

© Б.А. НАМАКАНОВ

nambor@yandex.ru

УДК 372.857-573.5

## НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕДАГОГИКИ

*АННОТАЦИЯ.* Статья посвящена нейрофизиологическим и нейробиологическим аспектам педагогики. Подробно разбираются механизмы восприятия информации на уровне структур головного мозга. Обсуждаемая тема особенно полезна при рассмотрении новых образовательных программ. Материалы представленные в статье основаны и на эволюционной теории, предполагающей большое сходство процессов обучения животных и человека.

*SUMMARY.* The article is devoted to neurophysiological and neurobiological aspects of training. The process of training is connected with brain structures. The results of research are useful for the study of University programs. According to the theory of evolution, the process of training is common for both animals and humans.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.* Практическая педагогика, нейрофизиологические и нейробиологические аспекты обучения, когнитивные процессы, процессы запоминания информации, пластичность мозга, наследственность и обучение.

*KEY WORDS.* Practical training, neurophysiological and neurobiological aspects of training, cognitive processes, mechanisms of memory, plasticity of brain, hereditary of training.

Нейрофизиологические и нейробиологические аспекты обучения, тренинга, педагогики являются актуальными и современными. Исследования последних лет убедительно показали, что процессы обучения, педагогические приемы и процессы усвоения учебного материала связаны с работой головного мозга, тончайшими механизмами на уровне нейронов и межнейронных синапсов, когнитивными процессами. Немалая роль принадлежит сложным нейрофизиологическим механизмам, алгоритму работы мозга, законам функционирования головного мозга. Способность людей к обучению разная. С процессами обучения, усвоения информации связано и понимание феномена интеллекта, объясняемое с различных точек зрения. По мнению психологов, под интеллектом можно понимать способность человека к быстрому анализу ситуации и обучению [1], [2].

**Зрительное восприятие учебного материала.** Система оценки электронных учебных материалов строится на возможности восприятия студентами информации с мониторов. Для предметного зрения, обеспечивающего человеку восприятие объектов окружающей среды, необходимы движения глаз. Они позволяют спроецировать интересующие объекты на центральную ямку сетчатки — место, в котором сконцентрировано наибольшее количество фоторецепторов. Быстрые движения глазных яблок переводят взор с одной точки на другую, чем обеспечивают перемещение зрительного фокуса. Направление взгляда совпада-

ет с направлением внимания. Поэтому, зарегистрировав движения глаз, ученые могут судить о перемещении внимания с одного фрагмента видеoinформации на другой. Время, в течение которого взор испытуемого проецируется на тот или иной объект, отражает усвоение информации. Перемещение взора по странице на мониторе может зависеть также и от эргономических свойств видеоматериалов, от эффективности его интерфейса, цветовых решений, размера шрифта или от размещения элементов по экрану. При создании учебных материалов нужно использовать принципы восприятия человеком зрительной информации. Учебные материалы должны хорошо усваиваться, а для этого они должны быть правильно построены. Представленная информация, с точки зрения нейрофизиологической природы восприятия, должна быть обязательно замечена читателем, и если пользователь ее не замечает — это брак разработчиков. На принципах восприятия зрительной информации разработаны стандарты для экспертной оценки учебных видеоматериалов. Информация должна хорошо восприниматься, оставаться в голове читателя, а его глаз не должен сильно уставать. Учебник должен не только содержать информацию, но и управлять вниманием читателя [3], [4].

**Процесс обучения выстраивается с учетом законов работы мозга.** Известно, что эффективным может быть только дружественное мозгу обучение. Процесс обучения должен обязательно включать процесс чтения. Пока человек учится читать, у него увеличивается объем и серого, и белого вещества мозга. Выяснено, какие изменения вносит в мозг обучение грамоте. Говорить и читать — принципиально разные умения. Речь — уникальная способность человека. Она эволюционировала в течение приблизительно 6 млн лет, с того времени, как разделились ветви гоминид и шимпанзе. Структуры мозга, связанные с речью, специфичны для человека. Анатомическая основа речевых способностей есть у каждого, даже если он растет в неблагоприятной для развития среде. Иное дело — способность читать. Овладеть чтением невозможно без специального обучения. Найти области мозга, вовлеченные в процесс обучения чтению, нелегко. Дело в том, что когда ребенок учится читать, он овладевает и массой других навыков — например, умением считать, плавать и другими. А мозг его в это время еще активно развивается. И невозможно отделить одни изменения от других [5], [6].

**Восприятие учебного материала развивает и серое, и белое вещество мозга.** Для исследования мозга использовалась структурно магнитно-резонансная томография, а также метод морфометрии (voxel-based morphometry), чтобы измерить объем серого и белого вещества (то есть клеток нервной ткани и проводящих путей соответственно) в структурах мозга. Оказалось, что в процессе обучения в нескольких областях коры увеличен объем серого вещества: в обоих полушариях это дорзальные затылочные зоны (связаны с обработкой зрительной информации), в левом полушарии — верхние височные зоны (связаны с обработкой звуков), угловая извилина и задние средние височные зоны (связаны с семантическими процессами). Очевидно, эти области, взаимодействуя между собой, обеспечивают распознавание формы букв, перевод букв в соответствующие звуки и придание им значения. Изменения коснулись и белого вещества мозга. Его толщина в процессе обучения увеличивается в валике мозолистого тела (это основной пучок проводящих путей, связывающий правое и левое полушария мозга). Более развитыми оказались и внутрислошарные проводящие пучки левого полушария, связывающие угловую и дорзальную затылочную извилины

---

кору мозга. Это показывает, что обучение чтению облегчает связи полушарий между собой, а внутри ключевого левого полушария — связи зон обработки зрительной, слуховой и семантической информации [7], [8], [9].

Обучение речи и математике в мозге человека развиваются независимо. Розмари Варлей и ее коллеги из британского университета Шеффилда обнаружили доказательство того, что развитие математических способностей человека не связано с развитием языковых навыков, как полагали ученые раньше. Распространенная теория, утверждающая, что развитие языка у людей способствовало развитию мысли, пошатнулась от результатов исследования. Автор изучала трех человек с обширными повреждениями левого полушария мозга, включая языковые участки. Двое не могли говорить вообще, а третий — только фрагментарными простыми предложениями, но все они были компетентными вычислителями, способными решать несложные задачи на вычитание, деление и умножение. Пациенты не могли определить изменения смысла предложений, анализируя их синтаксис, например, в обратимых предложениях типа «мальчик преследовал девочку» и «девочка преследовала мальчика», но при этом они не имели никаких проблем с математическим эквивалентом такой перестановки, типа «7 минус 2» и «2 минус 7». Господствующая теория, предполагающая, что понимание синтаксиса существенно для обработки математических задач, оказалась несостоятельной [10], [11], [12].

**Для понимания учебного материала важно не просто видеть, а предвидеть.** То, что угловая извилина имеет прямое отношение к обучению чтению, известно уже давно. Считалось, что угловая извилина работает как словарь, переводящий буквы в значения, но оказалось, ее роль в том, чтобы предвидеть значение слова, которое мы видим глазами. Эти результаты полезны для исследователей дислексии — патологической неспособности к чтению. Может оказаться, что недостаточное развитие некоторых зон мозга у страдающих дислексией — это не причина, а следствие их неумения читать. Психологам и нейрофизиологам интересно узнать, где находится область мозга, которая хранит словарь и систему отбора конкретного термина. При разговоре человеку надо выбрать одно слово из целого списка возможных «кандидатов» по смыслу или подобию. Например, если говорящий хочет сообщить о собаке, то нужно выбрать слово «собака» из списка известных ему животных: собака, кошка, лошадь, крыса и так далее. Если же требуется описать чей-то характер, то приходится обращаться уже к списку прилагательных [13].

Как известно, процесс обучения связан с функционированием нейронов и синапсов, и, согласно общепринятому мнению, чем больше функционирующих нейронов — тем выше способность к обучению. А количество нейронов связано с продолжительностью жизни, поскольку в течение жизни часть нейронов теряется и процесс обучения затруднен. Вместе с тем существует иная точка зрения. С момента рождения мозг теряет множество нервных клеток, и этот процесс продолжается на протяжении всей жизни. Большинство нейронов формируются еще в утробе матери, и после рождения немалое их количество вы рождается. Однако некоторые клетки способны делиться даже в зрелом возрасте — по крайней мере, в мозге мышей. По мнению исследователей из Института иммунобиологии им. Макса Планка во Фрайбурге, существуют некоторые типы нейронных стволовых клеток, способные создавать новые нейроны.

В молодом организме они постоянно делятся, у взрослых животных большинство этих клеток остается в «спящем» состоянии. Тем не менее процесс воспроизводства нейронов может возобновиться, например, при повышенной физической активности или в случае эпилептических припадков. Это справедливо для мышей, но также может относиться и к людям, т.к. способные к делению клетки присутствуют и в человеческом мозге [14], [15], [16]. В поговорке «Старую собаку новым фокусам не научишь» имеется в виду частичная утрата способности усваивать новую информацию, приходящую с возрастом. Однако нейронные стволовые клетки, находящиеся в гиппокампе — отделе головного мозга, который играет ключевую роль в процессах обучения и запоминания, могут производить нервные клетки на протяжении всей жизни. Опыты на мышах показали, что новые нейроны встраиваются в нейронную сеть головного мозга и оказывают значительное влияние на способность к обучению. Тем не менее темпы образования новых клеток снижаются с возрастом, и причины этого до настоящего времени были неизвестны [17], [18], [19]. Исследователям удалось выявить различные популяции нейронных стволовых клеток и показать, что в гиппокампе существуют активные и спящие (неактивные) стволовые клетки. «У молодых мышей стволовые клетки делятся в четыре раза чаще, чем у старых. При этом число этих клеток у старых животных лишь ненамного меньше. Таким образом, нейронные стволовые клетки никуда не пропадают с возрастом, а остаются в резерве», — объясняет Вердон Тейлор (Verdon Taylor) из Института Макса Планка [20], [21]. Факторы, влияющие на возобновление деления спящих клеток, еще недостаточно изучены. Однако возможно, что существует способ заставить их активизироваться. Ученые обнаружили большее количество новых нейронов в мозге физически активных мышей по сравнению с их малоподвижными собратьями. Патологическая активность мозга, например, эпилептический приступ, также вызывает усиленное деление нейронных стволовых клеток. Различные популяции стволовых клеток легко различимы под микроскопом. В первую группу входят клетки, которые расположены перпендикулярно поверхности гиппокампа. Большинство из этих радиальных клеток неактивны. В противоположность им более 80% горизонтальных стволовых клеток (ориентированных параллельно поверхности гиппокампа) постоянно формируют новые нейроны; оставшиеся 20% являются спящими, но периодически способны активизироваться. Все горизонтальные клетки объединяет наличие активных генов NOTCH, RBP-J, SOX2 [22], [23], [24], [25]. Радиальные и горизонтальные стволовые клетки отличаются не только расположением, они также по-разному реагируют на раздражители. Когда животное физически активно, некоторые радиальные стволовые клетки переходят в активное состояние и начинают делиться, тогда как на горизонтальные физическая активность влияет незначительно. В случае эпилептического приступа, напротив, преимущественно активизируются горизонтальные клетки.

Возможно, что нейронные стволовые клетки проявляют себя не только в мозге мышей. Присутствие нейронов, сформировавшихся на протяжении жизни, также обнаруживается и в гиппокампе человека. Поэтому ученые предполагают, что группы активных и спящих стволовых клеток присутствуют и в человеческом мозге. Они предполагают провести дальнейшие исследования взаимосвязи образования новых нейронов и появления эпилептических приступов, а также возмож-

ностей использования этих знаний для лечения различных повреждений мозга и таких состояний как, например, болезнь Альцгеймера [26], [27], [28].

Актуальна и интересна роль интеллектуальных компьютерных игр в развитии когнитивных способностей человека и возможности улучшить процесс усвоения информации и влиять на процессы обучения. Ряд исследований убедительно свидетельствует, что интеллектуальные и развивающие компьютерные игры оказались совершенно бесполезны: все более впечатляющие рекорды не ведут к росту когнитивных способностей мозга. Специально для эксперимента учеными были разработаны нехитрые игры для развития различных когнитивных способностей.

Существует целая область компьютерных игр, важная из декларируемых особенностей которых — стимулировать мозг, предлагая ему, например, логические задачи разной сложности. Но, судя по всему, это обещание «игроделов» ничем не обосновано. Впрочем, результаты проведенного недавно эксперимента оставляют массу лазеек для уточнений и иных трактовок.

Работа проведена по заказу ВВС командой кембриджского ученого Адриана Оуэна. Задачей его было поставить тест, в котором показывалась бы реальная эффективность «тренировки мозга», которая достигается при использовании различных компьютерных игр, развивающих память, внимание и другие когнитивные функции. До сих пор имеется лишь крайне скудный набор экспериментальных данных по этой теме — и множество специалистов высказывает вполне обоснованные сомнения в том, что игра делает игрока более эффективным в чем-либо, кроме решения задач самой игры. Группа Оуэна взялась за дело, они создали собственные несложные развивающие онлайн-игры и, призвав всех желающих, набрали 11430 добровольцев. Добровольцев разделили на группы, одна из которых играла в игры, направленные на стимулирование способностей к постановке и решению задач, а вторая — различных других способностей, включая кратковременную память и концентрацию. Третья группа использовалась в качестве контрольной: ее загружали «умственной рутинной», связанной с поиском в интернете ответов на заданные вопросы. Все участники эксперимента «тренировались» не менее 3 раз в неделю, не менее 10 минут за сеанс, на протяжении 6 недель [29], [30], [31].

Перед началом и после завершения «обучения» все они проходили сложный тест для проверки различных когнитивных способностей. Как и следовало ожидать, представители обеих экспериментальных групп показали заметно возросшую результативность в тех играх, с которыми они имели дело. Зато общего повышения уровня когнитивных способностей тестирование не зафиксировало.

Впрочем, сторонники развивающих игр вовсе не сочли эти результаты окончательными. Так, шведский коллега Оуэна заявляет: «Публикация делает слишком далеко идущие выводы из единственного отрицательного результата» и отмечает, что тренировки, которые требовались от участников эксперимента Оуэна, исключительно кратковременны. Клингберг опубликовал собственные результаты, которые едва ли не полностью противоположны полученным в Великобритании. По его данным, тренировка отдельных узких способностей в ходе игры имеет более широкий эффект на когнитивные способности в целом, да и сам автор Клингберг является основателем и владельцем собственной компании, занимающейся разработкой развивающих игр [32], [33], [34].

В процессах обучения ведущую роль играет так называемая **пластичность мозга**, меняющаяся в течение жизни и реагирующая на все проявления жиз-

недеятельности. Одно из проявлений нейропластичности мозга — формирование связей между нейронами, которые срабатывают одновременно на протяжении некоторого времени. Согласно Норману Дойджу, автору книги «Пластичность мозга», эту гипотезу впервые предложил Зигмунд Фрейд, но развил ее подробнее канадский психолог Дональд Хебб. Обобщающую формулировку Дойдж приписывает нейробиологу Карле Шатц: «Нейроны, которые срабатывают одновременно, связываются воедино» [35], [36]. У этого феномена есть ряд серьезных следствий во многих областях нейробиологии. Было обнаружено, что «карты мозга» (зоны мозга, отвечающие за функционирование различных частей тела) могут меняться вследствие тренировок. В одном эксперименте два пальца обезьяны прикрепили друг к другу на несколько месяцев так, что двигаться они могли только вместе, как один палец. И тесты впоследствии показали, что зоны мозга, связанные с каждым из этих пальцев и ранее существовавшие отдельно, после этого эксперимента объединились, буквально стали одной зоной.

Интересно наблюдение процесса обучения среди муравьев, которые, по мнению автора, преподают друг другу маршруты путешествий. Первое свидетельство этому обнаружили биологи Найджел Франкс и Том Ричардсон из университета Бристоля. Авторы говорят о «первом доказательстве формального обучения» у животных вообще, но мы уже видели ранее примеры обучения у дельфинов и шмелей [37], [38], [39].

Однако у дельфинов и шмелей обучающиеся просто наблюдают за действиями сородичей, которых при этом вряд ли можно было назвать учителями (они просто добывали себе пищу). А мозг обезьяны, скажем, несравненно крупнее муравьиного. Потому обучение у муравьев, у которых, как оказалось, есть даже учителя — очень интересное открытие.

Дело в том, что муравей-лидер может осознанно повести своего ученика к месту, где находится еда. При этом, что принципиально важно, в процессе этого похода работает обратная связь между учеником и учителем. Если идущий впереди муравей замечает, что ведомый отстает — он сбавляет ход, давая возможность ученику догнать его, а когда тот догоняет — ускоряет темп бега. Прибыв на место, а позже вернувшись в муравейник, ученик сам становится учителем и берет в новый рейс другого, необученного муравья. Так, в геометрической прогрессии, и растет число муравьев, которые знают, куда идти за пищей [40], [41].

Еще один, но уже не такой пугающий пример: связь каких-то изъянов (отметины, шрамы и т.п.) внешности любимого человека с возбуждением. То, что большинство людей сочтет уродством, связывается у влюбленного с состоянием влюбленности и начинает восприниматься как привлекательная черта. Иллюстрацию к этому приводит и Мартин Линдстром в своей книге «Увлекательное путешествие в мозг современного потребителя». Линдстром отмечает, что надписи на сигаретных пачках, предостерегающие об опасности курения, напротив, увеличивают спрос на табак. Те самые сообщения, что должны были отпугнуть курильщиков, становятся стимулом курить больше. Эти особенности функции мозга используются в маркетингологии, отрасли обучающих программ и технологий. Мораль для нейромаркетолога тут такова: то, что постоянно присутствует вместе с вашим брендом или продуктом, в итоге сольется с ним. Линдстром выяснил, что прочно ассоциирующиеся с брендом сообщения и образы — вроде красных гоночных машин и марки Marlboro — могут вызывать желание при-

---

обрести либо употребить этот продукт даже без каких-либо сопутствующих надписей и отсылок к этому продукту. Разумеется, мало компаний добились на рынке известности такого масштаба, как Marlboro или Coca Cola, но это не значит, что от идеи последовательного брендингового послания следует отказаться [42], [43]. И такие виды связей порождаются не только характеристиками бренда, но и опытом клиентов и потребителей. Если опыт использования этого продукта или услуги у людей устойчиво хороший, то само это чувство удовлетворения в итоге окажется частью бренда. Аналогично могут «прилипнуть» и негативные ассоциации. Кроме того, это правило — «связывание воедино» — оказывается ключевым для «обонятельного» маркетинга. Если вы можете связать некий фирменный запах (например, запах духов, которые разбрызгивают в салонах самолетов Singapore Airlines) с прекрасным опытом использования этого продукта, в итоге сам запах будет способен вызвать приятные эмоции. Есть основания считать, что запахи очень мощно работают как триггеры ассоциативных связей — мощнее, чем, скажем, рекламные фразы или цвета. Мозг каждого вашего клиента неустанно создает новые нейронные связи. Думается, что этот феномен ассоциации функционирования нейронов пригоден и для практической педагогики [44], [45], [46], [47].

Таким образом, представленные результаты нейробиологических исследований свидетельствуют о существовании специфических нейрофизиологических законов процесса обучения и восприятия информации, которые необходимо учитывать при проектировании образовательных программ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baillargeon, R., Scott, R.M., Zijing, H. False-belief understanding in infants // *Trends in Cognitive Sciences*. Vol. 14. March, 2010.
2. Büchel, Ch., Morris, J., Dolan, R.J., Friston, K.J. Brain Systems Mediating Aversive Conditioning: an Event-Related fMRI Study // *Neuron*. Vol. 20. Issue 5. May 1, 1998.
3. Rochat, M.J., Serra, E., Fadiga, L., Gallese, V. The Evolution of Social Cognition: Goal Familiarity Shapes Monkeys' Action Understanding // *Current Biology*. Vol. 18. Issue 3. February, 2008.
4. Buchen, L. How brain training makes multitasking easier, practice speeds up the part of the brain that lets us tackle many jobs at once // *Nature*: doi:10.1038/news. 2009. 690.
5. Katsnelson, A. No gain from brain training // *Nature*. 464, 1111. April 20, 2010.
6. Smith, G.E. et al. New drug target for cancer // *Journal of American Geriatric Society*. 57. 2009.
7. Papp, K.V., Walsh, S.J., Snyder, P.J. Immediate and delayed effects of cognitive interventions in healthy elderly: A review of current literature and future directions // *Alzheimer's & Dementia* 5, 50-60. 2009.
8. Lugert, S., Basak, O., Knuckles, P., Haussler, U., Fabel, K., Götz, M., Haas, C.A., Kempermann, G., Taylor, V., Giachino, C. Quiescent and Active Hippocampal Neural Stem Cells with Distinct Morphologies Respond Selectively to Physiological and Pathological Stimuli and Aging // *Cell Stem Cell*. 6 (5). 2010.
9. Max-Planck-Gesellschaft (2010, May 9). New nerve cells even in old age: Researchers find different types of stem cells in the brains of mature and old mice // *Science Daily*. - Retrieved January 1, 2002.
10. Varley R., Klessinger N., Romanowski C., Siegal M. Agrammatic but numerate // *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. - 102, 3519-3524. - 2005

11. Artavanis-Tsakonas, S., Rand, M.D., Lake, R. Notch Signaling: Cell Fate Control and Signal Integration in Development (Review) // *Science*. 284 (5415): 770-776 1999.
  12. Brou, C., Logeat, F., Gupta, N., Bessia, C., LeBail, O., Doedens, J.R., Cumano, A., Roux, P., Black, R.A., Israël, A. A novel proteolytic cleavage involved in Notch signaling: the role of the disintegrin-metalloprotease TACE // *Mol. Cell*. 5 (2): 207-16. February, 2000.
  13. Morgan, T. H. The theory of the gene // *American Naturalist*. 51 (609): 513-544. 1917.
  14. Morgan, T. The theory of the gene (revised ed.). Yale University Press, 1928. P. 77-81.
  15. Wharton, K.A., Johansen, K.M., Xu T., Artavanis-Tsakonas, S. Nucleotide sequence from the neurogenic locus notch implies a gene product that shares homology with proteins containing EGF-like repeats // *Cell*. 43 (3 Pt 2): 567-81. December, 1985.
  16. Kidd, S., Kelley, M.R., Young, M.W. Sequence of the notch locus of *Drosophila melanogaster*: relationship of the encoded protein to mammalian clotting and growth factors // *Mol. Cell. Biol.* 6 (9): 3094-108. September, 1986.
  17. Oswald, F., Täuber, B., Dobner, T., Bourteele, S., Kostezka, U., Adler, G., Liptay, S., Schmid, R.M. p300 acts as a transcriptional coactivator for mammalian Notch-1 // *Mol. Cell. Biol.* 21 (22): 7761-74. November, 2001
  18. Artavanis-Tsakonas, S., Matsuno, K., Fortini, M. E. Notch signaling // *Science (journal)*. 268 (5208): 225-32. April, 1995.
  19. Singson, A., Mercer, K.B., L'Hernault, S.W. The *C. elegans* spe-9 gene encodes a sperm transmembrane protein that contains EGF-like repeats and is required for fertilization // *Cell*. 93 (1): 71-9. April, 1998.
  20. Gaiano, N., Fishell, G. The role of notch in promoting glial and neural stem cell fates // *Annu. Rev. Neurosci.* 25: 471-90. 2002.
  21. Bolys, V., Grego-Bessa, J., Pompa, J.L., de la. Notch signaling in development and cancer // *Endocr. Rev.* 28 (3): 339-63. May, 2007
  22. Liu, Z.J., Shirakawa, T., Li, Y., Soma, A., Oka, M., Dotto, G.P., Fairman, R.M., Velazquez, O.C., Herlyn, M. Regulation of Notch 1 and Dll 4 by vascular endothelial growth factor in arterial endothelial cells: implications for modulating arteriogenesis and angiogenesis // *Mol. Cell. Biol.* 23 (1): 14-25. January, 2003.
  23. Grego-Bessa, J., Luna-Zurita, L., Monte, G., del Bolys, V., Melgar, P., Arandilla, A., Garratt, A.N., Zang, H., Mukoyama, Y.S., Chen, H., Shou, W., Ballestar, E., Esteller, M., Rojas, A., Pérez-Pomares, J. M., Pompa, J. L., de la. Notch signaling is essential for ventricular chamber development // *Dev. Cell*. 12 (3): 415-29. March, 2007.
  24. The Notch signaling pathway in cardiac development and tissue homeostasis // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100 (25): 14920-14925. December, 2003.
  25. Murtaugh, L.C., Stanger, B.Z., Kwan, K.M., Melton, D.A. Notch signaling controls multiple steps of pancreatic differentiation // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100 (25): 14920-14925. December, 2003.
  26. Sander, G.R., Powell, B.C. Expression of notch receptors and ligands in the adult gut // *J. Histochem. Cytochem.* 52 (4): 509-16. April, 2004.
  27. Nobta, M., Tsukazaki, T., Shibata, Y., Xin, C., Moriishi, T., Sakano, S., Shindo, H., Yamaguchi, A. Critical regulation of bone morphogenetic protein-induced osteoblastic differentiation by Delta 1 / Jagged1 - activated Notch1 signaling // *J. Biol. Chem.* 280 (16): 15842-8. April, 2005.
  28. Laky, K., Fowlkes, B.J. Notch signaling in CD4 and CD8 T cell development // *Curr Opin Immunol.* 20(2): 197-202. 2008.
  29. Dontu, G., Jackson, K.W., McNicholas, E., Kawamura, M.J., Abdallah, W.M., Wicha, M.S. Role of Notch signaling in cell-fate determination of human mammary stem / progenitor cells // *Breast Cancer Res.* 6 (6): R605-15. 2004
-

30. Lai, E.C. Notch signaling: control of cell communication and cell fate // *Development*. 131 (5): 965-73. March, 2004.
31. Collins, S. The NOTCH pathway and Cancer // *Glycobiology* 03-08 2009.
32. Sharma, V. M., Draheim, K.M., Kelliher, M.A. The Notch 1 /c-Myc pathway in T cell leukemia // *Cell Cycle*. 6 (8): 927-30. April, 2007.
33. Moellering, R.E., et al. Direct inhibition of the NOTCH transcription factor complex // *Nature*. 462: 182-188. 2009.
34. Arora Paramjit S., Ansari Aseem Z. Chemical biology: A Notch above other inhibitors // *Nature*. 462: 171-173. 2009.
35. Bagley, K. New drug target for cancer // *The Scientist*. 11-1. 2009.
36. Munro, S., Freeman, M. The notch signalling regulator fringe acts in the Golgi apparatus and requires the glycosyltransferase signature motif DXD // *Curr. Biol*. 10 (14): 813-20. July, 2000.
37. Ma, B., Simala-Grant, J.L., Taylor, D.E. Fucosylation in prokaryotes and eukaryotes // *Glycobiology*. 16 (12). December, 2006
38. Shao, L., Luo, Y., Moloney, D.J., Haltiwanger, R. O-glycosylation of EGF repeats: identification and initial characterization of a UDP-glucose: protein O-glycosyltransferase // *Glycobiology*. 12 (11): 763-70. November, 2002.
39. Lu L., Stanley P. Roles of O-fucose glycans in notch signaling revealed by mutant mice // *Meth. Enzymol*. 417: 127-36. 2006.
40. Thomas, G. B., Meyel, D.J., van. The glycosyltransferase Fringe promotes Delta-Notch signaling between neurons and glia, and is required for subtype-specific glial gene expression // *Development*. 134 (3): 591-600. February, 2007.
41. LaVoie, M.J., Selkoe, D.J. The Notch ligands, Jagged and Delta, are sequentially processed by alpha-secretase and presenilin/gamma-secretase and release signaling fragments // *J. Biol. Chem*. 278 (36): 34427-34437. September, 2003.
42. Varley, R., Klessinger, N., Romanowski, C., Siegal, M. Agrammatic but numerate // *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 102, 3519-3524. 2005.
43. Robinson, E.J.H. Physiology as a caste-defining feature // *Insectes Sociaux*. 59, 1-6. 2009.
44. Robinson, E.J.H., Holcombe, M., Ratnieks, F.L.W. The organisation of soil disposal by ants // *Animal Behaviour*. 75, 1389-1399. 2008.
45. Tofilski, A., Couvillon, M.J., Evison, S.F., Helantera, H., Robinson, E.J.H., Ratnieks, F.L.W. Pre-emptive defensive self-sacrifice by ant workers // *American Naturalist*. 172, 239-243. 2008.
46. Franks, N.R., Hardcastle, K.A., Collins, S., Smith, F.D., Sullivan, K.M.E., Robinson, E.J.H., Sendova-Franks, A.B. Can ant colonies choose a far-and-away better nest over an in-the-way poor one // *Animal Behaviour*. 76, 323-334. 2008.
47. Robinson, E.J.H., Green, K.E., Jenner, E.A., Holcombe, M., Ratnieks, F.L.W. Decay rates of attractive and repellent pheromones in an ant foraging trail network // *Insectes Sociaux*. 55, 246-251. 2008.