

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы
«Школа «Свиблово»
Объединение «Эколог-исследователь»

Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды «Открытие
2030»

Исследовательская работа

ОТКРЫТИЕ НОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ В 2021

Выполнили:
Кириянова София Романовна
Живихина Анна Романовна,
ученицы 9 «В» класса

Научный руководитель:
Корепанов Максим Кириллович,
учителя биологии ГБОУ «Школа «Свиблово»

Москва, 2022

Оглавление

<i>1. ВВЕДЕНИЕ</i>	<i>3</i>
<i>2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</i>	<i>5</i>
2.1. История открытия рецепторов	5
2.2. Классификация рецепторов	5
2.3. 4 класса рецепторов	6
2.4. Молекулярно-физиологические механизмы функционирования мембранных рецепторных систем	6
2.5. Белки семейства TRP	7
<i>3. НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ 2021 ГОДА</i>	<i>8</i>
3.1. Ученые-открыватели	8
3.2. Предыстория открытия	8
<i>4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ</i>	<i>9</i>
4.1 TRPV1 (transient receptor potential cation channel subfamily V member 1)	9
4.2. TRPM8 (Transient receptor potential cation channel subfamily M (melastatin) member 8)	10
4.3. PIEZO	10
<i>5. АГОНИСТЫ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В РАСТЕНИЯХ</i>	<i>11</i>
5.1. Ментол	11
5.2. Капсаицин	11
<i>6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА В ТЕМЕ “АНАЛИЗАТОРЫ”</i>	<i>12</i>
6.1. Лабораторная работа “Изучение функциональной мобильности холодовых и тепловых рецепторов”	12
6.2. Апробация и результаты лабораторной работы	13
<i>7. ВЫВОДЫ</i>	<i>14</i>
<i>8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</i>	<i>16</i>
<i>9. ПРИЛОЖЕНИЕ</i>	<i>17</i>

1. ВВЕДЕНИЕ

Наша способность чувствовать тепло, холод и прикосновение имеет важное значение для выживания и лежит в основе нашего взаимодействия с окружающим миром. В нашей повседневной жизни мы воспринимаем эти ощущения как должное, но как инициируются нервные импульсы, чтобы можно было воспринимать температуру и давление?

Любому организму важно верно оценивать температуру окружающей среды, чтобы выбирать подходящие для себя тепловые условия. Основа терморцепции – преобразование тепловой энергии в биологические сигналы: это и делают белковые терморцепторы. У животных развилось огромное разнообразие термосенсорных механизмов, позволяющих им чувствовать изменения температуры и реагировать на них. У людей этот процесс имеет решающее значение для поддержания температуры тела.

У млекопитающих многие реакции регулируются с помощью механотрансдукции – преобразования механических стимулов в понятный клеткам электрохимический потенциал действия. Эмбриональное развитие, осязание, боль, проприоцепция (ощущение относительного положения частей тела и их движения), слух, регуляция кровотока, рост и повреждение легких, гомеостаз костей и мышц – всё это управляется механотрансдукцией.

Каждый день наш организм обрабатывает информацию от сотен и тысяч объектов, которых мы касаемся, переносим, употребляем в пищу. Мозг постоянно получает сигналы от внешней среды и внутренних органов и реагирует соответственно. Однако до открытий Дэвида Джулиуса и Ардема Патапутиана в нейрофизиологической картине мира всё еще зиял заметный пробел: как именно температура и механические стимулы превращаются в электрические импульсы в нервной системе?

Изучение новых рецепторов перспективное направление в биологии, поскольку в будущем позволит решить следующие задачи: разработка методов лечения широкого спектра болезненных состояний, включая хроническую боль, расширение новой научной области-термогеники, разработка лекарств от этих болезней и новые обезболивающие препараты.

Актуальность поставленной проблемы и недостаточная ее освещенность в научной литературе явились побудительными мотивами в выполнении данной работы. Учитывая актуальность проблемы, нами была поставлена цель.

Цель – изучить историю открытия новых рецепторов 2021, создать и апробировать лабораторную работу в разделе “Анализаторы”.

Для осуществления обозначенной цели служат следующие **задачи**:

1. Провести теоретический анализ и обобщение специальной научно-методической литературы по теме исследования;
2. Разработать методику организации лабораторной работы в разделе "Анализаторы" для обучающихся;
3. Провести апробацию разработанных материалов;
4. Провести анализ полученных результатов, сделать выводы.

Методы исследования:

- 1) научно-теоретический анализ,
- 2) лабораторно-диагностический анализ,
- 3) статистический анализ.

Место проведение исследования: учащиеся 8 класса «ГБОУ «Школа «Свиблово»».

2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Рецепторы (от латинского *recipio*-“принимаю, воспринимаю”) – специализированные нервные образования, воспринимающие и преобразующие информацию из внешней и внутренней среды и передающие сигналы ЦНС [9].

С молекулярно-биологической точки зрения термин “рецептор” обозначает белковую структуру, которой присуща способность специфически распознавать природный агонист, активироваться под его воздействием и вызывать передачу сигнала в клетку или между внутриклеточными компартментами.

2.1. История открытия рецепторов

Рене Декарт еще в XIX веке предвидел нити, соединяющие разные части кожи с мозгом. Открытия дали понять, что существуют нейроны, реагирующие на изменения. В 1944 г. Йозеф Эрлангер и Герберт Гассер получили нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытие различных типов сенсорных нервных волокон. Это дало понять, что сложные в восприятии различных типов стимулов нервные клетки, позволяют разобраться в восприятии нашего окружения. В 1940-ых г. Раймонд Олквист на основе реакций органов на вещества, похожие на адреналин открыл альфа и бета рецепторы. Роберт Лефковиц и Брайан Кобилка в 2012 году стали лауреатами Нобелевской премии по химии «за раскрытие подробной схемы того, как работают рецепторы, связанные с G-белком» [1].

2.2. Классификация рецепторов

Существует большое количество классификаций рецепторов [2], которые базируются как на структурных, так и функциональных особенностях, вот основные из них:

1. По строению и физиологическим чувствам

-первично-чувствующие (обонятельные, тактильные и проприорецепторы)-процесс происходит в первом нейроне сенсорной системы;
-вторично-чувствующие (вкусовые, зрительные, слуховые, вестибулорецепторы)-первый нейрон возбуждается не напрямую, а через рецепторную (не нервную) клетку.

2. По локализации

-экстерорецепторы (слуховые, зрительные, обонятельные, вкусовые, осязательные)-расположены в коже и слизистой оболочке;
-интерорецепторы (хеморецепторы, терморецепторы, болевые рецепторы, механорецепторы)-размещены во внутренних органах (висцерорецепторы) и в структурах опорно-двигательной системы-мышцах, сухожилиях, суставах(проприорецепторы).

3. По характеру контакта со средой

-дистантные, получающие информацию на расстоянии от источника раздражения (зрительные, слуховые и обонятельные);
-контактные, возбуждающиеся при непосредственном соприкосновении с раздражителем (вкусовые, тактильные).

4. По природе воспринимаемых раздражителей

- механорецепторы;
- терморецепторы;
- хеморецепторы;
- фоторецепторы;
- ноцицептивные (болевые).

5. По модальности

- мономодальные (только один вид раздражителя);
- полимодальные (несколько раздражителей).

2.3. 4 класса рецепторов

Каждый из классов подразделяется исходя из особенностей первичной структуры и, что не менее важно, функциональных характеристик.

Выделяют 4 класса рецепторов:

1) рецепторы-ионные каналы

Ионотропные рецепторы являются полимерными трансмембранными протеинами. Часть из них чувствительна к лигандам, поступающим извне, а часть-активируется внутриклеточными факторами.

2) G-протеин-сопряженные рецепторы (G-ПСР)

Рецепторы класса G-ПСР представляют собой полипептидную цепь с N- и C-концевыми свободными доменами, экстра- и интрацеллюлярными петлями и семью трансмембранными доменами.

3) фермент-ассоциированные рецепторы

4) рецепторы, регулирующие транскрипцию

Рецепторы холода и тепла на которых основывается наша работа, являются ионными каналами.

2.4. Молекулярно-физиологические механизмы функционирования мембранных рецепторных систем

Сигнальные молекулы, не способные проходить через клеточную мембрану, взаимодействуют с расположенными на ее внешней стороне специфическими рецепторами и ферментами системы [4]. Таким образом, при взаимодействии с мембранными рецепторными системами биологически активные соединения определяют образование в клетке одного или нескольких вторичных мессенджеров-низкомолекулярных биологических соединений, передающих сигнал на внутриклеточные эффекторные структуры (Рис. 1).

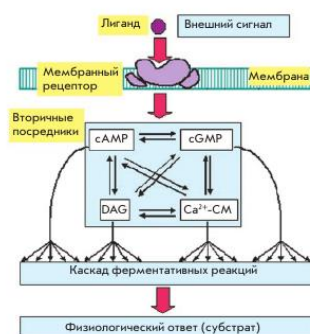


Рисунок 1. Основные этапы передачи сигнала, опосредуемого вторичными посредниками, внутрь клетки

2.5. Белки семейства TRP

TRP (с английского “Transient receptor potential”) – переходный рецепторный потенциал [6,7].

На основании структурной гомологии суперсемейство катионных каналов TRP подразделяется на 7 подсемейств (Рис. 2):

- 1)TRPC (канонические);
- 2)TRPV (ванилоидные);
- 3)TRPM (меластатиновые);
- 4)TRPA (анкириновые);
- 5)TRPP (полицистиновые);
- 6)TRPML (муколипиновые);
- 7)TRPN (немеханочувствительные каналы насекомых).

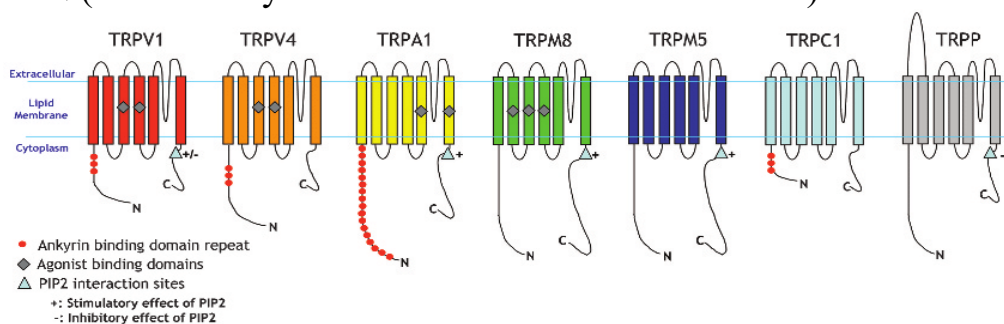


Рисунок 2. Суперсемейства катионных каналов TRP

Рецептор TRPV1 (тепла), является ванилоидным, а рецептор TRPM8 (холода) является меластатиновым.

Холодовые рецепторы располагаются на глубине 0,17 мм от поверхности кожи. Всего их около 250 тысяч. Реагируют на изменение температуры с коротким латентным периодом. При этом частота потенциала действия линейно зависит от температуры в пределах от 41° до 10°C: чем ниже температура, тем выше частота импульсации. Оптимальная чувствительность в диапазоне от 15° до 30°C, а по некоторым данным до 34°C. Тепловые рецепторы залегают глубже на расстоянии 0,3 мм от поверхности кожи. Всего их около 30 тысяч. Реагируют на изменение температуры линейно в диапазоне от 20° до 50°C: чем выше температура, тем выше частота генерации потенциала действия. Оптимум чувствительности в пределах 34 – 43°C (Рис. 3).

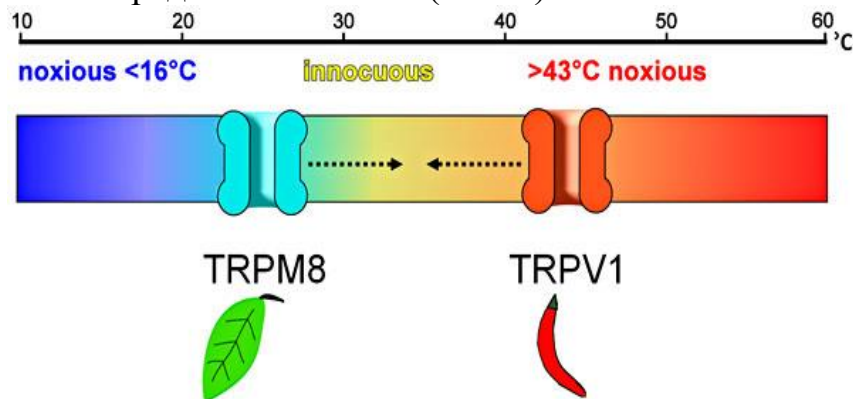


Рисунок 3. Оптимумы чувствительности тепловых и холодových рецепторов

3. НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ 2021 ГОДА

Нобелевскую премию по физиологии и медицине в 2021 году, которая прошла в Стокгольме 10 декабря, получили Дэвид Джулиус и Ардем Патапутян – за открытие рецепторов, позволяющих нам воспринимать температуру и прикосновения [10]. По сути, это работа по базовой нейрофизиологии, которая раскрывает механизмы восприятия нашим телом внешних раздражителей и перевода их в понятные мозгу сигналы. Работы Патапутяна и Дэвида Джулиуса – уже собрали массу престижных призов, а в 2020 году ученые разделили премию Кавли по нейронаукам. Работы по доскональному изучению наших чувств – не на уровне органов, а на уровне молекулярных механизмов, очень важны и Нобелевский комитет не впервые делает выбор в пользу работ такого рода. Эти прорывные открытия положили начало исследованиям, благодаря которым мы быстро поняли, как нервные окончания реагируют на тепло, холод и механическое воздействие. Лауреаты выявили важные недостающие звенья в понимании сложного взаимодействия между нашими чувствами и окружающей средой

3.1. Ученые-открыватели

Дэвид Джулиус родился в 1955 году в Нью-Йорке, США. Он получил степень доктора философии в 1984 году в Калифорнийском университете в Беркли и был докторантом в Колумбийском университете в Нью-Йорке. Дэвид Джулиус был завербован в Калифорнийский университет в Сан-Франциско в 1989 году, где он сейчас является профессором. Получил известность, как исследователь возникновения ноцицепции и терморцепции

Ардем Патапутян родился в 1967 году в Бейруте, Ливан. В молодости переехал из Бейрута в Лос-Анджелес, США и получил степень доктора философии в 1996 году в Калифорнийском технологическом институте, Пасадина, США. Он был докторантом Калифорнийского университета в Сан-Франциско. С 2000 года является учёным в Scripps Research, Ла-Холья, Калифорния, где сейчас является профессором. Он является исследователем Медицинского института Говарда Хьюза с 2014 года. Он внес значительный вклад в идентификацию новых ионных каналов и рецепторов, которые активируются температурой, механической энергией или увеличением объема клетки

3.2. Предыстория открытия

В конце 1990-х годов Джулиус исследовал реакцию клеток на капсаицин, который содержится в перце чили и вызывает ощущение жжения. Учёный выделил рецептор к капсаицину (TRPV1), а позже определил, что он реагирует на тепло – он активируется при температурах, воспринимаемых как болезненные. «Открытие Джулиусом TRPV1 стало прорывом», – говорится в сообщении Нобелевского комитета. В 2002 году Джулиус и Патапутян независимо друг от друга обнаружили рецептор для холода (TRPM8), который активируется на клетках под действием ментола.

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 TRPV1 (transient receptor potential cation channel subfamily V member 1)

Гипотеза Джулиуса была в том, что один ген может отвечать за чувствительность к капсаицину. Ученый предполагал, что благодаря этому веществу он раскроет механизмы боли. Вместе с постдоком Майклом Катериной Джулиус решил провести скрининг и создал библиотеку комплементарных ДНК из спинальных ганглиев грызунов с телами чувствительных нейронов, которые активировались капсаицином. Нечувствительным к этому веществу клеткам сделали отверстия в мембране, куда проникли образцы комплементарных ДНК от чувствительных клеток (такое «вживление» нужных молекул в клетки называют трансфекцией). В итоге ученым удалось выделить ген, который мог отвечать за реакцию на капсаицин. Он кодировал белок в мембране клетки, который принадлежал к суперсемейству каналов с транзиторным рецепторным потенциалом (по-английски — transient receptor potential, или TRP), способных пропускать положительно заряженные частицы, или катионы. Вместе с заряженными частицами перемещался и заряд, передавая сигнал. Трансфицированные геном TRPV1 клетки стали чувствительными к цитотоксическому (буквально — убивающему клетки) эффекту капсаицина, но его можно было блокировать молекулой-антагонистом. При этом рецептор активировался теплом без присутствия других факторов, это приводило к притоку ионов кальция сквозь канал внутрь клетки, как в сенсорных нейронах. Также оказалось, что TRPV1 встречается в нейронах спинального ганглия, отвечающих за болевые ощущения, но не в тех, что связаны с чувством давления, прикосновения и положения тела в пространстве. Благодаря TRPV1 горячие предметы ощущаются, как приносящие боль. Это открытие в 1997 году проложило дорогу к пониманию основ нашего ощущения температуры. Также оказалось, что TRPV1 активируется высокой концентрацией протонов в ишемизированных тканях и химическими соединениями, связанными с воспалением. Структуру канала позже удалось определить при помощи криоэлектронной микроскопии: TRPV1 состоял из двух «ворот» по обеим сторонам поры. Капсаицин связывается с карманом белка, близким к цитоплазме, почти с внутренней стороны. После этого ворота открываются в два этапа и пропускают ионы. По механизмам работы каналы TRP оказались похожими на натриевые и калиевые каналы, отвечающие за разность потенциалов (благодаря которой по нервам, как по проводам, бегут электрические сигналы). Создавая мышей с нокаутированным (выключенным) геном TRPM1, исследователи поняли, что за болевые ощущения от горячего отвечают и другие «родственные» рецепторы — TRPM3 и TRPA1. Позднее был открыт и TRPM2, который отвечает за приятное ощущение тепла [8].

4.2. TRPM8 (Transient receptor potential cation channel subfamily M (melastatin) member 8)

В 2002 г. Дэвид Джулиус и Ардем Патапутян независимо друг от друга открыли рецептор TRPM8, который относится к тому же суперсемейству, но реагирует на холод. Аналогично экспериментам со жгучим капсаицином, им удалось использовать ментол в поисках «датчика холода», и предположение оказалось верным. Обе научные группы доказали, что поломка у мышей гена TRPM8 приводила к тому, что животные хуже ощущали низкие температуры.

4.3. PIEZO

Патапутян и его сотрудники сначала идентифицировали клеточную линию, которая выдавала измеримый электрический сигнал, когда отдельные клетки воздействовали микропипеткой. Предполагалось, что рецептор, активированный механической силой, является ионным каналом, и на следующей стадии были идентифицированы 72 гена-кандидата, кодирующие возможные рецепторы. После тяжелых поисков Патапутян и его коллеги сумели идентифицировать один ген, молчание которого сделало клетки нечувствительными к воздействию микропипеткой. Был открыт новый и совершенно неизвестный механочувствительный ионный канал, которому было присвоено название Piezo1, после греческого слова «давление». Благодаря своему сходству с Piezo1 был открыт второй ген, названный Piezo2. Было обнаружено, что Piezo1 и Piezo2 являются ионными каналами, которые непосредственно активируются при воздействии давления на клеточные мембраны (Рис. 4).

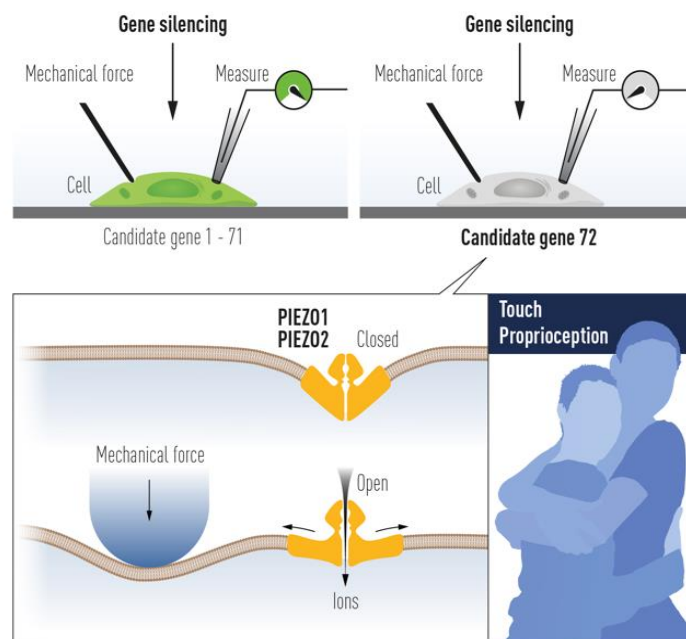


Рисунок 4. Схема работы механорецепторного канала, построенного из белков PIEZO, открытых Ардемом Патапутяном

5. АГОНИСТЫ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В РАСТЕНИЯХ

Агонисты – химические соединения (лиганды), которые при взаимодействии с рецептором изменяют его состояние, приводя к биологическому отклику. Выделено множество агонистов, в том числе и из растения, а также созданы искусственно [11].

5.1. Ментол

Ментол (от лат. *mentha* – «мята») – органическое вещество, важный вторичный метаболит растений семейства Яснотковые (Губоцветные), получают синтетически или выделяют из мятного эфирного масла (Рис. 5). Прозрачное кристаллическое вещество, при комнатной температуре легко плавится. Обладает слабыми местноанестезирующими свойствами, стимулирует холодовые рецепторы кожи и слизистых, слабый антисептик. Широко используется в пищевкусовой промышленности и в медицине. В частности, является основной составляющей рефлекторного сосудорасширяющего средства валидол. Ментол используется в фармацевтических препаратах безрецептурной группы, предназначенных для лечения простуды, ревматизма, для снятия мышечных болей от усталости и пр. В ряде средств для ухода за полостью рта и в косметических средствах применяют натуральный или синтетический ментол, или мятные эфирные масла, например, в средствах от кашля и в зубной пасте. Охлаждающее действие ментола на кожные рецепторы позволяет снизить раздражение и зуд, например, при аллергии. Ментол добавляют в сигареты для снижения раздражения, вызываемого дымом в лёгких.

Содержание ментола в разных видах растений различно. В двух близких видах мяты перечной (*Mentha piperita*) и мяты колосистой (*Mentha spicata*) содержание ментола 40% и 0,5% соответственно.

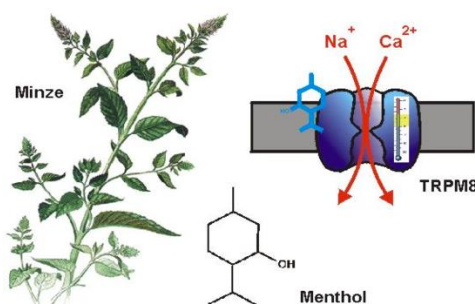


Рисунок 5. Схема работы ионного канала, построенного из белков TRPM8

5.2. Капсаицин

Капсаицин – алкалоид, содержащийся в различных видах стручкового перца *Capsicum* (например, в плодах перца овощного его содержится около 0,03%). Чистый капсаицин представляет собой бесцветное кристаллическое вещество со жгучим вкусом. Температура плавления 65 °С, температура кипения 210–220°С при 0,01 мм.рт.ст. Алкалоид практически нерастворим в водных растворах щелочей, но легко растворяется в органических

растворителях, этиловом спирте и жирах. Обладает химической стойкостью (Рис. 6).

Капсаицин содержится в следующих видах растений:

1. Чеснок (*Allium sativum*) – семейство Амариллисовые (*Amaryllidaceae*) подсемейства Луковые (*Allioideae*)
2. Перец чили (*Capsicum annuum*) – семейство Пасленовые (*Solanaceae*)
3. Горчица белая (*Sinapis alba*) – семейство Капустные (*Brassicaceae*).
4. Горчица сарептская (*Brassica juncea*) – семейство Капустные (*Brassicaceae*)
5. Горчица черная (*Brassica nigra*) – семейство Капустные (*Brassicaceae*)
6. Тмин (*Carum carvi*) – семейство Зонтичные (*Apiaceae*),

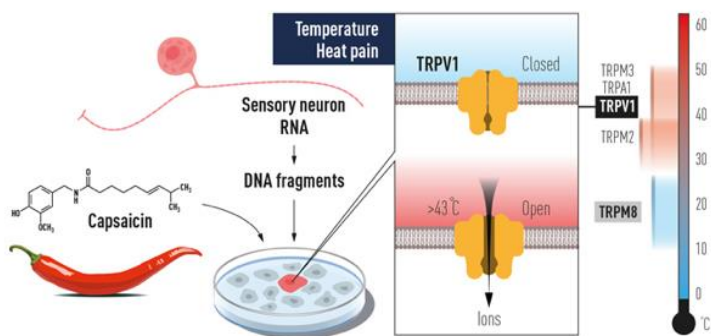


Рисунок 6. Схема исследования, послужившего начальным шагом в изучении терморцепторных белков

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА В ТЕМЕ “АНАЛИЗАТОРЫ”

Изучив открытие, за которое была присуждена нобелевская премия по физиологии и медицине, нами была разработана лабораторная работа, посвященная изучению мобильности двух рецепторов. Данный тип деятельности может быть использован как в школьном практикуме, так и в университетском в разделе «Анатомия человека» в теме «Анализаторы», при изучении различных рецепторных и анализаторских систем.

Грамотно построенные занятия лабораторных способствует активизации мыслительной деятельности у учащихся, развивают опыт самостоятельной работы, принимать решения, искать ответы на поставленные вопросы методом эксперимента. В ходе теоретических занятий часто не воспринимается учебный материал с реальной действительностью. Для соотношения теории с реальными объектами, процесса необходимо включение в курс биологии лабораторных работ.

6.1. Лабораторная работа “Изучение функциональной мобильности холодных и тепловых рецепторов”

Цель работы: изучить холодные и тепловые реакции поверхности кожи путем прикосновения веществ агонистов.

Терморцепторы кожи и слизистой оболочки, как и другие рецепторные образования, обладают функциональной мобильностью. Это свойство

проявляется в изменении количества функционирующих рецепторных элементов данного рецептивного поля в единицу времени в зависимости от температуры окружающей среды и внутренней среды организма.

Оборудование: Свежее растение мяты перечной (*Mentha piperita*); свежий перец чили (*Capsicum annuum*); ступка с пестиком; пипетка; химический стакан; дистиллированная вода; секундомер

ХОД РАБОТЫ

1. Определение терморепрепторов начинают с холодных репрепторов.

Вначале готовится экстракт из листьев мяты. Для этого в ступке растирается листья мяты, добавляя немного воды. У испытуемого по очереди (с интервалом 1-3 минуты) на каждой исследуемой части тела капают при помощи пипетки полученный экстракт. Засекается время отчетливого ощущения холода.

Возникновение ощущения холода отмечают в протоколе знаком «плюс», отсутствие ощущения – знаком «минус».

Такую же операцию проводят с перцем чили. Отмечая знаком «плюс» - ощущение тепла, и знаком «минус» – его отсутствие.

2. Оформление протокола:

3. Результаты исследования внесите в таблицу.

Участки тела	Ментол	Время, сек	Капсаоцин	Время, сек
Середина ладони				
Внутренняя сторона предплечья				
Шея				

4. Подсчитайте общее число положительных ответов и выразите уровень мобилизации репрепторов в процентах.

5. Сравните время ответа действия ментола и капсаоцина на разных участках тела.

6. Сделайте вывод о наличии явления функциональной мобильности терморепрепторов.

6.2. Апробация и результаты лабораторной работы

Проведена апробация лабораторной работы в рамках изучения темы «Анализаторы» среди учащихся 8 классов ГБОУ «Школа «Свиблово» (Приложение 7).

Всего принимали участие 20 учеников.

Все полученные данные объединены в сводную таблицу, в результате статистического анализа составлены диаграммы и таблицы в программе Microsoft Excel (Приложение 1-6).

В начале проведение лабораторной работы учащимся было предложено прослушать устный доклад по теме исследования. Они узнали, что такое рецепторы, какие они бывают и какие были открыты в 2021 году.

В ходе анализа данной работы среди учащихся 8 класс удалось получить следующие результаты:

- В трех исследуемых участках тела человека можно обнаружить тепловые и холодовые рецепторы, по отклику на воздействие агонистами.

- Время на обратную связь в разных участках тела различна, но всегда в пределах минуты.

- Воздействие ментола во всех частях тела дает быстрый отклик, чем действие капсоицина.

- Как правило, тепловые рецепторы «включаются» после 20 секунд.

Проведение лабораторной работы по данной теме способствует формированию у учащихся самостоятельности, а также умение применять теоретические знания на практике. Выполнение такой деятельности способствует более глубокому и прочному усвоению биологических знаний, формирует и развивает умения работать с лабораторным оборудованием, приучает осознано использовать полученные знания на практике.

Дальнейшая работа будет посвящена изучению наличия рецепторов на других частей тела и ответной реакции на разные антагонисты.

7. ВЫВОДЫ

1. Анализ литературных источников (в частности открытие новых рецепторов TRPV1, TRPM8 и Piezo1, 2) позволил установить, что на современном этапе происходит активное изучение молекулярных механизмов работы рецепторов и дальнейшая работа только расширит науку термогенетику;

2. Разработана методика проведения лабораторной работы по теме “Изучение функциональной мобильности холодовых и тепловых рецепторов” для обучающихся 8 классов.

3. В ходе апробации лабораторной работы удалось показать наличие ионных рецепторов (которые были открыты в 2021 году) в теле человека, которые рассредоточены неравномерно и дающие разные ответные реакции.

4. Установлено, что в процессе обучения биологии важное место принадлежит лабораторным работам, на которых происходит овладение методами исследования, техникой постановки опыта и входе которых можно доказать научные открытия в биологии.

8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beene D. L, Brandt G. S., Zhong W., et al.//Biochemistry. — 2002. - Vol. 41. - P. 10262-10269.
2. Зарифьян, А. Г. Физиология анализаторов / А.Г. Зарифьян, Т.Н. Наумова, В.П. Ильичев – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2010. – 152 с.
3. Мышкин, И.Ю. Физиология сенсорных систем и высшей нервной деятельности: учеб. пособие / И.Ю. Мышкин; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2008. – 168 с. ISBN 978-5-8397-0603-3
4. Северин Е. С., Савватеева М. В. Молекулярно-физиологические механизмы функционирования мембранных рецепторных систем // Acta Naturae (русскаяязычная версия). 2011. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molekulyarno-fiziologicheskie-mehanizmy-funktsionirovaniya-membrannyh-retseptornyh-sistem> (дата обращения: 01.02.2022).
5. Черников М.В. Клеточные рецепторы: современный взгляд на классификацию и архитектуру (обзор литературы) // Волгоградский научно-медицинский журнал. 2009. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kletochnye-retseptory-sovremennyu-vzglyad-na-klassifikatsiyu-i-arhitekturu-obzor-literatury> (дата обращения: 01.02.2022).
6. Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН: официальный сайт. Москва – URL: <https://www.fbras.ru> (дата обращения: 25.12.2021)
7. Биомолекула : официальный сайт. Москва – URL: <https://biomolecula.ru/> (дата обращения: 20.12.2021)
8. Элементы.ру : официальный сайт. Москва – URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/433876/Nobelevskaya_premiya_po_fiziologii_i_medicine_2021 (дата обращения: 20.12.2021)
9. <https://ru.wikipedia.org>
10. <https://www.nobelprize.org>
11. <https://raznisa.ru/v-chem-raznica-mezhdu-myatoj-i-mentolom/>

9. ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1. Данные учащихся №1

Участок тела - середина ладони	Ментол	Время, сек	Капсоицин	Время, сек
1	+	5	+	20
2	+	7	+	27
3	+	10	+	30
4	+	5	+	37
5	+	5	+	25
6	+	7	+	27
7	+	9	+	19
8	+	11	+	17
9	+	15	+	40
10	+	8	+	38
11	+	5	+	20
12	+	8	+	33
13	+	5	+	38
14	+	9	+	41
15	+	12	+	28
16	+	7	+	39
17	+	9	+	25
18	+	5	+	20
19	+	10	+	36
20	+	8	+	29

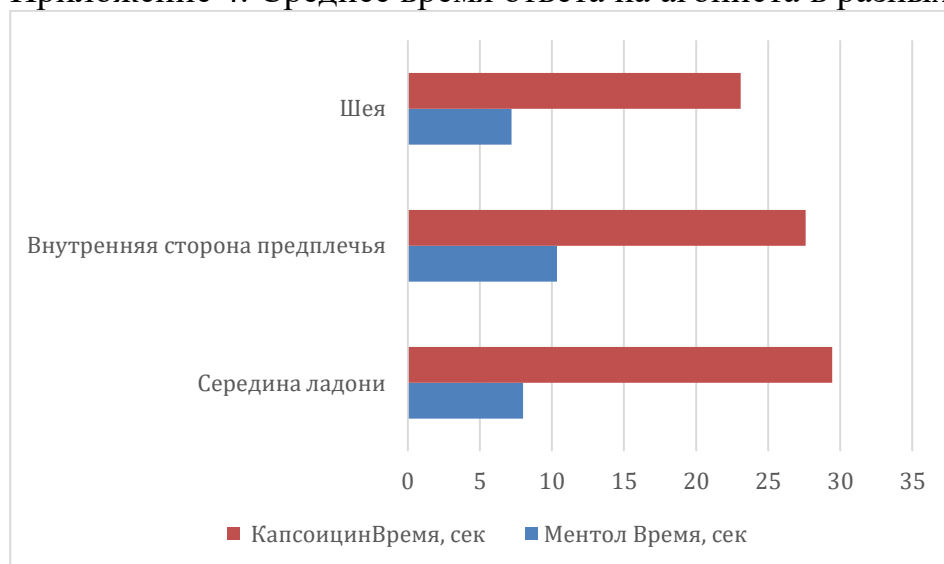
Приложение 2. Данные учащихся №2

Участок тела - внутренняя сторона предплечья	Ментол	Время, сек	Капсоицин	Время, сек
1	+	11	+	19
2	+	13	+	26
3	+	16	+	28
4	+	10	+	30
5	+	9	+	26
6	+	15	+	26
7	+	11	+	18
8	+	12	+	20
9	+	16	+	35
10	+	11	+	37
11	+	6	+	24
12	+	9	+	30
13	+	5	+	25
14	+	9	+	28
15	+	15	+	26
16	+	8	+	38
17	+	7	+	27
18	+	6	+	25
19	+	10	+	33
20	+	8	+	31

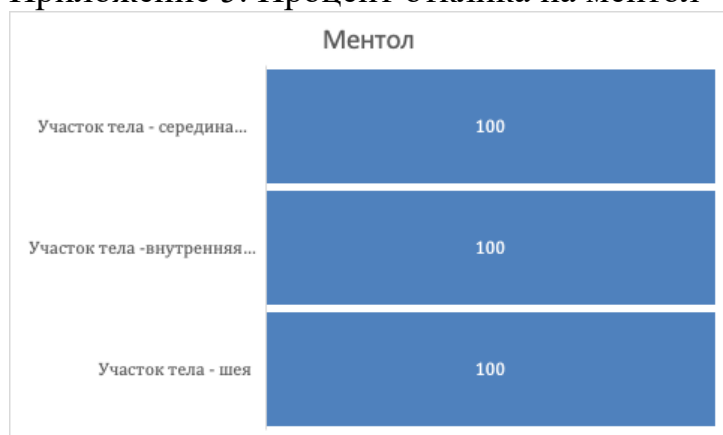
Приложение 3. Данные учащихся №3

Участок тела - шея	Ментол	Время, сек	Капсоицин	Время, сек
1	+	7	+	17
2	+	9	+	24
3	+	11	+	25
4	+	7	+	27
5	+	4	+	23
6	+	6	+	22
7	+	7	+	17
8	+	9	+	24
9	+	12	+	27
10	+	9	+	28
11	+	7	+	21
12	+	5	+	26
13	+	8	+	20
14	+	4	+	24
15	+	9	+	21
16	+	6	+	25
17	+	5	+	24
18	+	7	+	19
19	+	4	+	25
20	+	8	+	23

Приложение 4. Среднее время ответа на агониста в разных частях тела человека



Приложение 5. Процент отклика на ментол



Приложение 6. Процент отклика на капсоицин



Приложение 7. Этапы проведения лабораторной работы

