

УДК 616.438:613.56:616-092:616-071-08

О.В. Власенко

СТАДІЇ ФОРМУВАННЯ ОПЕРАНТНОГО РЕФЛЕКСУ У ЩУРІВ

Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова

Резюме. У 10 інтактних щурів лінії Вістар в оригінальній камері проведено вироблення оперантного їждобувного рефлексу. Аналіз параметрів рухів запропонували проводити за інтегративним показником – індексом успішності захоплення харчової кульки. Встановлено, що процес формування моторної навички відбувається у три стадії – початкову (із 1-ї до 5-ї доби),

перехідну (із 6-ї до 8-ї доби) та досконалої навички (із 9-ї доби). Запропоновано для подальших досліджень звертати увагу на результати у „вузлові” періоди - на 1-шу, 5-ту, 8-му та 14-ту добу експерименту.

Ключові слова: оперантний рефлекс, стадії навчання, щури.

Вступ. Проблема забезпечення точності й ефективності моторних навичок має важливе значення як при виробленні професійних рухів, у фізіології спорту [2, 4], так і в медицині, у практиці педагогів-дефектологів, при постінсультній реабілітації [7]. Формування нових рухових навичок – складний багатоступеневий процес, який деякі дослідники поділяють на дві стадії [5, 6], тоді як інші – на три стадії [3]. Це пов'язано із вибором головного процесу, покладеним в основу класифікації. Якщо за основу брали морфологічну ознаку – реорганізацію моторних полів, синаптогенез, ангиогенез у моторній корі [5, 8], то динаміку формування навички поділяють на дві стадії. Коли вивчали механізми, що супроводжують процес навчання, то такі класифікації мають три стадії, наприклад: 1) генералізації збудження, 2) концентрації, 3) стабілізації і автоматизації [3, 4]. Проте авторами визнається, що зазначені фізіологічні процеси не можуть бути зафіксовані безпосередньо, а послідовність відповідних механізмів залишаються невивченими. Таким чином, існують розбіжності у поділі процесу формування моторної навички на стадії, що послужило підґрунтям до виконання цієї роботи.

Вивчення особливостей динаміки формування нової моторної навички має як прикладне, так і суттєве теоретичне значення. Так, науково обґрунтовані терміни навчання у спорті, при професійній підготовці, допоможуть для селекції більш здібних індивідуумів. Суттєвий науковий інтерес становлять часові терміни виникнення „вузлових” точок навчання для дослідження причинно-наслідкових зв'язків між механізмами, що їх забезпечують; у фармакології це значимо для вивчення нових лікарських засобів, здатних впливати на окремі етапи навчання, на запам'ятовування, на процеси відновлення при реабілітації пацієнтів.

Мета дослідження. Визначити часові межі етапів формування моторної навички в експерименті шляхом аналізу динаміки змін параметрів точного руху та його ефективності протягом періоду навчання.

Матеріал і методи. Дослідження проведено в акредитованій науково-дослідній лабораторії експериментальної нейрофізіології Вінницького

національного медичного університету імені М.І. Пирогова на 15 статевозрілих щурах-самцях лінії Вістар масою 250-300 г, отриманих із віварію Інституту фізіології імені О.О. Богомольця НАН України. Усі експериментальні процедури виконано відповідно до Європейської Директиви Ради Громад від 24 листопада 1986 р. (86/609/ЕЕС). Комітетом з біоетики Вінницького національного медичного університету імені М.І. Пирогова встановлено, що дослідження проведені у відповідності до основних біоетичних норм Гельсінської декларації та Конвенції Ради Європи щодо прав людини та біомедицини (1977), положень ВООЗ, Міжнародного кодексу медичної етики (1983) та законів України (протокол № 22 від 28 листопада 2007 р.). Для вироблення оперантного їждобувного рефлексу й оцінки показників їждобувного руху використовувалася прозора плексигласова камера у власній модифікації, яка детально описана в нашій попередній роботі [1]. Для перетворення механічного лінійного переміщення кінцівки в електричний сигнал використано оптоелектронні датчики ФД 327 з розмірами чутливого елемента 20/1,2 мм і відстанню між осями елементів не більш 1,6 мм (виробництво 18 КБ "Ритм" м. Чернівці). Освітлення здійснювали в інфрачервоному діапазоні з використанням імпульсного режиму. Вироблення оперантного їждобувного рефлексу відбувалось у стані голоду і було успішним у 10 щурів, тому в подальшому аналізі взято саме ці результати. За допомогою фотодатчиків та відеозапису протягом 18 днів тренувань реєстрували такі параметри рухів, як кількість спроб, необхідних для успішного захоплення харчової кульки, кількість захоплених кульок, загальна тривалість перебування передньої кінцівки в годівниці, тривалість окремих фаз руху, тривалість руху передньої кінцівки перед уведенням у годівницю. Часові і швидкісні характеристики рухів передньої кінцівки в годівниці обробляли статистично з визначенням середніх значень (М), похибок середніх (m), стандартних відхилень (σ). Достовірність різниці значень між незалежними кількісними величинами в разі відповідності нормальному розподілу визначали за t-критерієм Стьюдента, а в разі відхилення від нормального розпо-

ділу – за допомогою U-критерію Манна-Уїтні. Відмінності між показниками груп вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати дослідження та їх обговорення.

Нами шляхом швидкісної відеореєстрації з подальшим покадровим аналізом встановлено структуру і тривалість фаз руху поза годівницею. Так, у складі їждобувного руху є фази підймання кінцівки від підлоги, швидке розгинання в ліктьовому суглобі та підведення до входу в годівницю, на що на стадії досконалої навички потрібно $228,9 \pm 11,1$ – $298,7 \pm 18,8$ мс. При початковому розташуванні кінцівки в піднятому положенні від початку руху до підведення кінцівки до входу в годівницю необхідно $130,7 \pm 4,2$ – $280,0 \pm 23,5$ мс. Фаза захоплення їжі в годівниці (флексія пальців) при відеореєстрації триває $82,2 \pm 4,1$ мс, фаза рефракції кінцівки (згинання в ліктьовому суглобі та виведення кінцівки за межі годівниці) триває $252,4 \pm 45,3$ мс. Таким чином, при максимально тривалому циклі їждобувного руху, що починається рухом кінцівки від підлоги із захопленням харчової кульки за одну спробу, на його виконання може бути затрачено до 633 мс. В іншому випадку, при невдалій першій спробі, другий рух починається від входу в годівницю і тривалість такого неуспішного руху складала до 195 мс, а частота – п'ять рухів за секунду.

Проаналізувавши динаміку багатьох параметрів їждобувного руху, нами запропоновано розраховувати універсальний показник – індекс успішності захоплення харчової кульки. Цей показник – обернена величина до кількості спроб

для успішного захоплення харчової кульки. Для розрахунку успішності захоплення харчової кульки використали таку формулу: „Індекс успішності захоплення = $1/\text{кількість рухів для захоплення кульки}$ ”. Отримані дані параметрів їждобувних рухів за 18 днів тренувань – кількість успішно захоплених харчових кульок, індекс успішності захоплення, швидкості руху кінцівки наприкінці фази екстензії та на початку фази флексії – подані в нормалізованому вигляді в таблиці. За 100 % взято показник першого дня тренувань.

Аналізуючи зміни параметрів руху при формуванні нової моторної навички, можна стверджувати, що процес вироблення відбувається у три різні за динамікою стадії – початкову, перехідну та стадію наявності досконалої рухової навички. Початкова стадія вироблення оперантного рефлексу триває з першої до п'ятої доби тренування і характеризується низькою ефективністю їждобувних рухів без істотної динаміки (з індексом успішності захоплення $0,24$ – $0,29$). У межах перехідної стадії, після п'ятої до восьмої доби відбувається суттєве покращання ефективності моторної активності (зі збільшенням індексу успішності захоплення до $0,65$). Третя стадія – досконала рухова навичка починається від восьмої доби і характеризується автоматизованим виконанням цілеспрямованих рухів із ефективним захопленням їжі (із повільним стабільним підвищенням індексу успішності захоплення від $0,65$ до $0,84$).

Суттєвим результатом тренування є кількість захоплених кульок за фіксований час. Привертає увагу той факт, що результат захоплення в

Таблиця

Нормалізовані зміни показників захоплення харчової кульки в процесі формування оперантного рефлексу у шурів

Доба тренувань	Успішність захоплення	Кількість кульок	Швидкість фази екстензії	Швидкість фази флексії
1-ша	100	100	100	100
2-га	82,8	111,7	90,2	93,2
3-тя	94,6	161,1	118,8	119,9
4-га	99,2	155,8	144,4	121,8
5-га	101,1	170,1	145,3	123,3
6-га	120,5	382,3	141,7	130,5
7-ма	140,8	359,6	146,8	128,5
8-ма	228,6	368,1	145,5	129,8
9-га	200	340,3	160,8	127,1
10-га	213,3	317,7	157,2	132,3
11-га	255,1	422,6	166,7	141,7
12-га	290,9	396,6	159,8	138,8
13-га	268,7	431,9	161,6	133,8
14-га	286,2	520,1	166,4	135,1
15-га	298,3	479,0	170,9	139,3
16-га	228,6	450,4	164,8	141,9
17-га	283,8	459,6	167,9	137,6
18-га	295,8	438,7	169,9	136,1

Примітка. $n=10$, дані наведено до результату першої доби у відсотках

перші п'ять днів – на рівні від 10 до 20 кульок (середня величина $18,5 \pm 5,3$), з позитивною динамікою, без статистично вірогідних відмінностей ($p > 0,05$).

Цей період є початковою стадією формування моторної навички, коли відмічали найбільшу кількість помилок, а кількість рухів для успішного захоплення харчової кільки мала середні значення в межах від 3,5 до 4,2 руху.

Починаючи з шостого дня тренування, кількість захоплених кульок досягає ($48,9 \pm 6,3$, що в 2,6 рази перевищує цей показник у попередній, п'ятий день ($22,5 \pm 5,2$; ($p < 0,01$)), що вказувало на початок стадії удосконалення виробленої навички. Подальші дні характеризуються хвилеподібним зростанням цього показника до величин 60-70 кульок за одну тренувальну сесію (середня величина – $56,3 \pm 4,3$), що відповідає стадії досконалої навички.

Суттєвим у вивченні феномену автоматизованого руху є аналіз швидкості кінцівки під час руху в годиницю та з годиниці, розрахунки проведені на основі даних тривалості першої та третьої фази із використанням формули швидкості.

Швидкість руху кінцівки наприкінці фази екстензії збільшувалась із виробленням навички. Середня величина за всі 18 днів склала 0,524 м/с, першого дня – 0,352 м/с, п'ятого дня – 0,511 м/с, восьмого дня – 0,512 м/с, 14-го дня – 0,586 м/с. Протягом початкової стадії удосконалення параметрів руху (1-5-та доба) середня швидкість мала значення 0,421 м/с, під час перехідної стадії – 0,509 м/с, у стадію досконалої навички – 0,524 м/с.

Особливістю руху кінцівки з годиниці була значно нижча швидкість. Тенденції змін цього показника аналогічні. Протягом початкової стадії удосконалення руху середня швидкість мала значення 0,115 м/с, під час перехідної стадії – 0,134 м/с, у стадію досконалої навички – 0,141 м/с. Швидкість руху кінцівки у фазі флексії набувала більших значень із виробленням навички. Середня величина першого дня тренування склала 0,103 м/с, п'ятого дня – 0,127 м/с, восьмого дня – 0,134 м/с, 14-го дня – 0,139 м/с, за всі 18 днів склала 0,133 м/с. Таким чином, і швидкість екстензії, і швидкість флексії збільшувалися протягом періоду навчання. Більш динамічно змінювався показник швидкості першої фази, екстензії кінцівки.

Слід відмітити, що всі показники збільшуються протягом періоду навчання, але в різній мірі. Науковий інтерес становлять терміни, в які відбуваються: початкова стадія, скільки триває перехідна стадія, коли починається стадія досконалої навички. Важливо, в якого з показників зміни здійснюються раніше, у якого – пізніше, що може бути зумовлено причино-наслідковими зв'язками. „Вузловими”, „ключовими” періодами вироблення навички ми вважаємо перший, п'ятий, восьмий дні. Тому подальші дослідження виконані саме в ці дні, а стадія досконалої виконання навички додатково досліджена на 14-ту добу тренувань. Отже, для подальших розрахун-

ків використано результати дослідів і їх перерахунків у величину успішності захоплення.

Найбільш швидко стадія досконалої виконання навички виникає для показника швидкості фази флексії кінцівки (на третю добу), на четверту добу стабілізується на високому рівні швидкості фази екстензії. Обидва показники відносно інших мають низький рівень прибавки амплітуди, причому більше зростає швидкість першої фази руху – екстензії кінцівки, і процес триває протягом усіх 18 днів спостережень (середня величина – 151 %). Водночас протягом навчання фаза флексії в середньому збільшилась на 130 %, отже, найбільш стабільним показником є швидкість третьої фази.

Більш повільна динаміка спостерігається зі змінами показника кількості захоплених кульок: стадія виконання досконалої навички починається з шостої доби. А величина прибавки показника виявилась найбільшою – 350 %.

Найпізніше виходить на стабільний рівень (стадія виконання досконалої навички) показник успішності захоплення кульки – на восьму добу. При цьому величини прибавки становила 205 %. Таким чином, цей показник відображає завершальний етап формування навички, перед яким повинні відбутися попередні, підготовчі процеси. Показник успішності – інтегративний прояв, що об'єднує підготовчі етапи формування передумов для реалізації складної системи моторної навички.

Таким чином, встановлені нами закономірності формування моторного компонента оперантного рефлексу у вигляді динамічної зміни трьох стадій відповідає даним інших авторів [3, 4]. Протилежна точка зору полягає в наявності двох стадій [5, 8]. Така невідповідність може бути пов'язана з явищами, що вивчалися і взяті за основу. Якщо автори досліджували мономодальні процеси (синаптогенез, реорганізацію моторних полів, ангиогенез [5, 8]), вони відбуваються, очевидно, у дві стадії. Інтегративні показники (як складні процеси) мають більшу кількість стадій перебігу.

Висновки

1. Процес вироблення у щурів нової моторної навички відбувається поетапно зі змінами таких зовнішніх ознак, як кількість захоплених кульок, кількість спроб для захоплення однієї кульки, швидкість фази екстензії та швидкість фази флексії передньої кінцівки. Нами запропоновано для подальшого аналізу використовувати інтегративний показник – індекс успішності захоплення харчової кульки як обернену величину щодо кількості спроб при захопленні однієї кульки.

2. Зміна успішності захоплення харчової кульки в процесі формування моторної навички відбувається у три стадії – початкову (із 1-ї до 5-ї доби), перехідну (із 6-ї до 8-ї доби) та досконалої навички (із 9-ї доби).

3. Для подальшого вивчення поетапних електрофізіологічних і морфологічних змін у щурів під час вироблення оперантного рефлексу запропоно-

вано проводити дослідження у „вузлові” періоди - на 1-шу, 5-ту, 8-му, 14-ту добу експерименту.

Перспективи подальших досліджень вбачаються у використанні встановлених стадій формування нової моторної навички для аналізу даних різних систем організму, отриманих оригінальними методиками з використанням моделі вироблення оперантного рефлексу у щурів.

Література

1. Особливості формування параметрів їждобувних рухів щурів в умовах вільної поведінки / В.М. Мороз, М.В. Йолтуховський, О.В. Власенко [та ін.] // Вісн. Вінниц. нац. мед. ун-ту. – 2010. – Т. 4, № 1. – С. 1-14.
2. Лукашкова И.Л. Биомеханические закономерности системно-структурной организации вращательных движений спортсмена в условиях опоры / И.Л. Лукашкова, А.А. Кулешова // Вектор науки ТГУ. – 2012. – № 2 (9). – С. 180-184.
3. Павлова О.Г. Формирование новых двигательных координаций: дис...доктора биол. наук: 03.03.01 / Павлова Ольга Геннадиевна. – М., 2010. – 186 с.
4. Фролов Е.В. Формирование точности движений у будущих токарей-станочников в процессе физическо-го воспитания: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. пед. наук: спец. 13.00.04 «Теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры» / Е.В. Фролов. – Набережные Челны, 2008. – 18 с.
5. Hogg T.M. A Neurophysiological correlates of motor skill learning: reorganization of movement representations within motor cortex : Thesis Submitted to the School of Graduate Studies of the University of Lethbridge in Partial Fulfillment for Requirements for the Degree Master of science: / Hogg Theresa. – Lethbridge (Canada), 2002. – 106 p.
6. Francis J. Neuroplasticity of the sensorimotor cortex during learning / J. Francis, W. Song // Neural Plasticity. – 2011. – Vol. 25, № 1. – P. 1-11.
7. Kleim J.A. Principles of experiencedependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage / J.A. Kleim, T.A. Jones // J. of Speech, Language, and Hearing Research. – 2008. – Vol. 51, № 1. – P. S225-S239.
8. Tzvi E. Delineating the cortico-striatal-cerebellar network in implicit motor sequence learning / E. Tzvi, T.F. Munte, U.M. Kramer // Neuroimage. – 2014. – Vol. 94. – P. 222-230.

СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПЕРАНТНОГО РЕФЛЕКСА У КРЫС

О.В. Власенко

Резюме. У 10 интактных крыс линии Вистар в оригинальной камере проведено вырабатывание оперантного рефлекса. Предложили проводить анализ параметров движений по интегративному показателю – индексу успешности захвата пищевого шарика. Установлено, что процесс формирования двигательного навыка происходит в три стадии – начальную (1-5-ый день), переходную (6-8-ой день) и стадию совершенного навыка (с 9-го дня). Предложено для последующих исследований обращать внимание на результаты „узловых” периодов – на 1, 5, 8-ой и 14-ый день эксперимента.

Ключевые слова: оперантный рефлекс, стадии обучения, крысы.

STAGES OF OPERANT REFLEX FORMATION IN RATS

O.V. Vlasenko

Abstract. We have formed operant reflex in 10 of intact Wistar rats in the original chamber. It was suggested to analyze movement parameters by an integrative index – the index of successful grab of a food ball. It was established that the formation of motor skill has three steps – initial (1-5 days), transitional (6-8 days) and the perfect skill stage (starting with the 9th day). It was suggested to pay attention to the results of the "nodal" periods – on the 1st, 5th, 8th and 14th days of the experiment.

Key words: operant reflex, stage of training, rats.

Pirogov National Medical University (Vinnytsia)

Рецензент – проф. Р.С. Булик

Buk. Med. Herald. – 2015. – Vol. 19, № 1 (73). – P. 26-29

Надійшла до редакції 12.02.2015 року