

**Brain, Spirits and Music, Eng/Rus, From Introduction to items 1, 2 , 3, 4, 5,6 and 7**

## 1] Introduction

It is generally accepted that activities of the higher nervous system in vertebrates can be approached analytically from the following aspects: cognitive, emotional, volitional and motor. Even amphibians and reptiles possess their primitive stages of the functions (Bruce and Neary, 1995; Cabance, 1999), and mammals can exert higher levels of these expressions. Humans understand language, art and music, because the development of the brain has reached a level to recognize symbolic signals to communicate in the society. In all vertebrates, sensory impulses reach the central nervous system and are analyzed and recognized in the cerebral cortex. Expression of emotion in human is closely related to the Pavlovian second signal system, which is qualitatively different from the first signal system, and can be developed to express *techné* of creating music, art and literature.

## 1 ] Введение

Общепринято, что активность центральной нервной системы у позвоночных может быть исследована аналитически в следующих аспектах: познавательном, эмоциональном, волевом и двигательном. Даже амфибии и рептилии обладают примитивными стадиями таких функций (ссылки), а млекопитающие могут приводить в действие более высокие уровни таких процессов. Люди понимают язык, искусство и музыку потому, что развитие мозга достигло уровня распознавания символических сигналов для общения в обществе. У всех позвоночных сенсорные импульсы достигают центральной нервной системы и анализируются и распознаются в церебральной коре. Выражение эмоций у человека тесно связано с Павловской второй сигнальной системой, которая качественно отличается от первой сигнальной системы и может быть развита настолько, что способна выразить *techne* создания музыки, искусства и литературы.

Areas 39 and 40 (of Brodmann) in the human parietal lobe are involved in the high order recognition including language. Disturbance of these areas causes sensory aphasia, apraxia and agnosia. The parietal cortex is also involved in the spatial recognition of concepts and harmony in art and music. Formation of concept and harmony in the sensory recognition leads people to the idea of putting elements together as a whole; the “*Gestalt*” formation.

Поля 39 и 40 (по Бродману) в височной доле человека вовлекаются в распознавание высшего уровня, включая язык. Нарушение этих областей вызывает сенсорную афазия, **apraxia?** и агнозию. Височная кора вовлекается также в пространственное распознавание концепций и гармонии в искусстве и музыке. Образование концепции и гармонии в сенсорном распознавании приводит людей к идее сложения элементов вместе как целое - Gestalt формированию.

## 2 ] Listening to music and auditory association area

As the monkey visual cortex is subdivided into V1, V2, V3, V4, TEO, TE, MT and MST, the auditory cortex is classified as the core (further subdivided to AI, R and RT), the belt (CL, ML and AL) and the parabelt (STGc, CPB, RPB, STGr) regions (Romanski et al.1999; Kaas and Hackett, 1999). Recent researches have shown that there are various functional areas distributed in the visual system, such as recognition of shapes, colors or movement of objects (Fig.1, left). In the auditory system, it is also possible to consider the system as composed of such functional subdivisions as pure tones or harmony, high or low tones, forte or piano, as well as pitch and melody (Fig. 1, right).

Auditory impulses are transmitted to the first auditory area (AI), and further to the auditory association area, in part reaching Wernicke's area. The area that participates in music is closely related to the cortical language area. Brain functions in

## 2. Восприятие музыки и слуховая ассоциативная зона

Так же как зрительная кора у обезьяны подразделяется на V1,V2,V3,V4,TEO,TE,MT и MST, слуховая кора классифицируется на ядро (подразделяющееся на A1,R и RT), пояс (CL,ML и AL) и парапояс (STGc,CPB,RPB, STGr) области (ссылки). Недавно исследователи показали, что имеются различные функциональные области в пределах зрительной системы, такие как распознавание формы, цвета или движения объектов (рис.1, Левое). В слуховой системе также возможно выделять систему образованную из таких функциональных подразделений как чистые тона или гармония, высоких или низких тонов, громких или тихих звуков, также как высота тона (звука) и мелодия. (рис.1, правое).

responding to music may differ according to the development of the brain, including emotional activities displayed in the limbic system that contains the cingulate cortex, hippocampus, orbital cortex, amygdala and nucleus accumbens.

Слуховые импульсы передаются к первой слуховой зоне (A1) и далее к слуховой ассоциативной области, частично достигающие зоны Вернике. Зона, которая принимает участие в музыке тесно связана с корковой речевой зоной. Мозговые функции связанные с музыкой могут отличаться в соответствии с развитием мозга включая эмоциональную активность проявляющуюся в лимбической системе, которая включает в себя поясную кору, гиппокамп, орбитальную кору, миндалину и прилежащее ядро.

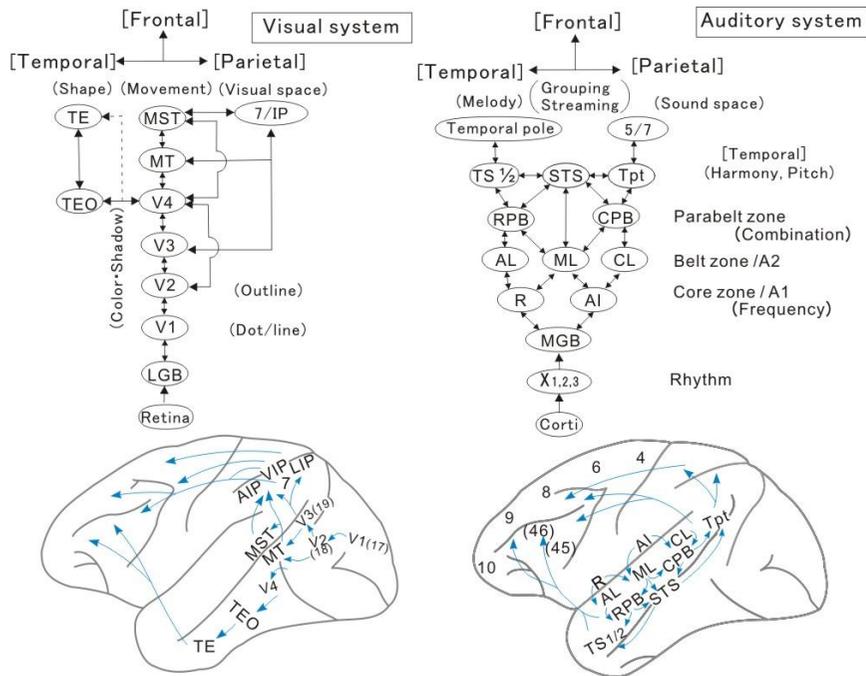


Fig.1

### 3 ] Comparisons between auditory and visual systems

Music is not simply composed of a disordered series of sounds. In music, sounds are integrated and systematized, creating melodies, tempo, tonality and rhythm. The core portion of the auditory cortex receives simple sounds corresponding to the frequency. Impulses are then transmitted from the core to the belt, and further to the parabelt regions (Romanski et al., 1999). The discriminative quality of the auditory cognition becomes higher as they proceed. In the visual system, perception of dots and lines develops to recognize things in nature and animals' faces, as well as colors and movement of objects.

In contrast to detailed studies in the visual system since mid-1960s (Hubel and Wiesel, 1965, 1968), it was the beginning of 1970s when the first recording of multi-unit field potentials was performed in the auditory cortex by Merzenich and Brugge (1973). It was a further 10 years before the studies of the somatosensory cortex performed by Mountcastle and coworkers (1952, 1957). Polysensory neurons are located in areas surrounded by auditory,

### 3.Сравнение слуховой и зрительной систем

Музыка не просто состоит из беспорядочных серий звуков. В музыке звуки интегрированы и систематизированы для создания мелодии, темпа, тональности и ритма. Ядерная часть слуховой коры получает простые звуки соответствующей частоты. Импульсы затем передаются из ядра к поясу и далее к парапоясным областям (Romanski et.al., 1999). Дискриминантное качество слухового распознавания становится выше по мере этой передачи импульсов. В зрительной системе восприятие точек и линий совершенствуется для распознавания объектов в природе и физиономий животных, также как цвета и движения объектов.

В противоположность детальным исследованиям зрительной системы начиная с середины 1960-х годов (Hubel and Wiesel, 1965, 1968), только в начале 1970-х

visual and somatosensory association areas. The evolutionary development of the primitive language area (Wernicke) in this region has not been fully explored (see Kawamura, 1973, 1977).

The visual and auditory systems overlap or adjoin in various areas of the midbrain and hindbrain. For example, Snider and Stowell (1944) obtained responses in the mid-vermal part of the cerebellum after electric stimulation of the cerebral visual and auditory areas of cats and monkeys. Axons of Purkinje cells in the mid-vermal part of the cerebellum terminate in the caudal part of the fastigial nucleus (Kawamura et al., 1990), and further travel to the tectum (Hirai et al., 1982). Thus, visuomotor and audiomotor signals are transmitted to the tectal region. It is therefore possible that the two sensory systems act in cooperation at brainstem levels (Kawamura, 1984).

In the cerebral cortex also, visual and auditory impulses are known to converge upon the cortical areas surrounding the middle suprasylvian sulcus (MSS) in the cat (Kawamura, 1973) and the superior temporal sulcus (STS) in the monkey (Jones and Powell, 1970). In these cortical areas neurons were reactive to multiple sensations (Bruce et al., 1981). Furthermore, the monkey prefrontal cortex receives topographically organized, broad projections from the posterior association area including the STS

годов появились первые записи мультиклеточных field потенциалов в слуховой коре, выполненные Мерценихом и Брюкке в 1973 году (Merzenich and Brugge). За 10 лет до этого были выполнены исследования соматосенсорной коры Маунткаслом с сотр. (1952,1957). Полисенсорные нейроны расположены в ассоциативных областях окружающих слуховую, зрительную и соматосенсорную кору. Эволюционное развитие примитивной речевой области (Вернике) в этой области не было тщательно исследовано (см. Kawamura, 1973,1977).

Зрительные и слуховые системы перекрываются или соседствуют в различных областях среднего и заднего мозга. Снидер и Стowell (1944), например, получили ответы в mid-vermal части мозжечка после электрической стимуляции зрительной и слуховой корковых областей у кошки и обезьяны. Аксоны клеток Пуркинье в mid-vermal части мозжечка заканчиваются в каудальной части fastigial ядра (Kawamura, 1990) и далее следует к тектальной области (Hirai et al., 1982). Таким образом, зрительно-моторные и слухомоторные сигналы передаются к тектальной области. Поэтому возможно, что

region (Kawamura and Naito, 1984; Fig. 2). Neurons in areas surrounding the posterior part of the principal sulcus respond to spatiovisual attentive signals, which are surrounded by areas responsive to the auditory attention signals (Azuma and Suzuki, 1984; Suzuki, 1985).

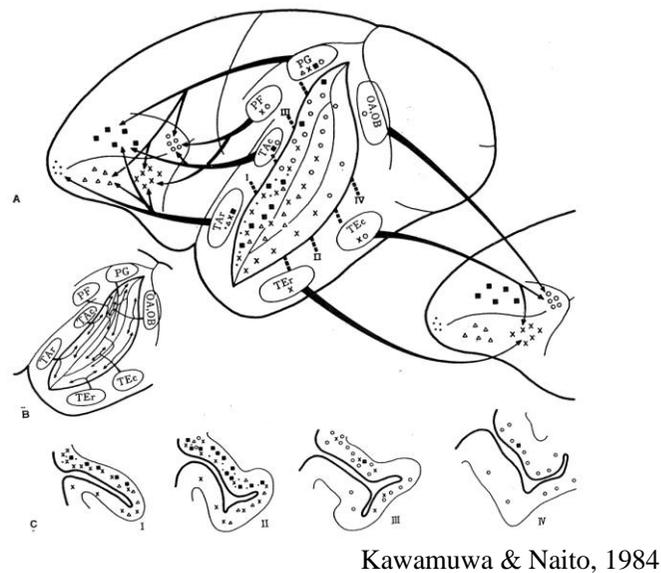


Fig.2

две сенсорные системы действуют кооперативно на стволовых уровнях (Kawamura, 1984).

В церебральной коре также, как известно, зрительные и слуховые импульсы конвергируют в корковых областях окружающих среднюю супрасильвиевую борозду (MSS) у кошки (Kawamura, 1973) и верхнюю височную борозду (STS) у обезьяны (Jones and Powell, 1970). Нейроны в этих корковых областях отвечают на многие (полимодальные) раздражители (Bruce et.al., 1981). Более того, префронтальная кора у обезьяны получает топографически организованные обширные проекции от задней ассоциативной области, включая STS область (Kawamura and Naito, 1984; рис.2). В областях окружающих заднюю часть принципальной борозды содержатся нейроны отвечающие на пространственно-зрительные attentive сигналы, а вокруг располагаются корковые зоны с нейронами отвечающими на слуховые attention сигналы (Azuma and Suzuki, 1984; Suzuki, 1985).

The anterior part (TE region) of the inferior temporal gyrus is reciprocally connected with the amygdala and the ventral striatum ; nucleus accumbens and olfactory tubercle (Saleem et al., 2000). Visual stimuli advance from area 37 →TEO→TE. TG field (the most rostral part of area 22) belongs to the auditory association area, and also connected with the amygdala, likely therefore to be relevant to the emotional expression. TG and TE, both belonging to the temporal association area, are strongly connected with the orbitofrontal cortex (OF) by means of reciprocal association fibers called the uncinate fasciculus. These regions (TG, TE, OF) have again reciprocal connections with the amygdaloid nuclei (Kawamura and Norita, 1980; Fig. 3). It may be mentioned here that recognition can form the inputs for emotional behavior.

Some aspects of the auditory and visual mechanisms on the cortical level should be discussed here. By what mechanism in the auditory cortex are separate phonemes united to make the sequence of sounds create melody and harmony and compose a musical piece? By what mechanism in the visual system do spatially disrupted lines make continuous lines and disparate visual objects create a unified piece of art? Only the

Передняя часть (TE – область) нижней височной извилины реципрокно связана с миндалиной и вентральным стриатумом, прилежащим ядром и обонятельным бугорком (Saleem et al, 2000). Зрительные стимулы следуют от поля 37 к TEO и к TE. TG поле (наиболее рostrальная часть поля 22) принадлежит слуховой ассоциативной области и также связано миндалиной, вероятно поэтому относящейся к эмоциональной экспрессии. TG и TE обе принадлежащие к височной ассоциативной области имеют выраженные связи с орбитофронтальной корой (OF) посредством реципрокных ассоциативных связей, называемых крючковидным пучком. Эти области (TG, TE, OF) имеют реципрокные связи с ядрами миндалины (Kawamura, Norita, 1980; рис.3). Здесь можно отметить, что при распознавании могут формироваться входы для эмоционального поведения.

Некоторые аспекты слуховых и зрительных механизмов на корковом уровне следует обсудить здесь. Каким механизмом в слуховой коре разделяются фонемы образующие последовательность звуков, создающую мелодию и гармонию и komponующую музыкальное

combination/union of tones (phonemes) or dots is insufficient to produce music or painting. It is absolutely necessary to integrate these tones or lines up to the level of pieces of music and art. It is thought that neuronal activities in the auditory association cortex modify, reconstruct and reorganize such qualities (tempo, tone, pitch, chord, consonance, etc.).

произведение? Каким механизмом в зрительной системе из пространственно разделенных линий образуются непрерывные линии, и диспаратные зрительные объекты превращаются в цельные художественные произведения? Только комбинации/ объединения тонов (фонем) или точек недостаточно для создания музыки или живописи. Абсолютно необходимо объединить (интегрировать) эти тона или точки до уровня музыкальных или художественных произведений. Представляется, что нейрональная активность в слуховой ассоциативной коре модифицирует, реконструирует и реорганизует такие качества как (темп, тон, высота, аккорд, созвучие-консонанс) и т.п.

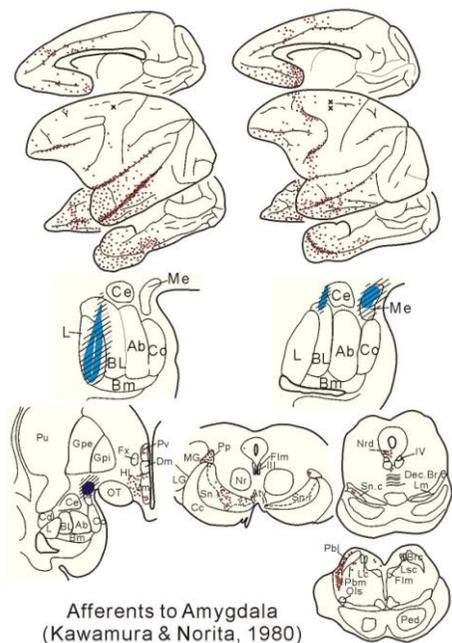


Fig.3

#### **4] Activity of the frontal lobe in musical performance**

The functions of the frontal lobe are the active expression of bodily and mental movements as well as planning and performing the order of actions. Cognitive information conveyed from the posterior association cortex reaches the prefrontal cortex from the parietal and temporal lobes. Creative expression in musical performance and in drawing pictures is connected with nervous activities in the prefrontal

#### **4] Роль фронтальной коры в музыкальном творчестве**

Функции фронтальной коры проявляются в активном управлении соматическими и ментальными процессами, такими как планирование и построение программы действий. В префронтальную кору через заднюю ассоциативную зону передается когнитивная информация от височной и теменной коры. Нейронная активность префронтальной зоны является основой как для музыкального, так и для художественного

cortex. How man can recognize the harmonious order of sound and vision in the active movement? It is to be noted, however, that there are no direct projections from the posterior association area to the primary motor cortex (area 4).

As has been demonstrated for the visual system (Goodale and Milner, 1992), the auditory system also has the dorsal and ventral pathways from the posterior association area to the prefrontal cortex (Romanski et al.1999). As for the visual system, impulses from area 17 divide into two routes; the dorsal one to the parietal lobe (areas 5 and 7), and the ventral one to the temporal lobe (TEO, TE, and to TG). Goodale and Milner (1992) advocated that the dorsal route concerns the visual space cognition, and the ventral route the object recognition, such as circles, triangles and facial expressions which has closely related to the emotional function.

There are also projections from the posterior association area to the prefrontal cortex ; ① from area 5 to dorsal premotor area adjoining dorsally to the, ② from PG (7a proper) to the dorsal prefrontal area (area 46), and ③ from TE (the inferotemporal area, IT) to the ventral prefrontal area (area 12). Moreover, from AIP in the intraparietal sulcus fibers go to the ventral premotor area. Each projection system has its functional feature, showing that the

творчества. Удивительно, как человеку удается превращать гармонию звуков и художественных образов в гармонию движений? Особо следует отметить, что прямых связей между префронтальной и моторной корой (зона 4) не существует!

Rewrite ?

Как было показано, в зрительной (Goodale and Milner, 1992) и слуховой системе существуют два пути передачи информации от задней ассоциативной зоны в префронтальную кору: дорзальный и вентральный (Romanski et al.1999). Так, в зрительной системе импульсная активность из зоны 17 передается в двух направлениях: дорзальном – к теменной коре (зона 5 и 7) и вентральном – к височной коре (TEO, TE, and to TG). Goodale and Milner (1992) утверждают, что дорзальный путь связан с восприятием зрительного пространства, а вентральный путь с распознаванием самих объектов: окружностей, треугольников и, даже, выражений лица, что очень тесно связано с эмоциональными реакциями.

Существует еще несколько путей от задней ассоциативной зоны к префронтальной коре:

- ① из области 5 до arcuate sulcus в дорзальной премоторной области;
- ② от PG ((7a proper) к спинной префронтальной области

dorsal pathway goes to the premotor region, while the ventral to the non-motor region. Impulses through the two routes need to be integrated before they proceed to a behavioral response (Fig. 4).

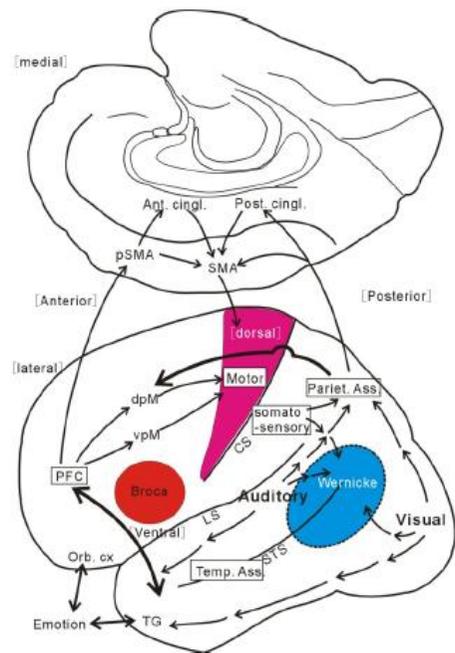


Fig.4

(зона 46), и

③ от IT в вентральной префронтальной области (зона 12).

Кроме того, волокна идут от AIP in the intraparietal sulcus к вентральной премоторной области. Каждая проекционная система имеет свои функциональные особенности, которые проявляются прежде всего в том, что дорзальные пути связаны с премоторной областью, а вентральные нет. Соответственно, перед формированием поведенческой реакции, сигналы вентрального и дорзального пути должны быть интегрированы в единый сигнал (рис. 4).

In the “dorsal pathway”, neurons in the parietal and frontal areas respond with similar characteristics (Bushara et al., 1999). Therefore, spatial information can be used for the programming of action. Conversion of spatial images from the visuo-auditory map to the movement map may be encoded by using this route.

The “ventral pathway” includes the uncinate fasciculus that conveys visuo-auditory information to the prefrontal cortex (area 10) from the temporal lobe. There is evidence that the information conveyed through this route is less concerned with motion than with the emotion arising from a comparison with the spatial information of "*Gestalt*". The primate brain has developed this pathway to activate neurons in area 10, before audio-visual information is transformed to motor system.

Thus, it is known that the visual information proceeds to the prefrontal cortex via the parietal and temporal lobes (Ungerleider and Mushkin, 1982). In the parietal lobe, it is concerned with the information of the optic and acoustic positioning in the space; “where”. In the temporal lobe, on the other hand, it is concerned with “what” of the visual and auditory objects. In the visual

Нейроны теменной и лобной зон мозга, относящиеся к дорзальному пути, проявляют очень сходную активность (Bushara et al., 1999), следовательно пространственная информация от теменной зоны может быть использована для программирования действий в лобной зоне. Возможно, что именно этот путь обеспечивает передачу пространственного образа из аудио-визуальной карты в карту движений.

"Вентральный путь" включает крючковидный пучок, по которому от височной коры в префронтальную (зона 10) передается аудио-визуальная информация. Есть данные, что эта информация связана не столько с движениями, сколько с эмоциями, возникающими при сравнении с пространственной информацией гештальта. В мозге приматов путь передачи сигнала, активирующего зону 10, сформирован таким образом, чтобы опережать преобразование аудио-визуальной информации в моторной системе.

Таким образом, известно, что зрительная информация поступает в префронтальную кору через теменную и височную области (Ungerleider и Mushkin, 1982). Теменная кора связана с информацией о проственных координатах источника зрительных или звуковых сигналов: где? Височная кора

system, complicated forms are recognized as a combination of simple forms (point, lines, triangles etc.) in addition to colors and movements with emotional reactions. Similarly in the auditory system, compound sounds can be recognized as a union of pure (simple) sounds that further develops into melody, harmony and discordant/dissonant. Rhythm and pitch of sounds are also concerned with the brainstem and cerebellum (see below in 7]).

In order to be processed for the purposive behavior, whether optic (e.g., sculpture) or acoustic (e.g., music), it is necessary for the information produced in the posterior association cortex to be remolded in the prefrontal cortex. The prefrontal cortex in this context plays a role of “converter” and add the coming information its connotational meaning before activating the motor system.

According to Sakagami and coworkers (1999, 2001), about half of the neurons examined in the ventrolateral part of the prefrontal cortex show short latency changes (about 100 msec) in firing activities to visual stimuli. However, they do not respond to the primary physical stimuli, such as color or form, but do respond to the visual stimuli reflecting to what action they should indicate.

связана с идентификацией зрительного или звукового объекта: что? В зрительной системе сложные объекты распознаются как комплекс простых объектов (точка, линия, азимут и т.п.) с цветом, движением, эмоциональными реакциями. Аналогично, в слуховой системе сложный звук может быть распознан как комплекс простых звуков, которые впоследствии сливаются в мелодию, гармонию или диссонанс. В распознавании таких свойств, как ритм и громкость, принимают участие мозжечок и стволовые структуры мозга (см. ниже в 7]).

Для создания нового зрительного (скульптура) или звукового (музыка) объекта необходимо, чтобы информация, возникшая в задней ассоциативной коре была «восстановлена» в префронтальной коре. В этом контексте префронтальная кора выполняет не только роль конвертора, но и дополняет поступающую информацию оценкой значимости и только после этого передает в моторную систему.

По данным Sakagami с соавторами (1999, 2001) половина зарегистрированных им нейронов вентралатеральной области префронтальной коры в ответ на предъявление зрительного стимула проявляют коротколатентную (100 мс) импульсную активность. Однако, эти нейроны не отвечают на примитивные

Such visual information possesses behavioral significance (connotational meaning in behavior), based on the inputs of the ventral pathway (Sakagami and Tsutsui, 1999). Unlike spatial information, there is no necessity that the visual information, such as color and form, should be specifically connected with muscle movement.

Neuronal activities were recorded in the prefrontal cortex in monkeys trained to judge how to behave ; to perform (i.e., go) or not to perform (i.e.,no-go), after having been shown a combined set of different colors (red or green) and shapes (round: O or cross: + ), which signify particular actions to perform in certain conditions (Sakagami and Niki, 1994; Sakagami et al., 1999). When the task requires that monkeys focus on color, form is disregarded, and perform go when the color is shown green and no-go when it is red. In another situation, in contrast, when animals are concentrating on the form, they perform go reaction by being shown O, and perform no-go reaction by +. Neurons in the ventrolateral part of the prefrontal cortex, coding “behavioral connotational meaning”, respond when monkeys look at red O. Responses to the same stimuli thus vary according to the changes of their focusing attention. This signifies an important view that neurons in this

физические стимулы, такие как форма или цвет. Они реагируют только на те зрительные стимулы которые являются частью рефлекса и связаны с конкретным действием. Такая зрительная информация, обладающая значимостью для поведения, поступает на вход в префронтальную зону по вентральному пути (Sakagami and Tsutsui, 1999). В отличие от пространственной информации, информация о цвете или форме не имеет большого значения для организации движений и, соответственно, специализированные пути для передачи такой информации в моторную систему отсутствуют.

О значении нейронов вентралатеральной области префронтальной коры для рефлексорных реакций на зрительный сигнал красноречиво свидетельствуют данные, полученные при регистрации нейронной активности в контексте дифференцировочного условного рефлекса. Использовалась классическая парадигма go-no go по отношению к зрительным стимулам разного цвета (красный, зеленый) и разной формы (кружок, крест) (Sakagami and Niki, 1994; Sakagami et al., 1999). В одной ситуации обезьян обучали двигаться на зеленый цвет и оставаться на месте на красный. В другой ситуации, внимание обезьян привлекали к форме стимула и обучали двигаться, если предъявлялся кружок, и

part of the prefrontal cortex form such a network as to establish the rule by which the relationship of the stimuli-reaction is controlled.

Baddeley (1986) proposed a theory of working memory as a cognitive function related to the frontal lobe. Working memory in the musical performance is worthy of attention. It is the system which enables the information from the posterior association area to be maintained and carried out in parallel ways. In the beginning, keyboard players use fingers intentionally one by one as they look at musical notes, and after the training (learning mechanism by the cerebellum), their fingers move in patterns. How does the brain work when the player produces melodious tones in the musical performance? While playing music, information is constantly accessed from the storehouse of the memory. This is maintained in the brain for a short time and converted into active movement. Simultaneously, harmonious series of tones are looked for from the pool of the long-term memory in a parallel fashion. The activities of the prefrontal cortex are deeply concerned with working memory (Goldman-Rakic, 1992). Examined using PET (Positron Emission Tomography) and MEG (Magnetic Encephalography) in man, however, extensive cortical areas other than the prefrontal cortex are identified as being activated during

оставаться на месте, если предъявлялся крест. Нейроны вентралатеральной области префронтальной коры, кодирующие значимые для поведения признаки, отвечали максимальной активностью на предъявление красного кружочка. Таким образом отклик на тот же раздражитель меняется в зависимости от направления внимания. Этот факт подтверждает важность предположения о том, что часть нейронов префронтальной коры формирует нейронную сеть, закрепляющую правила, согласно которым контролируется связь между признаками зрительного стимула и моторной реакцией.

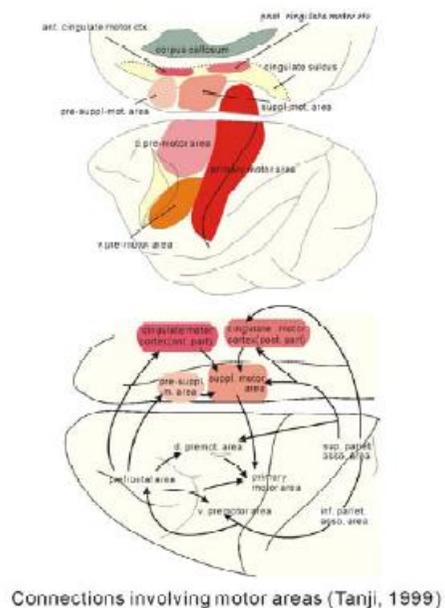
Baddeley (1986) предложил теорию рабочей памяти, как когнитивной функции, связанной с лобной долей коры. Роль рабочей памяти в музыкальном творчестве заслуживает особое внимание. Это система, благодаря которой сохраняется и реализуется по параллельным путям информация из задней ассоциативной области коры. Сначала, пианист контролирует положение каждого пальца на клавиатуре по нотам, но после тренировки (механизм обучения связан с мозжечком) его пальцы воспроизводят целый паттерн движений. Как же работает мозг музыканта в процессе исполнения сложного музыкального произведения? Во время игры непрерывно

the process of working memory. The human brain, having the capability to conceptualize in the language system, can treat a variety of information in systematic ways which is very different from other animals. Classically, three cortical language-related areas are known in the cerebral cortex; they are in the sensory area (Wernicke), the motor area (Broca), and also in the supplementary motor area. Recently, by using rCBF (regional cerebral blood flow) and fMRI (functional magnetic resonance imaging) techniques, it is shown that neurons in many parts of the neocortex are activating. In human, it is possible to obtain a high degree of emotional response as a result of the development of language areas in the brain.

Sensory information integrated and modified in the frontal cortex can be used in active behaviors, ranging from muscle movements to mental activities. A flow chart formulates as: sensory area → posterior association area → prefrontal cortex → high-order motor area → area 4 (see Figs. 4 and 5). The higher-order motor areas include the supplementary motor, pre-supplementary, premotor and cingulate motor areas. Area 4 that receives final stages of motor inputs at the cortical level initiates voluntary movement by activating the pyramidal system.

считывается информация из памяти. За короткое время она преобразуется мозгом в активное движение. Одновременно запись следующей последовательности гармоничных звуков активируется в долговременной памяти и параллельно передается в рабочую память. Рабочая память тесно связана с нейронами префронтальной коры (Goldman-Rakic, 1992). Однако, в исследованиях рабочей памяти с использованием ПЭТ (позитронно-эмиссионная томография) и МЭГ (магнитный энцефалографии) выявлена активность не только префронтальной коры, но и других обширных областей мозга. Мозг человека в отличие от мозга животных способен преобразовывать информацию в различные языковые системы. Обычно выделяют три связанные с языком зоны: сенсорная зона (Вернике), моторная зона (Брока), а также дополнительная моторная зона. Совсем недавно, благодаря использованию методов rCBF (regional cerebral blood flow) и fMRI (functional magnetic resonance imaging), было установлено, что могут активироваться и многие другие участки неокортекса. Более того, у человека в результате особенного развития языковых областей мозга, наблюдается высокий уровень эмоциональных реакций, связанных с речью.

Сенсорная информация интегрируется в лобной коре и



**Fig.5**

Marked progress is made in the primate frontal lobe, given impetus from environment in the working and playing community. The cingulate motor cortex on the medial surface of the hemisphere has been shown recently in monkeys to be related to will or "volition" (Shima and Tanji, 1998). Neurons in the cingulate area showed specific responses when the subjects devised a resolution after changes of situation, and rewards are given. The anterior cingulate area is reciprocally connected with the prefrontal cortex.

после преобразования используется для организации различных форм поведения: от простых мышечных движений до интеллектуальной деятельности. Этот процесс можно представить в форме блок-схемы: сенсорные зоны – задняя ассоциативная зона – префронтальная зона – высшие моторные зоны – зона 4 (рис.4 и 5). Высшие моторные зоны включают супплементарную моторную, пресупплементарную, премоторную и цингулярную моторную зоны. Зона 4, которая является финальным моторным модулем, активирует пирамидальную систему, которая обеспечивает произвольные движения.

Значительный прогресс в развитии лобной коры дал приматам импульс для образования сообществ и коллективной активности, освобождающей от давления окружающей среды. Цингулярная моторная кора, как было показано недавно на обезьянах, тесно связана со способностью к проявлению « воли» у и произвольным поведением (Shima and Tanji, 1998). Нейроны цингулярной коры активны, когда субъект принимает решение в изменившейся ситуации или получает награду. Передняя цингулярная кора имеет реципроктные связи с префронтальной корой. Кроме того, как цингулярная

In addition, A10 dopaminergic fibers terminate densely both in the cingulate gyrus and prefrontal cortex.

In cats, the origin of the corticostriate projection is confined to the motor areas (areas 4 and 6) in the frontal lobe. In monkeys, however, the origin of the projection extends areas in the frontal lobe, and also to areas in the parietal, temporal and occipital lobes, and the anterior part of the cingulate gyrus (already demonstrated in 1970-'80s). Summing up the findings of the corticostriate projection in monkeys obtained by several researchers,

1) fibers from areas in and around the principal sulcus terminate in the caudate nucleus,

2) fibers from areas dorsal to the principal sulcus (area 6 and prefrontal cortex) and the orbitofrontal cortex end in both the caudate and putamen, and

3) fibers from the primary motor and somatosensory areas end almost exclusively in the putamen. In addition, fibers from the parietal lobe (to the caudate and putamen) and temporal lobe (mostly to the caudate) contribute to the corticostriate projection. Thus, the cerebral cortical areas other than the motor area also give off fibers to the striatum, the organization of which becomes extensive and complex as animals ascend the phylogenetic tree. In humans, it is considered that the entire neocortex participates in

извилины, так и префронтальная кора богато снабжены терминалями дофаминергических волокон.

У кошек исходным началом кортикостриатных проекций находится в лобной и моторной коре (зона 4,6). У обезьян исходная зона для проекций значительно шире: к моторной и лобной добавляются теменная, височная, затылочная и передняя цингулярная кора (продемонстрировано в работах 1970-80-х годов). Относительно кортикостриатных проекций у обезьян многочисленные исследователи сходятся во мнении, что:

1. волокна из **principal sulcus** заканчиваются в хвостатом ядре;

2. волокна из **area 6, prefrontal cortex and the orbitofrontal cortex** заканчиваются как в хвостатом ядре, так и в **putamen**;

3. волокна из первичных моторных и сенсомоторных зон заканчиваются исключительно в **putamen** (скорлупа или ограда).

Кроме того, обнаружены проекции:

- от теменной коры в хвостатое ядро и ограду;
- от височной коры в основном в хвостатое ядро;

Таким образом, проекции из неокортекса в стриатум расширяются и усложняются по мере продвижения по

the striatal projection, that plays important roles in the active and cooperative movements.

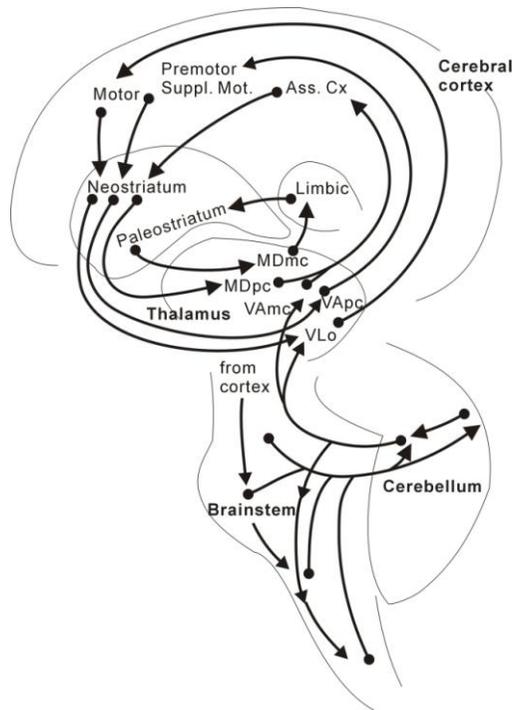
Alexander et al. (1986) proposed the circuitry system composed of the basal ganglia – thalamus – cerebral cortex in implying significant meaning of the brain functions. The circuitry of this organization is closed and can be arranged to form three parallel channels morphologically and functionally (Hikosaka et al., 1999). Namely, 1) the motor system, 2) the association system and 3) the limbic system. Immunohistochemically, the striatum is organized into core and shell. The former is connected mainly with the motor system, and the latter with the limbic system.

Movement is not supported only by the pyramidal system. The mechanism by which the movement is harmonized, controlled and integrated is present throughout the animal kingdoms. With the assistance of the extrapyramidal system, animals can perform purposive actions. The cerebellum, basal ganglia or striatum, and brainstem reticular formation are known to belong this phylogenetically old system.

филогенетическому древу. Считается, что у человека весь неокортекс имеет проекции на стриатум. Эти кортикостриатные проекции играют важнейшую роль в организации сложных согласованных движений.

Александр с соавторами (1986) предположили, что система базальные ганглии - таламус – кора больших полушарий играют ключевую роль в работе мозга. Эта система является закрытой и может быть организована из трех согласованных морфофункциональных подсистем: 1. моторная система; 2. ассоциативная система; 3. лимбическая система (Hikosaka et al., 1999). Методами иммуногистохимии показано, что стриатум состоит из ядра и оболочки. Ядро связано, в основном, с моторной системой, а оболочка – с лимбической.

Организация. поддерживаются не только пирамидальной системой. Механизмы координации, контроля и согласования движений существуют во всем животном мире. Благодаря экстрапирамидальной системе животные получают возможность к реализации целенаправленных действий. Мозжечок, базальные ганглии или стриатум, ретикулярная формация, как известно, возникли значительно раньше в



**Fig.6**

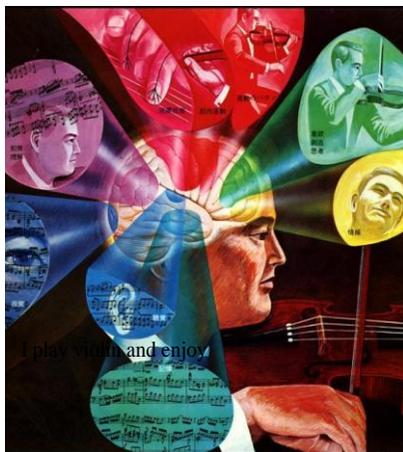
The prefrontal cortex that contains Broca's area and the posterior association area that contains Wernicke's area are interconnected with association fibers. The ventral parts of the frontal lobe and the temporal pole are also interconnected, both of which have reciprocal connections with the amygdala. Thus, integration of recognition (*logos*) and emotion (*pathos*) occurs in the prefrontal cortex, before being transmitted to the motor system in

процессе филогенеза и являются старыми мозговыми структурами.

Префронтальная кора, включающая зону Брока и задняя ассоциативная кора, включающая зону Вернике, взаимосвязаны благодаря ассоциативным волокнам. Вентральная область фронтальной коры и височная кора также взаимосвязаны между собой и каждая из них обладает реципрокными связями с амигдалой. Таким образом, перед активацией моторной системы, происходит интеграция результатов распознавания (*logos*) и эмоций (*pathos*) в префронтальной коре, и только потом передается в моторную кору (supplementary motor area → premotor area → primary motor area). Когнитивная система тесно взаимосвязана с эмоциональной системой. Проявления эмоций обуславливаются сигналами от амигдалы и nucleus accumbens, а проявления воли связаны, главным образом, с цингулярной корой. Следует помнить, что важнейшее для исполнения музыки чувство баланса обеспечивается параллельной работой всего мозга, включая кору больших полушарий, стриатум, таламус, мозжечок и ствольные структуры (рис.6).

the cortex (supplementary motor area → premotor area → primary motor area). The cognition system is inter-related with the emotional system. Emotional expression is maintained by inputs mostly from the amygdala and the nucleus accumbens, and the volitional expression chiefly from the cingulate gyrus. It must be remembered that feelings of balance are important in the expression of musical performance supported by the “parallel” functions of the entire brain including the cerebral cortex, striatum, thalamus, cerebellum and brainstem ( Fig. 6).

Activities occurring in the brain while playing musical instruments (Figs.7 and 8).



I play violin and enjoy music 時美

Fig.7

Активность мозга в процессе игры на музыкальных инструментах (рис.7 и 8).

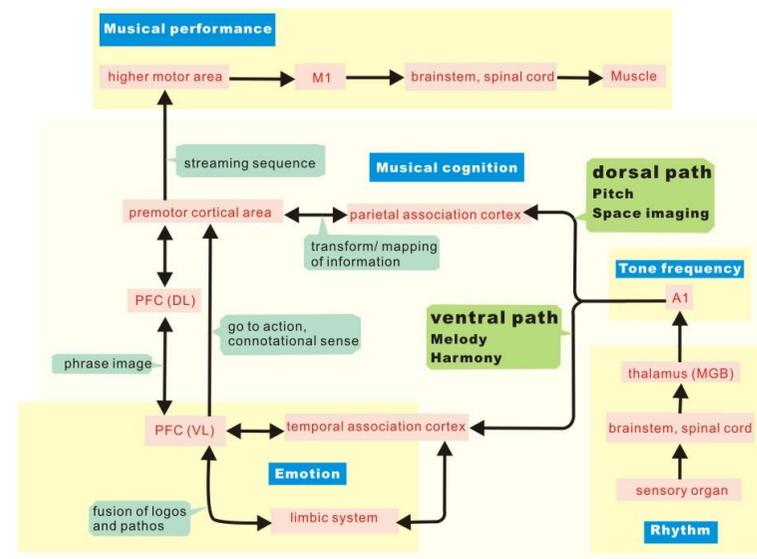


Fig.8

How can a series of sounds be recognized without hearing sounds from outside? When a musician perceives tones, looking at a score without hearing real sounds, the auditory association area and Wernicke's area are known to be active, even though the primary auditory area is silent. It may be that one does not regard sounds as having frequencies in the nature, but recognize them as visualized signals of ciphers, notes or letters, just like reading sentences in the novel. The musical score is a collection of sophisticated signals whose integration leads to a musical concept. Musicians (composers or players) look at scores, and recognize sounds in the "mind", depending upon their knowledge and experience of musical recognition. Top-class players are able to create a high quality of sounds in their brains, and they have such an art as to skillfully adjust their mind in the musical performance to produce correct sounds. In this case, they recognize the signals of sounds as those of meaningful words. In such conditions, there is always the action of abstract recognition, i.e., conceptualization in its basis.

Как распознается последовательность звуков без внешних источников звуковых сигналов? Когда музыкант воспринимает звуковые образы только читая ноты в отсутствии реальных звуков, наблюдается активность в слуховой ассоциативной зоне и в зоне Вернике, при этом активность в первичных слуховых зонах не зарегистрирована. Вполне возможно, что звуковой образ не связан с частотным спектром физического сигнала, а формируется на основе распознавания кода, содержащегося в нотах, подобно тому, как возникают разнообразные образы из слов при чтении романов. Партитура представляет собой набор сложных сигналов, содержащих необходимую информацию для актуализации музыкального концепта. Музыкант (исполнитель или композитор), глядя на партитуру, реконструирует звуковые образы из памяти на основе своих знаний и опыта распознавания музыки. Исполнители высшего класса не только способны создавать в уме очень точные звуковые образы, но и обладают искусством точного превращения этих внутренних образов в реальные звуки, доступные восприятию слушателей. В этом случае они распознают звуковые сигналы как значения слов. Таким образом реализуется процесс абстрактного распознавания, в основе которого лежит концептуализация.

The morphological basis of the “backward propagation” from the prefrontal cortex to the posterior association areas is important in considering the relationship of musical performance and memory association (Fig. 8). A large number of association fibers from the prefrontal cortex end in the temporal pole (case A in Fig. 9), where reciprocal connections are present with the amygdala and hippocampus, and further from there to the posterior STS region (case B in Fig. 9) upon which polysensory inputs converge and which could be considered as a primitive or premature region for the sensory linguistic area as viewed from an evolutionary stand-point ( Kawamura, 1973, 1977). The results indicate the background that supports the function of recognition in the posterior association area working at higher levels in collaboration with thought and emotion. It is noteworthy that brain imaging data indicate atrophy of the superior temporal gyrus, the anterior cingulate gyrus and the prefrontal cortex in some schizophrenic patients (Shenton et al., 2001).

Знание морфологической базы для «обратного распространения» информации от префронтальной коры в заднюю ассоциативную кору очень важно для понимания связи между музыкальным творчеством и ассоциативной памятью (рис.8). Большое количество ассоциативных волокон от префронтальной коры оканчиваются в височной извилине (А, рис.9), которая обладает реципрокными связями с амигдалой, гиппокампом и задним STS (Б, рис.9). Зона STS имеет полисенсорные входы и может рассматриваться, как первичный модуль предобработки сигналов для языковой сенсорной зоны, что вполне обосновано с эволюционной точки зрения ( Kawamura, 1973, 1977). Наши данные указывают на то, что процесс распознавания в задней ассоциативной зоне происходит с учетом интеграции знаний и эмоций, произошедшей на высших уровнях обработки. Следует подчеркнуть, что по данным нейроимиджинга, такие отделы мозга, как верхневисочная извилина, передняя цингулярная извилина и префронтальная кора атрофированы у некоторых больных психозами.

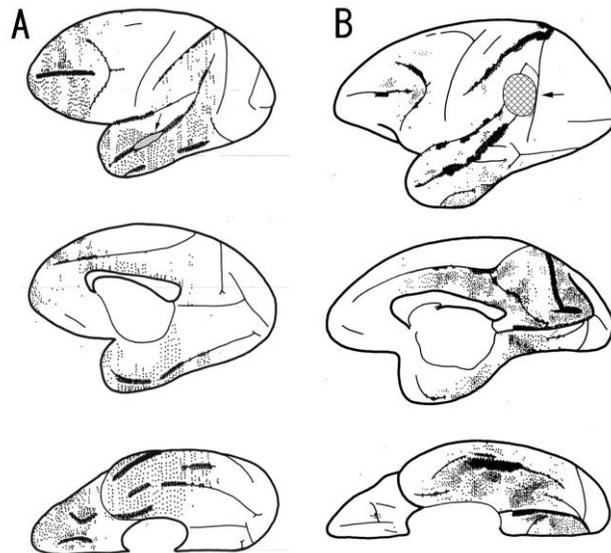


Fig.9

## 5 ] Recognition by *Gestalt*

Psychologically, *Gestalt* is the ensemble of inputs recognized by sensations, and the whole is conceptually bigger than the summation of its parts. The brain science has clarified the mechanism of recognition to a certain extent in the visual and auditory systems, particularly in the former.

## 5 ] Формирование образа

С точки зрения психологии, образ появляется на основе распознавания множества сенсорных сигналов, формирующих ощущения. Концептуально, образ не сводится к сумме составляющих его частей. В науке о мозге больше всего изучены механизмы распознавания в зрительной и слуховой системах. По

объёму и точности знаний приоритет принадлежит зрительной системе.

The system of memory association has recently been studied by Hasegawa et al. (1999) in a task based on remembering several figures in pairs. They found that activities of neurons in the monkey temporal lobe were increased when a counterpart of the pairs was presented. It is the reflection of the brain function in the visual cortex that is, under the influence of the prefrontal inputs to the temporal lobe. This may participate in the *Gestalt* composition of the figure recognition.

The same idea applies to the auditory system, where the *Gestalt* mechanism of the tones/sound is concerned in music. Just as in vision where discontinuous elements of figures perceived in the cortex become united according to the degree of spatial proximity, thus building up the outline of the phrasing also in hearing sounds, which are closely related to each other in the course of time or tonal rhythm. They are put together and flow continuously to form a melody. A musical piece has a certain form of structure, so as to be composed of several musical notes. Thus, a musical piece is produced by constructing a pattern with continuous reliance of

Свойства системы ассоциативной памяти изучались Hasegawa et al. (1999) в задачах на запоминание одной из пары предъявленных цифр. При отдельном предъявлении цифр было обнаружено увеличение нейронной активности в височной зоне коры. Этот факт свидетельствует о том, что функции зрительной коры находятся под влиянием нисходящих связей между префронтальной и височной зонами коры. Вполне возможно, что обнаруженные зависимости значимы для конструирования субъективного образа при распознавании изображений.

Похожий принцип реализован и в слуховой системе, которая обеспечивает формирование музыкального образа на основе частотного анализа звуковых сигналов. Для зрения и слуха наблюдается сходство в процессе синтеза целостного образа из отдельных элементов. При формировании единого зрительного образа основой синтеза является пространственная и временная близость возбужденных участков зрительной коры. Для формирования единого звукового образа так же значимо пространственное распределение нейронной активности, связанное с временной и ритмической структурой звуковых

complex notes which are associated with natural sense of emotional spirits. In the auditory cortex, neurons of similar characters are likely to be found in groups. Based on the morphological basis, (melody, tempo) and synthesis (chord, consonance) can be formed from discontinuous elements of sounds as a consequence of activities of correlated neurons that compose neural networks. A collection of musical pieces are thus formed from the associative imagination of notes, and a musical performance is conducted using working memory (cf. Figs. 1, 4, 7).

Composition and performance of the music are not simply putting sounds together, but require the sensory inputs to be recombined and converted by means of certain rules or orders of the human thought. The “conversion” means the transfer of the existence in nature from the sound itself to the advanced quality. This is the new existence signifying “the whole” that is more than summation of its separated parts. As elements of sensory stimuli ascend in the hierarchic scale, “*pathos*” as products of the limbic system and

сигналов. Разные ноты, звучащие вместе в непрерывном потоке, формируют мелодию. Форма музыкальной пьесы зависит от сочетания музыкальных нот. Таким образом, музыкальное произведение конструируется из непрерывного паттерна нот, который ассоциируется с естественными эмоциональными ощущениями. Можно предположить, что в слуховой коре могут быть выделены группы нейронов, связанные с определенными эмоциональными ощущениями. Временная последовательность (мелодия, темп) звуковых сочетаний (аккорд, консонанс) может быть преобразована в коррелированную активность множества нейронов, которые образуют нейронную сеть. Таким образом, коллекция музыкальных пьес формируется из нот, воображаемых на основе ассоциаций, и исполнения музыки. В этом процессе участвует рабочая память. (cf. Figs. 1, 4, 7).

Создание и исполнение музыки не сводится к простому объединению звуков. Важно, чтобы звуки были скомпонованы и конвертированы с учетом правил и алгоритмов построения субъективных образов, присущих человеческому мышлению. "Конвертация" означает перевод всего существующего в природе из собственно звуков в новое более совершенное качество. Это новое существование более полноценно и не сводится к простой суммации отдельных частей. По мере преобразования элементов

“logos” as results of activities of the recognition system work together and cooperatively deepen the contents.

сенсорных сигналов в многоуровневой системе, “pathos”, как продукт лимбической системы, и “logos”, как результат деятельности системы распознавания, работают вместе. Кооперация “pathos” и “logos”, или, иначе говоря, «чувства» и «разума» существенно углубляет содержание субъективных образов.

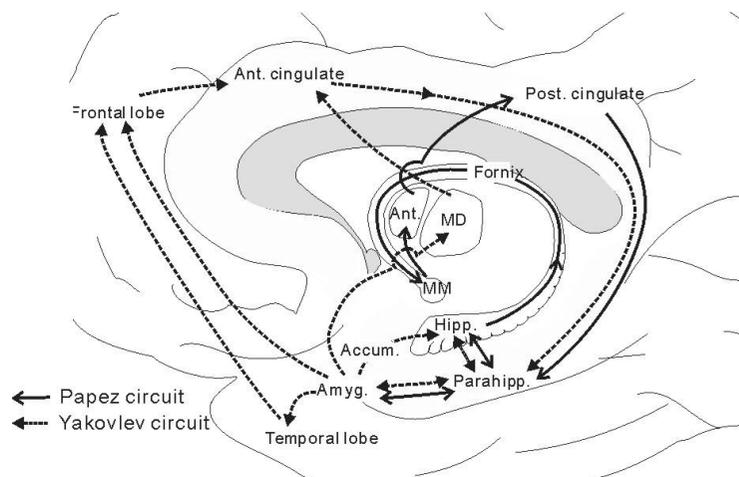
## 6 ] Expression of emotion and the limbic system

The amygdala participate in the evaluation of biological values of pleasant or unpleasant feelings in the consolidation of episodic memory (from short-term to long-term) by means of emotional conditioning. Furthermore, it is well known that there are Yakovlev’s and Papez’s circuits which are concerned with emotion and memory, respectively (Fig. 10), involving the amygdala, temporal frontal lobes, cingulate gyrus and hippocampus. In the cingulate gyrus, the amount of local blood flow increases in the volitional action of monkeys in the experiment where they found a new maneuver in order to obtain rewards (Shima and Tanji,

## 6] Формирование эмоций и лимбическая система

Эмоциональные состояния формируются благодаря участию амигдалы в оценке биологической значимости приятных и неприятных ощущений при консолидации энграмм в эпизодической памяти (от кратковременной до долговременной). Более того, хорошо известно, что в формирование эмоций и памяти вовлечены структуры, образующие циклы Яковлева и Пейпица (рис.10): амигдала, височно-фронтальная кора, цингулярная извилина и гиппокамп. В цингулярной извилине обезьян, которые для получения награды находят новые решения и реализуют

1998).



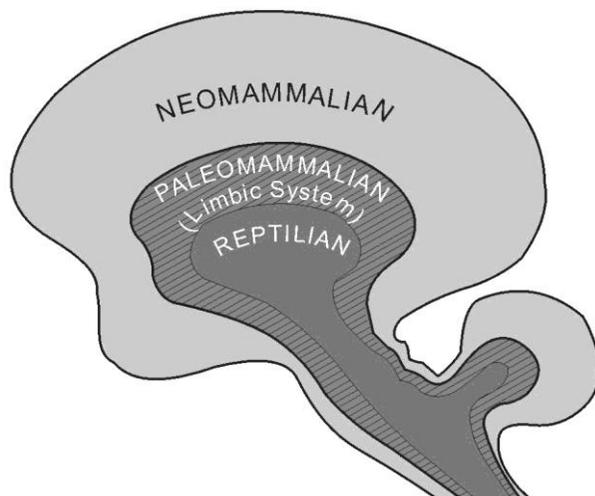
**Fig.10**

All sensory inputs, including the visceral, are involved in the autonomic nervous system, the highest center of which is the hypothalamus. As for autonomic regulation, there are neural projections from the paraventricular nucleus (PVN) to the dorsal nucleus of the vagus and solitary nucleus in the brainstem, as well as humoral influence controlled by the endocrine system. Autonomic nervous activities comprise breathing, circulation, perspiration, digestion, appetite and sexual desires. These have close correlation with emotion, activated by the limbic system.

новые программы произвольных действий, наблюдается повышение локального кровотока (Shima and Tanji, 1998).

Все сенсорные входы, включая висцеральные, связаны с вегетативной нервной системой, высшим центром которой является гипоталамус. В гипоталамусе обнаружены нейрональные проекции от паравентрикулярных ядер к ядрам блуждающего нерва и отдельным ядрам ствола мозга. Кроме того, благодаря гипоталамическим проекциям, реализуется влияние сенсорных входов на эндокринную систему. Вегетативная нервная система обеспечивает регуляцию дыхания, кровообращения, потоотделения, пищеварения, аппетита и сексуальные желания. Эти функции тесно связаны с эмоциями, формируемыми в лимбической системе. Центры гуморальной регуляции в гипоталамусе, гипофиз и эндокринные железы находятся под влиянием гиппокампа и амигдалы. Хорошо известно, что сенсорные сигналы вкусового и обонятельного анализаторов поступают непосредственно в наиболее древние филогенетически части мозга – корковые и медиальные ядра амигдалы и, соответственно, оказывают существенное влияние на эмоции (Norita & Kawamura, 1980). Информация от амигдалы возвращается в гипоталамус через терминали стриатума и

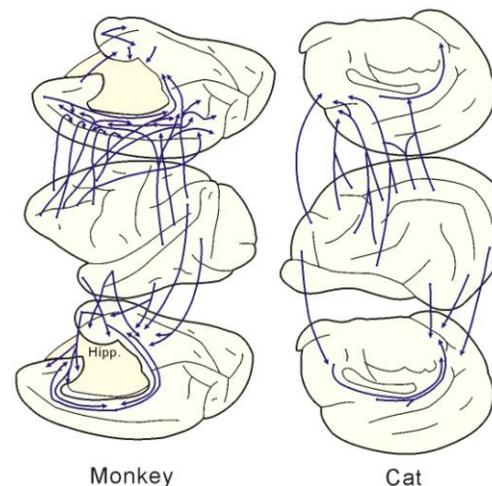
Hormonal regulation system covering the hypothalamus, гипоталамус, гипофиз и эндокринные органы находится под влиянием гиппокампа и миндалин. Импульсы запаха и вкуса известны, чтобы проходить в кортикальные и медиальные ядра (филогенетически старые части) миндалины (Norita & Kawamura, 1980), которые также связаны с эмоцией. Информация от миндалины может быть передана гипоталамусу через стрия терминалис и вентральные пути.



**Fig.11**

As a classic theory of emotional concept viewed from the phylogenetic points, “a triune brain theory” has been proposed by MacLean (1973). He considered the hierarchy of the animal

вентральный путь.



Diagrammatic representation of neuro pathways from the neocortex to the allocortex in monkey and cat (Kawamura, 1977)

**Fig.12**

Впервые эволюционные основы эмоций представлены МакЛином (1973) в «Трёхкомпонентной теории мозга». Он утверждал, что мозг животных построен как трехслойная

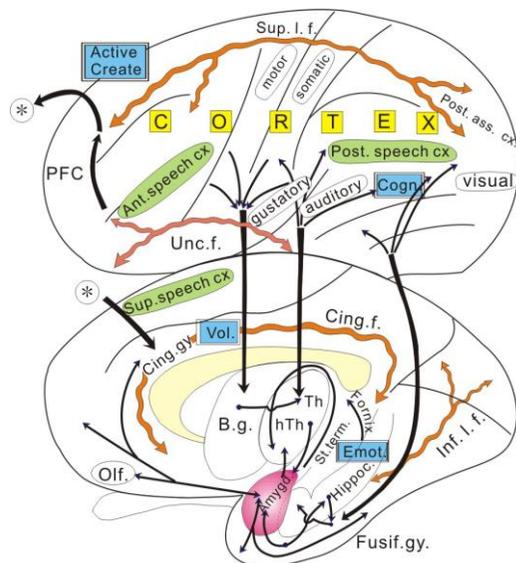
brain as constructed by a three-layered system, consisting of the primitive reptilian brain, the paleo-mammalian brain and the neo-mammalian brain (Fig.11). The animal with the primitive reptilian brain expresses the stereotypical behavior based on primitive learning and memory. In reptiles and birds, the main structure of the motor system is the basal ganglia, and the cerebral cortex is underdeveloped. The behavioral reaction of these animals is largely determined at the level of the limbic system. The animal with the paleo-mammalian brain, first developed in the primitive mammals, has the seat of emotion, by which the stereotypic reactive actions are regulated and controlled somewhat with flexibility.

Under these conditions, the limbic system plays important roles in the expression of behavior directly related to the "emotional process" (Bruce and Neary, 1995). In higher mammals, the neocortex is involved in analyzing external environment. The cerebral cortex, cerebellum and basal ganglia develop markedly in the primates, and "cognitive process" are concerned to a large extent with the expression of behaviors. A high degree of mutual connections between the neocortex and limbic structures develops in higher animals (Fig.12), particularly in the fiber-connections among the temporal association area, prefrontal

система, состоящая из примитивного мозга рептилий, древнего мозга млекопитающих и нового мозга млекопитающих (рис.11). Животные, обладающие мозгом примитивных рептилий способны лишь к стереотипному поведению, основанному на примитивном обучении и памяти. У рептилий и птиц управляющей структурой моторной системы являются базальные ганглии, а кора головного мозга недоразвита. Ведущую роль в формировании всех поведенческих реакций этих животных играет лимбическая система. У животных с древней корой, прежде всего у примитивных млекопитающих, проявляется некоторая гибкость в регуляции и контроле над стереотипном ответными реакциями.

В этих условиях лимбическая система имеет важнейшее значение для организации поведения, непосредственно связанного с «эмоциональным процессом» (Bruce and Neary, 1995). У высших животных в анализ внешней среды включается неокортекс. Кора головного мозга, мозжечок и базальные ганглии у приматов хорошо развиты, и «когнитивный процесс», в значительной степени, направлен на организацию поведения. Тесное взаимодействие между неокортексом и структурами лимбической системы у высших

area and amygdaloid nuclei. Emotional behaviors become much more refined and complex qualitatively. Abstract ways of thinking and emotional self-reflection can be achieved in the human brain. Morphological basis of the dynamic functions is illustrated in Fig. 13 (Kawamura, 2007b). The regulation of the prefrontal area over the limbic system and the participation of the "thinking process" to the "emotional state" becomes refined and characteristic, as seen in music and art. Anatomically, direct and indirect connections between the prefrontal cortex and the hypothalamus and amygdala become stronger.



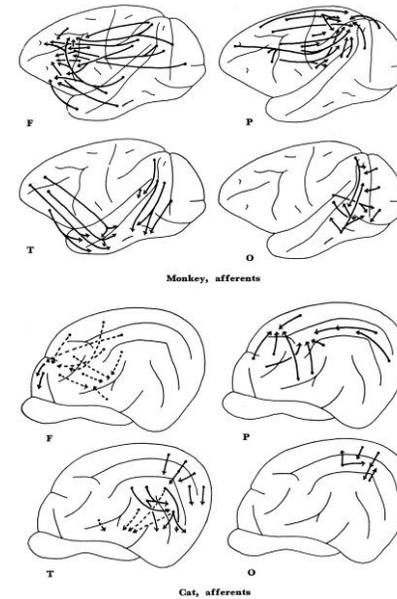
животных обеспечивается большим количеством нервных волокон, связывающих височную ассоциативную зону, префронтальную кору и ядра амигдалы (рис.12). Эмоциональное поведение становится более сложным и разнообразным. Мозг человека способен обеспечить такие высокоорганизованные функции, как абстрактное мышление и самоосознание. Морфологические основы динамических процессов в мозге высших животных представлены на рис.13 (Kawamura, 2007b). Регулирующая роль префронтальной коры по отношению к лимбической системе и огромное значение мышления для формирования эмоционального состояния ярко проявляются в музыке и искусстве. С анатомической точки зрения заметно усиление связей между префронтальной корой, гипоталамусом и амигдалой.

Неокортекс человека больше по площади по толщине коры и по количеству нервных связей, чем у обезьян. Особого внимания заслуживают данные микроскопии о разнообразии структур пирамидальных клеток в неокортексе человека. Благодаря развитию неокортекса человеческий мозг обеспечивает такие сложные функции, как создание и использование орудий труда, коллективный труд, коммуникацию с помощью речи и развитие языков общения.

**Fig.13**

The structure of the human neocortex is further advanced than in the monkey in terms of its areal expansion, cortical width and fiber connections. Microscopically, differentiation of pyramidal neurons, development of neuronal circuitry are noteworthy. Use of tools in labors, co-working in the society, communication with language, all these have enabled the human brain to reach the highest levels of cortical development.

Comparisons of the corticocortical connections between cats and the monkeys have been illustrated and discussed elsewhere (Kawamura, 1977). A greater degree of differences certainly exists between humans and monkeys than between cats and monkeys (Figs. 14, 15, 16). Regionalization and lamination in the human cerebral cortex are also important factors for the basis of analytical mechanism of the higher order brain functions.



**Fig.14**

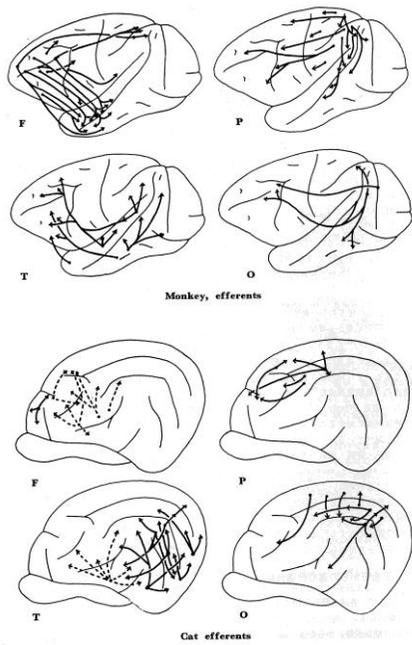


Fig.15

В работе К. Кавамуры (1977) проведено сравнение кортикокортикальных связей у кошки, обезьяны и человека. Показано, что отличие мозга человека от мозга обезьян значительно больше, чем отличие мозга обезьяны от мозга кошки (рис. 14, 15, 16). Важнейшей особенностью морфологической организации неокортекса человека является более сложное пространственное структурирование: разделение на зоны и слои.



Fig.16



## 7 ] Rhythm, tempo and harmony

Natural as well as bodily phenomena, the wind in the forest, the sound of the river and the beating of the heart, all of these are constantly changing and moving with fluctuation in frequencies and strengths. Both awake and asleep, organisms are surrounded by a variety of sounds and objects which are perceived and recognized in the brain. The perception of sensory inputs and the recognition of sensory information are always accompanied by errors and fluctuations. Sensory analysers (Pavlovian term used for the functions of the sensory cortex) in the brain adjust, modulate or correct these fluctuating errors. These activities in the sensory system are a reflection of the cognitive mechanism inherent in the brain. Correcting errors in the course of forming *Gestalt* between natural phenomena and "theoretical perfection" occurs in the human auditory system (numerical ratio scale theory) as well as in the visual system (ratio theory of distance) which can be accomplished in the pursuit of harmony. A growing body of evidence is accumulating that the cerebellum, midbrain and brainstem are related with motions of the body (somatomotor sensation), movement of sounds (audiomotor) and objects (visuomotor), formation of rhythm and walking (Kawamura, 1984). The initiation mechanism (generator) of the spontaneous walking

## 7] Ритм, темп и созвучие (гармония)

Как в природе, так и в теле существуют различные по частоте и интенсивности колебания. Ветер в лесу, плески волн на реке или биение сердца – всё это колебательные процессы. Независимо от того, спим мы или бодрствуем, мозг постоянно воспринимает и распознает множество колебательных сигналов из окружающей среды и от самого организма. Сенсорные анализаторы (павловской термин, используемый для обозначения функций сенсорной коры) обеспечивают компенсацию, модуляцию или коррекцию ошибок, связанных с флуктуациями сигнала. Это свойство сенсорных анализаторов является одним из проявлений когнитивного механизма, присущего всему мозгу. Для согласования (гармонии) субъективных образов (*Gestalt*) мозг способен исправлять ошибки, связанные с отклонением естественного сигнала от «теоретического идеала»: для слухового анализатора человека характерно масштабирование по интенсивности, а для зрительного - масштабирование по расстоянию. Получены многочисленные данные о том, что формирование чувства ритма и походки обеспечивается мозжечком, средним мозгом, стволом мозга, то есть структурами, связанными с восприятием движения тела и сенсомоторными реакциями (Kawamura, 1984). Механизм инициации (генератор)

has been studied by cutting at various levels of the brainstem in the cat (Matsukawa et al., 1982). It has become clear that impulses from the subthalamic nucleus (subthalamic locomotor region, SLR) go to the cuneiform nucleus (locomotor inducing area) in the midbrain, which can further activate the pattern generator in the spinal cord to determine the tempo ; *arsis* and *thesis*.

спонтанной ходьбы изучался с помощью перерезки волокон на различных уровнях ствола мозга кошки (Matsukawa et al., 1982). Стало ясно, что темп движений и положение тела при ходьбе связаны с сигналами от субталамических ядер (субталамическая локомоторная область, SLR) к клиновидным ядром среднего мозга (локомоторная область среднего мозга), которые, в свою очередь, запускают паттерн активации на уровне спинного мозга.

Almost all sensory inputs impinge upon the cerebellum. Rhythm may well be the concept of lapse of intervals; passage of time from the start to end (including pause) in the movement of general feeling as seen in steps of dance or flashes of light. Nikosaka's group investigated mechanism of perception on the continuity versus discontinuity of successive events, using fMRI occurring in the human brain. The results of Sakai et al. (1999, 2000) suggest that the posterior lobe of the cerebellar hemisphere is concerned with the formation of rhythm in response to the randomly disrupted sounds. Subjects listened to seven successive sounds with variable intervals in between, and they are asked after 12 seconds to reproduce the rhythm by tapping a button. Two types of rhythmic patterns were found in the cerebellum while they concentrate on remembering the sounds, maintaining them for a short time, depending upon the difference of the rhythmic intervals. In the case of metrical sounds (1:2:3 or 1:2:4), activity is located in the

Почти все сенсорные входы влияют на активность мозжечка. Вполне может быть, что ритм является основой для отсчета временных интервалов: промежутков времени между началом и концом (включая паузы) любых сенсорных и моторных событий, таких как шаги в танце или мигание света. Группа Nikosaka's исследовала ФМРИ-корреляты непрерывности и дискретности восприятия последовательности событий. Показано, что активность в задней доле полушария мозжечка связана с формированием ритма в ответ на случайную последовательность звуков (Sakai et al., 1999, 2000). Каждому испытуемому предъявлялась серия звуковых сигналов с изменяющимся межстимульным интервалом. Через 12 секунд после прослушивания испытуемому предлагали воспроизвести услышанный ритм нажатиями на кнопку. Установлено, что активность мозжечка при воспроизведении ритма зависит от разницы в соотношении межстимульных интервалов. Выделено

anterior lobe of the cerebellum, while in non-metrical sounds (1: два типа паттернов активации: при целочисленных пропорциях 2.5 : 3.5), activity is located in the hemisphere of the posterior lobe в межстимульных интервалах (1:2:3 или 1:2:4) активность (Figs. 17 and 18). The interpretation of this finding is not easy, локализована в передних долях мозжечка; при нецелочисленных пропорциях (1: 2,5: 3,5) – в задних (рис. 17 и 18). Хотя не просто the discrimination of variety of rhythms of sounds, the results of дать интерпретацию этого факта, важно, что мозжечок в первую очередь связан с анализом разнообразия ритмов и может передавать эту информацию в кору головного мозга.

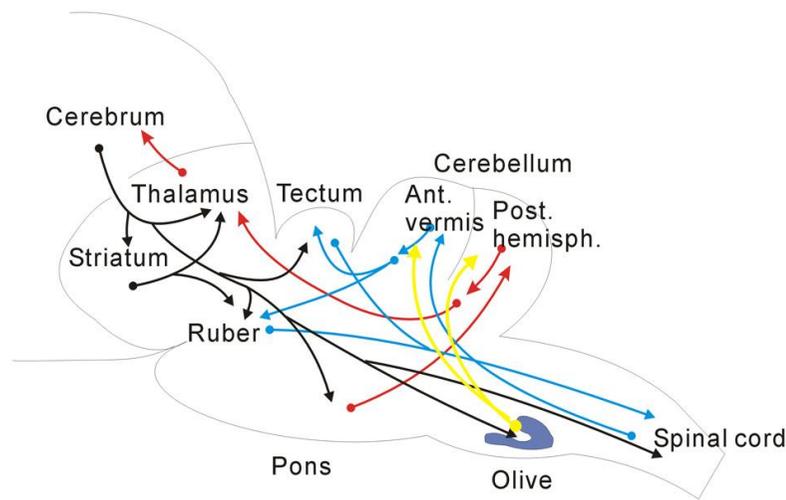


Fig.17

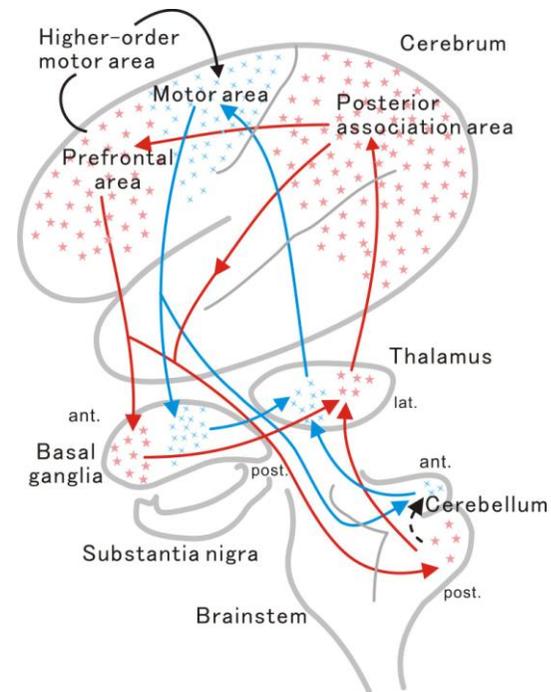


Fig.18

Tempo and rhythm can be regarded as being formed in performing music in particular when several kinds of cognitive impulses activate the motor system, which generates walking that can be elaborated into the movement of dancing based on the flow of neural activities from the cortical motor system to muscle.

Темп и ритм можно рассмотреть, как результат процессов, возникающих в мозге при исполнении музыки, когда разные виды когнитивных импульсов активируют моторную систему, которая управляет походкой. Именно походка может быть преобразована в танцевальные движения, основанные на потоке нейронной активности от моторной коры к мышцам.

"Visual memory" neurons in the caudate nucleus are strongly modified by the reward schedule in the motor system (Kawagoe et al., 1998). The pattern of activity of striatal neurons was recorded in monkeys when they are moving the eyes to the moving point to get rewards. This experiment examines how striatal neurons are involved in the recognition of visual space linked with motivation.

Успешность моторных реакций существенно влияет на активность «нейронов зрительной памяти» в хвостатом ядре (Kawagoe и др., 1998). В экспериментах на обезьянах было изучено, как ядра стриатума участвуют в зрительном восприятии, связанном с мотивацией: выявлена электрическая активность в стриатуме обезьяны, которая следила глазами за движущейся точкой для получения награды.

Dopaminergic fibers terminate in the basal ganglia. The fibers are related with the highly-motivated actions and evaluation of novel objects. The investigation indicated that the basal ganglia are involved in the recognition of objects as meaningful in space, and that the neurons are activated when animals behave with intention to get rewards. A large number of dopaminergic neurons in the midbrain have been shown to respond to both visual and

Дофаминергической волокна оканчиваются в базальных ганглиях. По этим волокнам передается сигнал о высокой значимости и о новизне объекта. Исследования показали, что базальные ганглии участвуют в выделении наиболее значимых объектов в сенсорной сцене, а так же в распознавании объектов, относительно которых предсказана награда. На зрительные и звуковые стимулы, связанные с ожиданием вознаграждения, активируются большие популяция дофаминергических

auditory reward-expecting stimuli. The reward process of emotion is closely correlated with the learning of approaching behavior, and activities responding to reward-expecting stimuli have also been shown in the mesencephalic dopaminergic neurons (Schultz et al., 1997; Schultz, 1998). Therefore, "auditory memory" neurons are also very likely to exist in the nigrostriatal system, and it is considered that rhythmical movement in the music is strongly influenced by the emotional process. As the cerebral cortex develops in higher mammals, the presentation of rhythm and tempo gradually develops in various manners of movement, for example dynamic and static, fast and slow, long and short, pure and mixed, harmony and discordance in the expression of music.

нейронов среднего и промежуточного мозга (Schultz et al., 1997; Schultz, 1998). Эту активность можно рассматривать в качестве нейронных коррелятов тесной связи между эмоциями и обучением, выявленной в поведенческих экспериментах. Кроме того, есть основания предполагать, что в нигростриатной системе существуют нейроны "слуховой памяти" и это обуславливает связь между эмоциями и ритмическими движениями под музыку. Благодаря развитию коры головного мозга у высших млекопитающих увеличивается разнообразие моторных отображений ритма и темпа музыки, появляются разные формы движений, например, динамические и статические, быстрые и медленные, длинные и короткие, простые и сложные, гармоничные и беспорядочные.