

© Коллектив авторов, 2023

УДК 616-092

Пальцын А.А., Свиридкина Н.Б.

Язык как орган анализа

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»
125315, Москва, Россия, ул. Балтийская, д. 8

Эволюция приспособила язык человека, кроме речи, к участию в первичной механической обработке пищи, анализе её содержания и проглатывании. Язык может определять место расположения пищи в ротовой полости, вообще, и на поверхности языка, в частности. Локализация и осознание вкусового ощущения происходит с большой топографической точностью: на том или ином *ограниченном* участке полости рта или поверхности языка. На этой способности языка основана идея сенсорной замены *видеообразов* пространства *тактильным* восприятием языка – vision substitution by tactile image projection. Предложены и созданы (пока их число ограничено) устройства, улучшающие качество жизни слепых и реабилитацию двигательных расстройств.

Ключевые слова: визуально тактильная замена; постуральная стабильность; сенсорное усиление; видеоанализ языком; электротактильная стимуляция

Для цитирования: Пальцын А.А., Свиридкина Н.Б. Язык как орган анализа. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2023; 67(4): 86-92.

DOI: 10.25557/0031-2991.2023.04.86-92

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Пальцын А.А.; сбор и обработка материала – Свиридкина Н.Б., Пальцын А.А.; написание текста Пальцын А.А.; редактирование – Свиридкина Н.Б. Утверждение окончательного варианта статьи – все соавторы.

Для корреспонденции: Пальцын Александр Александрович, e-mail: lrrp@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 22.09.2023

Принята к печати 19.10.2023

Опубликована 27.12.2023

Paltsyn A.A., Sviridkina N.B.

Language as an organ of analysis

Institute of General Pathology and Pathophysiology,
Baltiyskaya St. 8, Moscow, 125315, Russian Federation

Evolution has adapted the tongue, besides speaking, to participate in the primary mechanical processing of food, to analyze its content, and to swallow it. The tongue can determine the location of food in the oral cavity in general, and specifically on the tongue surface. Localization and perception of the taste sensation occur with a great topographic accuracy on one or another limited area of the oral cavity or the tongue surface. This ability of the tongue underlies the idea of *vision substitution by the tactile image projection*. Devices have been proposed and created (so far in limited number) that improve quality of life of the blind and the rehabilitation in movement disorders.

Keywords: visually tactile substitution; postural stability; sensory enhancement; video analysis by tongue; electrotactile stimulation

For citation: Paltsyn A.A., Sviridkina N.B. Language as an organ of analysis. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya. (Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal)*. 2023; 67(4): 86-92. (in Russian)

DOI: 10.25557/0031-2991.2023.04.86-92

Author's contribution: concept and design of the study – Paltsyn A.A.; collection and processing of material – Sviridkina N.B.; writing the text – Paltsyn A.A.; editing – Sviridkina N.B. Approval of the final version of the article – all authors.

For correspondence: Paltsyn A.A., e-mail: lrrp@mail.ru

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received 22.09.2023

Accepted 19.10.2023

Published 27.12.2023

Созданием такого важного органа как язык эволюция обеспечила не только поглощение и первичную, механическую обработку пищи. Сформировался орган физического и химического исследования внешней среды — анализатор окружающего пространства. Достаточно рациональное и точное восприятие и отражение в мозг тактильной информации, полученной механическим контактом языка со средой, способствует успеху выживания особей и видов. Движения языка имеют решающее значение для глотания, речи и дыхания, а дисфункция движений языка может привести к дисфагии, дизартрии и обструктивному апноэ во сне. Сеть обработки поступающих от языка сигналов включает в себя корковые и подкорковые структуры, которые представляют сознанию многочисленный набор отдельных и объединенных в комплексы стимулов, встречающихся в окружающем пространстве. Стимулов, по сути, тактильных и вкусовых, но опытом жизни предков и особи, когнитивной обработкой этого опыта мозгом, часто превращаемых в эквиваленты визуальным стимулам. Стандартная по физиологическому значению для разных классов животных пищевая функция языка, но выполняемая в различных условиях обитания, изменила соответственно этим условиям морфологию языка. Так, например, объясняют отсутствие кератинизации языка амфибий и кератинизацию в большей или меньшей степени языка других позвоночных [1]. Следует обратить внимание, что кератинизация языка многозначное событие эволюции позвоночных, отражающееся в освоении новых ресурсов пищи.

Сравнительные исследования морфологии языков современных и вымерших позвоночных позволяют предположить важную роль приспособления морфологии языка к перемещению позвоночных из пресной воды на сушу или в морскую воду, а также роль ороговения лингвального эпителия при перемещении из влажных условий в сухие или в морскую воду. Считается, что эволюционные изменения языка лежат в основе прогресса в приспособлении к смене пищи, что является движителем в расширении ареала обитания позвоночных.

Один из видов позвоночных — Человек разумный, *Homo sapiens*, уже сегодня, не откладывая, успешно пытается применять язык для анализа данных за пределами определенной эволюцией области вкуса. Люди нетерпеливы и технологии проворнее эволюции.

У идеи использовать язык для анализа среды можно найти «прародителей». К ним, может быть, следует отнести Bach-y-Rita P с сотрудниками, опубликовавших в 1969 году в Nature статью о возможности за-

менять *видимость* глазами на *тактильные* ощущения [2]. Статьи тех же авторов, с тем же названием и в тот же год, публиковались ещё трижды, но, к сожалению, с той же невозможностью прочитать их текст или, хотя бы, резюме в интернете. Через 3 года после появления статей Bach-Y-Rita P уже без соавторов написал и издал в Кембридже книгу по обсуждаемой теме [3]. К сожалению, она также оказалась для нас недоступной.

Способность и абсолютная, жизненно важная необходимость языка для анализа внешней среды имеют своим результатом некоторые благоприятные моменты. Например — отсутствие или незначительность возрастных изменений мышечной массы языка, в отличие от грубо выраженных и широко распространенных изменений — возрастной атрофии неязыковой поперечнополосатой мускулатуры тела.

Вкусовое ощущение вызывается, когда находящееся в растворе вещество через поры попадает на вкусовые луковицы и возбуждает хеморецепторы. Вкусовые луковицы, или почки, содержат концевой рецепторный аппарат вкусового анализатора и располагаются в сосочках языка, а также на заднем крае неба. В эпителии глотки и надгортанника даже внутри одной вкусовой луковицы могут находиться рецепторы разных базовых вкусов. Каждая вкусовая луковица состоит из поддерживающих клеток и клеток-рецепторов вкуса.

В языке старого человека не происходит характерная для других поперечнополосатых мышц стариков, возрастная утрата силы с соответствующими изменениями функции, макро- и микроструктуры [4,5]. Конечно, действует то обстоятельство, что нагрузка на язык при старении не снижается или снижается меньше, чем нагрузка на прочую поперечнополосатую мускулатуру. Это эффект длительно и постоянно действующего фактора. Есть свидетельства и немедленного действия нагрузки. У жующих в положении стоя молодых мужчин равновесие существенно улучшается по сравнению с теми же людьми стоящими с открытым или закрытым, но не жующим ртом ($p < 0.0001$) [6].

Sienko с сотрудниками [7] этот и подобные эффекты объясняют сенсорным усилением (sensory augmentation — SA), которое достигается добавлением мощности обуславливающего и ориентирующего баланса вибротактильного сигнала. Баланс сохраняющий и усиливающий эффект может достигаться не только SA, но и сенсорной заменой sensory substitution SS — изменением модальности сигнала: тактильной, звуковой, визуальной. Оригинальная и высоко эффективная форма SS: наблюдение собственной, сохранившейся после инсульта подвижность руки [8] или ноги [9]

в зеркале, расположенном так, что в нём сохранившаяся конечность *кажется*, больному его парализованной конечностью. *Видимое* всего лишь, но *не осуществляемое реально*, движение парализованной конечности восстанавливает нарушенные инсультом нейронные связи, способствует появлению её реального движения, увеличению амплитуды и силы этого движения. Thieme и соавторы [8] включили в свою публикацию о результатах зеркальной сенсорной замены 62 клинических исследования такого типа, с участием 1982 больных в возрасте от 30 до 73 лет. Зеркальную терапию проводили в течении 2-8 недель 3-7 раз в неделю, с продолжительностью каждого сеанса 15-60 минут. У 95% больных обнаружено положительный эффект.

Китайцы, вероятно даже не врачи, давно заметили, что при бессоннице язык выглядит не так, как у спящих достаточно людей. В традиционной китайской медицине исследование языка осуществляется как важнейшая базовая процедура, обязательная для принятия терапевтических решений. Представляем результаты профессионального изучения этого наблюдения, опубликованные в американском журнале китайской медицины [10]. Исследовали состав микробиоты рта с различными видами налетов на языке при бессоннице сравнительно с нормально спящими людьми. Для сохранения и развития полезной традиции авторы решили сопоставить состояния микробиома полости рта пациентов с хронической бессонницей с особенностями поверхности их языков.

В этой работе использовали секвенирование гена *16S rRNA* для анализа изменений бактериального профиля полости рта. Изменения распространялись на 3 типа: Proteobacteria, Bacteroidetes, Gracilibacteria и 4 рода: Streptococcus, Prevotella, Rothia, и Neisseria. Бессонница у пациентов была хронической, различной тяжести и с различным видом налетов на языке, отличающимся от вида языка у здоровых, достаточно спящих людей. Авторы обнаружили связь изменений микробиома рта, выражающихся в систематике и обилии бактерий, с тяжестью хронической бессонницы и внешним видом поверхности языка.

В старости сохраняется структура и сила языка у людей, сохранивших зубы или адекватные имплантаты [11] и полноценно жующих [12]. В силе языка носители зубных имплантатов всё же уступали сохранившим натуральные зубы ($p < 0.05$). Кончик языка имеет малые соматосенсорные рецептивные поля – сосочки, сравнимые по биологическому значению этой рецепции с полями кончиков пальцев. Это обеспечивает точную пространственную дифференциацию даже близко располо-

женных сигналов и высокую тактильную чувствительность. Исследование Allison с сотрудниками [13] было предпринято для ответа на вопрос: влияет ли плотность расположения грибовидных сосочков и/или чувствительность их к пропилиптоурацилу положительно или отрицательно на воспринимаемую интенсивность сигнала и/или способность к различению близко расположенных языковых электротактильных стимулов. Количество и распределение грибовидных сосочков были определены для 15 участников анализа. Их подвергли электротактильной стимуляции (ETS) и попросили сообщить о количестве и интенсивности воспринимаемых стимулов. Затем количество и распределение грибовидных сосочков сравнивали с характеристиками результатов ETS, используя статистический анализ. Он показал, что эффективность распознавания была связана лишь с плотностью расположения сосочков. Эти данные свидетельствуют о том, что люди с высоким числом и плотностью расположения грибовидных сосочков в переднемедиальной области языка могут лучше, точнее использовать языковую ETS для сенсорной диагностики.

Установлена роль шейно-челюстной сенсомоторной системы в управлении балансом тела [14]. Язык является главной частью этой системы, связывает и корректирует действие и результат в выполнении целенаправленных точных двигательных задач, таких как постуральный баланс, прием пищи, питье и речь. Результаты клинических наблюдений показали, что положение языка относительно верхних резцов может улучшить постуральную стабильность при стоянии на неустойчивой поверхности слепых, но здоровых в остальном молодых людей.

Вкусовое ощущение – это процесс и результат преобразования химических свойств пищи в нейронный код мозга. Вкусовая информация первоначально формируется возбуждением вкусовых (грибовидных) сосочков языка, проходит по афферентным вкусовым нервным волокнам к нейронам сенсорных ганглиев и, наконец, поступает во вкусовые центры мозга. Недавние достижения в оптическом выражении механизмов и путей передачи вкусовых ощущений представлены в обзоре [15]. Авторы сообщают как вкус, обусловленный физическими и химическими особенностями попавшей в рот пищи по-разному, в соответствии с этими особенностями, раздражает рецепторы нейронов сенсорных ганглиев во вкусовых сосочках языка. Эти различия передаются через афферентные вкусовые нервы нейронам сенсорных ганглиев и, наконец «сообщаются» вкусовым центрам мозга, превращая химическую идентичность пищи или чего-то попавшего на язык в нейронный код.

Вкусовые сосочки могут различать, по крайней мере, пять основных вкусов: сладкий, горький, кислый, соленый и, так называемый, «умами» (в переводе с японского — приятный), обусловленный глутаматами — мясной, вкус популярный в Японии и Китае, но для русского и европейца необсуждаемый. Не потому, что его нет в нашей еде, а потому, что не привыкли его замечать. Этими пятью словами вкусового лексикона выражаются вполне материальные, сущностные характеристики исследуемых образцов. При таком положении, у кого «повернется язык» сказать, что язык не есть инструмент анализа окружающего мира?

Поскольку ниже речь пойдет, в основном, об анализе пространства, стоит напомнить, что для видящего «избалованного здоровьем» человека мысль о слепоте связана с меланхолией, большой боязнью неизвестного и полного опасностей окружения, бесконечной ночи, невозможности свободно двигаться, хотя бы приемлемо (уже не помышляя о комфорте) ориентироваться в пространстве, в повседневном быте, постоянной угрозе падения, болезненного столкновения с чем-либо, трудностях при приеме пищи. Пример величайшей успешности слепого человека — Гомера вдохновляет немногих. Он жил очень давно, а сознание склонно воспринимать историю как сказку. Чувство справедливости и уважения к предкам обязывает напомнить, что технология Tactile Vision Substitution (TVS) изобретена и используется человеком уже в течении тысячелетий. Её пример: слепой, контролирующий, «ощупывающий» и «перкуссирующий» окружающее пространство тростью. Удивлявшая три века назад Дидро [16] и продолжающая удивлять современников, успешность таких действий объясняется длительной практикой чувствительности осязания и слуха слепых. Неслучайно доля музыкантов среди них явно превышает долю музыкантов среди зрячих. В качестве примера указывают на современницу Дидро, слепую (с двухлетнего возраста) пианистку Mélanie de Salignac самостоятельно научившуюся не только играть на фортепиано, но использованием вырезанных букв, цифр и нот читать, писать, переписываться с друзьями, записывать мелодии. Показателен также пример SS-исследования [17]. Авторам удалось определить нейронные субстраты сенсорных замещений и выявить масштабы пластических процессов, при анализах окружающей среды. Суть дела оказалась в перепрограммировании, уровне его распространения по сетям. В настоящее время производятся электронные ультра-трости, информирующие о препятствиях не только при их контакте с препятствием, но и на достаточном по горизонтали и вер-

тикали расстоянии до препятствия, что обеспечивает безопасность ходьбы [19].

Теоретическую разработку и практический опыт устройства не избавляющего полностью от трудностей слепоты, но облегчающего жизнь, снижающего остроту и вероятность реальных и воображаемых угроз описал сотрудник университета Висконсин-Мэдисон Kaczmarek [18]. Он создал устройство Tongue Display Unit (TDU), которое стало универсальной платформой для применения и анализа результатов электро-тактильной стимуляции языка. Описал также практику применения TDU для сенсорной замены и нейрореабилитации. Создаваемые таким устройством ощущения (вибрация, покалывание, давление) могут использоваться для передачи временной и пространственной информации, которая обычно поступает через другие сенсорные каналы, такие как зрение, слух, проприоцепция и вестибулярный аппарат. Тактильная чувствительность языка в оценке давления и пространства настолько значимо представлена в мозге, что может конкурировать с рукой — основным человеческим органом осязания. Постоянство гидратации языка стабилизирует его электродную способность. Электро-тактильная стимуляция вызывает тактильные ощущения в месте расположения небольшого поверхностного электрода при пропускании узко локализованного электрического тока, стимулирующего афферентные нервные волокна.

Мотивацией создания TDU было замещение видео картины тактильным восприятием Tactile Vision Substitution (TVS). По сути — язык в роли глаза. С помощью TVS управляемая пользователем видеокамера захватывает изображения окружающей среды в реальном времени и обеспечивает пространственно соответствующую зрительно воспринимаемой мозгом пользователя, но созданную тактильной стимуляцией поверхности его языка картинку окружающего пространства. Kaczmarek уверяет, что, основываясь на тактильных ощущениях, когда, например, области интенсивной тактильной стимуляции могут соответствовать светлым областям изображения с камеры, пользователи «могут выполнять визуальные задачи, такие как чтение текста, идентификация и локализация объекта, осуществлять разделение и координацию «рука-глаз» (например, ловить мяч) и, что более актуально и реально уклоняться от препятствий при ходьбе.

У людей с отсутствием какой-либо клинически заметной вестибулярной функции (двусторонний вестибулярный дефицит) наблюдается немедленное улучшение постуральной стабильности при использовании TVS, которая в этом случае отображает наклон головы

как положение небольшого пятна электротактильной стимуляции на языке. Такие улучшения сохраняются от нескольких часов до нескольких недель, а часто и дольше, даже после извлечения устройства изо рта, в зависимости от совокупного времени использования системы субъектом (типичное использование – 2 полчасовых сеанса в день).

Недавно было показано, что TDU или TDU-индуцированная стимуляция языка, проводимая одновременно с упражнениями на равновесие и походку, приводит к долгосрочному уменьшению неблагоприятных симптомов.

Современное состояние знаний и технологий позволяет манипулировать сенсорными модальностями новыми, непривычными способами. Так в исследовании [19] описаны идея создания и результат практического испытания устройства визуально-слуховой замены: sensory substitution device (SSD). Использован алгоритм преобразования изображения в звук, с целью создать суррогат видимости, достаточный, чтобы слепому человеку определить форму и расположение (спереди, сзади, справа, слева) объекта. Слепые испытуемые устройства в большинстве справились с заданием после 60-минутной обучающей сессии. Некоторые могли даже нарисовать презентацию. Увеличение продолжительности занятий повышало точность ответов.

Разновидностью SSD, но более точным, комфортным, удобным для восприятия и реагирования является устройство отображения языка Tongue Display Unit (TDU) предложенное Качмарекком [18]. Автор описал теорию, конструкцию и опыт применения электротактильной стимуляции дорзальной поверхности языка для сенсорной замены и нейрореабилитации. Приемник информации: помещаемая на спинку языка лента с квадратом расположенных электродов 12 x 12 (всего 144 электрода). Оказывается, язык настолько точный приемник ощущений, что даже при такой тесноте расположения безошибочно *различает* соседние точки-электроды.

Электротактильная стимуляция вызывает ощущение прикосновения, вибрации, покалывания, давления, раздельно в каждом столь малом участке – месте расположения электрода. Однако, для обсуждаемой пространственно ограниченной области интереса есть и более пространственно ограниченный и более удобный и более чувствительный рецептор: электротактильный дисплей – язык. Он очень подвижный, высоко чувствительный к различиям локализации и силы сигнала. По широте представительства в мозге не уступает рукам – главному органу тактильной информации. Слизистая оболочка нёба, щёк, губ, всего рта,

увеличивает и без того великие тактильные возможности языка.

Каждая вкусовая почка дорзальной поверхности языка содержит несколько дюжин вкусовых клеток. Сама вкусовая почка не достигает поверхности слизистой языка – в полость рта выходит только вкусовая пора. Растворенные в слюне вещества диффундируют через пору в наполненное жидкостью пространство над вкусовой почкой, и там они соприкасаются с ресничками – наружными частями вкусовых клеток. На поверхности ресничек находятся специфические рецепторы, которые, избирательно связывая молекулы, растворенные в слюне, переходят в активное состояние и запускают каскад биохимических реакций во вкусовой клетке. В результате последняя высвобождает нейротрансмиттер, он стимулирует вкусовой нерв, и по нервным волокнам в мозг уходят электрические импульсы, несущие информацию о специфике, интенсивности и локализации вкусового сигнала. Все рецепторы относятся к обширному семейству, сопряженных с G-белками GPCR (G protein-coupled receptors). Эти белки находятся внутри клетки, возбуждаются при взаимодействии с активными рецепторами и запускают все последующие реакции. Кстати, помимо вкусовых веществ рецепторы типа GPCR могут распознавать гормоны, нейромедиаторы, пахучие вещества, феромоны – словом, они подобны антеннам, принимающим самые разнообразные сигналы.

Вкус – это мультимодальное ощущение. Должна светиться воедино следующая информация: от химических избирательных вкусовых рецепторов, тепловых рецепторов, данные от механических датчиков зубов и жевательных мускулов, а также сигналы обонятельных рецепторов, на которые действуют летучие компоненты пищи.

В таламусе вкусовые сигналы соединяются с обонятельными и вместе уходят во вкусовую зону коры головного мозга. Распознавание вкуса – комплексный процесс. Вся информация от вкусовых, термических, обонятельных рецепторов и данные от механических датчиков, поступает в мозг. Мы практически мгновенно понимаем, что едим. Вся информация о продукте обрабатывается мозгом одновременно. Например, когда во рту клубника, это будут сладкий вкус, клубничный запах, сочная с косточками консистенция. Сигналы от органов чувств, обработанные во многих частях коры головного мозга, совмещаются и дают комплексную картину. Есть основания, упоминавшиеся выше, считать, что вкусовое ощущение формируется в результате комбинации ограниченного числа базовых вкусов.

Сенсорная замена и электронные средства имеют преимущество перед инвазивными технологиями бла-

годаря использованию механизмов пластичности, которые естественным образом срабатывают в мозге слепых при обучении другим (не визуальным) модальностям. Имеется в виду благоприятное течение событий, свободное от осложняющих патологических процессов (инсульт), тем более повреждения сенсорной сферы при Covid-19 [20].

Хотя некоторые SSD обеспечивают слепым «визуальное» восприятие, превышающее установленный ВОЗ порог слепоты и якобы не представляющее опасности для здоровья, несколько факторов ограничивают пока их использование за пределами лабораторий. Более того, SSD, порой, предназначаются для помощи слепым без внимательного учета их мнений, вкладов личного «опыта болезни» и сотрудничества с медициной, будучи проверенными только на гетерогенных популяциях людей с поздним началом инвалидности или, наоборот, врожденно слепых. Это, очевидно, влияет на результаты исследований.

Слепота — один из тяжелейших видов инвалидности. В этом обзоре мы представили две популярные концепции реабилитации. Первая концепция — это сенсорная замена, которая заключается в использовании другой сенсорной модальности для выполнения задачи, обычно выполняемой зрением. Вторая концепция — это кросс-модальная пластичность, которая возникает, когда потеря входных данных в одной сенсорной модальности приводит к реорганизации представления в мозге других сенсорных модальностей. Для обоих вариантов нужны тренировки. В настоящее время в полной мере признано, что действительно, слепые могут развить даже сенсорные способности, превлходящие нормальные за счет гипертренировки в других модальностях.

Мы упомянули ряд важных факторов, которые могут повлиять на то, как SSD используются заинтересованными пользователями, естественно небезразличными к важным обстоятельствам собственной жизни. Скромный масштаб реального использования пока не соответствует значимости технологии и её потенциальным возможностям. Ситуация должна быть и, несомненно, будет исправлена. Цель трудна, но достижима и соответствует задачам медицины: приобщить к приемлемой жизни обделенных судьбой людей.

Литература

(п.п. 1–10; 12–19 см. References)

11. Лобанов Е.В. Эволюция понятия «остеоинтеграция» и обзор особенностей современных зубных имплантов, влияющих на остеоинтеграцию. *Патогенез*. 2023; 21(1): 16-21.

20. Ершов А.В., Литвицкий П.Ф., Тушова К.А. Особенности механизма развития и течения острого инсульта у пациентов с covid-19. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2022; 66(3): 13-7.

References

1. Shin-ichi Iwasaki. Evolution of the structure and function of the vertebrate tongue. *J Anat*. 2002. PMID: 12171472 Free PMC article. Review.
2. Bach-Y-Rita P., Collins C.C., Saunders F.A., White B., Scadden L. Vision substitution by tactile image projection. *Nature*. 1969; Mar 8; 221(5184): 963-4.
3. Bach-y-Rita P. *Brain Mechanisms in Sensory Substitution*. Cambridge: 1972. Academic Press Inc.
4. P A Price, B W Darvell. Force and mobility in the ageing human tongue. *Med J Aust*. 1981; Jan 24;1(2) 75-8
5. Taek Park, Youngsun Kim, Effects of tongue pressing effortful swallow in older healthy individuals, Archives of Gerontology and Geriatrics, 10.1016/j.archger.2016; 05.009, 66, 127-133
6. Ahmad Alghadir, Hamayun Zafar, S.L. Whitney, Zaheen Iqbal. Effect of chewing on postural stability during quiet standing in healthy young males. *Somatosensory Mot. Res*. 2015; 32(2): 72-6.
7. Kathleen H Sienko, Rachael D Seidler 2, Wendy J Carender 3, Adam D Goodworth 4, Susan L Whitney 5, Robert J Peterka. Potential Mechanisms of Sensory Augmentation Systems on Human Balance Control. *Front Neurol*. 2018; Nov 12; 9: 944.
8. Thieme H., Morkisch N., Mehrholz J., Pohl M., Behrens J., et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018; 7(7): CD008449.
9. Broderick P., Horgan F., Blake C., Ehrensberger M., Simpson D., Monaghan K. Mirror therapy for improving lower limb motor function and mobility after stroke: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2018; Jun; 63: 208-20.
10. Meng Liu, Xiting Wang 1, Fengzhi Wu 1, Ning Dai 1, Mindan Chen 1, Jiaojiao Yu et al. Variations of Oral Microbiome in Chronic Insomnia Patients with Different Tongue Features. *Am J Chin Med*. 2020; 48(4): 923-44.
11. Lobanov E.V. Evolution of the concept of “osseointegration” and a review of the features of modern dental implants affecting osseointegration. *Patogenez*. 2023; 21(1): 16-21.
12. H Koshino, T Hirai, T Ishijima, Y Ikeda. Tongue motor skills and masticatory performance in adult dentates, elderly dentates, and complete denture wearers. *J Prosthet Dent*. 1997; Feb; 77(2): 147-52
13. Tyler S Allison 1, Joel Moritz Jr 2 3, Philip Turk 4, Leslie M Stone-Roy. Lingual electrotactile discrimination ability is associated with the presence of specific connective tissue structures (papillae) on the tongue surface. *PLoS One*. 2020; Aug 7; 15(8):e0237142
14. Ahmad H Alghadir, Hamayun Zafar, Zaheen A Iqbal. Effect of tongue position on postural stability during quiet standing in healthy young males. *Somatosens Mot Res*. 2015; 32(3): 183-6.
15. Gha Yeon Park, Hyeyeong Hwang, Myunghwan Choi. Advances in Optical Tools to Study Taste Sensation Mol Cells. 2022; Dec 31; 45(12): 877-82.
16. Denis Diderot: A Letter on the Blind for the Use of Those Who See, 1749.

17. Maurice Ptito, Maxime Bleau, Ismaël Djerourou, Samuel Paré, Fabien C. Schneider, and Daniel-Robert Chebat. Brain-Machine Interfaces to Assist the Blind. *Front Hum Neurosci.* 2021; 15: 638887.
18. Kaczmarek K.A. The tongue display unit TDU for electrotactile spatiotemporal pattern presentation. *Sci Iran D Comput Sci Eng Electr Eng.* 2011; 18(6): 1476–85.
19. Shvadron, Adi Snir, Amber Maimon, Or Yizhar, Sapir Harel, Keinan Poradosu et al Shape detection beyond the visual field using a visual-to-auditory sensory augmentation device. *Front Hum Neurosci.* 2023; 17: 1058617.
20. Ershov A.V., Litvitsky P.F., Tushova K. A. Features of the mechanism of development and course of acute stroke in patients with covid-19. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya.* 2022; 66(3): 13-7.

Сведения об авторах:

Пальцын Александр Александрович, доктор биол. наук, проф., лауреат Государственной премии СССР, гл. науч. сотр., ФГБНУ НИИОПП;

Свиридкина Надежда Борисовна, канд. биол. наук, вед. науч. сотр., ФГБУН НИИОПП.