування з використанням НМЕС ($n = 20$) або компресійних панчіх ($n = 20$) починали на 2-й ПОД. Для оцінювання результату вимірювали об'єм щиколотки, коліна та стегна обох нижніх кінцівок до, одразу після та через два дні після операції, потім — кожен день до виписки. НМЕС продемонструвала більший клінічний ефект у зменшенні набряків порівняно з використанням компресійних панчіх.

Ендопротезування колінного суглоба

Тотальне ендопротезування колінного суглоба успішно знімає біль і покращує функції в пацієнтів з остеоартрозом, хоча відновлення сили та функцій чотириголового м'яза може відбуватися протягом тривалого часу [20]. НМЕС уже багато років застосовують як доповнення до традиційної реабілітації хворих, оскільки може забезпечити ефективніше збільшення сили та зменшення дефіциту центральної активації чотириголового м'яза, ніж виконання лише спеціальних вправ.

У наведених дослідженнях використано такі параметри стимуляції: форма хвилі — двофазний імпульсний струм, частота — 35–100 Гц, тривалість імпульсу — 250–600 мкс, час ON:OFF — 8–15:8–45 с, амплітуда — індивідуальна, максимально допустима. Зокрема, R. S. Gotlin і співавт. [21] виконували НМЕС з 1-го ПОД (2 рази на день, протягом 60 хв) одночасно з безперервним пасивним рухом на тренажері (основна група) та порівнювали ефективність електростимуляції з виконанням лише звичайної фізіотерапії (контрольна). У суб'єктів основної групи зменшилось обмеження функції розгиначів від $7,5^\circ$ до $5,7^\circ$, а в контрольній, навпаки, показники зросли від $5,3^\circ$ до $8,3^\circ$. Також тривалість перебування у лікарні хворих, які одержували НМЕС, була меншою порівняно з контролем (6,7 днів проти 7,4).

Продемонстровано, що призначення НМЕС із 2-го ПОД (2 рази на день, тривалість сеансу 2 год) сприяє суттєвому збільшенню дистанції та швидкості ходьби через 6 (НМЕС — 176,1 м, контроль — 151,7 м), і 12 (НМЕС — 188,2 м, контроль — 155,9 м) тижнів після операції [22].

Р. Е. Mintken і співавт. [23] подали звіт про клінічний випадок, де призначення НМЕС з 2-го ПОД тривалістю 6 тижнів привело до поліпшення функцій чотириголового м'яза стегна та позитивних результатів за шкалами Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), SF-36 Physical Component Score та тестами Timed Up and Go, 6-хвилинної ходьби та підйому сходами.

І. Е. Stevens-Lapsley і співавт. [24] довели, що раннє призначення НМЕС (з 2-го ПОД протягом 6 тижнів, 2 рази на день, тривалість сеансу 30 хв) суттєво зменшило втрату сили чотириголового м'яза та покращило функціональні показники після ендопротезування колінного суглоба. Ефекти були найбільш вираженими та клінічно значущими протягом першого місяця після операції, та зберігалися протягом року. Під час реабілітації пацієнтам необхідно докласти зусилля, щоб витримати максимально можливу інтенсивність НМЕС для досягнення покращення сили чотириголового м'яза. Зазвичай, виконують декілька сеансів, щоб хворий міг звикнути до інтенсивності стимуляції [25].

В авторському рукописі оцінили ефективність призначення НМЕС для зменшення дефіциту активації чотириголового м'яза [26]. Лікування розпочинали протягом 48 год після операції та продовжували шість тижнів. Визначено, що особи, які отримували НМЕС, мали більшу силу чотириголового м'яза, ширший діапазон рухів у колінних суглобах і функціональну ефективність, ніж контрольна група. Раннє відновлення сили чотириголового м'яза шляхом протидії розвитку дефіциту активації сприяло довгостроковому покращенню функціональних показників у пацієнтів, які отримували НМЕС.

Інше рандомізоване клінічне дослідження доводить, що раннє призначення НМЕС разом зі стандартним протоколом реабілітації є ефективнішим для забезпечення зниження болю в ділянці колінного суглоба, збільшення відстані ходьби та покращення якості життя. У групі НМЕС показники пасивного діапазону рухів у колінних суглобах, оцінка Timed Up and Go тесту, Western Ontario McMaster Osteoarthritis Index (WOMAC) та Short-Form 36 були кращими, ніж у пацієнтів контрольної групи [27].

Висновки

У хворих після ортопедичних операцій на кульшових і колінних суглобах включення НМЕС до стандартної фізичної терапії суттєво збільшує силу чотириголового м'яза. Рання активація може

бути корисною для уникнення пригнічення електрозбудливості й атрофії чотириголового м'яза, забезпечуючи пацієнтові найефективніший курс реабілітації та повернення до активного життя після реконструкції ПСЗ та ендопротезування колінних суглобів. Також доцільно використання НМЕС як альтернативної механічної профілактики тромбозу глибоких вен і набряку в ранньому післяопераційному періоді після ендопротезування кульшових суглобів. Пацієнти, згідно зі сучасними стандартами, після ортопедичних операцій приймають антикоагуляційну терапію. У розглянутій літературі не повідомлено про наявність побічних реакцій у вигляді кровотеч, проте необхідно призначати НМЕС після гемодинамічної стабілізації пацієнта. У проаналізованих дослідженнях хворі добре переносили призначення НМЕС на 1–2-й ПОД. Проте протоколи НМЕС дуже відрізняються, тому вибір параметрів стимуляції віддається на розсуд лікаря та, зазвичай, залежить від толерантності до стимуляції пацієнтами.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури

1. Trends in incidence of ACL reconstruction and concomitant procedures among commercially insured individuals in the United States, 2002-2014 / M. M. Herzog, S. W. Marshall, J. L. Lund [et al.] // *Sports Health*. — 2018. — Vol. 10 (6). — P. 523–531. — DOI: 10.1177/1941738118803616.
2. Trends in total knee and hip arthroplasty recipients: a retrospective cohort study / J. Liu, L. Wilson, J. Poeran [et al.] // *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. — 2019. — Vol. 44 (9). — P. 854–859. — DOI: 10.1136/rapm-2019-100678.
3. Neuromuscular electrical stimulation for treatment of muscle impairment: critical review and recommendations for clinical practice / E. L. Nussbaum, P. Houghton, J. Anthony [et al.] // *Physiotherapie Canada*. — 2017. — Vol. 69 (5). — P. 1–76. — DOI: 10.3138/ptc.2015-88.
4. Kaeding C. C. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries / C. C. Kaeding, B. Leger-St-Jean, R. A. Magnussen // *Clinics in Sports Medicine*. — 2017. — Vol. 36 (1). — P. 1–8. — DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.001.
5. Effects of strength training on the incidence and progression of knee osteoarthritis / A. E. Mikesky, S. A. Mazzuca, K. D. Brandt [et al.] // *Arthritis & Rheumatism*. — 2006. — Vol. 55 (5). — P. 690–699. — DOI: 10.1002/art.22245.
6. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study / H. Grindem, L. Snyder-Mackler, H. Moksnes [et al.] // *British Journal of Sports Medicine*. — 2016. — Vol. 50 (13). — P. 804–808. — DOI: 10.1136/bjsports-2016-096031.
7. Utility of neuromuscular electrical stimulation to preserve quadriceps muscle fiber size and contractility after anterior cruciate ligament injuries and reconstruction: a randomized, sham-controlled, blinded trial / M. J. Toth, T. W. Tourville, T. B. Voigt [et al.] // *The American Orthopaedic Society for Sports Medicine*. — 2020. — Vol. 48 (10). — P. 2429–2437. — DOI: 10.1177/0363546520933622.
8. Anderson A. F. Analysis of rehabilitation techniques after

- anterior cruciate reconstruction / A. F. Anderson, A. B. Lipscomb // *The American Journal of Sports Medicine*. — 1989. — Vol. 17 (2). — P. 154–160. — DOI: 10.1177/036354658901700203.
9. Effects of electrical and electromagnetic stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction / D. P. Currier, J. M. Ray, J. Nyland [et al.] // *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. — 1993. — Vol. 17 (4). — P. 177–184. — DOI: 10.2519/jospt.1993.17.4.177.
 10. Enhanced recovery in total hip replacement: a clinical review / M. S. Ibrahim, H. Twaiji, D. E. Giebaly [et al.] // *The Bone & Joint Journal*. — 2013. — Vol. 95-B (12). — P. 1587–1594. — DOI: 10.1302/0301-620X.95B12.31303.
 11. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction / S. Hasegawa, M. Kobayashi, R. Arai [et al.] // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. — 2011. — Vol. 21 (4). — P. 622–630. — DOI: 10.1016/j.jelekin.2011.01.005.
 12. Effects of electrical muscle stimulation combined with voluntary contractions after knee ligament surgery / I. Wigerstad-Lossing, G. Grimby, T. Jonsson [et al.] // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. — 1988. — Vol. 20 (1). — P. 93–98. — DOI: 10.1249/00005768-198802000-00014.
 13. Low-frequency electric muscle stimulation combined with physical therapy after total hip arthroplasty for hip osteoarthritis in elderly patients: a randomized controlled trial / V. Gremeaux, J. Renault, L. Pardon [et al.] // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. — 2008. — Vol. 89 (12). — P. 2265–2273. — DOI: 10.1016/j.apmr.2008.05.024.
 14. Resistance training in the early postoperative phase reduces hospitalization and leads to muscle hypertrophy in elderly hip surgery patients — a controlled, randomized study / C. Suetta, S. P. Magnusson, A. Rosted [et al.] // *Journal of the American Geriatrics Society*. — 2004. — Vol. 52. — P. 2016–2022. — DOI: 10.1111/j.1532-5415.2004.52557.x.
 15. Hemodynamic performance of NMES in the early postoperative period following orthopaedic surgery / B. J. Broderick, O. Breathnach, E. Masterson [et al.] // *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. — Boston, MA, 2011. — P. 7630–7633.
 16. Haemodynamic performance of neuromuscular electrical stimulation (NMES) during recovery from total hip arthroplasty / B. J. Broderick, O. Breathnach, F. Condon [et al.] // *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. — 2013. — Vol. 8. — DOI: 10.1186/1749-799X-8-3.
 17. Clinical observation of neuromuscular electrical stimulation in prevention of deep venous thrombosis after total hip replacement / L. Jingwei, Z. Zhe, L. Xuesong [et al.] // *Chinese Journal of Bone and Joint Injury*. — 2017. — Vol. 32 (6). — P. 615–616.
 18. Wainwright T. W. A single-centre feasibility randomised controlled trial comparing the incidence of asymptomatic and symptomatic deep vein thrombosis between a neuromuscular electrostimulation device and thromboembolism deterrent stockings in post-operative patients recovering from elective total hip replacement surgery / T. W. Wainwright, L. C. Burgess, R. G. Middleton // *Surgical Technology International*. — 2020. — Vol. 36. — P. 289–298.
 19. Wainwright T. W. A feasibility randomised controlled trial to evaluate the effectiveness of a novel neuromuscular electrostimulation device in preventing the formation of oedema following total hip replacement surgery / T. W. Wainwright, L. C. Burgess, R. G. Middleton // *Heliyon*. — 2018. — Vol. 4 (7). — Article ID: e00697. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e00697.
 20. Bade M. J. Outcomes before and after total knee arthroplasty compared to healthy adults / M. J. Bade, W. M. Kohrt, J. E. Stevens-Lapsley // *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. — 2010. — Vol. 40 (9). — P. 559–567. — DOI: 10.2519/jospt.2010.3317.
 21. Electrical stimulation effect on extensor lag and length of hospital stay after total knee arthroplasty / R. S. Gotlin, S. Hershkowitz, P. M. Juris [et al.] // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. — 1994. — Vol. 75 (9). — P. 957–959.
 22. Effectiveness of electric stimulation of the vastus medialis muscle in the rehabilitation of patients after total knee arthroplasty / K. Avramidis, P. W. Strike, P. N. Taylor, I. D. Swain // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. — 2003. — Vol. 84 (12). — P. 1850–1853. — DOI: 10.1016/s0003-9993(03)00429-5.
 23. Early neuromuscular electrical stimulation to optimize quadriceps muscle function following total knee arthroplasty: a case report / P. E. Mintken, K. J. Carpenter, D. Eckhoff [et al.] // *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. — 2007. — Vol. 37 (7). — P. 364–371. — DOI: 10.2519/jospt.2007.2541.
 24. Early neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps muscle strength after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial / J. E. Stevens-Lapsley, J. E. Balter, P. Wolfe [et al.] // *Physical Therapy*. — 2012. — Vol. 92 (2). — P. 210–226. — DOI: 10.2522/ptj.20110124.
 25. Relationship between intensity of quadriceps muscle neuromuscular electrical stimulation and strength recovery after total knee arthroplasty / J. E. Stevens-Lapsley, J. E. Balter, P. Wolfe [et al.] // *Physical Therapy*. — 2012. — Vol. 92 (9). — P. 1187–1196. — DOI: 10.2522/ptj.20110479.
 26. Thomas A. C. Importance of attenuating quadriceps activation deficits after total knee arthroplasty / A. C. Thomas, J. E. Stevens-Lapsley // *Exercise and Sport Sciences Reviews*. — 2012. — Vol. 40 (2). — P. 95–101. — DOI: 10.1097/JES.0b013e31824a732b.
 27. The effect of neuromuscular electrical stimulation on functional status and quality of life after knee arthroplasty: a randomized controlled study / D. T. Demircioglu, N. Paker, E. Erbil [et al.] // *Journal of Physical Therapy Science*. — 2015. — Vol. 27 (8). — P. 2501–2506. — DOI: 10.1589/jpts.27.2501.

Стаття надійшла до редакції 25.02.2021

EXPENDITURE OF EARLY INITIATION OF NEUROMUSCLE ELECTRICAL STIMULATION AFTER ORTHOPEDIC SURGERIES ON THE HIP AND KNEE JOINTS (LITERATURE REVIEW)

N. Yu. Prytula, I. F. Fedotova

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

✉ Nataliya Prytula, MD: natpryt@ukr.net

✉ Inga Fedotova, DMSci: ibolokadze@ukr.net