УДК 612.833.02.014.421

ПРЕСИНАПТИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ Н-РЕФЛЕКСА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ СТИМУЛЯЦИИ МЫШЕЧНЫХ РЕЦЕПТОРОВ

Руднева В.Н., к.б.н., ст. преподаватель, Сливко Э.И., д.мед.н., профессор

Запорожский государственный медицинский университет

В исследованиях на людях вибрационная стимуляция рецепторов мышц ипсилатеральной нижней конечности вызывала длительное пресинаптическое торможение Н-рефлекса камбаловидной мышцы. Стимуляции подвергались передняя большеберцовая мышца, трехглавая мышца голени, двуглавая и четырехглавая мышцы бедра. Временной ход торможения при тест-интервалах 500 - 4000 мс аппроксимировался логарифмической функцией длительности интервала. Средняя длительность торможения в разных сериях опытов была равна 6,2 - 8,9 с. Временной ход и длительность торможения не зависели существенно от реципрокных отношений между стимулируемыми и тестируемой мышцами.

Ключевые слова: Н-рефлекс, двухнейронная рефлекторная дуга, пресинаптическое торможение, вибрационная стимуляция.

Руднєва В.М., Сливко Е.І. ПРЕСИНАПТИЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ Н-РЕФЛЕКСУ ЛЮДИНИ ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ СТИМУЛЯЦІЇ М'ЯЗОВИХ РЕЦЕПТОРІВ / Запорізький державний медичний університет, Україна

У дослідах на людях вібраційна стимуляція рецепторів м'язів іпсілатеральної нижньої кінцівки викликала тривале пресинаптичне гальмування Н-рефлексу камбалоподібного м'яза. Стимуляції підлягали передній великогомілковий м'яз, триголовий м'яз гомілки, двоголовий і чотириголовий м'язи стегна. Часовий перебіг гальмування при тест-інтервалах 500 – 4000 мс апроксимувався логарифмічною функцією тривалості інтервалу. Середня тривалість гальмування в різних серіях дослідів дорівнювала 6,2 –8.9 с. Часовий перебіг та тривалість гальмування не залежали істотно від реципрокних відношень між стимульованими та тестованим м'язами.

Ключові слова: Н-рефлекс, двонейронна рефлекторна дуга, пресинаптичне гальмування, вібраційна стимуляція.

Rudneva V.N., Slivko E.I. VIBRATIONAL STIMULATION-INDUCED PRESYNAPTIC INHIBITION OF THE H-REFLEX IN HUMANS / Zaporizhzhja state medical university, Ukraine

Vibrational stimulation of the muscle receptors of ipsilateral low extremity induced long-lasting presynaptic inhibition of the m.soleus H reflex in humans. M.tibialis anterior, m.triceps surae, m. biceps femoris and m.quadriceps femoris were stimulated. The time-course of inhibition at the test-intervals 500 ms - 4000 ms could be approximated by the logarythmical function of interval duration. The mean duration of inhibition in the various series of experiments amounted to 6,2 - 8,9 s. The time-course and duration of inhibition did not depend essentially on tne reciprocal relations between stimulated and tested muscles.

Key words: H- reflex,two-neurons reflex arc, presynaptic inhibition, vibrational stimulation.

Спинальная двухнейронная рефлекторная дуга представляет собой один из важнейших компонентов сложной системы управления мышечным тонусом и процессами локомоции. Показателем ее активности у человека является Н-рефлекс - моносинаптический спинальный рефлекс, доступный для исследования в условиях неинвазивной регистрации. В последнее время Н-рефлексометрия достаточно часто используется для изучения различных сторон деятельности опорно-двигательного аппарата, в том числе для исследования различных форм центрального торможения. Известно, что уровень активности двухнейронной рефлекторной дуги в значительной степени определяется пресинаптическим торможением терминалей ее афферентных волокон. Установлено также, что ослабление пресинаптического торможения в условиях патологии приводит к нарушениям деятельности опорно-двигательного аппарата.

В результате ряда исследований показано, что пресинаптическое торможение Н-рефлекса может быть вызвано вибрационной стимуляцией рецепторов скелетных мышц [1,2]. Пресинаптическое торможение Н-рефлекса камбаловидной мышцы возникает также на фоне вибрационной стимуляции рецепторов различных мышц голени и бедра [3]. Однако, недостаточно выясненной является длительность этого вида торможения у человека. По данным одних исследователей [4] продолжительность пресинаптического торможения Н-рефлекса не превышает 500 мс, а по другим данным [5] она может измеряться несколькими секундами. Точное измерение длительности необходимо для правильной оценки функционального значения данного тормозного механизма.

Цель настоящего исследования состояла в изучении временного хода торможения Н-рефлекса камбаловидной мышцы человека, вызываемого вибрационной стимуляцией рецепторов различных в функциональном отношении мышц нижней конечности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на неврологически здоровых людях. Проведено в общей сложности 36 опытов. Н-рефлексометрию проводили по общепринятой методике [6]. Тестируемый Н-рефлекс камбаловидной мышцы вызывали электрической стимуляцией афферентных волокон большеберцового нерва. Применяли прямоугольные электрические импульсы длительностью 1 мс.

Отведение биопотенциалов камбаловидной мышцы производили при помощи биполярных электродов. Сигналы с выхода усилителя биопотенциалов вводили посредством аналого-цифрового преобразователя в один из портов персонального компьютера. Использовали компьютерную программу, позволяющую производить усреднение кривых.

Исследовали эффект кондиционирующей вибрационной стимуляции ряда мышц ипсилатеральной нижней конечности. Для этой цели использовали электромагнитный вибратор - генератор синусоидальных колебаний с частотой 50 Гц и амплитудой 1 мм . Стимуляции подвергали трехглавую мышцу голени, переднюю большеберцовую мышцу, двуглавую мышцу бедра и четырехглавую мышцу бедра. Для стимуляции вибратор помещали на брюшко каждой из мышц. Продолжительность вибрационной стимуляции составляла 5 с. Тестирующие раздражения большеберцового нерва производили через различные интервалы после прекращения вибрационной стимуляции (100 - 4000 мс).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных опытов показали, что вибрационная стимуляция всех исследованных мышц вызывает длительное торможение тестируемого Н-рефлекса камбаловидной мышцы. В таблице 1 и на рис. 1А представлены усредненные результаты серии опытов (8 испытуемых) по изучению эффекта вибрационной стимуляции антагониста камбаловидной мышцы - передней большеберцовой мышцы, которая иннервируется ветвями общего малоберцового нерва. Через 100 мс после окончания стимуляции было обнаружено значительное торможение Н-рефлекса, величина которого соответствовала 41,7% от контрольной. При этом интервале величина тестируемого рефлекторного ответа отличалась наибольшей изменчивостью. При интервале 250 мс ответ увеличился , но в дальнейшем, между 250 мс и 500 мс, рост его замедлился.

После 500 мс происходило более плавное увеличение амплитуды Н-рефлекса. Математическая обработка результатов опытов показала, что в интервале 500 мс - 4000 мс после прекращения кондиционирующей стимуляции временной ход восстановления Н-рефлекса весьма близок к прямой линии. Была осуществлена попытка аппроксимации этой части экспериментальной зависимости линейной функцией, аргументом которой является натуральный логарифм от интервала времени между кондиционирующим и тестирующим стимулами :

$$y = a\ln t + b,$$

где y - относительная величина Н-рефлекса,

a - угловой коэффициент, определяющий наклон прямой к оси абсцисс,

t - временной интервал,

b - коэффициент, показывающий смещение прямой по отношению к оси абсцисс.

Методом наименьших квадратов, основанным на минимизации среднеквадратических отклонений экспериментальной и теоретической зависимостей, рассчитаны входящие в уравнение коэффициенты:

$$a = 17{,}5 \pm 1{,}2;\ b = -53{,}3 \pm 8{,}8.$$

Подстановка их в приведенное выше уравнение позволяет вычислить теоретические (расчетные) значения для временных интервалов 500-4000мс, которые приведены в таблице 1. График полученной зависимости показан пунктиром на рисунке 1. Из рисунка видно, что начиная с 500 мс после прекращения кондиционирующей стимуляции, линия аппроксимации лежит полностью в пределах доверительных интервалов, и лишь при более коротких промежутках времени существенно отличается от кривой, полученной на основании экспериментальных данных.

Средняя продолжительность торможения Н-рефлекса камбаловидной мышцы после кондиционирующей вибрационной стимуляции передней большеберцовой мышцы, вычисленная методом экстраполирования, составила 6,2 с. Величина стандартной ошибки для оценки y - 1,86.

Аналогичным образом было исследовано торможение Н-рефлекса после кондиционирующей вибрационной стимуляции трехглавой мышцы голени, одной из головок которой является сама тестируемая камбаловидная мышца. Опыты проведены на 10 испытуемых. Данные, представленные в табл.1 и на рис.1Б, характеризуют тормозной эффект, вызванный вибрационной стимуляцией рецепторов этой мышцы. Обращает на себя внимание тот факт, что угнетение рефлекса при интервалах 100 - 1000 мс

оказалось гораздо более глубоким, чем при вибрационной стимуляции передней большеберцовой мышцы. Однако, при более значительных интервалах различия глубины торможения в обеих сериях опытов были несущественными. Что касается линии аппроксимации, то и здесь она, начиная с 500 мс, характеризовалась логарифмической зависимостью относительной величины Н-рефлекса от длительности временного интервала между прекращением кондиционирующей вибрационной стимуляции и нанесением тестирующего стимула. Лишь при интервалах 100 мс и 250 мс средние величины Н-рефлекса оказались значительно выше пунктирной линии на графике.

Таблица 1 - Средняя величина тестируемого Н-рефлекса (%) через различные интервалы времени после прекращения вибрационной стимуляции мышечных рецепторов

Стимулируемая мышца	Величина Н-рефлекса	Интервал между кондиционирующей и тестирующей стимуляцией, мс					
		100	250	500	1000	2000	4000
Передняя большеберцовая	эксперимент.	41,9±5,3	53,3±3,1	55,5±3,9	67,1±2,7	82,2±1,5	91,1±2,4
	расчетная	-	-	55,7	67,9	80,1	92,2
Трехглавая голени	эксперимент.	21,4±2,2	33,9±3,6	38,2±3,1	57,3±3,3	70,8±4,8	85,4±3,2
	расчетная	-	-	39,7	55,2	70,7	86,2
Двуглавая бедра	эксперимент.	36,0±5,4	46,0±5,8	42,8±2,0	58,6±4,9	69,4±2,5	84,6±2,5
	расчетная	-	-	43,4	57,0	70,6	84,3
Четырехглавая	эксперимент.	44,3±7,1	51,0±10,1	51,1±5,6	64,6±4,9	78,5±3,3	87,1±3,8
	расчетная	-	-	52,5	64,3	76,4	88,6

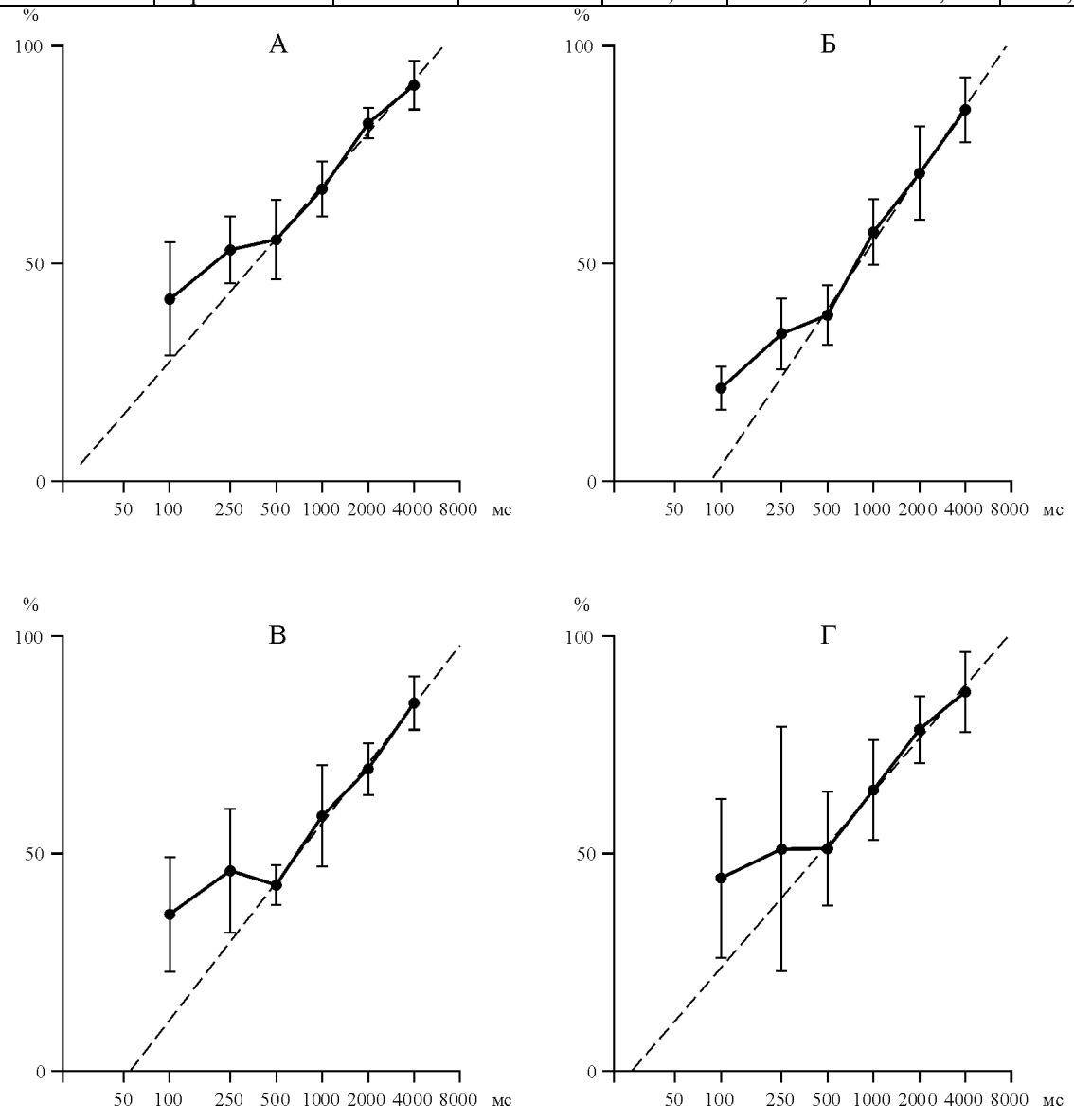


Рис.1. Динамика величины Н-рефлекса после вибрационной стимуляции рецепторов: А – передней большеберцовой мышцы, Б – трехглавой мышцы голени, В – двуглавой мышцы бедра, Г – четырехглавой мышцы бедра.

По оси абсцисс – интервал между прекращением стимуляции и тестирующим стимулом, мс (шкала логарифмическая). По оси ординат – средняя относительная величина Н-рефлекса, %. Доверительные интервалы соответствуют уровню значимости 0,05. Пунктиром показана линия аппроксимации.

Математическая обработка показала, что коэффициенты выше приведенного уравнения для данной серии опытов имеют следующие значения: a = 22,4±1,2; b = –99,5±8,9. В соответствии с произведенными расчетами средняя продолжительность торможения в данной серии опытов составила 7,4 с. Величина для стандартной ошибки для оценки у - 1,90.

В последующих сериях опытов исследовали тормозной эффект кондиционирующей вибрационной стимуляции более отдаленных в анатомическом отношении мышц: двуглавой мышцы бедра (8 испытуемых) и четырехглавой мышцы бедра (8 испытуемых). Результаты этих опытов представлены на рис.1В и рис.1Г и в табл.1.

Полученные данные не отличались существенно от показателей торможения Н-рефлекса, которые характеризовали тормозной эффект стимуляции рецепторов передней большеберцовой мышцы.

Относительное облегчение Н-рефлекса при интервалах 100 - 250 мс сменялось в дальнейшем более плавным восстановлением его величины, которое соответствовало описанной выше логарифмической функции тест-интервала.

В результате математической обработки результатов стимуляции рецепторов двуглавой мышцы бедра были получены следующие величины коэффициентов: a = 19,6±1,0; b = –78,7±7,2. Расчетная средняя продолжительность торможения после вибрационной стимуляции двуглавой мышцы бедра соответствовала 8,9 с. Величина стандартной ошибки для оценки у была равна 1,53.

В опытах с вибрационной стимуляцией четырехглавой мышцы бедра коэффициенты уравнения были таковы: a = 17,6±1,2; b = –57,3±9,1. Средняя продолжительность торможения составила 7,6 с. Стандартная ошибка для оценки у соответствовала 1,93.

Результаты опытов показали, что вибрационная стимуляция рецепторов всех четырех исследованных мышц вызывает не только глубокое, но и длительное пресинаптическое торможение тестируемого Н-рефлекса. Наиболее глубокое торможение было обнаружено после вибрационной стимуляции самой тестируемой мышцы. Временной же ход торможения при стимуляции рецепторов всех четырех мышц оказался идентичным и при тест-интервале от 500 мс и выше, удовлетворительно аппроксимировался логарифмической функцией временного интервала. Средняя продолжительность торможения, рассчитанная методом экстраполирования, составила в разных сериях опытов величину от 6,2 с до 8,9 с. Таким образом, исследованное торможение Н-рефлекса носит диффузный характер и не зависит существенно от реципрокных отношений между стимулируемыми и тестируемой мышцами.

Значительно большая продолжительность пресинаптического торможения по сравнению с результатами острых опытов на животных, а также с более ранними данными, полученными при тестировании людей методом Н-рефлексометрии [4], может быть обусловлена особенностями стимуляции мышечных рецепторов. В наших опытах длительность такой стимуляции измерялась секундами, что сопоставимо с продолжительностью естественных движений человека. При этом естественным образом возникали длительные потоки афферентных импульсов с мышечных рецепторов, которые могли бы вызвать потенциацию рефлекторных ответов. Кроме того, известно, что в условиях интактного организма вибрация мышц или их сухожилий вызывает аутогенный тонический вибрационный рефлекс - медленно нарастающее напряжение стимулируемой мышцы [7]. Установлено, что в его возникновении могут играть роль не только моносинаптические, но и полисинаптические пути от вторичных мышечных рецепторов, которые вовлекаются вследствие посттетанической потенциации [8]. Все эти факторы способны сделать тормозной эффект кондиционирующей стимуляции мышечных рецепторов более продолжительным.

Лишь при интервалах менее 500 мс временной ход торможения значительно отличался от линии аппроксимации. Можно полагать, что это отличие отражает влияние относительно более кратковременных центральных эффектов вибрационной стимуляции. Известно, что в условиях интактного организма вибрационная стимуляция вызывает активацию не только мышечных, но и кожных рецепторов [9]. Резкие отличия средней величины Н-рефлекса от прямой аппроксимации при интервалах 100 мс и 250 мс соответствуют временным параметрам облегчения Н-рефлекса, которое возникает в результате стимуляции кожных афферентов [10].

Можно предположить, что длительное пресинаптическое торможение играет существенную роль в регуляции мышечного тонуса человека при переходе его из состояния покоя к быстрым фазическим движениям. Такое торможение ослабляет излишний тонус скелетных мышц, который мог бы препятствовать выполнению произвольных движений. Очевидно, нарушение такого торможения при патологии нервной системы играет существенную роль в возникновении повышенного тонуса скелетной мускулатуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ashby P., Verrier M. Human motoneuron responses to group I volleys blocked presynaptically by vibration// Brain Res.- 1980.-Vol. 184, N 2.- P. 511-516.

2. Desmedt J.E., Godaux E. The tonic vibration reflex and the vibration paradox in limb and jaw muscles in man// Spinal and Supraspinal Mechanisms of Voluntary Motor Control and Locomotion.- 1980.-Basel, Karger.-P.215-247.
3. Iles J.F., Roberts R.C. Inhibition of monosynaptic reflexes in the human lower limb// J.Physiol.- 1987.- Vol. 385.- P. 69-87.
4. Hultborn H., Meunier B,Morin C.,Pierrot-Deseilligny E. Assessing changes in presynaptic inhibition of Ia fibers: a study in man and in the cat// J.Physiol.- 1987.- Vol. 389.- P. 729-756.
5. Cheng J., Brooke J.D., Staines W.R., Misiaszek J.E., Hoare J. Long-lasting conditioning of the human soleus H reflex following quadriceps tendon tap//Brain Res.- 1995.- Vol. 681, N 1-2.- P.197-200.
6. Бадалян Л.О., Скворцов И.А. Клиническая электронейромиография: Руководство для врачей.- М.: Медицина, 1986.- 368 с.
7. Eklund G., Hagbarth K.-E. Normal variability of tonic vibration reflexes in man// Exp.Neurol.-1966.- Vol.16,N1.-P.80-92.
8. Персон Р.С., Кожина Г.В. Исследование импульсации двигательных единиц камбаловидной мышцы человека при тоническом вибрационном рефлексе// Нейрофизиология.-1989.-Т.21,N6.- С.765-772.
9. Joku M. H-reflex and vibratory stimuli to the extremity// Electromyogr.Clin.Neurophysiol.-1981.-Vol.21,N 1.-P.25-34.
10. Delwaide P.J., Crenna P., Fleron M.H. Cutaneous nerve stimulation and motoneuronal excitability: I.soleus and tibialis anterior excitability after ipsilateral and contralateral sural nerve stimulation// J.Neurol.Neurosurg.Psychiat.-1981.-Vol.44,N8.- P.699-707.