

# Компоненти м'язового тону та методика кількісного вимірювання спастики

В.І. Козявкін, О.О. Качмар, Т.Б. Волошин, М.С. Гордієвич  
Міжнародна клініка відновного лікування, м. Трускавець

**Резюме.** Підвищення м'язового тону відбувається за рахунок різних компонентів, не лише невральних, тобто спастики, але і не-невральних компонентів. Пристрій «Нейрофлексор», розроблений науковим колективом Каролінського Інституту, дає можливість кількісно оцінити всі складові м'язового тону, а саме: інерційний, еластичний, в'язкий та невральний компоненти. Цей пристрій використовується в Міжнародній клініці відновного лікування для оцінки змін м'язового тону у пацієнтів з церебральними паралічами в процесі відновного лікування за Системою інтенсивної нейрофізіологічної реабілітації. Результати обстеження 28 дітей зі спастичними формами церебрального паралічу вказують на суттєве зниження неврального компоненту вже після однієї біомеханічної корекції хребта.

**Ключові слова:** м'язовий тонус, спастичність, реабілітація, церебральні паралічі.

Ураження центральної нервової системи у пацієнтів з церебральними паралічами (ЦП) спричиняє ряд патологічних синдромів: порушення селективного моторного контролю, вираженість примітивних та патологічних рефлексів, патологічний м'язовий тонус, порушення взаємодії між м'язами – агоністами та антагоністами, порушення рівноваги та інші.

Вибір методу лікування значною мірою визначається функціональними можливостями пацієнта та вираженістю первинних та вторинних ускладнень. Найчастіше у пацієнтів з ЦП зустрічається підвищення тону, або спастичність [1]. Традиційно, оцінка спастичності базується на суб'єктивному сприйнятті таких моторних проявів як опір пасивному руху, клонус, сухожильні рефлекс та наявність патологічних рефлексів. Одного разу виникнувши, спастика найчастіше зберігається протягом усього життя. Спастичність відзначається більш ніж у 12 мільйонів осіб у всьому світі [2].

Спастика залежить від значної кількості внутрішніх та зовнішніх факторів, тому клінічне обстеження не завжди є достатньо інформативним. Для оптимального проведення лікування важливе спостереження за пацієнтом у повсякденних умовах і визначення того, як спастика порушує його моторні функції.

Спастичність викликає багато ускладнень, які можна розділити на первинні (стереотипна рухова модель, порушення координації рухів, патологічна сенсорна аферентація, втрата функ-

ціональної незалежності, підвищені енергетичні затрати для функціонування м'язів) та вторинні (контрактури в суглобах, що призводять до погіршення самообслуговування та особистої гігієни, психологічні проблеми). Внаслідок розладу тону у таких хворих поступово з'являються ущільнення в спастично напружених м'язах (міофібрози, міотендінози) з розвитком вторинного м'язового болю, функціональні блокади суглобів хребта, порушення росту кінцівок, деформації хребта, тулуба, грудної клітки з наступним ураженням внутрішніх органів та порушенням їх функцій, вегетативні та трофічні зміни [3].

Спастичний парез залишається основною причиною інвалідизації неврологічних хворих. При цьому фізичну активність хворого обмежує передусім сам парез, але виражена спастичність додатково погіршує рухові можливості, ще більше знижуючи руховий потенціал пацієнта [4]. Спастичність – один із компонентів пірамідного (центрального) парезу, який за сучасною класифікацією позначається як синдром верхнього мотонейрона (СВМ). Він, у свою чергу, включає дві групи феноменів: позитивні та негативні.

До від'ємних феноменів синдрому верхнього мотонейрона відносять слабкість, втрату вправності і втому. Цей комплекс симптомів служить причиною зменшення рухової активності пацієнта і за своєю суттю є основним проявом парезу – головної ознаки синдрому верхнього мотонейрона. Негативні феномени важко піддаються корекції.

Позитивні феномени синдрому верхнього мотонейрона також є причиною інвалідизації, але саме вони можуть змінюватись під впливом

лікування. До них відносяться: спастичність, підвищення сухожильних рефлексів із розширеними рефлексогенними зонами, симптом Бабінського, контрактури, диссинергія тощо [5].

Клінічні прояви спастичного парезу залежать не тільки від рівня ураження низхідних рухових шляхів (спінального чи церебрального), але й від характеру їх патології. При цьому вказаний симптомокомплекс може бути наслідком як перериву волокон моторних систем (черепно-мозкова травма, інсульт) чи їх здавлення (пухлина), так і результатом демієлінізуючого процесу (розсіяний склероз), аксональної дегенерації (БАС, сімейна параплегія Штрюмпеля) і комбінації цих процесів (первинно- і вторинно-прогресивний розсіяний склероз).

Хоча трактування «спастичності» лікарями та науковцями дещо відрізняється, але наразі найчастіше використовується визначення за Джеймсом Лансе – «Спастика – це рухове порушення, яке характеризується залежним від швидкості підвищенням тонічного рефлексу на розтяг (м'язового тону) з підвищеними сухожилковими рефlekсами, спричинене підвищеною збудливістю рефлексу на розтяг, як один із компонентів синдрому верхнього мотонейрона» [6].

Однак при пасивному русі, окрім компонентів, які залежать від нервової системи, є також не-невральні компоненти опору руху, які обумовлені інерцією, пружністю та в'язкістю частини тіла, яка переміщається, і ряд досліджень вказують, що ці властивості м'язів змінюються після ураження мозку [7].

Вимірювання спастичності зазвичай проводиться фахівцем, який пасивно згинає – розгинає суглоб і одночасно оцінює опір руху відповідно до шкали, наприклад, Тардье або Ашворса [8]. Оцінювання тону згідно шкали Ашворса або модифікованої шкали Ашворса є звичним для лікарів на даний момент, але достовірність та надійність цих методів була поставлена під сумнів у багатьох дослідженнях [9].

Ще один недолік у тому, що шкала Ашворса оцінює лише загальний опір руху і не дозволяє розділяти невральні та не-невральні компоненти. Незважаючи на критику, ці клінічні шкали є дешевими та простими у використанні, а біомеханічні методи занадто складні для використання в клінічних умовах.

#### **Математична модель руху кінцівки при спастиці**

Раніше дослідники вже пробували розділити невральні та не-невральні компоненти опору руху – проводилися дослідження із вимірюван-

ням залежного від швидкості опору руху [10], застосовувалися складні біомеханічні моделі [11], електроміографію (ЕМГ) [12] та ішемічний блок нерва [13]. Однак, ці підходи важко застосовувати в клінічних умовах і вони не дають можливості розділяти невральні та механічні (пружність і в'язкість) компоненти.

Все це стало поштовхом для розробки нового пристрою, який може застосовуватися у клінічних умовах і дозволяє оцінити відносний внесок невральних і не-невральних компонентів спастичності. Він базується на математичній моделі пасивного руху спастичної кінцівки, описаної в роботах Коо and Мак [14], у яких силу, що виникає при пасивному розгинанні зап'ястя, можна розглядати як суму пасивних компонентів (пружність, в'язкість та інерція) та активних, невральних компонентів. Важливою рисою цієї моделі є відділення активних компонентів сили, які формуються за рахунок рефлексу на розтяг, від пасивних, механічних компонентів.

В структурі м'язового тону можна виділити 4 основні компоненти [15].

**Інерційний компонент (ІК).** Інерція є силою опору прискоренню руки, і залежить від маси руки і маси рухомої платформи та прискорення відповідно до формули  $IK = m \cdot a$

Інерційний компонент легко вирахувати, він зростає зі швидкістю. Вважається, що маса руки становить 0,6% від загальної маси тіла пацієнта.

**Еластичний компонент (ЕК).** Еластичність – це сила опору розтягу, яка залежить від довжини розтягу, вона зростає при збільшенні амплітуди розтягу. В кінці амплітуди руху існує також експотенційне зростання опору, коли м'яз розтягується майже до кінця свого діапазону розтягу. У розробленій моделі значення еластичного компоненту реєструється через 1 секунду після закінчення повільного розтягу і включає в себе як лінійну пружність, так і нелінійне підвищення опору в кінці діапазону руху.

**В'язкий компонент (ВК).** В'язкість – це сила, що виникає внаслідок в'язкого опору рухові і спричинені, наприклад, зміщенням м'язових волокон одне відносно одного. В'язкість залежить від швидкості розтягу м'язів і є найвищою протягом початкового прискорення. Потім вона утримується на нижчому рівні протягом усього часу розтягу м'яза.

У розробленій моделі в'язкість обчислюється шляхом віднімання інерційного компонента від загальної сили опору в момент початкового піку.

**Невральний компонент (НК).** Розтяг м'язу може активувати рефлекс на розтяг з латентністю близько 40 мсек, який супроводжується на-

пруженням м'язу і появою додаткового опору руху. Невральний компонент оцінюється в час максимального розгинання кінцівки, в кінці швидкого пасивного руху, шляхом віднімання еластичного та в'язкого компонентів від загального значення опору руху.

Цей підхід дозволяє кількісно оцінити різні компоненти м'язового тонуусу і відокремити невральный компонент, який власне і відповідає за спастичність.

Завдяки сумісній роботі наукових колективів Каролінського Університету та Університету м. Упсала був розроблений прилад «Нейрофлексор» (*Neuroflexor*), який дає можливість кількісно оцінити основні компоненти опору пасивного руху, базуючись на описаній вище математичній моделі. Виробником приладу стала шведська компанія Aggero MedTech, яка є розробником медичних приладів в області неврології та реабілітації [16].

Пристрій «Нейрофлексор» працює наступним



**Рисунок 1** Прилад Нейрофлексор для вимірювання компонентів тонуусу м'язів

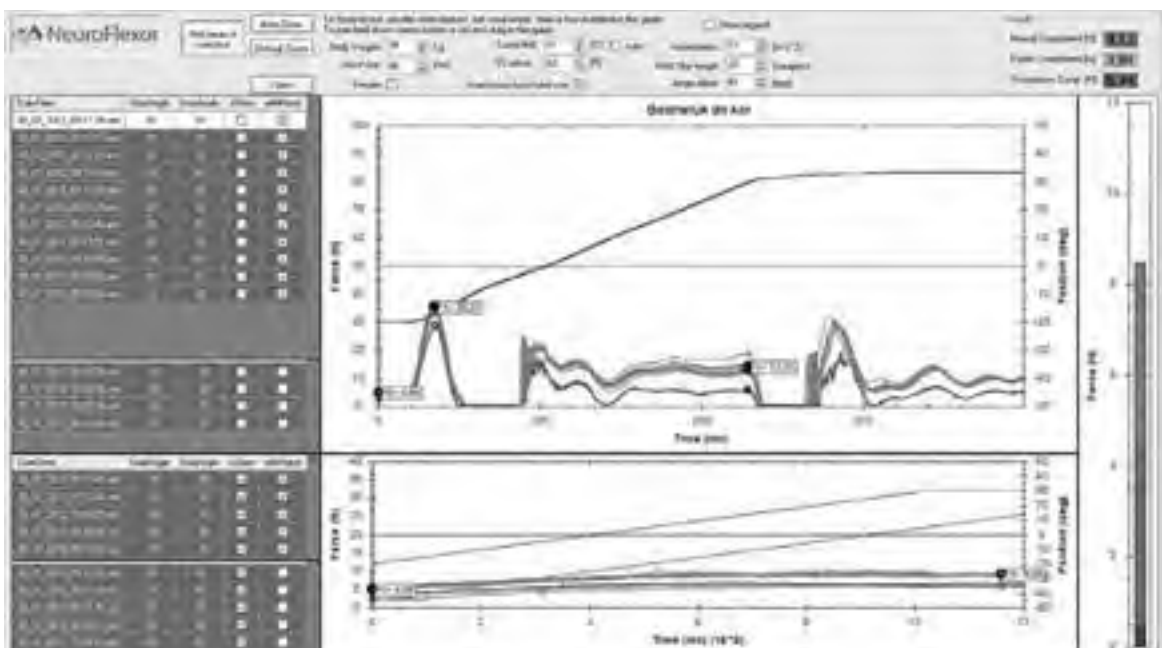
чином. Передпліччя пацієнта закріплюється на нерухомій платформі, а кисть на рухомій частині, яка приводиться в рух спеціальним мотором. На рухомій частині є датчик тиску, що визначає опір, який чиниться рукою при пасивному русі.

Вимірювання компонентів тонуусу м'язу є неболічним для пацієнта, не потребує попередньої підготовки і може використовуватись не лише в лабораторних умовах, але й у клінічній практиці.

Розроблена модель уперше була перевірена на пацієнтах, що перенесли інсульт із різним ступенем спастичності руки. Для вимірювання м'язової активності, викликаной пасивним розтягом м'язів, записувалася електроміографія.

Модель була перевірена трьома способами: невральный компонент усувався шляхом ішемічної блокади нерва; невральный компонент корелював із величиною інтегральної електроміограми під час ішемічного блоку нерва; невральный компонент був залежним від швидкості. Крім того, загальна сила опору руху і невральный компонент корелювали зі змінами оцінки за шкалою Ашворса [15].

На рис. 2 представлено протокол дослідження компонентів м'язового тонуусу. На верхньому графіку подано дані опору при швидкому розгинанні кисті. По осі абсцис – час від початку руху в мілісекундах, по осі ординат сила опору в ньютонах. Червоною кривою представлено дані руху з кінцівкою, коричневим кольором дані руху самого пристрою, без закріпленої у ньому руки. На нижньому графіку подано аналогічні дані опору при повільному русі, по осі ординат – час в секундах.



**Рисунок 2** Протокол оцінки компонентів м'язового тонуусу за допомогою пристрою «Нейрофлексор»

Програма аналізу усереднює отримані дані та вираховує параметри опорних точок (P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> та P<sub>3</sub>), за якими проводить обчислення величин компонентів м'язового тонузу [15]. Точка P<sub>0</sub> характеризує тиск на датчик в стані спокою. Еластичний компонент обчислюється базуючись на силі в момент P<sub>3</sub> в кінці повільного руху. Перший пік сили (точка P<sub>1</sub>), який визначається на високій швидкості руху, формується за рахунок інерції та в'язкості. Невральний компонент, спричинений рефлексом на розтяг, обчислюється в момент P<sub>2</sub> в кінці швидкого руху і обчислюється шляхом віднімання еластичного та в'язкого компонентів від загальної сили опору. Невральний компонент визначається за формулою

$$HK = \text{Загальна Сила } P_2 - (EK + BK)$$

Результати вимірювання виводяться в правому верхньому кутку протоколу, а також графічно, стовпчиком на правому краю.

#### Оцінка компонентів м'язового тонузу при церебральних паралічах

Пристрій «Нейрофлексор» застосовується для кількісного визначення різних компонентів м'язового тонузу в Міжнародній клініці відновного лікування. Основним методом відновного лікування, який застосовується в клініці, є Система інтенсивної нейрофізіологічної реабілітації (СІНР). Вона включає комплекс лікувальних засобів, які взаємно доповнюють та потенціюють один одного. Найважливішим компонентом системи лікування є біомеханічна корекція хребта.

Вплив СІНР полягає у формуванні в організмі дитини нового функціонального стану, який супроводжується нормалізацією м'язового тонузу [17]. Попередньо вже проводилися дослідження змін, які відбуваються в процесі лікування, в тому числі і змін м'язового тонузу. Так, в дослідженні, проведеному в 2002 році на групі 12.156 пацієнтів було відмічено зниження м'язового тонузу у 94% випадків пацієнтів зі спастичними формами церебрального паралічу [18]. Проте оцінка м'язового тонузу проводилася за шкалою Ашворса, яка хоча і застосовується широко в клінічній практиці, проте є недостатньо точною.

Завданням даного дослідження була кількісна оцінка змін різних компонентів м'язового тонузу, в першу чергу невральної складової, після проведення біомеханічної корекції хребта.

Дослідження проводилося на пацієнтах, що відповідали критеріям включення: діагноз – ДЦП, психологічно адекватні, без контрактур та деформацій в кінцівках, вираженого Моро-рефлексу, Старт- рефлексу, без мимовільних рухів, віком від 7 років; та дали інформовану згоду на участь. Було обстежено 28 пацієнтів зі спастичними формами церебрального паралічу.

Характеристика пацієнтів представлена в таблиці 1, де подано розподіл за віком, діагнозом, рівнем моторного розвитку, розвитком маніпулятивної функції кисті та рівнем спастичності руки за модифікованою шкалою Ашворса. Найбільше було дітей у віковій групі 11-13 та 14-16 років – 23 пацієнти, та зі спастичним тетрапарезом – 21 дитина. Рівень моторного розвитку визначався за міжнародною класифікацією великих моторних функцій GMFCS. Переважна більшість дітей була першого, другого та третього рівня моторного розвитку. Дослідження проводиться в сидячому положенні, тому серед обстежених був лише один пацієнт 4-го рівня та жодного 5-го рівня розвитку. Маніпулятивна функція руки визначалась за класифікацією MACS. Найбільше пацієнтів було другого рівня розвитку функції кисті – 15 дітей. Серед пацієнтів переважали діти з помірно вираженою спастикою. У вибірку не ввійшло жодного обстеженого зі спастичністю третього або четвертого рівня за шкалою Ашворса, так як у всіх цих дітей відмічаються виражені контрактури променевої суглоба і об'єм рухів є недостатнім для безпечного проведення дослідження.

Дослідження м'язового тонузу проводили за допомогою пристрою «Нейрофлексор» до початку лікування, потім проводилася біомеханічна корекція хребта за методом проф. Володимира Козьявкіна, і через 10-15 хвилин проводилося повторне дослідження м'язового тонузу. Оцінка тонузу проводилася згідно затвердженого протоколу фахівцями клініки, які пройшли стажування в Каролінському Інституті в Стокгольмі.

При кожному вимірюванні реєструвався опір пасивному руху кисті у серії 5 повільних рухів та у серії 10 швидких рухів. Відповідно до розробленої математичної моделі за допомогою

**Таблиця 1** Характеристика групи пацієнтів

Розподіл за віком			
8-10 років	11-13	14-16	Більше 16
6	11	10	1

Розподіл за діагнозом (спастичні форми)			
Тетрапарез	Дипарез	Геміпарез	Інші форми
21	1	5	1

Розподіл за рівнем моторного розвитку за GMFCS				
I рівень	II рівень	III рівень	IV рівень	V рівень
7	12	8	1	-

Розподіл за розвитком маніпулятивної функції кисті за MACS				
I рівень	II рівень	III рівень	IV рівень	V рівень
5	15	6	2	-

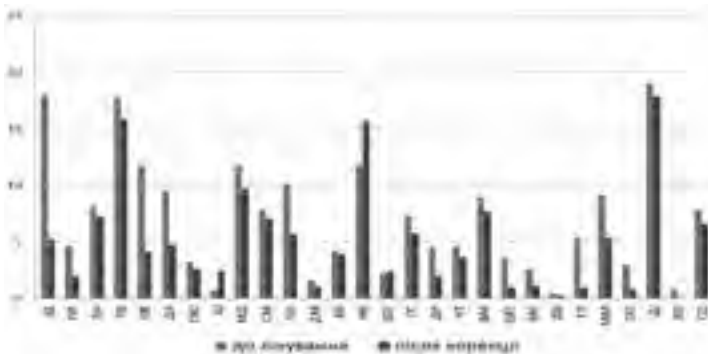
Розподіл за рівнем спастичності за шкалою Ашворса					
0	1	1+	2	3	4
1	8	10	9	-	-

комп'ютерної програми вираховувалися значення неврального, еластичного та в'язкого компонентів м'язового тонусу. Отримані результати усіх обстежених пацієнтів приведено в таблиці 2.

У даній роботі найбільш інформативним показником була величина неврального компоненту м'язового тонусу, який є певною мірою еквівалентом спастичності, тому саме він детальніше аналізувався.

Для наочності отримані дані неврального компоненту наведено у вигляді графіку (рис. 3). Для кожного пацієнта вказано його ідентифікатор та два стовпчики: до лікування – синього кольору та після біомеханічної корекції хребта – червоного кольору. По осі ординат відкладено значення неврального компоненту, виражене у ньютонках.

Як бачимо, відмічається виражена тенденція до зниження величини неврального компоненту навіть після одноразово проведеної біомеханічної корекції хребта. Зниження неврального компоненту спостерігалось у 25 з 28 пацієнтів. Підвищення неврального компоненту спостерігалось лише у трьох пацієнтів – АІ, НК та ШТ. Пацієнти АІ та ШТ при оцінці м'язового тонусу за шкалою Ашворса мали дуже слабо виражену спастичу, або зовсім її не мали. Тому, підвищення неврального компоненту у даному випадку можна трактувати як тенденцію до нормалізації м'язового тонусу. Ці дані можна використовувати для підтримки гіпотези, що біомеханічна корекція хребта не лише знижує м'язовий тонус, але і нормалізує тонус у пацієнтів з гіпотонічними формами. У пацієнта НК під час проведення дослідження відмічалися мимовільні рухи, які можуть спотворювати результати. Середні показники неврального компоненту знизилися з 7,16 до 5,10 одразу після проведення корекції хребта. Загалом зниження неврального компоненту тонусу спостерігалось у 89% випадків. Аналіз даних вказує на вплив біомеханічної корекції на зниження тонусу загалом та неврального компоненту зокрема.



**Рисунок 3** Порівняння даних неврального компоненту до лікування та після однієї біомеханічної корекції хребта

**Таблиця 2** Дані визначення компонентів м'язового тонусу (неврального, еластичного та в'язкого) до лікування та після біомеханічної корекції хребта

ID пацієнта	Вік (років)	GMFCS	MASS	Ashworth	До лікування			Після корекції		
					невральний	еластичний	в'язкий	невральний	еластичний	в'язкий
ІД	14	3	3	2	18,08	4,19	0,42	5,23	2,17	0,22
ПЛ	13	2	2	1	4,63	1,36	0,30	2,03	1,27	0,35
ЛН	14	3	2	2	8,12	-1,28	0,58	7,21	0,18	0,24
ТВ	12	4	4	2	17,78	3,55	0,65	15,84	5,00	0,60
ПВ	13	2	2	1	11,77	-0,42	0,29	4,16	5,14	0,30
ДА	16	2	2	1+	9,50	1,30	0,23	4,75	2,80	0,16
ПЮ	25	2	2	1+	3,29	2,93	0,16	2,58	3,25	0,24
АІ	11	1	1	0	0,70	0,29	0,73	2,41	0,20	0,04
МД	14	3	2	2	11,85	2,51	0,22	9,70	3,18	0,11
СМ	8	2	2	1+	7,81	1,07	0,20	7,10	0,59	0,43
ЧН	15	2	2	1+	10,10	1,09	0,15	5,66	1,00	0,41
ДМ	13	2	1	1	1,59	2,85	0,25	0,99	1,40	0,24
ББ	16	1	2	1+	4,26	1,73	0,11	3,94	2,28	0,10
НК	12	3	3	2	11,83	2,74	0,71	15,72	1,12	1,07
ШТ	7	2	2	1	2,21	1,72	0,23	2,39	1,46	0,47
ГС	13	1	3	1+	7,35	1,24	0,20	5,77	0,54	0,21
ДР	11	1	2	1	4,53	1,52	0,29	1,97	1,33	0,35
ЧТ	8	2	2	1+	4,58	1,38	0,33	3,65	1,20	0,30
ВМ	10	3	3	2	8,97	0,18	0,34	7,70	7,60	0,40
ЦЮ	11	2	2	1	3,60	1,00	0,50	0,94	1,43	0,01
МЕ	16	1	1	1	2,51	1,85	0,00	1,09	2,68	0,04
ДВ	14	1	1	1+	0,48	3,81	0,66	0,24	5,17	0,30
ГЛ	16	3	3	1+	5,37	1,24	0,1	0,95	4,06	0,54
ММ	10	3	4	2	9,11	4,36	0,42	5,4	3,2	0,25
ОО	9	2	2	1	2,93	2,09	0,33	0,82	1,03	0,39
ДІ	13	3	2	2	19,06	5,55	0,44	17,89	5,03	0,48
ВП	13	1	1	1+	0,73	1,59	0,13	0,08	1,59	0,13
СО	14	2	3	2	7,84	4,02	0,05	6,62	4,07	0,19

## Висновки

Пристрій «Нейрофлексор» є новим інструментом кількісної оцінки спастичності та інших компонентів м'язового тонусу і може застосовуватися у дітей з церебральними паралічами в клінічних умовах.

Отримані результати вказують на суттєве зниження неврального компоненту м'язового тонусу у пацієнтів зі спастичними формами церебрального паралічу після проведення біомеханічної корекції хребта, як одного з компонентів Системи інтенсивної нейрофізіологічної реабілітації.

Автори висловлюють подяку проф. Гансу Форсбергу, Андерсу Фагергрєну та Йохану Геверту за навчання фахівців та консультації по оцінці м'язового тонусу у пацієнтів.

Список використаної літератури знаходиться в редакції.

Надійшла до редакції 18.02.2015 р.