

Sistema límbico e as emoções – uma revisão anatômica

Limbic system and emotions - an anatomical review

João Erivan Façanha Barreto¹, Luciane Ponte e Silva²

RESUMO

Os sentimentos relacionados às emoções impulsionam a viver e geram reações diversas na relação do homem consigo e com o meio. O conhecimento das bases neurais dos processos emotivos teve grande avanço no final do século XX, a partir da neuroimagem e da neurofisiologia, quando foram descobertas novas conexões do Sistema Límbico (SL), como órgão subcortical, com áreas corticais cerebrais, que, em conjunto, atuam sobre o hipotálamo e o tronco encefálico. **Objetivo.** Revisar e discutir os aspectos atuais da neuroanatomia, pontuando, ainda, a importante relação entre os processos cognitivos, emocionais, os componentes autonômicos e somatomotores. **Método.** Revisão da literatura com aspectos históricos do SL. **Resultados.** Exposição das principais vias e circuitos neurais envolvidos com as emoções, seguindo-se uma discussão sobre as principais emoções. **Conclusão.** Conhecer as conexões neurais, no que se refere às emoções, é muito importante para o ensino e a pesquisa que poderão motivar novas descobertas na neuroanatomia.

Unitermos. Sistema límbico, Emoção, Neuroanatomia.

Citação. Barreto JEF, Silva LP. Sistema límbico e as emoções - uma revisão anatômica.

ABSTRACT

The feelings associated with emotions drive people to live and generate different reactions in the relationship between the man and the environment. From developments on neuroimaging and neurophysiology, the knowledge of the neural basis of emotional processes had a major breakthrough at the end of the twentieth century, for example, the discovery of new connections of the limbic system (LS), such as the subcortical organ with cortical brain areas acting together on the hypothalamus and brainstem. **Objective.** To review and discuss the current aspects of neuroanatomy, revealing the important relationship between cognitive processes, emotional, autonomic and somatomotor components. **Method.** Review of literature with historical aspects of LS. **Results.** Exposure of the main pathways and the neural circuits involved in emotions, followed by a discussion of the major emotions. **Conclusion.** Knowing the neural connections in regard to emotions, is very important for teaching and research that can motivate new discoveries in neuroanatomy.

Keywords. Limbic System, Emotion, Neuroanatomy.

Citation. Barreto JEF, Silva LP. Limbic system and emotions - an anatomical review.

Trabalho realizado na Faculdade Christus, Fortaleza-CE, Brasil.

1. Médico (UFC), Mestre em Ciências Fisiológicas pela Universidade Estadual do Ceará (UECE), Professor Assistente do Departamento de Morfologia (DM) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE, Brasil.
2. Neuropsicóloga (USP), Mestre em Psicobiologia pela UNIFESP, Professora do Curso de Especialização em Neuropsicologia da Faculdade Christus, Fortaleza-CE, Brasil.

Endereço para correspondência:

R João Adolfo Gurgel, 133 - Papicu
Faculdade Christus - Sede Parque Ecológico
Tel: (85) 3265-6668
CEP 60160-230, Fortaleza-CE, Brasil.
E-mail: erivan@ufc.br

Revisão

Recebido em: 29/06/09

Aceito em: 21/10/09

Conflito de interesses: não

INTRODUÇÃO

O conhecimento da forma e do funcionamento de áreas específicas do cérebro sempre foi motivo de investigação na ciência para se compreender uma característica peculiar da espécie humana: o pensamento. O homem constrói idéias e é capaz de se comunicar através da simbologia da fala e da escrita. Esta capacidade de pensar está ligada diretamente a à emoção. As descobertas nos diversos campos abrangidos pelas neurociências e a interpretação dos exames de ressonância magnética do encéfalo, atualmente rotineiros nos centros de imagem, passaram, evidentemente, a requerer um maior conhecimento neuroanatômico. Na psiquiatria e suas áreas afins, a identificação das estruturas neurais relacionadas com a emoção, tem um interesse particular na compreensão do comportamento humano. Este artigo tem por objetivo apontar algumas das possíveis relações entre os processos emocionais, o sistema límbico e suas conexões. Trata-se de uma revisão dos aspectos anatômicos dessas estruturas, destacando, particularmente, as suas relações topográficas. O texto que segue tem, portanto, como objetivo fundamental, contribuir para a compreensão das organizações anatômicas e funcionais básicas das principais estruturas encefálicas relacionadas com a emoção.

MÉTODO

O processo de busca das referências que compõem o presente artigo foi realizado da seguinte maneira: pesquisou-se nas bases de dados da Proquest®, Bireme, Scielo, Medline, Lilacs, Tese-USP e PsycINFO. Foram incluídos tanto artigos quanto capítulos de livro, já que a proposta do artigo é realizar uma revisão teórica o mais abrangente possível, sem pretensões de ser exaustiva, descrevendo-se sobre as emoções, a anatomia do Sistema Límbico (SL) e as bases neurais das emoções.

DISCUSSÃO

As emoções

A palavra emoção deriva do latim *movere*, mover, por em movimento. É essencial compreender que a emoção é um movimento de dentro para fora, um modo de comunicar os nossos mais importantes estados e necessidades internas¹.

As relações entre corpo e mente e entre razão e emoção, passaram a ser também investigadas em outras ciências, além da Filosofia, como a Psicologia, a Psicanálise e a Biologia, a partir da segunda metade do século XIX e princípios do século XX. O que marca esse período é o interesse científico voltado para os proces-

so cognitivos, os quais incluem as atividades mentais relacionadas à aquisição de conhecimento e conectadas ao raciocínio e à memória².

A partir do desenvolvimento de novas técnicas especializadas de pesquisa em neurofisiologia e em neuroimagem, mais recentemente, vem-se ampliando o interesse pelo estudo das bases neurais dos processos envolvidos nas emoções, a partir da caracterização e das investigações sobre o SL. Com base em diferentes resultados, sabe-se que há uma profunda integração entre os processos emocionais, os cognitivos e os homeostáticos, de modo que sua identificação será de grande valia para a melhor compreensão das respostas fisiológicas do organismo ante as mais variadas situações enfrentadas pelo indivíduo. Assim, reconhece-se que as áreas cerebrais envolvidas no controle motivacional, na cognição e na memória fazem conexões com diversos circuitos neurais, os quais, através de seus neurotransmissores, promovem respostas fisiológicas que relacionam o organismo ao meio externo e interno, importantes à homeostasia³.

Muito se tem discutido sobre a possibilidade de se tratar cientificamente as questões relativas à emoção, e não somente no âmbito da Filosofia. Com o desenvolvimento das neurociências, postula-se que, como a percepção (aferência) e a ação (eferência), a emoção é relacionada a circuitos cerebrais distintos. Ademais, as emoções estão geralmente acompanhadas por respostas autonômicas, endócrinas e motoras esqueléticas, que dependem de áreas subcorticais do Sistema Nervoso, as quais preparam o corpo para a ação^{4,5}. Está se aprendendo que as emoções são resultados de múltiplos sistemas do cérebro e do corpo que estão distribuídos pela pessoa toda, sendo impossível separar emoção da cognição, nem a cognição do corpo¹. Com efeito, acredita-se que a ciência será capaz de explicar os aspectos biológicos relacionados à emoção, mas não o que é a emoção. Esta permanece como uma questão prevalentemente filosófica.

Com base nessas premissas, o objetivo do presente trabalho é discutir os aspectos atuais da neuroanatomia, partindo do conceito de SL, pontuando, ainda, a importante relação entre os processos emocionais e o Sistema Nervoso Autônomo (SNA), destacando sua interferência no controle neurovegetativo.

Anatomia do SL

Há três maneiras básicas de se estudar o Sistema Nervoso Central (SNC) do ponto de vista anatômico⁶. A primeira consiste em estudar a simples disposição espacial das suas estruturas já desenvolvidas, campo de

estudo denominado neuroanatomia; a segunda, em estudar o seu desenvolvimento ontogenético; e a terceira, em estudar o seu desenvolvimento filogenético, ocorrido ao longo da chamada evolução das espécies, o que é feito, principalmente, através da paleontologia e da anatomia comparada.

O lobo límbico e o sistema límbico

Ao estudar a anatomia comparada dos sulcos e giros dos cérebros de mamíferos, Broca (1877) descreveu o "grande lobo límbico" como sendo constituído pelos giros do cíngulo e parahipocampal, e a "fissura límbica" como sendo constituída pelos sulcos atualmente denominados: sulco do cíngulo, sulco subparietal e sulco colateral⁷. Adotou-se também o termo límbico em função do seu significado (do latim "*Limbus*": orla, anel, em torno de), ratificado por Sarnat e Netsky (1981), uma vez que essas estruturas, presentes em todos os mamíferos, situam-se em torno do topo do tronco encefálico^{6,8}.

Papez propôs que o circuito constituído pelo giro do cíngulo, giro parahipocampal, hipocampo, fórnix, corpo mamilar, núcleos anteriores do tálamo se constituísse no circuito básico das emoções⁷. Esta hipótese veio a ser ampliada por MacLean (1949), ao propor o conceito de cérebro visceral que defendia a idéia de que era constituído pelo rinencéfalo (estruturas e áreas olfatórias e paraolfatórias), giro do cíngulo, giro parahipocampal e hipocampo⁷. Estas hipóteses foram corroboradas por Lockard (1977) afirmando que estas áreas anatômicas eram comuns a todos os mamíferos, e responsáveis pelas funções básicas de comer, beber e de se reproduzir⁹. Inicialmente, MacLean, assim como Papez não reconheceu a contribuição prévia de Broca, contudo, em suas publicações subsequentes, adotou o termo proposto pelo autor francês e criou o conceito de Sistema Límbico¹⁰.

Há um consenso entre os diversos autores de que o SL tenha como estruturas principais: os giros corticais, os núcleos de substância cinzenta e tratos de substância branca dispostos nas superfícies mediais de ambos os hemisférios e em torno do terceiro ventrículo. Estas estruturas, funcionalmente, se relacionam com os instintos, emoções e memória e, através do hipotálamo, com a manutenção da homeostase. Apesar deste consenso, há ainda divergências quanto à própria conceituação do SL e quanto à inclusão de certas estruturas na sua composição, como o lobo olfatório e o próprio hipotálamo^{9,11-13}.

Os lobos olfatórios são constituídos pelos bulbos olfatórios, que recebem informações dos receptores

olfativos pelas suas fibras aferentes e pelas áreas cerebrais diretamente atingidas por estas terminações. Os bulbos olfatórios são estruturas pares que filogenética e embriologicamente são extensões rostrais de ambas as massas telencefálicas, e já possuem uma estrutura laminar do tipo cortical. As projeções aferentes dos bulbos olfatórios formam os tratos olfatórios medial e lateral que se dirigem ao tubérculo olfatório que, nos seres humanos, corresponde à substância perfurada anterior. Apenas a sua porção anterior possui conexões olfativas, uma vez que a sua porção posterior já se relaciona com os núcleos hipotalâmicos. A área olfatória lateral que recebe estas terminações é denominada córtex piriforme e corresponde ao único centro cortical com função olfatória específica; posteriormente a ela, se situa o chamado córtex entorinal, não relacionado com a olfação, porém muito desenvolvido no homem. Da área olfatória lateral emergem aferências que se dirigem a centros diencefálicos e para o complexo amigdalóide^{7,9,11}.

A amígdala estendida

O corpo amigdalóide ou amígdala se localiza no interior da metade anterior do unco do giro parahipocampal, imediatamente anterior à cabeça do hipocampo que ocupa a sua metade posterior e, portanto, constitui a parede anterior do corno temporal¹⁴.

O corpo amigdalóide é composto pelas suas diferentes partes basolateral, olfatória e centromedial. A parte basolateral é muito semelhante ao córtex, recebe as suas aferências do córtex cerebral e de núcleos talâmicos polimodais e, como o córtex, se projeta para o *striatum* ventral e para o tálamo. A pequena parte olfatória, adjacente ao córtex olfatório temporal, recebe as suas aferências e se projeta, principalmente, para a parte centromedial da própria amígdala e para o hipotálamo. A parte centromedial, por sua vez, recebe aferências da formação hipocampal, da ínsula, do córtex órbito-frontal e de núcleos talâmicos da linha média (mais particularmente relacionados com informação interoceptiva), e se projeta sobre o hipotálamo e tronco encefálico¹¹.

Johnston (1999) demonstrou que a porção centromedial da amígdala se estende, posteriormente, por meio de colunas de células neuronais dispostas ao longo da estria terminal até o núcleo da estria terminal, que se localiza na porção posterior do *striatum* e *pallidum* ventrais¹⁵, em topografia imediatamente inferior à cabeça do núcleo caudado¹¹. Em complementação a essa extensão dorsal, De Olmos demonstrou existir também uma extensão ou componente ventral da porção centromedial da amígdala, disposta sob o núcleo

lentiforme e, posteriormente, ao sistema estriado-palidal ventral, e que também termina no núcleo da estria terminal¹⁶.

Dada a disposição semicircular da estria terminal, disposta entre o núcleo caudado e o tálamo, e a disposição ântero-basal do componente ventral, a amígdala centromedial passou a ser definida como um verdadeiro *continuum* em forma de um anel disposto em torno da cápsula interna e do tálamo, e denominada de amígdala estendida¹⁵. A amígdala estendida é, portanto, formada pela amígdala centromedial, pelo núcleo da estria terminal e pelos corredores celulares dorsal (componente supracapsular, estria terminal) e ventral (componente sublentiforme) que os unem.

Assim como o *striatum* ventral, a amígdala estendida recebe aferências, principalmente das áreas não-isocorticais do grande lobo límbico, incluindo a amígdala baso-lateral, e se projeta, basicamente, sobre o hipotálamo¹⁷.

Quanto ao papel relevante da amígdala em relação às emoções e ao comportamento, é importante ressaltar que a sua parte centromedial não se projeta para o *striatum*, e sim, para o hipotálamo e tronco encefálico. Através dessas aferências, toda a amígdala estendida exerce as suas influências sobre as áreas neurais que geram os componentes autonômicos, endócrinos e somatomotores das experiências emocionais, que regulam as atividades básicas de beber, comer e pertinentes ao comportamento sexual.

A íntima relação topográfica e funcional do corpo amigdalóide com o hipocampo, vincula o processo de armazenamento de memórias com os seus respectivos coloridos emocionais, e as suas relações com o córtex cerebral permitem a atuação, em particular, do córtex pré-frontal sobre o complexo amigdalóide¹¹.

Ao coordenar as diferentes informações sensitivas e sensoriais projetadas pelos tálamos sobre as diferentes áreas neocorticais, o córtex pré-frontal constitui o principal centro de organização e de planejamento de ações, inclusive emocionais. As áreas corticais pré-frontais, portanto, orquestram as reações emocionais, exercendo uma intensa atividade modulatória sobre a amígdala^{17,18}.

Paralelamente às conhecidas projeções das aferências sensitivas e sensoriais do tálamo sobre o córtex, que então viabilizam a identificação do estímulo em questão e que orquestram uma reação elaborada, "pensada", como resposta, descreveu-se que o tálamo também projeta as aferências sensoriais sobre a amígdala que, então, atua diretamente sobre o tronco encefálico¹⁸. Esta via mais direta acarreta, portanto, respostas

inespecíficas e mais rápidas (com intensos componentes autonômicos), prévias às respostas processadas pelo córtex cerebral, o que explica, por exemplo, reações abruptas de medo frente a determinadas situações.

Em relação a esses embricamentos funcionais, é ainda interessante a observação de que, dado o fato da amígdala apresentar um amadurecimento funcional prévio em relação ao hipocampo e ao resto do córtex cerebral, o armazenamento das primeiras lembranças com carga emocional pode ocorrer de maneira ainda pouco elaborada e se tornar um elemento de memória não apropriadamente codificado e que, eventualmente, pode vir a ser posteriormente mobilizado de forma também inapropriada¹⁹.

Do ponto de vista morfológico, as estruturas que compõem o sistema límbico se caracterizam como uma série de curvas em forma de "C" que tem como centro o tálamo e o hipotálamo em cada hemisfério¹².

A publicação denominada Terminologia Anatômica Internacional, editada em 1998, que substituiu a antiga *Nomina Anatômica*, introduziu o lobo límbico como um dos lobos cerebrais, descrevendo-o como sendo constituído pelos giros do cíngulo e parahipocampal, portanto considerando, nessa concepção, apenas as principais estruturas corticais que participam da composição do sistema límbico^{20,21}.

As bases neurais das emoções

Embora não se tenha uma definição precisa dos circuitos neuronais envolvidos no complexo "sistema das emoções", podem ser descritas, de modo didático, algumas vias neuronais, sem perder de vista que elas estão, em última análise, integradas funcionalmente. Essas vias serão discutidas, a seguir, no âmbito das diferentes emoções.

Prazer e recompensa

As emoções mais "primitivas" e bem estudadas pelos neurofisiologistas, com a finalidade de estabelecer suas relações com o funcionamento cerebral, são a sensação de recompensa (prazer, satisfação) e de punição (desgosto, aversão), tendo sido caracterizado, para cada uma delas, um circuito encefálico específico.

O "centro de recompensa" está relacionado, principalmente, ao feixe prosencefálico medial, nos núcleos lateral e ventromedial do hipotálamo, havendo conexões com o septo, a amígdala, algumas áreas do tálamo e os gânglios da base^{22,23}. Já o "centro de punição" é descrito com localização na área cinzenta central que rodeia o aqueduto cerebral de *Sylvius*, no mesencéfalo, estendendo-se às zonas periventriculares

do hipotálamo e tálamo, estando relacionado à amígdala e ao hipocampo²³ e, também, às porções mediais do hipotálamo e às porções laterais da área tegmental do mesencéfalo²⁴.

Para alguns pesquisadores, a sensação de prazer pode ser distinguida pelas expressões faciais e atitudes do animal após sua exposição a um estímulo hedônico; tais expressões são mantidas mesmo em indivíduos anencefálicos, sugerindo que o "centro de recompensa" deva se estender até o tronco cerebral. Acredita-se que emissões aferentes do núcleo *acumbens* em direção ao hipotálamo lateral e ventral, globo pálido e estruturas conectadas nessa mesma região cerebral estejam envolvidas nos circuitos cerebrais hedônicos²⁵.

Demonstrou-se, em animais de experimentação (ratos), que estímulos na área septal, controlados pelo animal, acarretavam uma situação de deflagração recorrente do estímulo, indicando uma possível correlação com o desencadeamento de prazer²⁶. Estudos posteriores realizados em símios demonstraram a participação do feixe prosencefálico medial nos estímulos apetitivos, sendo possível caracterizar, inclusive, uma certa expectativa de prazer. Esse feixe e as regiões por ele integradas (área tegmentar ventral, hipotálamo, núcleo *acumbens*, córtex cingulado anterior e córtex pré-frontal) compõem o circuito denominado *sistema mesolímbico*.

Alegria

A indução de alegria, resposta à identificação de expressões faciais de felicidade, à visualização de imagens agradáveis e/ou à indução de recordações de felicidade, prazer sexual e estimulação competitiva bem-sucedida, provocou a ativação dos gânglios basais, incluindo o estriado ventral e o putâmen²⁷. Além disso, vale relembrar que os gânglios basais recebem uma rica inervação de neurônios dopaminérgicos do sistema mesolímbico, intimamente relacionados à geração do prazer, e do sistema dopaminérgico do núcleo estriado ventral. A dopamina age de modo independente, utilizando receptores opióides e gabaérgicos no estriado ventral, na amígdala e no córtex órbito-frontal, algo relacionado a estados afetivos (como prazer sensorial), enquanto outros neuropeptídeos estão envolvidos na geração da sensação de satisfação por meio de mecanismos homeostáticos²⁸.

Descrições neuroanatômicas de lesões das vias cérebro-pontocerebelares em indivíduos com riso e choro patológicos sugerem que o cerebelo seja uma estrutura envolvida na associação entre a execução do riso e do choro e o contexto cognitivo e situacional em

questão; de fato, quando tal estrutura está lesionada, há transição incompleta das informações, provocando um comportamento inadequado ao seu contexto²⁹.

Medo

As relações entre a amígdala e o hipotálamo estão intimamente ligadas às sensações de medo e raiva. A amígdala é responsável pela detecção, geração e manutenção das emoções relacionadas ao medo, bem como pelo reconhecimento de expressões faciais de medo e coordenação de respostas apropriadas à ameaça e ao perigo^{27,30}. A lesão da amígdala em humanos produz redução da emotividade e da capacidade de reconhecer o medo. Por outro lado, a estimulação da amígdala pode levar a um estado de vigilância ou atenção aumentada, ansiedade e medo^{24,31}.

Desde as descrições iniciais do SL, realizadas por Papez, acreditava-se que o hipotálamo exercia papel crucial entre as estruturas subcorticais envolvidas no processamento das emoções. Atualmente, se reconhece que projeções da amígdala para o córtex contribuem para o reconhecimento da vivência do medo e outros aspectos cognitivos do processo emocional¹⁸.

A amígdala é uma estrutura que exerce ligação essencial entre as áreas do córtex cerebral, recebendo informações de todos os sistemas sensoriais. Estas, por sua vez, projetam-se de forma específica aos núcleos amigdalianos, permitindo a integração da informação proveniente das diversas áreas cerebrais, através de conexões excitatórias e inibitórias a partir de vias corticais e subcorticais³². Os núcleos basolaterais são as principais portas de entrada da amígdala, recebendo informações sensoriais e auditivas; já a via amigdalofugal ventral e a estria terminal estabelecem conexão com o hipotálamo, permitindo o desencadeamento do medo²⁴. A estria terminal está relacionada à liberação dos hormônios de estresse das glândulas hipófise e supra-renal durante o condicionamento¹⁸.

Para o aprendizado do condicionamento do medo, as vias que transmitem a informação do estímulo convergem no núcleo lateral da amígdala, de onde parte a informação para o núcleo central. Este, por sua vez, estabelece conexão com o hipotálamo e substância cinzenta periaquedutal no tronco cefálico, evocando, por fim, respostas motoras somáticas^{24,25}.

Raiva

Uma das primeiras estruturas associadas à raiva foi o hipotálamo, em decorrência de estudos realizados na década de 1920, nos quais se descreveram manifestações de raiva em situações não condizentes, após a

remoção total do telencéfalo. Entretanto, esse mesmo comportamento não era observado quando a lesão se estendia até a metade posterior do hipotálamo, levando à conclusão de que o hipotálamo posterior estaria envolvido com a expressão de raiva e agressividade, enquanto o telencéfalo mediaría efeitos inibitórios sobre esse comportamento²⁴.

A raiva é manifestada basicamente por comportamentos agressivos, os quais dependem do envolvimento de diversas estruturas e sistemas orgânicos para serem expressos. Além disso, esse comportamento também admite variações de acordo com o estímulo que o evoca. No século XX, Flynn (1960) identificou que esses comportamentos agressivos eram provocados pela estimulação de áreas específicas do hipotálamo localizadas no hipotálamo lateral e medial, respectivamente³³.

A raiva, assim como o medo, é uma emoção relacionada às funções da amígdala, em decorrência de conexões com o hipotálamo e outras estruturas²⁴.

Reações de luta-fuga

A conexão direta entre o hipotálamo e o SNA se dá, possivelmente, mediante projeções hipotalâmicas para regiões do tronco encefálico, destacando-se o núcleo do trato solitário. Além dessas vias eferentes, o Nervo Craniano (NC) vago, décimo par craniano (X), um dos principais elementos do SNA (porção parasimpática), representa ainda um importante componente aferente, ativando áreas cerebrais superiores. Suas projeções aferentes ascendem ao prosencéfalo através do núcleo parabraqüial e *locus ceruleus*, conectando-se diretamente com todos os níveis do prosencéfalo (hipotálamo, amígdala e regiões talâmicas que controlam a ínsula e o córtex órbito-frontal e pré-frontal)³⁴.

O SNA está diretamente envolvido nas denominadas “situações de luta e/ou fuga” e imobilização. Tais ocorrências estão intrinsecamente relacionadas a um mecanismo de neurocepção, que se caracteriza pela capacidade de o indivíduo agir conforme sua percepção de segurança ou ameaça a respeito do meio onde ele se encontra. Essa percepção pode ser dada, por exemplo, pelo tom da voz ou pelos movimentos e expressões faciais da pessoa ou do animal com quem ele interage³⁵.

Toda vez que a pessoa percebe o meio ambiente como “seguro”, ela dispõe de mecanismos inibitórios que atuam sobre as estruturas límbicas que controlam comportamentos de luta-fuga, como as regiões lateral e dorsomedial da substância cinzenta periaquedutal. Dessa forma, a amígdala não exerce seu papel normal,

ou seja, a estimulação dessas vias na substância cinzenta periaquedutal³⁶.

Concomitantemente, após o processamento de todas as informações, o córtex motor (onde se destacam as áreas frontais) comanda a ativação de vias corticobulbares na medula (núcleos primário dos pares cranianos V, VII, IX, X e XI), que ativam os componentes somatomotor (músculos da face e da cabeça) e visceromotor (coração, árvore brônquica) dos mecanismos fisiológicos para o contato social.

Ao contrário, toda vez que a pessoa percebe o meio ambiente como “ameaçador”, a amígdala estará livre para desencadear estímulos excitatórios sobre a região lateral e dorsolateral da substância cinzenta periaquedutal, que então estimula as vias do trato piramidal, produzindo respostas de luta e/ou fuga. Além disso, há casos em que a pessoa responde a tais situações como se estivesse paralisada; essa resposta decorre da estimulação da região ventrolateral ao aqueduto cerebral de *Sylvius*, que também estimula as vias neurais do trato corticoespinal lateral (piramidal). É interessante ressaltar que essas reações ocorrem paralelamente a uma resposta autonômica simpática. Em situações de luta-fuga, ocorre elevação da frequência cardíaca e da pressão arterial; de outro modo, nas situações de imobilização ocorre intensa bradicardia e queda da pressão arterial.

Tristeza

A tristeza e a depressão podem ser vistas como “polos” de um mesmo processo. A primeira é considerada “fisiológica”, e a segunda, “patológica”, estando, por conta disso, relacionadas em termos neurofisiológicos. É cada vez mais frequente a descrição da correlação entre disfunções emocionais e prejuízos das funções neurocognitivas. De fato, a depressão associa-se a déficits em áreas estratégicas do cérebro, incluindo regiões límbicas. Não obstante os fatores emocionais relacionados, há vários determinantes biológicos implicados no seu desenvolvimento; observando-se alterações ocorridas no sistema imunológico³⁵.

Estudos recentes demonstraram que a realização de atividades que evocam esse sentimento relaciona-se à ativação de áreas centrais, como os giros occipitais inferior e medial, giro fusiforme, giro lingual, giros temporais póstero-medial e superior e amígdala dorsal, ressaltando-se, também, a participação do córtex pré-frontal dorsomedial³⁷. Além disso, em indivíduos normais observou-se, por meio de exames de Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), que a indução da

tristeza relaciona-se: 1) à ativação de regiões límbicas, porção subgenual do giro do cíngulo e ínsula anterior; 2) desativação cortical, córtex pré-frontal direito e parietal inferior; e 3) diminuição do metabolismo da glicose no córtex pré-frontal³⁸.

Em estudo anterior, do mesmo modo, identificou-se importante ativação do córtex cingulado subcaloso (especialmente na região cingulada anterior subgenual/ventral) após a indução de tristeza nos indivíduos estudados; já nos pacientes com depressão clínica notou-se hipometabolismo ou hipoperfusão no córtex cingulado subcaloso²⁷.

Emoção e razão

As informações que chegam ao cérebro percorrem um determinado trajeto ao longo do qual são processadas. Em seguida, direcionam-se para as estruturas límbicas e paralímbicas, pelo circuito de Papez, ou por outras vias, para adquirirem significado emocional, dirigindo-se, continuamente, para regiões específicas do córtex cerebral, permitindo que sejam tomadas decisões e desencadeadas ações, processos relacionados à autonomia, função, geralmente dependente do córtex frontal ou pré-frontal³⁹.

As imagens certamente provocam, em sua maioria, ativação do córtex visual occipital (giro occipital e giro fusiforme), porém a amígdala também recebe quantidade substancial de estímulos provenientes das áreas temporais associadas à visão, participando na formação de memórias através dos circuitos hipocâmpais ou dos circuitos estriatais¹⁸. Tal fato decorre do papel especializado da amígdala no processamento de insinuações emocionais visualmente relevantes, sinalização do medo e aversão ou outras evidências. A ativação da amígdala pode estar primariamente envolvida na emissão de um alerta para ameaças provenientes da percepção obtida pelo córtex occipital²⁷.

A integração de conteúdo afetivo aos processos cognitivos ocorre, provavelmente, no complexo Córtex Órbita-Frontal (COF) / Córtex Pré-Frontal (CPF) Ventromedial. As impressões sensoriais (como visão, audição e outras informações somatossensoriais) convergem, através do COF, para o CPF Ventromedial, de onde a informação sintetizada é levada às regiões do CPF dorsomedial e CPF pré-frontal ínfero-lateral para a tomada das decisões. Lesões no CPF Ventromedial causam prejuízo na capacidade de tomar decisões, geralmente caracterizado por inabilidade de adotar estratégias de comportamento adequadas às consequências de atitudes tomadas, levando à impulsividade⁴⁰. O CPF Ventromedial e o COF mantêm importante

relação com a amígdala e ambos contribuem para a tomada de decisões, embora os mecanismos pelos quais isto ocorra sejam distintos. Acredita-se que essas regiões corticais recebam aferências da amígdala, as quais representem o valor motivacional dos estímulos, integrando-os e promovendo uma avaliação do comportamento futuro que será adotado⁴¹.

Embora a amígdala não estabeleça conexão direta com o CPF lateral, ela se comunica com o córtex cingulado anterior e o córtex orbital, os quais estão envolvidos nos circuitos da memória, tornando possível a justificativa de alguns autores de que a amígdala participa na modulação da memória e na integração de informações emocionais e cognitivas, possivelmente atribuindo-lhes carga emocional, possibilitando a transformação de experiências subjetivas em experiências emocionais^{18,41}.

Outra estrutura importante na integração emoção/razão é a ínsula. Ela é ativada durante a indução de recordações de momentos vividos por um indivíduo, as quais provocam uma sensação específica, seja de felicidade, tristeza, prazer, raiva ou qualquer outra²⁷.

Com base no que se discutiu, é possível considerar que a tomada de decisões torna-se diretamente dependente da associação emocional realizada pelo indivíduo ao vivenciar determinadas situações cotidianas e que vai depender de respostas motoras e autonômicas. Tais respostas autonômicas são diretamente influenciadas pelo hipotálamo e este, por sua vez, age mediante o processamento de todas as informações que chegam ao cérebro.

CONCLUSÃO

A identificação das estruturas neurais e de suas características anátomo-funcionais relacionadas ao controle motivacional e às emoções continua a ser motivo de interrogação e de fomento à pesquisa. Diferentes estímulos aferentes (térmicos, táteis, visuais, auditivos, olfatórios e de natureza visceral), chegam a diferentes partes do SNC por vias neuronais envolvendo receptores e nervos periféricos. Respostas (eferências) adequadas a esses mesmos estímulos são programadas em determinadas áreas corticais, as quais incluem desde circuitos simples, envolvendo poucos segmentos, até complexos, exigindo refinamento funcional por parte de cada uma.

Os circuitos relacionados às emoções localizam-se em várias regiões no encéfalo, possuindo inúmeras conexões com o córtex, área (substância) subcortical, núcleos basais e as estruturas infratentoriais, pertencentes ao tronco encefálico e cerebelo. Destacam-se ainda

as relações com o tronco encefálico, as quais facilitam sinapses à substância reticular, núcleos, como o rubro, o ambíguo e os formadores dos nervos cranianos (parassimpático). A partir de então, um estímulo dirige-se ao cerebelo e à medula espinhal, sendo distribuído por nervos espinhais aos segmentos corporais e ao sistema nervoso simpático pelos segmentos de T12 a L1 (toracolombar) e ao parassimpático de S2 a S4 (sacral). Esta seria uma visão panorâmica da integração biológica entre as emoções e o controle neurovegetativo.

Pelo fato das estruturas límbicas se projetarem direta e maciçamente sobre o hipotálamo e o tronco encefálico, gerando manifestações emocionais autonômicas e endócrinas, não há controle cortical efetivo. O neocórtex não controla completamente o SL. Pode-se refletir que o entendimento da morte, proporcionado pela razão, se contrapõe a uma rejeição instintiva, veiculada pelas estruturas mais primitivas (medula e tronco encefálico), caracterizando-se como o principal paradigma da dissociação da mente humana.

Esta discussão ainda leva a refletir sobre a difícil e controversa conceituação da consciência humana. Parece haver uma percepção primitiva em que se observa o que está ao lado, podendo formular apenas imagens mentais no presente e sem qualquer sentido pessoal de passado e de futuro ou, ainda, abstrações. Parece também haver uma consciência inerente aos seres humanos, composta pelo pensamento no sentido pessoal de considerar passado, presente e futuro, e de não depender obrigatoriamente do envolvimento de receptores e órgãos sensoriais.

No entanto, apesar de todo o atual conhecimento neuroanatômico, neurofisiológico e de áreas correlatas, a fisiologia do psiquismo humano, que tem como cerne a consciência, persiste ainda bem pouco esclarecida.

A despeito desses conhecimentos já construídos, os quais permitem a proposição de diferentes, mas integrados, *sistemas das emoções*, um longo percurso ainda há de ser trilhado, para que se adquira melhor compreensão dos mecanismos neurobiológicos fundamentais relacionados às emoções que poderá conduzir o homem à compreensão de sua própria condição humana.

REFERÊNCIAS

1. Ratey JJ. O cérebro: um guia para o usuário - Como aumentar a saúde, agilidade e longevidade de nossos cérebros através das mais recentes descobertas científicas. Rio de Janeiro: Objetiva, 2002, 438p.

2. Esperidião-Antônio V, Majeski-Colombo M, Toledo-Monteverde D, Moraes-Martins G, Fernandes JJ, Assis MB, et al. Neurobiologia das emoções. Revista de Psiquiatria Clínica, São Paulo, 2008;35:55-65.
3. Lanotte M, Lopiano L, Torre E, Bergamasco B, Colloca L, Benedetti F. Expectation enhances autonomic responses to stimulation of the human subthalamic limbic region. Brain Behav Immun, San Diego, 2005;19:500-9.
4. Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM. Fundamentos de neurociência e do comportamento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000, 620p.
5. Yang TT, Simmons AN, Matthews SC, Tapert SF, Bischoff-Grethe A, Frank GK, et al. Increased amygdala activation is related to heart rate during emotion processing in adolescent subjects. Neurosci Lett, Amsterdam, 2007;428:109-14.
6. Sarnat HB, Netsky MG. Evolution of the nervous system. 2ª. ed. New York, Oxford University, 1981, 504p.
7. Finger S. Origins of neuroscience. New York: Oxford University, 2001, 480p.
8. Ferreira AG. Dicionário de latim-português. 3ª. ed. Porto: Porto Editora, 2009, 720p.
9. Lockard I. Desk reference for neuroanatomy: a guide to essential terms. New York: Springer-Verlag, 1977, 137p.
10. Itzkoff SW. The form of man. Ashfield: Paideia Publishers, 1983, 336p.
11. Heimer L, Van Hoesen GW. The limbic lobe and its output channels: implications for emotional functions and adaptive behavior. Neurosci Biobehav Rev, New York, 2006;30:126-47.
12. Williams PL, Warwick R. Gray's anatomy. 36ª. ed. Philadelphia: Saunders, 1980, 753p.
13. Zahm DS. The evolving theory of basal forebrain functional-anatomical 'macro-systems'. Neurosci Biobehav Rev, New York, 2006;30:148-72.
14. Wen HT, Rhoton AL Jr, de Oliveira E, Cardoso ACC, Tedeschi H, Baccanelli M, et al. Microsurgical anatomy of the temporal lobe: Part I: mesial temporal lobe anatomy and its vascular relationships and applied to amygdalohippocampectomy. Neurosurgery, Baltimore, 1999;45:549-91.
15. De Olmos JS, Heimer L. The concept of ventral striatopallidal system and extended amygdala. Ann N Y Acad Sci, New York, 1999;877:1-32.
16. Heimer L. A new anatomical framework for neuropsychiatric disorders and drug abuse. Am. J. Psychiatry, Arlington, 2003;160:1726-39.
17. Heimer L. The human brain and spinal cord: functional neuroanatomy and dissection guide. 2ª. ed. New York: Springer Verlag, 1995, 506p.
18. LeDoux JE. The emotional brain, fear and the amygdala. Cellular and Molecular Neurobiology, New York, 2003;23:727-38.
19. LeDoux JE. The self: clues from the brain. Ann N Y Acad Sci, New York, 2003;1001:295-304.
20. Federative Committee on Anatomical Terminology. Terminologia anatomica. Thieme, Stuttgart, 2000, 302p.
21. Sociedade Brasileira de Anatomia (SBA). Terminologia anatômica. São Paulo: Manole, 2001, 248p.
22. Damasio H, Grabowski T, Frank R, Galaburda AM, Damasio AR. The return of Phineas Gage: the skull of a famous patient yields clues about the brain. Science, Washington, 1994;264:1102-05.
23. Guyton AC, Hall JE. Tratado de Fisiologia Médica. 11ª. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2006, 1264p.
24. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neurociências: desvendando o sistema nervoso. 3ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008, 857p.
25. Berridge KC. Motivation concepts in behavioral neuroscience. Physiology and Behavior, Elmsford, 2004;81:179-209.
26. Lent R. Cem bilhões de neurônios. 2ª. ed. São Paulo: Atheneu, 2005, 714p.
27. Phan KL, Wager T, Taylor SE, Liberzon I. Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. Neuroimage, Orlando, 2002;16:331-48.
28. Burgdorf J, Panksepp J. The neurobiology of positive emotions. Neurosci. Biobehav Rev., New York, 2006;30:173-87.
29. Parvizi J, Anderson SW, Martin CO, Damasio H, Damasio AR. Pathological laughter and crying: a link to the cerebellum. Brain, London, 2001;124:1708-19.
30. Höistad M, Barbas H. Sequence of information processing for emotions through pathways linking temporal and insular cortices with the amygdala. Neuroimage, Orlando, 2008;40:1016-33.

31. Graham R, Devinsky O, Labar KS. Quantifying deficits in the perception of fear and anger in morphed facial expressions after bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, Washington, 2007;45:42-54.
32. Williams LM, Das P, Liddell BJ, Kemp AH, Rennie CJ, Gordon E. Mode of functional connectivity in amygdala pathways dissociates level of awareness for signals of fear. *J Neurosci*, Baltimore, 2006;26:9264-71.
33. Glass DC. *Neurophysiology and Emotion*. New York: Rockefeller University Press, 1967, 234p.
34. Porges SW. The Polyvagal theory: phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology and Behavior*, Elmsford, 2003;79:503-13.
35. Strauman TJ, Woods TE, Schneider KL, Kwapil L, Coe CL. Self-regulatory cognition and immune reactivity: idiographic success and failure feedback effects on the natural killer cell. *Brain Behav Immun*, San Diego, 2004;18:544-54.
36. Porges SW. Social engagement and attachment: a phylogenetic perspective. *Ann NY Acad Sci*, New York, 2003;1008:31-47.
37. Goldin PR, Hutcherson CAC, Ochsner KN, Glover GH, Gabrieli JDE, Gross JJ. The neural bases of amusement and sadness: A comparison of block contrast and subject-specific emotion intensity regression approaches. *NeuroImage*. 2005;27:26-36.
38. Machado-Vieira R, Bressan RA, Frey B, Soares JC. As bases neurobiológicas do transtorno bipolar. *Rev Psiquiatr Clin*, São Paulo, 2005;32:28-33.
39. Benoit RG. The role of rostral prefrontal cortex in establishing cognitive sets: preparation or coordination? *J. Neuroscience*, Baltimore, 2008;28:3259-61.
40. Abu-Akel A. A neurobiological mapping of theory of mind. *Brain Research Reviews*, Amsterdam, 2003;43:29-40.
41. De Martino B, Kumaran D, Seymour B, Dolan RJ. Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science Magazine*. 2006;313:684-87.