



УДК 57.085.23, 577.353.2, 577.29, 929

EDN THIZEZ

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-4-445-455>

Физиология механо- и электрорецепторов: от рецепторных структур до рецепторного белка

Н. А. Бойченко¹, Ю. В. Плахова^{✉1}, Б. В. Крылов¹

¹Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, Россия, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6

Сведения об авторах

Надежда Андреевна Бойченко, e-mail: nadejdanb13@yandex.ru

Юлия Владиславовна Плахова, e-mail: juliapla@mail.ru

Борис Владимирович Крылов, SPIN-код: 3946-6408, e-mail: krylov@infran.ru

Для цитирования: Бойченко, Н. А., Плахова, Ю. В., Крылов, Б. В. (2025) Физиология механо- и электрорецепторов: от рецепторных структур до рецепторного белка. *Интегративная физиология*, т. 6, № 4, с. 445–455. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-4-445-455> EDN THIZEZ

Получена 22 ноября 2025; прошла рецензирование 14 декабря 2025; принята 23 декабря 2025.

Финансирование: Работа поддержана средствами федерального бюджета в рамках государственного задания ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН (№1021062411787-0-3.1.8).

Права: © Н. А. Бойченко, Ю. В. Плахова, Б. В. Крылов (2025). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях [лицензии CC BY 4.0](#).

Аннотация. Представлен краткий обзор исследований в области механо- и электрорецепторной сенсорных систем, проводимых Олегом Борисовичем Ильинским, его учениками и коллегами, и полученных выдающихся результатов, которые остаются актуальными и до настоящих дней. Ещё в 1965 году Олег Борисович опубликовал в журнале *Nature* статью, в которой предсказал существование дирекционной чувствительности рецепторной структуры (тельца Пачини), что прямо указало на существование в нервном окончании этого рецепторного прибора белковых молекулярных структур — механочувствительных каналов. Фундаментальные исследования механорецепторной системы принесли в прошлом веке Олегу Борисовичу и его школе мировую известность, что подтвердила организованная им международная конференция 1974 года, прошедшая в Институте физиологии им. И. П. Павлова АН СССР. Только спустя почти полвека произошло открытие первичной аминокислотной последовательности рецепторных белков — механочувствительных каналов Piezo, что позволило в 2021 году Дэвиду Джулиусу и Ардему Патапутяну получить Нобелевскую премию. Пионерские работы Олега Борисовича и его учеников внесли неменьший вклад и в понимание физиологических механизмов функционирования электрорецепторной системы, которой обладают некоторые виды рыб, амфибий и млекопитающих. Исследования этого органа чувств рыб позволили Олегу Борисовичу и его ученикам открыть физиологический механизм восприятия магнитного поля Земли этими животными. Настоящий обзор посвящён рассмотрению влияния результатов исследований и идей этого замечательного учёного на современные тенденции развития интегративной физиологии в области сенсорных систем на примере механо- и электрорецепции.

Ключевые слова: сенсорные системы, физиологические рецепторные структуры, механорецепторы, электрорецепторы, рецепторные белки

Physiology of mechano- and electroreceptors: From receptor structures to receptor proteins

N. A. Boychenko¹, I. V. Plakhova^{✉1}, B. V. Krylov¹

¹ Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 6 Makarova Emb., Saint Petersburg 199034, Russia

Authors

Nadezhda A. Boychenko, e-mail: nadejdanb13@yandex.ru

Iuliya V. Plakhova, e-mail: juliapla@mail.ru

Boris V. Krylov, SPIN: 3946-6408, e-mail: krylov@infran.ru

For citation: Boychenko, N. A., Plakhova, I. V., Krylov, B. V. (2025) Physiology of mechano- and electroreceptors: From receptor structures to receptor proteins. *Integrative Physiology*, vol. 6, no. 4, pp. 445–455. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-4-445-455> EDN THIZEZ

Received 22 November 2025; reviewed 14 December 2025; accepted 23 December 2025.

Funding: The work was supported by funds from the federal budget within the framework of the state assignment of the Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences (No. 1021062411787-0-3.1.8).

Copyright: © N. A. Boychenko, I. V. Plakhova, B. V. Krylov (2025). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract. This article presents a brief overview of research findings in the field of mechanoreceptor and electroreceptor sensory systems, based on the outstanding contributions by Oleg B. Ilyinsky and his colleagues, — work that remains relevant to this day. As early as 1965, Ilyinsky published an article in *Nature* demonstrating directional sensitivity of a receptor structure (the Pacinian corpuscle), thereby directly predicting the existence of protein molecular structures — mechanosensitive ion channels — in the nerve terminal of this physiological receptor. Fundamental research into the mechanoreceptor system brought Oleg Ilyinsky and his school worldwide renown in the last century, as confirmed by the international conference he organized in 1974, held at the I. P. Pavlov Institute of Physiology of the USSR Academy of Sciences. Nearly half a century later, the primary amino acid sequences of the receptor proteins — the mechanosensitive Piezo channels were identified, a discovery that led to David Julius and Ardem Patapoutian receiving the Nobel Prize in 2021. The pioneering work of Oleg Ilyinsky and his colleagues made an equally significant contribution to understanding the physiological mechanisms of the electroreceptor system, possessed by some species of fish, amphibians, and mammals. Studies of this sensory organ in fish enabled Oleg Ilyinsky and his team to discover the physiological mechanism by which these animals perceive the Earth's magnetic field. This review examines the impact of this remarkable scientist's research findings and conceptual insights on contemporary trends in the development of integrative physiology in the field of sensory systems, using mechano- and electroreception as an example.

Keywords: sensory systems, physiological receptor structures, mechanoreceptors, electroreceptors, receptor proteins

*Памяти Олега Борисовича Ильинского,
нашего учителя, посвящается*

Введение

Олег Борисович Ильинский родился 5 апреля 1932 года в Ленинграде; окончил 1-й Ленинградский медицинский институт в 1955 году. 1955–1979 — аспирант, младший научный сотрудник, старший научный сотрудник, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией Института физиологии им. И. П. Павлова АН СССР; 1979–1987 — заведующий лабораторией Всесоюзного кардиологического научного центра АМН СССР; 1987–1996 — заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией ЦНИИ спортивной медицины

ГКС СССР (РФ); академик РАЕН (1990); профессор Северо-Техасского университета, США (1996); академик Нью-Йоркской академии наук; заместитель редактора журнала «Сенсорные системы» АН СССР, член редколлегии журнала «Нейрофизиология» (1973–1982), лауреат премии им. К. М. Быкова АН СССР (рис. 1).

Родители Олега Борисовича были врачами, выпускниками 1-го Ленинградского государственного медицинского института им. акад. И. П. Павлова, Анна Владимировна Николаева и Борис Вячеславович Ильинский.

Анна Владимировна происходила из семьи высококвалифицированных ремесленников-

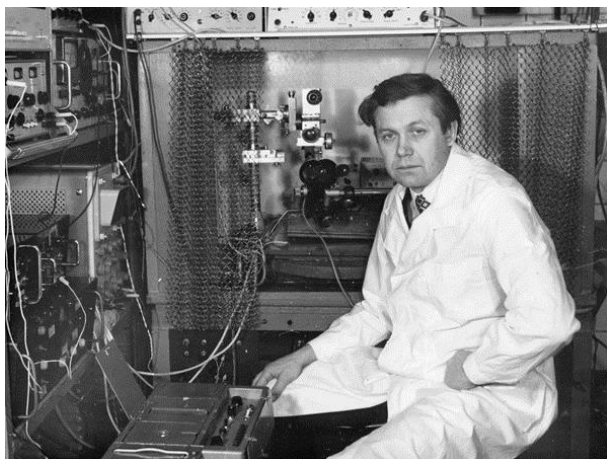


Рис. 1. Доктор биологических наук, профессор Олег Борисович Ильинский (1932–2020) (архив группы научно-исследовательской кинематографии Института физиологии им. И. П. Павлова, РАН)

Fig. 1. Prof. Oleg B. Ilyinsky, Doctor of Biological Sciences (1932–2020) (archive of the Research Cinematography Group, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences)

ювелиров, и возможно, что Олег Борисович унаследовал свои способности к созданию сложнейших электрофизиологических экспериментальных установок именно по материнской линии. Отметим, что Анна Владимировна работала в поликлинике АН СССР.

Отец, Борис Вячеславович Ильинский (1897–1994), родился в семье потомственных священников. Окончил 1-й Ленинградский медицинский институт в 1926 году, профессор, кардиолог, доктор медицинских наук, ученик академика Г. Ф. Ланга, крупнейшего терапевта своего времени: был одним из основоположников холестеринной теории атеросклероза. Участник советско-финляндской и Великой Отечественной войн. С июня 1941 года по апрель 1944 года служил на Ленинградском фронте (армейский терапевт 23-й и 67-й армий), с июля 1944 года — главный терапевт 3-го Белорусского фронта, участвовал в Белорусской и Восточно-Прусской операциях. Подполковник медицинской службы. Награждён орденами и медалями. После войны заведовал III, затем II терапевтической кафедрами Ленинградского института усовершенствования врачей. Автор 170 научных работ и четырёх монографий.

Жена, Нина Борисовна Костелянец, работала в Институте физиологии им. И. П. Павлова АН СССР в лаборатории профессора Вадима Давыдовича Глезера и могла сделать выдающуюся научную карьеру, но всю себя посвятила семье и поддержке мужа в самых сложных жизненных ситуациях. Выростила двоих детей.

Дети: сын Пётр Олегович родился в 1965 году. Окончил Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова в 1986 году. Защитил кандидатскую диссертацию в 1990 году. Затем, вслед за родителями, переехал в США, работает по контракту в Гарвардском университете. Является автором научных работ, опубликованных в самых высокорейтинговых журналах. Дочь, Анна Олеговна, родилась в 1970 году. С 1996 года живет с мужем в США, работает в сфере высоких технологий.

Самое сложное жизненное испытание выпало на долю молодого Олега зимой 1942 года. Ему удалось выжить в самом начале Великой Отечественной войны в блокадном Ленинграде благодаря родителям врачам, которые делились своими пайками с ним, его сестрой и тётёй, с которыми жил Олег, поскольку родители работали круглосуточно. В конце зимы при эвакуации на «Дороге жизни» грузовик, в котором находился Олег Борисович с тётёй и сестрой, застрял на обочине. Обычно это завершалось трагически, но судьба решила иначе, сохранив их жизни. Случилось чудо: один из водителей остановился и помог вытащить их машину.

В 1955 году после окончания обучения в 1-м Ленинградском государственном медицинском институте Олег Борисович поступил в аспирантуру Института физиологии им. И. П. Павлова АН СССР, в лабораторию выдающегося учёного Владимира Николаевича Черниговского. Именно такое начало карьеры Олега Борисовича не могло не привести в будущем к его замечательным успехам. В 1958 году он защитил кандидатскую диссертацию на соискание учёной степени кандидата медицинских наук на тему «Особенности действия различных наркотиков на рефлекторные дуги шейного и поясничного отделов спинного мозга». Жена, Нина Борисовна, в своих воспоминаниях отмечает, что он начал по собственной инициативе изучать одиночные механорецепторы — тельца Пачини. Именно здесь к нему пришёл большой успех: несмотря на «железный занавес», в 1965 году ему удалось опубликовать свою статью в журнале *Nature* (Ilyinsky 1965), где выходили в свет результаты только высочайшего научного уровня. Олег Борисович считал эту публикацию главной, определившей всю его жизнь. Именно она стала основой приглашения Олега Борисовича в Японию с устным докладом в том же году. По воспоминаниям Нины Борисовны: «Отправили его в туристической группе за свой счёт. Уж не помню, как мы это осилили тогда. Может, его родители поучаствовали. Это была первая и последняя поездка в капстрану из Питера».

Механорецепция

Директор института, академик Владимир Николаевич Черниговский, считал Олега Борисовича одним из талантливейших своих учеников, всегда полностью поддерживал все его начинания. Так, в октябре 1974 года под председательством Владимира Николаевича и всемирно известного профессора А. Игго в институте была проведена конференция «Somatosensory and visceral receptor mechanisms». В организационный комитет входили У. Баргманн (Киль), Х. Т. Чанг (Шанхай), Э. Де Робертис (Буэнос-Айрес), Дж. З. Янг (Лондон), Дж. П. Шаде (Амстердам), Дж. Д. Френч (Лос-Анджелес) и ряд других всемирно известных учёных. Академик В. Н. Черниговский, открывая конференцию, выступил с докладом «Tissue receptors. Historical scope. Modern view. Perspectives» (Chernigovsky 1976). В свою очередь, профессор А. Игго в своём выступлении предложил обсудить интереснейший для того времени вопрос: «Is the physiology of cutaneous receptors determined by morphology?» (Iggo 1976). Вклад Олега Борисовича в проведение этой конференции был огромным: ему удалось не только организовать финансирование для её проведения и преодолеть все организационные проблемы во времена «железного занавеса», но и показать высокий уровень развития физиологии как фундаментальной науки в нашей стране.

Через год после конференции Олег Борисович опубликовал важнейший труд своей жизни: том в «Руководстве по физиологии» под названием «Физиология механорецепторов» (Ильинский 1975). Эта фундаментальная монография состоит из 560 страниц и включает в себя ссылки почти на 2000 источников. Изложенный здесь фактический материал стал обобщением практически всех знаний, существовавших в науке в этой области. Ряд идей автора, высказанных здесь, не потеряли своей актуальности и до настоящего времени.

Действительно, механорецепторы, как и все сенсорные приборы, состоят из следующих основных элементов: 1) вспомогательного аппарата физиологического рецептора вместе с окружающими его структурами; 2) собственно рецептирующих структур, которыми могут быть как окончания сенсорного нейрона, так и специализированные рецепторные клетки; 3) структур, обеспечивающих возникновение и распространение импульсной активности, так называемых зон регенеративной деполяризации (Ильинский 1962; 1963; Davis 1961; Plyinsky et al. 1976a; 1976b). Подчеркнём, что в эти годы белковая природа

молекул рецептирующих структур ещё не была доказана. Тем удивительнее было появление публикаций, где Олег Борисович вместе со своими коллегами из Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР опубликовал статьи, где анализ шумов генераторного тока тельца Пачини позволил очень близко подойти к регистрации характеристик одиночных механочувствительных каналов. Только технические ограничения (шумы ламповых усилителей), к сожалению, не позволили тогда сделать это открытие (Ильинский, Фикс 1963; Ильинский и др. 1965). Тем не менее замечательная методика, разработанная Олегом Борисовичем Ильинским для изучения электрофизиологических ответов изолированного одиночного волокна механорецептора тельца Пачини, позволила зарегистрировать не только его импульсные ответы, но и знак генераторного потенциала, возникающего в ответ на контролируемое механическое воздействие. Так была открыта дирекционная чувствительность механорецептора (Ильинский 1962; 1975; Plyinsky 1965).

В это время в научном мире все ближе становилось понимание того, что рецепторный белок должен быть идентифицирован в ближайшем будущем. И одна из важнейших работ, подтверждающих это, появилась в 1973 году. Её автором был профессор Стивен Прайс, первым обнаруживший рецепторный белок в обонятельной системе (Price 1973). Олег Борисович пригласил профессора Прайса в свою лабораторию, где он рассказал о своих замечательных результатах. Не менее плодотворными были визиты и других зарубежных учёных, особенно профессора Левенштейна, публикации которого считались важнейшими в области физиологии механорецепторов (Loewenstein 1971). Интерес к поиску механорецепторного белка, по-видимому, поддержала встреча Олега Борисовича с профессором Евгением Евгеньевичем Фесенко, выдающимся биофизиком, который был в то время заведующим лабораторией Института биологической физики АН СССР и также занимался поиском рецепторного белка. Его усилия завершились замечательным открытием: в обонятельном сенсорном эпителии был обнаружен белок, служивший мишенью для молекулы камфары (Fesenko et al. 1979). В это время профессор Фесенко работал со своими сотрудниками на Карадагской биостанции в Крыму, входившей в состав Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. Возможно, именно эта встреча и определила интерес Олега Борисовича к исследованию совершенно нового для того времени направления — электрорецепции.

Электрорецепция

В 1970-е годы Олег Борисович, начиная со своими учениками практически с нуля, не только раскрыл тончайшие механизмы функционирования электрорецепторов ампул Лоренцини холоднокровных животных, но и сделал Карадагскую биологическую станцию в Крыму известной всему миру. Лаборатория начала проводить свои исследования на черноморских скалах (Андрианов и др. 1983; 1984; Броун, Крылов 1978; Броун и др. 1974; 1979; Brown et al. 1974). Затем экспедиционные выезды расширились до биостанции на Баренцевом море (Brown et al. 1979). Выдающиеся успехи пятнадцатилетней работы коллектива исследователей, руководимого Олегом Борисовичем Ильинским, были обобщены в монографии, вышедшей в свет в 1984 году (Броун, Ильинский 1984). Успехи действительно были выдающимися, о чём свидетельствует серия публикаций в *Nature* и самых высокорейтинговых журнала (Акоев et al. 1976; Brown et al. 1974; 1979), а также официальная регистрация сделанного ими открытия (Броун и др. 1992). Авторы виртуозно использовали разработанную ими методику, которая позволяла одновременно записывать импульсную активность электрорецепторов и дыхательный ритм экспериментального животного (Андрианов и др. 1983; Броун, Крылов 1978; Броун и др. 1974; 1979; 1980а; 1980b). При этом удавалось регистрировать ответы на слабые стимулы электрического или магнитного поля, включая предельно слабые воздействия вариаций электромагнитного поля Земли. В результате впервые было доказано существование у ряда животных «шестого чувства», которым служит электрорецепция. Отметим, что исследования в этой области бурно развивались во всем мире (Bennett 1971; Bullock, Heiligenberg 1986; Lissmann 1951; Lissmann, Machin 1963).

В экспедиционных условиях, разумеется, было невозможно проводить эксперимент *in situ*, а именно проводить исследования рецепторного органа электрорецепторной системы с целью поиска «рецепторного белка». Поэтому прорыв был осуществлен иными методами другими исследователями (Bennet, Clusin 1979), сумевшими доказать, что первичное преобразование стимула происходит благодаря активации ионных каналов, а именно ставших хорошо известными к этому времени кальциевых потенциалочувствительных ионных каналов. Итак, сделав огромный вклад в развитие новой области физиологии сенсорных систем, то есть в области

электрорецепции, нового «шестого чувства», Олег Борисович не дошёл до обнаружения специализированного «рецепторного белка», поскольку природа выбрала другой путь, используя в качестве молекулы-рецептора кальциевый ионный канал.

Достижения Олега Борисовича в области исследований физиологических механизмов электрорецепции не остались незамеченными. Он получил приглашение от своего коллеги приехать в Нидерланды на шесть месяцев для выполнения совместного проекта в 1974 году. Запланированные исследования электрорецепторной системы были выполнены, но без участия Олега Борисовича, хотя программа экспериментов была составлена им. По воспоминаниям Нины Борисовны, по непонятным причинам этим планам не суждено было сбыться: «Уж не помню, под каким предлогом заставили отменить поездку. Ездил только в соцстраны. В Брно (Чехословакия) получил медаль Пуркинье. Олега Борисовича неоднократно приглашали работать на Запад, в том числе в ведущие лаборатории мира, включая лабораторию Бернарда Каца, но ни разу не выпустили».

По воспоминаниям его близких: «Время работы в институте он всегда считал лучшим временем в своей жизни». По их словам, пять лауреатов Нобелевской премии в области физиологии или медицины посетили Институт физиологии им. И. П. Павлова АН СССР в эти годы, что было обыденным явлением. Видимо, именно в течение тех лет, когда Олег Борисович работал в институте, к нему пришло понимание принципов, на которых он строил свою научную деятельность. Создав в 1972 году лабораторию общей физиологии рецепции, он направлял научную деятельность своих молодых коллег следующим образом. Он считал, что не существует «молодёжной» науки, наука должна быть такой, чтобы каждая статья становилась «классической». Результаты научной деятельности должны принадлежать всему миру, поэтому важно не просто один раз опубликовать свою работу, пусть даже в самом известном в мире журнале, а публикационная активность обязательно должна включать в себя серию высокорейтинговых статей. И ещё, подчеркнём: Олег Борисович особо отмечал, что в первую очередь необходимо выигрывать научную конкуренцию в области идей (постановка задачи научного исследования). Именно поэтому вклад научного руководителя, его знания и интуиция не менее чем на 90% определяют успех руководимого им коллектива. Видимо, благодаря именно

этому его лаборатория добивалась успехов. Он показывал тот научный путь, по которому безошибочно шли его сотрудники. Защиты кандидатских и докторских диссертаций, выполненных под его руководством, как правило, были основаны на результатах публикаций в журнале *Nature* (Brown et al. 1974; 1979; Gerasimov, Akoev 1967; Krylov, Makovsky 1978). Несмотря на то что Олег Борисович навсегда покинул институт, его ученики долгое время, основываясь на его принципах, продолжали публиковать свои результаты на самом высоком уровне (Акоев и др. 1988; Akoev et al. 1988; Krylov et al. 2017).

Заключение

В 1979 году Олег Борисович переехал вместе с семьей в Москву, а в 1996 году — в США. В своей научной деятельности он продолжал руководствоваться идеей поиска рецепторного белка, точнее, выяснения физиологической роли субстанций пептидной природы эндогенного и экзогенного происхождения, и добился в этом немалых успехов. В сфере его интересов был эндорфин, синтетический пептид даларгин и многое другое, а также лечебные методы, включая метод иглоукалывания (Усова, Морохов 1974), ведущие к практическому применению сделанных им открытий, основанных на глубоком понимании физиологических механизмов функционирования организма в норме и при патологии (Акоев и др. 1989; Афонская и др. 1986).

В США Олег Борисович работал в Университете штата Техас (University of Texas Health Science Center). О переезде в США жена, Нина Борисовна, вспоминает следующее: «Теперь, зная США, в голову бы не пришло отправляться в поисках работы в 60 лет. Только его международное имя позволило этой “авантюре” не завершиться полным крахом». В США Олега Борисовича интересовал механизм расширения рецептивных полей нейронов в ядрах спинного мозга после анестезии, также он изучал механизмы ГАМКергического модулирования роста нейритов первичных сенсорных нейронов. Важнейшие результаты этих исследований были опубликованы в высокорейтинговых журналах, что расширяет наши знания о формировании болевого ощущения и возникновении хронической боли (Ilyinsky, Mifflin 2005; Ilyinsky et al. 1990; Schwark, Ilyinsky 2001; Schwark et al. 1999).

Олег Борисович всю жизнь осуществлял свою публикационную активность на самом высоком уровне. Так, в Scopus, базе данных цитирования

рецензируемых научных работ, при его жизни было зафиксировано более 250 цитирований. Но реализовать свою мечту — обнаружить рецепторный белок — ему не удалось. К великому сожалению, дожить до времени обнаружения механочувствительного рецепторного белка Олегу Борисовичу не довелось совсем немного. Через год после его смерти, в 2021 году, «за открытие рецепторов, обеспечивающих восприятие температурных и механических стимулов», была присуждена Нобелевская премия Дэвиду Джулиусу и Ардему Патапутяну. Этим исследователям удалось выяснить первичную аминокислотную последовательность механочувствительного канала Piezo (Coste et al. 2010), т. е. того рецепторного белка, попыткам обнаружения которого были посвящены лучшие годы жизни Олега Борисовича.

Олег Борисович Ильинский был выдающимся учёным, который оставил замечательный след в истории Института физиологии им. И. П. Павлова РАН. Он был учеником академика Владимира Николаевича Черниговского, автора более четырёхсот статей и одиннадцати книг, под руководством которого в эти годы в институте работала плеяда других всемирно известных учёных. Высочайший уровень исследований задавал, конечно, сам Владимир Николаевич (Chernigovsky 1967). Его работы в области interoцепции были известны научному миру, они намного опередили своё время. Даже сегодня является актуальной поставленная им задача поиска механизмов «тёмных ощущений», не решённая до настоящего времени. Может быть, именно поэтому Олег Борисович выбрал экстерорецепторы как предмет своих исследований, пытаясь именно здесь выйти на молекулярный уровень и впервые в мире обнаружить рецепторный белок. И в двух областях сенсорной физиологии, механо- и электрорецепции, он был очень близок к решению этой задачи. Сегодня становится очевидным, что молекулярные механизмы восприятия сенсорных сигналов и регуляции их обработки чрезвычайно сложны, в них вовлечены каскады белковых молекул. Но благодаря идеям Олега Борисовича, стилю и принципам его научного поиска, его ученикам удаётся приблизиться к пониманию физиологической роли белковых структур при изучении ещё одного «шестого чувства», ноцицепции (Kalinina et al. 2023; Penniyaynen et al. 2025; Plakhova et al. 2020; Rogachevskii et al. 2022a; 2022b). Именно за это мы ему очень благодарны. Закончить эту статью хотелось бы словами Альберта Эйнштейна: «Интуиция — священный

дар, а рациональный ум — верный слуга». Нам в высшей степени повезло встретить учителя, обладающего этим священным даром и огромными знаниями. С большой благодарностью мы и сейчас считаем Олега Борисовича нашим самым дорогим соавтором.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Вклад авторов

а. Бойченко Надежда Андреевна — описание исторической части работы, доработка текста;
б. Плахова Юлия Владиславовна — описание исторической части работы, доработка текста;
в. Крылов Борис Владимирович — описание исторической и научной части работы.

Author Contributions

a. Nadezhda A. Boychenko — historical account, manuscript revision;
b. Iuliya V. Plakhova — historical account, manuscript revision;
c. Boris V. Krylov — historical account and research overview.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность канд. биол. наук Нине Борисовне Костелянец и канд. биол. наук Петру Олеговичу Ильинскому, руководителю группы научно-исследовательской кинематографии Николаю Александровичу Мальцеву.

Acknowledgements

The authors express their deep gratitude to Nina B. Kostelyanets, PhD, and Petr O. Ilyinsky, PhD, head of the scientific-research cinematography group Nikolai A. Maltsev for their valuable assistance and support.

Литература

- Акоев, Г. Н., Ильинский, О. Б., Колосова, Л. И. и др. (1989) Влияние опиоидного пептида даларгина на регенерацию седалищного нерва крысы. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 75, № 1, с. 33–37.
- Акоев, Г. Н., Киров, С. А., Крылов, Б. В., Подзорова, С. А. (1988) Кинетика инактивации тетродотоксичных натриевых каналов в спинальных ганглиозных нейронах крыс. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 74, № 6, с. 802–808.
- Андрианов, Ю. Н., Броун, Г. Р., Ильинский, О. Б. (1984) Исследование частотных характеристик центральных нейронов электрорецепторной системы ската при действии электрических и магнитных полей. *Нейрофизиология*, т. 16, № 4, с. 464–470.
- Андрианов, Ю. Н., Броун, Г. Р., Ильинский, О. Б., Муравейко, В. М. (1983) Электрофизиологическое исследование центральных проекций ампул Лоренцини у ската. *Нейрофизиология*, т. 15, № 6, с. 611–614.
- Афонская, Н. И., Ильинский, О. Б., Кондаленко, В. Ф. и др. (1986) Влияние опиоидного пептида на заживление экспериментального инфаркта миокарда. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*, т. 102, № 12, с. 754–757.
- Броун, Г. Р., Андрианов, Ю. Н., Ильинский, О. Б. (1974) О способности электрорецепторной системы черноморских скатов к восприятию магнитного поля. *Доклады Академии наук СССР*, т. 216, № 1, с. 232–234.
- Броун, Г. Р., Гаврилов, Л. Р., Жадан, Г. Г. и др. (1980а) Действие фокусированного ультразвука на электрорецепторную систему скатов и на некоторые ткани рыб и амфибий. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*, т. 16, № 4, с. 352–358.
- Броун, Г. Р., Ильинский, О. Б. (1984) *Физиология электрорецепторов*. Л.: Наука, 247 с.
- Броун, Г. Р., Ильинский, О. Б., Крылов, Б. В. (1979) Реакции ампул Лоренцини в однородном электрическом поле. *Нейрофизиология*, т. 11, № 2, с. 158–166.
- Броун, Г. Р., Ильинский, О. Б., Мамадалиев, А. и др. (1980б) Функциональные характеристики электрорецепторов туркестанского сомика. *Нейрофизиология*, т. 12, № 5, с. 508–516.
- Броун, Г. Р., Ильинский, О. Б., Муравейко, В. М., Горшков, Э. С. (1992) *Закономерность рецепции водными позвоночными действия магнитного поля Земли*. Открытие № 371. Дата регистрации 20.01.1992. Зарегистрировано в Государственном реестре открытий СССР.
- Броун, Г. Р., Крылов, Б. В. (1978) Функциональная роль вспомогательных структур электрорецепторов ампул Лоренцини. *Доклады Академии наук СССР*, т. 240, № 4, с. 993–996.

- Ильинский, О. Б. (1962) Местные и распространяющиеся потенциалы одиночных механорецепторов телец Фатер-Пачини. *Доклады Академии наук СССР*, т. 142, № 2, с. 488–493.
- Ильинский, О. Б. (1963) Свойства одиночных механорецепторов телец Фатер-Пачини. *Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова*, т. 49, № 2, с. 201–207.
- Ильинский, О. Б. (1975) *Физиология сенсорных систем*. Ч. 3. *Физиология механорецепторов*. Л.: Наука, 560 с.
- Ильинский, О. Б., Фикс, В. Б. (1963) К механизму возникновения возбуждения в одиночных механорецепторах. *Доклады Академии наук СССР*, т. 152, № 1, с. 218–220.
- Ильинский, О. Б., Фикс, В. Б., Храпкова, С. И. (1965) Действие температуры на биоэлектрическую активность телец Пачини. *Доклады Академии наук СССР*, т. 165, № 1, с. 227–229.
- Усова, М. К., Морохов, С. А. (1974) *Краткое руководство по иглоукалыванию и прижиганию*. М.: Медицина, 143 с.
- Акоев, G. N., Alekseev, N. P., Krylov, B. V. (1988) *Mechanoreceptors: Their functional organization*. Berlin; Heidelberg: Springer Publ., 197 p.
- Акоев, G. N., Ilyinsky, O. B., Zadan, P. M. (1976) Physiological properties of electroreceptors of marine skates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, vol. 53, no. 2, pp. 201–209. [https://doi.org/10.1016/S0300-9629\(76\)80056-4](https://doi.org/10.1016/S0300-9629(76)80056-4)
- Bennett, M. V. L. (1971) Electric organs. In: W. S. Hoar, D. J. Randall (eds.). *Fish physiology*. Vol. 5. New York: Academic Press, pp. 347–491. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60051-5](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60051-5)
- Bennett, M. V. L., Clusin, W. T. (1979) Transduction at electroreceptors: Origins of sensitivity. In: R. A. Cone, J. E. Dowling (eds.). *Membrane transduction mechanisms*. New York: Raven Press, pp. 91–116.
- Brown, H. R., Andrianov, G. N., Ilyinsky, O. B. (1974) Magnetic field perception by electroreceptors in Black Sea skates. *Nature*, vol. 249, no. 453, pp. 178–179. <https://doi.org/10.1038/249178a0>
- Brown, H. R., Ilyinsky, O. B., Muravejko, V. M. et al. (1979) Evidence that geomagnetic variations can be detected by lorenzian ampullae. *Nature*, vol. 277, no. 5698, pp. 648–649. <https://doi.org/10.1038/277648a0>
- Bullock, T. H., Heiligenberg, W. (1986) *Electroreception*. New York: Wiley Publ., 722 p.
- Chernigovsky, V. N. (1967) *Interoreceptors*. Washington: American Psychological Association Publ., 804 p.
- Chernigovsky, V. N. (1976) Tissue receptors. Historical scope. Modern view. Perspectives. In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 3–14. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64333-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64333-2)
- Coste, B., Mathur, J., Schmidt, M. et al. (2010) Piezo1 and Piezo2 are essential components of distinct mechanically activated cation channels. *Science*, vol. 330, no. 6000, pp. 55–60. <https://doi.org/10.1126/science.1193270>
- Davis, R. C. (1961) Physiological responses as a means of evaluating information. In: A. D. Biderman, H. Zimmer (eds.). *The manipulation of human behavior*. New York: Wiley Publ., pp. 142–168.
- Fesenko, E. E., Novoselov, V. I., Krapivinskaya, L. D. (1979) Molecular mechanisms of olfactory reception. IV. Some biochemical characteristics of the camphor receptor from rat olfactory epithelium. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — General Subjects*, vol. 587, no. 3, pp. 424–432. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(79\)90446-x](https://doi.org/10.1016/0304-4165(79)90446-x)
- Gerasimov, V. D., Akoev, G. N. (1967) Effects of various ions on the resting and action potentials of the giant nerve cells of the leech *Hirudo medicinalis*. *Nature*, vol. 214, no. 5095, pp. 1351–1352. <https://doi.org/10.1038/2141351b0>
- Iggo, A. (1976) Is the physiology of cutaneous receptors determined by morphology? In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 15–31. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64334-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64334-4)
- Ilyinsky, O. B. (1965) Processes of excitation and inhibition in single mechanoreceptors (Pacinian corpuscles). *Nature*, vol. 208, no. 5008, pp. 351–353. <https://doi.org/10.1038/208351a0>
- Ilyinsky, O. B., Krasnikova, T. L., Akoev, G. N., Elman, S. I. (1976a) Functional organization of mechanoreceptors. In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 195–203. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64351-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64351-4)
- Ilyinsky, O., Mifflin, S. (2005) Chronic hypoxia abolishes expiratory prolongation following carotid sinus nerve stimulation in the anesthetized rat. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, vol. 146, no. 2–3, pp. 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.12.005>
- Ilyinsky, O. B., Surkina, I. D., Gotovtseva, E. P. et al. (1990) Immune and opioid systems in stress. *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 594, no. 1, pp. 461–462. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1990.tb40528.x>
- Ilyinsky, O. B., Volkova, N. K., Cherepnov, V. L., Krylov, B. V. (1976b) Morphofunctional properties of Pacinian corpuscles. In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 173–186. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64349-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64349-6)
- Kalinina, A. D., Rogachevskii, I. V., Samosat, D. M. et al. (2023) Analgesic effect of the lysine-containing short peptide is due to modulation of the Na_v1.8 channel activation system. *Life*, vol. 13, no. 9, article 1800. <https://doi.org/10.3390/life13091800>

- Krylov, B. V., Makovsky, V. S. (1978) Spike frequency adaptation in amphibian sensory fibres is probably due to slow K channels. *Nature*, vol. 275, no. 5680, pp. 549–551. <https://doi.org/10.1038/275549a0>
- Krylov, B. V., Rogachevskii, I. V., Shelykh, T. N., Plakhova, V. B. (2017) *New non-opioid analgesics: Understanding molecular mechanisms on the basis of patch-clamp and quantum-chemical studies*. Sharjah: Bentham Science Publ., 203 p. (Frontiers in pain science. Vol. 1). <https://doi.org/10.2174/97816080593001170101>
- Lissmann, H. W. (1951) Continuous electrical signals from the tail of a fish. *Gymnarchus niloticus Cuv. Nature*, vol. 167, no. 4240, pp. 201–202. <https://doi.org/10.1038/167201a0>
- Lissmann, H. W., Machin, K. E. (1963) Electric receptors in a non-electric fish (*Clarias*). *Nature*, vol. 199, no. 4888, pp. 88–89. <https://doi.org/10.1038/199088a0>
- Loewenstein, W. R. (1971) Mechano-electric transduction in the Pacinian corpuscle. Initiation of sensory impulses in mechanoreceptors. In: *Principles of receptor physiology*. Berlin; Heidelberg: Springer Publ., pp. 269–290. (Handbook of sensory physiology. Vol. 1). https://doi.org/10.1007/978-3-642-65063-5_9
- Penniyaynen, V. A., Samosvat, D. M., Plakhova, V. B. et al. (2025) A novel target for analgesic substances: Physiological role of Na,K-ATPase as the signal transducer. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, vol. 18, article 1717676. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2025.1717676>
- Plakhova, V. B., Penniyaynen, V. A., Rogachevskii, I. V. et al. (2020) Dual mechanism of modulation of Na_v1.8 sodium channels by ouabain. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, vol. 98, no. 11, pp. 785–802. <https://dx.doi.org/10.1139/cjpp-2020-0197>
- Price, S. (1973) Phosphodiesterase in tongue epithelium: Activation by bitter taste stimuli. *Nature*, vol. 241, no. 5384, pp. 54–55. <https://doi.org/10.1038/241054a0>
- Rogachevskii, I. V., Plakhova, V. B., Penniyaynen, V. A. et al. (2022a) New approaches to the design of analgesic medicinal substances. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, vol. 100, no. 1, pp. 43–52. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2021-0286>
- Rogachevskii, I. V., Plakhova, V. B., Penniyaynen, V. A. et al. (2022b) Arginine-containing tripeptides as analgesic substances: The possible mechanism of ligand-receptor binding to the slow sodium channel. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 23, no. 11, article 5993. <https://doi.org/10.3390/ijms23115993>
- Schwark, H. D., Ilyinsky, O. B. (2001) Inflammatory pain reduces correlated activity in the dorsal column nuclei. *Brain Research*, vol. 889, no. 1–2, pp. 295–302. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(00\)03137-1](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(00)03137-1)
- Schwark, H. D., Tennison, C. F., Ilyinsky, O. B., Fuchs, J. L. (1999) Inhibitory influences on receptive field size in the dorsal column nuclei. *Experimental Brain Research*, vol. 126, no. 3, pp. 439–442. <https://doi.org/10.1007/s002210050750>

References

- Afonskaia, N. I., Ilyinsky, O. B., Kondalenko, V. F. et al. (1986) Vliyanie opioidnogo peptida na zazhivlenie eksperimental'nogo infarkta miokarda [Effect of an opioid peptide on the healing of experimental myocardial infarct]. *Byulleten' eksperimental'noj biologii i meditsiny — Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, vol. 102, no. 12, pp. 754–757. (In Russian)
- Akoev, G. N., Alekseev, N. P., Krylov, B. V. (1988) *Mechanoreceptors: Their functional organization*. Berlin; Heidelberg: Springer Publ., 197 p. (In English)
- Akoev, G. N., Ilyinsky, O. B., Kolosova, L. I. et al. (1989) Vliyanie opioidnogo peptida dalargina na regeneratsiyu sedalishchnogo nerva krysy [The effect of the opioid peptide dalargin on the regeneration of the rat sciatic nerve]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR imeni I. M. Sechenova*, vol. 75, no. 1, pp. 33–37. (In Russian)
- Akoev, G. N., Ilyinsky, O. B., Zadan, P. M. (1976) Physiological properties of electroreceptors of marine skates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, vol. 53, no. 2, pp. 201–209. [https://doi.org/10.1016/S0300-9629\(76\)80056-4](https://doi.org/10.1016/S0300-9629(76)80056-4) (In English)
- Akoev, G. N., Kirov, S. A., Krylov, B. V., Podzorova, S. A. (1988) Kinetika inaktivatsii tetrodotoksin-chuvstvitel'nykh natrievykh kanalov v spinal'nykh ganglioznykh nejronakh krysy [Kinetics of the inactivation of tetrodotoxin-sensitive sodium channels in the spinal ganglion neurons of rats]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR imeni I. M. Sechenova*, vol. 74, no. 6, pp. 802–808. (In Russian)
- Andrianov, Yu. N., Broun, G. R., Ilyinsky, O. B., Muraveiko, V. M. (1983) Elektrofiziologicheskoe issledovanie tsentral'nykh proektsij ampul Lorentsini u skata [Electrophysiological study of central projections of ampullae of lorenzini in skates]. *Nejrofiziologiya*, vol. 15, no. 6, pp. 611–614. (In Russian)
- Andrianov, Yu. N., Broun, G. R., Ilyinsky, O. B., Muraveiko, V. M. (1984) Issledovanie chastotnykh kharakteristik tsentral'nykh nejronov elektrotseptornoj sistemy skata pri dejstvii elektricheskikh i magnitnykh polej [Frequency characteristics of skate electroreceptive central neurons responding to electrical and magnetic stimulation]. *Nejrofiziologiya*, vol. 16, no. 4, pp. 464–470. (In Russian)
- Bennett, M. V. L. (1971) Electric organs. In: W. S. Hoar, D. J. Randall (eds.). *Fish physiology*. Vol. 5. New York: Academic Press, pp. 347–491. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60051-5](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60051-5) (In English)
- Bennett, M. V. L., Clusin, W. T. (1979) Transduction at electroreceptors: Origins of sensitivity. In: R. A. Cone, J. E. Dowling (eds.). *Membrane transduction mechanisms*. New York: Raven Press, pp. 91–116. (In English)

- Broun, G. R., Andrianov, Yu. N., Ilyinsky, O. B. (1974) O sposobnosti elektoretseptornoj sistemy chernomorskikh skatov k vospriyatiyu magnitnogo polya [Capability of the electroreceptor system of the Black Sea skate for magnetic field reception]. *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 216, no. 1, pp. 232–234. (In Russian)
- Broun, G. R., Gavrilov, L. R., Zhadan, G. G. et al. (1980a) Dejstvie fokusirovannogo ul'trazvuka na elektoretseptornuyu sistemu skatov i na nekotorые tkani ryb i amfibij [Effect of focused ultrasound on the electroreceptor system of skates and certain fish and amphibian tissues]. *Zhurnal evolyutsionnoj biokhimii i fiziologii*, vol. 16, no. 4, pp. 352–358. (In Russian)
- Broun, G. R., Ilyinsky, O. B. (1984) *Fiziologiya elektoretseptorov [Physiology of electroreceptors]*. Leningrad: Nauka Publ., 247 p. (In Russian)
- Broun, G. R., Ilyinsky, O. B., Krylov, B. V. (1979) Reaktsii ampul Lorentsini v odnorodnom elektricheskom pole [Responses of ampullae of Lorenzini in a uniform electric field]. *Nejrofiziologiya*, vol. 11, no. 2, pp. 158–166. (In Russian)
- Broun, G. R., Ilyinsky, O. B., Mamadaliev, A. et al. (1980b) Funktsional'nye kharakteristiki elektoretseptorov turkestanskogo somika [Functional characteristics of the electroreceptors of the Turkestan catfish]. *Nejrofiziologiya*, vol. 12, no. 5, pp. 508–516. (In Russian)
- Broun, G. R., Ilyinsky, O. B., Muravejko, V. M., Gorshkov, E. S. (1992) *Zakonomernost' retseptsii vodnymi pozvonochnymi dejstviya magnitnogo polya Zemli [The pattern of reception by aquatic vertebrates of the action of the Earth's magnetic field]*. Discovery No. 371. Register date 20.01.1992. Registered in the State Register of Discoveries of the USSR. (In Russian)
- Broun, G. R., Krylov, B. V. (1978) Funktsional'naya rol' vspomogatel'nykh struktur elektoretseptorov ampul Lorentsini [Functional role of the accessory structures of Lorenzini ampullar electroreceptors]. *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 240, no. 4, pp. 993–996. (In Russian)
- Brown, H. R., Andrianov, G. N., Ilyinsky, O. B. (1974) Magnetic field perception by electroreceptors in Black Sea skates. *Nature*, vol. 249, no. 453, pp. 178–179. <https://doi.org/10.1038/249178a0> (In English)
- Brown, H. R., Ilyinsky, O. B., Muravejko, V. M. et al. (1979) Evidence that geomagnetic variations can be detected by lorenzinian ampullae. *Nature*, vol. 277, no. 5698, pp. 648–649. <https://doi.org/10.1038/277648a0> (In English)
- Bullock, T. H., Heiligenberg, W. (1986) *Electroreception*. New York: Wiley Publ., 722 p. (In English)
- Chernigovsky, V. N. (1967) *Interoceptors*. Washington: American Psychological Association Publ., 804 p. (In English)
- Chernigovsky, V. N. (1976) Tissue receptors. Historical scope. Modern view. Perspectives. In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 3–14. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64333-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64333-2) (In English)
- Coste, B., Mathur, J., Schmidt, M. et al. (2010) Piezo1 and Piezo2 are essential components of distinct mechanically activated cation channels. *Science*, vol. 330, no. 6000, pp. 55–60. <https://doi.org/10.1126/science.1193270> (In English)
- Davis, R. C. (1961) Physiological responses as a means of evaluating information. In: A. D. Biderman, H. Zimmer (eds.). *The manipulation of human behavior*. New York: Wiley Publ., pp. 142–168. (In English)
- Fesenko, E. E., Novoselov, V. L., Krapivinskaya, L. D. (1979) Molecular mechanisms of olfactory reception. IV. Some biochemical characteristics of the camphor receptor from rat olfactory epithelium. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — General Subjects*, vol. 587, no. 3, pp. 424–432. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(79\)90446-x](https://doi.org/10.1016/0304-4165(79)90446-x) (In English)
- Gerasimov, V. D., Akoev, G. N. (1967) Effects of various ions on the resting and action potentials of the giant nerve cells of the leech *Hirudo medicinalis*. *Nature*, vol. 214, no. 5095, pp. 1351–1352. <https://doi.org/10.1038/2141351b0> (In English)
- Iggo, A. (1976) Is the physiology of cutaneous receptors determined by morphology? In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 15–31. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64334-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64334-4) (In English)
- Ilyinsky, O. B. (1962) Mestnye i rasprostranyayushchiesya potentsialy odinochnykh mekhanoretseptorov telets Vater-Pachini [Local and propagating potentials of single mechanoreceptors of Vater-Pacini bodies]. *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 142, no. 2, pp. 488–493. (In Russian)
- Ilyinsky, O. B. (1963) Svoystva odinochnykh mekhanoretseptorov telets Vater-Pachini [Properties of single mechanoreceptors (Vater-Pacini) corpuscles]. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, vol. 49, no. 2, pp. 201–207. (In Russian)
- Ilyinsky, O. B. (1965) Processes of excitation and inhibition in single mechanoreceptors (Pacinian corpuscles). *Nature*, vol. 208, no. 5008, pp. 351–353. <https://doi.org/10.1038/208351a0> (In English)
- Ilyinsky, O. B. (1975) *Fiziologiya sensorynykh system. Ch. 3. Fiziologiya mekhanoretseptorov [Physiology of sensory systems. Pt 3. Physiology of mechanoreceptors]*. Leningrad: Nauka Publ., 560 p. (In Russian)
- Ilyinsky, O. B., Fiks, V. B. (1963) K mekhanizmu voznikoveniya vobuzhdeniya v odinochnykh mekhanoretseptorakh [On the mechanism of excitation in single mechanoreceptors]. *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 152, no. 1, pp. 218–220. (In Russian)

- Ilyinsky, O. B., Fiks, V. B., Khrapkova, S. I. (1965) Dejstvie temperatury na bioelektricheskuyu aktivnost' telets Pachini [The effect of temperature on the bioelectric activity of Pacinian bodies]. *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 164, no. 1, pp. 227–229. (In Russian)
- Ilyinsky, O. B., Krasnikova, T. L., Akoev, G. N., Elman, S. I. (1976a) Functional organization of mechanoreceptors. In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 195–203. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64351-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64351-4) (In English)
- Ilyinsky, O., Mifflin, S. (2005) Chronic hypoxia abolishes expiratory prolongation following carotid sinus nerve stimulation in the anesthetized rat. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, vol. 146, no. 2–3, pp. 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.12.005> (In English)
- Ilyinsky, O. B., Surkina, I. D., Gotovtseva, E. P. et al. (1990) Immune and opioid systems in stress. *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 594, no. 1, pp. 461–462. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1990.tb40528.x> (In English)
- Ilyinsky, O. B., Volkova, N. K., Cherepnov, V. L., Krylov, B. V. (1976b) Morphofunctional properties of Pacinian corpuscles. In: A. Iggo, O. B. Ilyinsky (eds.). *Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Proceedings of an International symposium*. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevier Publ., pp. 173–186. (Progress in brain research. Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64349-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64349-6) (In English)
- Kalinina, A. D., Rogachevskii, I. V., Samosat, D. M. et al. (2023) Analgesic effect of the lysine-containing short peptide is due to modulation of the Na_v1.8 channel activation system. *Life*, vol. 13, no. 9, article 1800. <https://doi.org/10.3390/life13091800> (In English)
- Krylov, B. V., Makovsky, V. S. (1978) Spike frequency adaptation in amphibian sensory fibres is probably due to slow K channels. *Nature*, vol. 275, no. 5680, pp. 549–551. <https://doi.org/10.1038/275549a0> (In English)
- Krylov, B. V., Rogachevskii, I. V., Shelykh, T. N., Plakhova, V. B. (2017) *New non-opioid analgesics: Understanding molecular mechanisms on the basis of patch-clamp and quantum-chemical studies*. Sharjah: Bentham Science Publ., 203 p. (Frontiers in pain science. Vol. 1). <https://doi.org/10.2174/97816080593001170101> (In English)
- Lissmann, H. W. (1951) Continuous electrical signals from the tail of a fish. *Gymnarchus niloticus Cuv. Nature*, vol. 167, no. 4240, pp. 201–202. <https://doi.org/10.1038/167201a0> (In English)
- Lissmann, H. W., Machin, K. E. (1963) Electric receptors in a non-electric fish (*Clarias*). *Nature*, vol. 199, no. 4888, pp. 88–89. <https://doi.org/10.1038/199088a0> (In English)
- Loewenstein, W. R. (1971) Mechano-electric transduction in the Pacinian corpuscle. Initiation of sensory impulses in mechanoreceptors. In: *Principles of receptor physiology*. Berlin; Heidelberg: Springer Publ., pp. 269–290. (Handbook of sensory physiology. Vol. 1). https://doi.org/10.1007/978-3-642-65063-5_9 (In English)
- Penniyaynen, V. A., Samosat, D. M., Plakhova, V. B. et al. (2025) A novel target for analgesic substances: Physiological role of Na,K-ATPase as the signal transducer. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, vol. 18, article 1717676. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2025.1717676> (In English)
- Plakhova, V. B., Penniyaynen, V. A., Rogachevskii, I. V. et al. (2020) Dual mechanism of modulation of Na_v1.8 sodium channels by ouabain. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, vol. 98, no. 11, pp. 785–802. <https://dx.doi.org/10.1139/cjpp-2020-0197> (In English)
- Price, S. (1973) Phosphodiesterase in tongue epithelium: Activation by bitter taste stimuli. *Nature*, vol. 241, no. 5384, pp. 54–55. <https://doi.org/10.1038/241054a0> (In English)
- Rogachevskii, I. V., Plakhova, V. B., Penniyaynen, V. A. et al. (2022a) New approaches to the design of analgesic medicinal substances. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, vol. 100, no. 1, pp. 43–52. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2021-0286> (In English)
- Rogachevskii, I. V., Plakhova, V. B., Penniyaynen, V. A. et al. (2022b) Arginine-containing tripeptides as analgesic substances: The possible mechanism of ligand-receptor binding to the slow sodium channel. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 23, no. 11, article 5993. <https://doi.org/10.3390/ijms23115993> (In English)
- Schwark, H. D., Ilyinsky, O. B. (2001) Inflammatory pain reduces correlated activity in the dorsal column nuclei. *Brain Research*, vol. 889, no. 1–2, pp. 295–302. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(00\)03137-1](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(00)03137-1) (In English)
- Schwark, H. D., Tennison, C. F., Ilyinsky, O. B., Fuchs, J. L. (1999) Inhibitory influences on receptive field size in the dorsal column nuclei. *Experimental Brain Research*, vol. 126, no. 3, pp. 439–442. <https://doi.org/10.1007/s002210050750> (In English)
- Usova, M. K., Morokhov, S. A. (1974) *Kratkoe rukovodstvo po igloukalyvaniyu i prizhiganiyu [A short guide to acupuncture and moxibustion]*. Moscow: Meditsina Publ., 143 p. (In Russian)