
Recebido: 29-12-2020 | Aprovado: 21-05-2021 | DOI: <https://doi.org/10.23882/NE2144>

A Evolução do sistema nervoso e a ponte para a Educação

The evolution of the nervous system as a bridge to Education

Amauri Betini Bartoszeck

Laboratório de Metabolismo Celular, Neurociência e Educação em Ciência Emergente
Universidade Federal do Paraná, Brasil (abbartoszeck@gmail.com)

Resumo: O principal objetivo deste artigo é salientar por meio de breve revisão da evolução do sistema nervoso iniciando com invertebrados e alcançando os principais vertebrados e tentar estabelecer uma ponte ligando com educação. Faz-se breve exame das condições físico-químicas do ambiente nos primórdios do planeta Terra e o surgimento das primeiras formas de organismos primitivos. Analisa-se a interação das estruturas receptoras de variações ambientais e períodos de tempos como afetaram os animais primitivos. São explorados redes e circuitos neurais e funções do neurônio no mecanismo de aprendizagem dos espongiários, cnidários, artrópodes, moluscos, cordados, peixes, anfíbios, répteis, vertebrados superiores e primatas. São sugeridas implicações educacionais.

Palavras-Chave: aprendizagem, evolução, invertebrados, sistema nervoso, vertebrados

Abstract: The main objective of this paper is to point out by means of a brief review of the evolution of the nervous system from invertebrates up to major vertebrates and try to build a bridge connecting to education. A short survey is carried out over the environment physical and chemical conditions at the beginning of the Earth planet and the first forms of primitive organisms. An analyses of the interaction of cell receptors with environment changes and length period of times acting on primitive animals. It is dealt how neural nets and neural circuits contributed for the learning mechanism inside cnidarians, spongiarians, arthropods, molusca, chordata, fish, amphibia, reptilia, superior vertebrates, and primates. Educational implications are suggested.

Keywords: evolution, invertebrates, learning, nervous system, vertebrates

Introdução

Observar os organismos da natureza faz parte de nossa ancestralidade. Os pequenos grupos nômadas compostos de crianças e adultos sempre se encantavam com o que coletavam, embora não pudessem carregar tudo o que viam. Todavia, restava a percepção do mundo em que viviam gravada nos seus cérebros, por tudo aquilo que os interessava e os encantava.

Os organismos ocupam um lugar especial na Biologia. Em caráter individual os organismos são seres organizados compostos por estruturas, funções, órgãos ou sistema de órgãos, cuja estruturação integrada permite que os organismos se reproduzam e sobrevivam no ambiente. Como elementos componentes de populações interagem entre si e seus meio ambientes particulares. As estruturas internas e as funções que exercem nos organismos foram formatadas pela mão da evolução, pela seleção natural e, por conseguinte, pela adaptação do organismo ao seu ambiente. Assim, a habilidade de reproduzir e sobreviver depende da organização interna e auto-regulação. Os fatores que agem no corpo do organismo para manter a uniformidade dos procedimentos são tipicamente fisiológicos, mas não são mecanismos simples. Na visão do pesquisador Cannon (1929), a homeostasia não se refere aos mecanismos físico químicos para manter o equilíbrio do sistema. As reações fisiológicas coordenadas pela homeostasia, que mantêm a maioria dos estados estáveis (steady states) no organismo, são complexas e peculiares aos seres vivos. Cabe a pergunta: porque é tão importante que o organismo controle seu ambiente interno do corpo? A manutenção de um ambiente interno constante, observado nos organismos simples, tornou possível evolutivamente a coordenação precisa e coordenada das funções mentais superiores no sistema nervoso dos mamíferos, e, esse fato, foi o pré requisito para a transformação das funções mentais dos primatas *Homo erectus* em *Homo sapiens* há 1,5 milhões de anos atrás.

Assim, a meta da Fisiologia ou da Ciência, como um todo, é vista como uma visão mecanicista da vida, de todos os fenômenos, não importa quão complexos possam ser descritos em termos da Física e da Química. Para explicar os fenômenos do que é vida na sua forma mais elementar, se faz necessário reduzir tudo a

uma sequência de eventos físico-químicos. A ênfase atual da Fisiologia nos genes e expressão genica, junto com a pouca consideração do ambiente externo e os processos do desenvolvimento, apresenta uma visão equivocada dos organismos como simplesmente produtos da carga genética. Um apanhado mais abrangente dos organismos integraria as faces interna e externa do organismo uma melhor compreensão do desenvolvimento como a interação entre o mesmo através do seu comportamento e seu ambiente.

Organismos simples

Pensa-se que todos os organismos vivos, atualmente no planeta Terra, derivam de uma célula primordial "nascida" há bilhões de anos atrás. Todas formas de vida são feitas de células, as quais são compartimentos contendo soluções químicas no seu interior. Estar e manter-se vivo nas primeiras formas de vida, requereu um "tipo de aprendizagem" e participar de batalha constante para manter a estrutura íntegra e as funções ativas. Mesmo os organismos mais simples das formas de vida elementar, devem obter energia a partir de "alimentos" externos e mecanismo para expelir produtos do metabolismo. Nos oceanos pioneiros, há cerca de 1 bilhão de anos, presume-se por evidências indiretas que havia hidrogênio, metano ácido fosfórico, vapor de água, calor e descargas elétricas (raios) que formaram formas primitivas de vida, com base proteica - os coacervados. Posteriormente, surgiram os organismos "procariontes" - bactérias unicelulares sem núcleo definido, mas com DNA, proteínas e artefacto energético contido pela membrana. Os descendentes dos procariontes formaram a célula "eucarionte" maior e mais organizada internamente, semelhante a célula atual. Procariontes semelhantes às atuais "cianobactérias" (verde-azul) produziram taxas abundantes de gás oxigênio (utilizando átomos de carbono e nitrogênio na forma de CO₂ e N₂) como produto da captação de energia da luz solar. As cianobactérias ajudaram a forjar o ambiente do planeta Terra para as outras formas de vida (pigmento clorofila e fotossíntese). Os "eucariontes" multicelulares constituem as plantas, fungos e animais da nossa biosfera.

Posteriormente, os coacervados "geraram" os procariontes parecidos com as bactérias unicelulares atuais,

sem núcleo definido, com artefacto energético flutuando, mas contidos pela membrana celular. Os procariontes, como todos os organismos, enfrentam o dilema entre o “agora” segundos mais, o “depois”. E a imersão do “eu no mundo”, o constante desafio que seu mundo pode mudar mesmo que tudo aparentemente continue igual. O simples fato do organismo se apropriar de recursos energéticos locais, via vacúolo alimentar, alteram o seu ambiente pois tem de expelir os produtos do catabolismo. Assim, os organismos desenvolveram um tipo de aprendizagem. Esta “aprendizagem básica” por certo deve ter sido detectar mudanças no ambiente. Comparar o mundo atual com o que era há pouco tempo atrás tornou-se uma prioridade. Há que se ter uma “memória” do que era o mundo e esta informação ser armazenada em algum lugar de sua estrutura. Um exemplo ilustrativo é o caso do protozoário *Paramecium* sp., um microorganismo que vive na água doce, nas valetas do bosque. Tem em volta do corpo milhares de cílios que “vibram” produzindo movimento de deslocamento e varrem alimento para sua fenda oral. Para a paramécia a informação sensorial de entrada detecta quais as condições do mundo, e, dependendo destas, gera em resposta o movimento dos cílios, seja horário ou anti-horário. Qual seja embora um organismo simples, responde a estímulos. O estímulo é qualquer mensagem do ambiente (forma de energia) que provoque reações no indivíduo. Todo organismo vivo reage à estimulação, esses são “transduzidos” por algum tipo de receptor nas membranas celulares (Figura 1). Os organismos pioneiros foram unicelulares de aproximadamente 3,8 bilhões de anos atrás. Como exemplo ilustrativo, aponta-se a *Amoeba* sp. Que é sensível a estímulos, mas não possui célula nervosa como também as esponjas (Espongiários).

Os cílios da paramécia “pulsam” como se fossem o movimento de remos no avanço de uma canoa pelo rio. A paramécia movimenta-se para frente à procura de alimento e os cílios pulsam no sentido horário, mas reverte (sentido anti-horário) quando foge de predador ou alteração do pH da água. Existem “neurofibrilas” que se ligam aos cílios como se fossem estruturas rudimentares de um sistema nervoso primitivo. Este eucarionte possui canais iônicos de cálcio tipo 1 (entra o íon atra-

vés da membrana) e tipo 2 (sai o íon) o que torna a célula mais positiva internamente e os cílios a vibrarem e reverterem a direção do movimento do organismo. Assim, a paramécia soluciona a questão de contornar, por exemplo, um obstáculo que tem pela frente. Este ato parece ser um tipo primitivo de “aprendizagem associativa” onde o organismo “aprende” a associar dois eventos diretamente não relacionados.

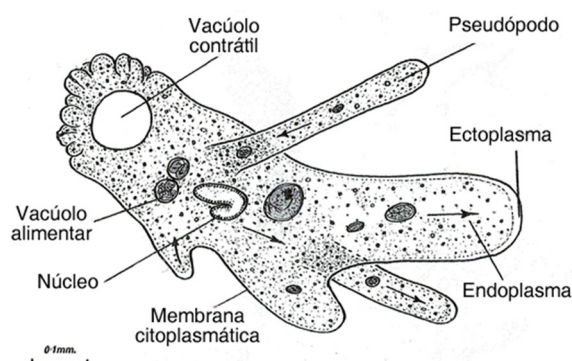


Figura 1. Desenho esquemático de *Ameba* sp (adaptado de Cox, 1969).

Toda vez que ocorra a nível molecular um tipo de aprendizagem, deve haver algum mecanismo biológico subjacente que o torne viável. O entendimento deste mecanismo pode ajudar a entender como aprendemos. Os educadores em geral concebem que a “aprendizagem escolar” depende da interação social na sala de aula, pois os alunos aprendem melhor, entre outras abordagens, quando um aluno sabendo mais do assunto, ensina o outro menos favorecido cognitivamente, onde se presume atue o neo-constructivismo. Pela evolução dos mecanismos observados nos organismos mais primitivos surgiu um padrão: informação sensorial gera períodos curtos de eletricidade e depois movimento, ou seja, o “sensorial produz ação”. Será um princípio de organização dos diferentes tipos de sistema nervoso e o surgimento do cérebro que aprende. Só se aprende por funcionamento dos “canais iônicos” receptores sensoriais e sinalização elétrica.

Organismos pluricelulares

Esponjas

Presume-se que organismos pluricelulares como as “esponjas” evoluíram de antepassados unicelulares com flagelos e ou cílios (cerca de 600 milhões de

anos atrás) com a tendência de formar colônias, com o formato de esfera oca, os “espongiários-porífera”. É de assinalar a presença de proteínas na membrana posteriormente encontradas nas sinapses. As esponjas têm corpo com grande número de células organizadas estruturalmente com espaços entre si (poros), por onde penetra a água com alimentos. Embora a esponja adulta se fixe em um substrato, as células coordenam movimentos simples no corpo para “aspirar” alimento como se fosse um aspirador de pó (Figura 2).

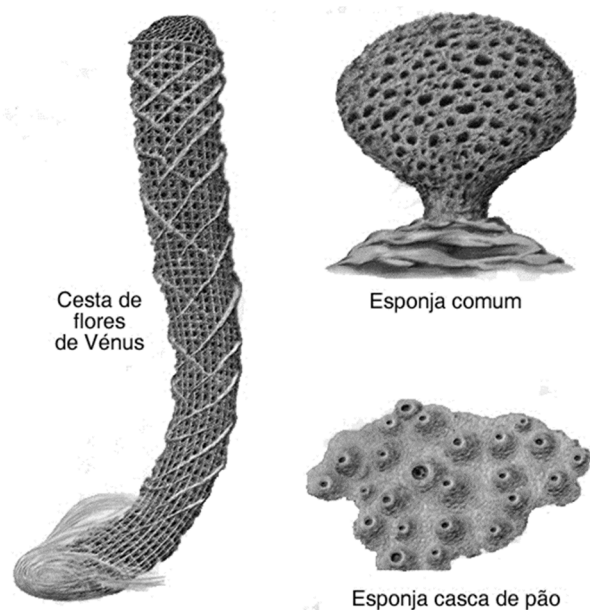


Figura 2. Ilustrações de espongiários (adaptado de Muedra, 1959).

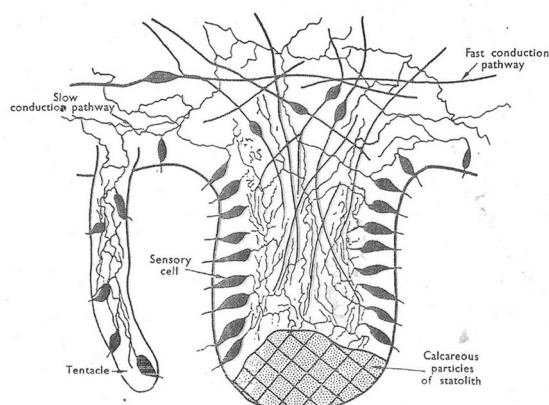


Figura 3. Ilustração esquemática de fibras neurais de condução lenta e rápida da informação em cnidários (adaptado de: Rose & Chalmers, 1971).

Celenterados (cnidários).

Há 560 milhões de anos atrás tem-se evidência fóssil de espécie de “medusa” (hydra) - água viva. Às vezes, estes animais são encontrados nas águas do mar e na beira das praias. São animais pluricelulares que podiam se mover e que possuíam estruturas parecidas com sistema nervoso. A espécie *Aurelia* sp apresenta neurônios sensoriais em rede e condução da corrente elétrica unidirecional. Já as anêmonas e caravelas com grau semelhante de complexidade no que tange à condução da corrente elétrica unidirecional (Figura 3).

O pulso elétrico que a medusa usa para comunicar informações é produzido pela abertura de canal iônico sódio que gera um potencial de ação. A descarga da corrente elétrica pode acontecer aleatoriamente quando os dendritos do neurônio são estimulados pelo pulso elétrico do neurônio anterior. Este cruza a fenda de separação entre eles e é conduzido pelo neurônio estimulado, cruza a sinapse do dendrito e a informação passa rapidamente para o próximo neurônio. Este sistema nervoso simples pode formar uma rede neural. Neurônios especiais convertem alguma forma de energia (deformação pelo tato) no primeiro conjunto de sinais de entrada no sistema nervoso. A “força” do sinal é representada pela frequência do pulso elétrico, que por sua vez “transduz” o sinal elétrico em “contração muscular”.

Alega-se que os neurônios têm sua origem nos “mecanorreceptores” dos primitivos antecedentes dos cnidária. Esses são os primeiros metazoa com redes neurais identificadas. As células com uma espécie de “ferrão” parecido com um anzol sofrem alterações na parte chamada “cnidócilio”. A evolução animal levou estas células a se diferenciarem em células que posteriormente geraram os neurônios.

Como se dá a condução da informação? Os organismos (plantas e animais) mesmo os mais simples são capazes de responder às variações do meio interno e externo. Estas “modificações do meio, que provocam alguma forma de resposta de parte do organismo, são chamados “estímulos”. No decorrer da evolução, os animais ficaram com células destinadas a receberem e responderem aos estímulos. Visto que os cnidária possuem “rede neural/nervosa” um estímulo aplicado em qualquer região do animal se espalha por esta rede ner-

vosa. Contudo, a condução do impulso elétrico é lenta. Na maioria dos neurônios da “água viva” a informação passa de um neurônio para o seguinte pelo alinhamento de estruturas da membrana, via sinapse elétrica. No cérebro humano são encontrados alguns tipos.

Aprendizagem primitiva

Em termos de habilidade de aprendizagem a água viva *Aurelia labiate* altera a direção de seu nado quando em baías encontra variação de salinidade e obstáculos no seu caminho. Faz novas tentativas com alteração no seu comportamento de deslocamento, sugerindo-se religação dos circuitos neuronais.

Já nos vermes chatos como a planária este organismo tem sistema nervoso mais diferenciado composto de cordão nervoso ventral e ocelos na cabeça (região anterior em oposição a caudal). A aprendizagem para qualquer animal significa que o circuito neuronal possa se alterar (desliga e liga em nova conformação) oferecendo um novo comportamento ao mesmo tipo de estímulo. A água-viva, embora distante evolutivamente, tem o circuito neuronal “fixo” (hard-wired) e, frente a situações, não mostra repertórios de comportamento. Na planária o verme mostra capacidade de escolher em que direção seguir em situações experimentais. Tem “gânglios cerebroides”, estruturas vistas como preliminar do cérebro de vertebrados e com “plasticidade” (possibilidade de refazer circuitos neuronais) e, assim, o animal pode “aprender”. O papel do “movimento aprendido” na história evolutiva foi o princípio da “recepção e ação”, o fio condutor da evolução do cérebro nos vertebrados. Os processos da atividade mental humana, por exemplo “raciocínio e memória” não estão dissociados dos processos que envolvam movimento. Animais com bilateralidade do sistema nervoso (localizado na região ventral do corpo, dois cordões nervosos paralelos e sistema ganglionar) originariamente evoluíram de animais de simetria radial com rede neural à semelhança da água-viva. No ser humano o cérebro e medula espi-

nal são dorsais de onde emergem nervos cranianos e espinhais, estruturas compactas, mas com cordões ganglionares bilaterais que compõem o sistema nervoso autônomo.

Os vermes primitivos com sistema nervoso segmentado viveram há 570 milhões de anos atrás. Pela evolução e adaptação aos ambientes originaram a planária e tipos de minhocas. Mostram fusão primitiva dos gânglios na porção rostral. Já foram identificados neurônios nos gânglios do corpo da minhoca *Amyntas hawaiana* comum no Brasil.

Os vermes chatos como a planária possuem olhos primitivos, os ocelos (variação de luminosidade), sensores gustativos que detetam o tipo de alimento e as toxinas, bem como respondem com mudança no movimento frente ao campo elétrico e magnético. Essas variedades de informação sensorial são processadas pelo sistema nervoso simples sob a forma de comportamentos complexos em relação aos organismos menos desenvolvidos. Muitos dos neurotransmissores encontrados no cérebro e sistema nervoso humano são também encontráveis nas sinapses dos vermes chatos (noradrenalina, glicina, serotonina, GABA, glutamato,). Embora os vermes chatos tenham em média 10000 neurônios aprendem e a informação é armazenada nas estruturas do cordão nervoso bilateral (Figura 4).

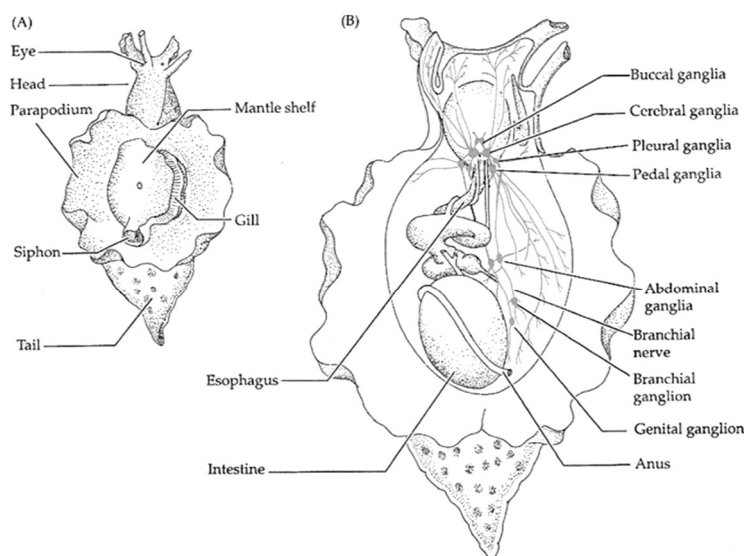


Figura 4. Principais estruturas e distribuição dos gânglios em *Aplysia sp.* (Adaptado de Hall, 1992).

Quais as partes de um neurônio?

A célula nervosa é formada pelo corpo celular (contém o núcleo), dendritos estruturas responsáveis por receber estímulos do ambiente e fazerem sinapse que emergem do corpo celular, e um prolongamento longo, o axônio. Esse conduz o impulso elétrico (informação codificada) sendo que com maior velocidade se revestido de capa gordurosa, a bainha de mielina, entrecortada de espaço em espaço por uma interrupção o nódulo de Ranvier (Fig.5a).

O impulso elétrico é a "tradução" (transdução) de um tipo de estímulo. O estímulo gera no neurônio particularmente nos dendritos um "potencial recetor" que, atingindo certo valor, se transforma em impulso elétrico. Esse é conduzido de neurônio em neurônio de forma eletroquímica até chegar ao cérebro. A geração do impulso elétrico é produzida pela movimentação de íons de sódio e potássio através da membrana. A energia para o funcionamento do neurônio é fornecida pela glicose oriunda especialmente da alimentação, e oxigênio oriundo da respiração em reação química que resulta na formação de gás carbônico, o qual é expelido pela circulação sanguínea e posteriormente respiração. Como aprendem as crianças? No final da gravidez durante a vida uterina o feto aprende a coletar informações do mundo interno e mundo externo que o rodeia. Coletam informações pelos recetores da pele e órgãos sensoriais (audição, gustação). Os recetores traduzem as sensações primárias em percepção gustativa, olfativa, auditiva táteis nos circuitos das áreas específicas do cérebro. O cérebro humano possui cerca de 56 bilhões de neurônios- mais células que estrelas conhecidas da Via Láctea, interligadas em estruturas que podem armazenar e manipular informações. Os sinais elétricos conduzidos pelos axônios provocam na porção terminal a liberação de substâncias químicas chamadas neurotransmissores nas delicadas semi-junções denominadas sinapses.

Os artrópodes

São animais que possuem juntas nos pés como o camarão, gafanhoto, lagosta, aranhas e escorpiões. Possuem em esqueleto externo (quitina e cálcio) rígido o exoesqueleto, olhos grandes, antenas, cerdas e pelos sensitivos. Muitos transitam do estágio larval a fase

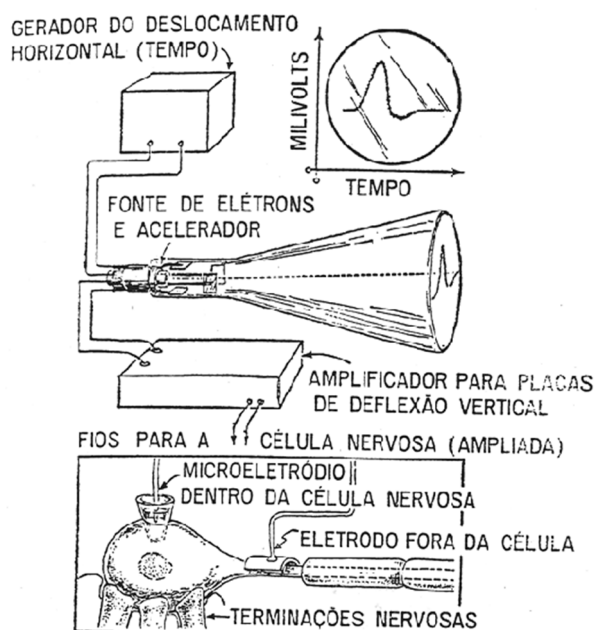


Figura 5a. Desenho esquemático do registro de potencial de ação pelo osciloscópio de raios catódicos (Adaptado de Galambos, 1965).

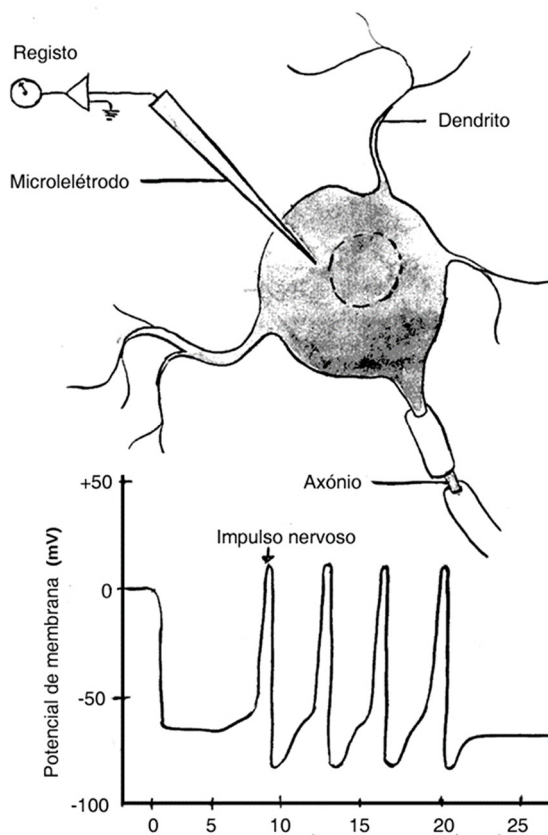


Figura 5b. Representação esquemática de um neurônio típico e registro do impulso elétrico do impulso nervoso por microeletrodo (ilustração do autor).

adulta por modificações denominada metamorfose. Destacam-se na evolução dos invertebrados os insetos (borboletas, libélulas, moscas) cujos antecessores são de há 410 milhões de anos atrás. Os órgãos do sistema nervoso são os gânglios e estruturas neuroendócrinas. O cérebro e os gânglios são centros especiais que processam a informação sensorial e articulam o padrão de resposta motora (andar, voar, cortar folhas). Ocorre tendência evolutiva do tecido nervoso se deslocar para a região rostral “cefálica” (cefalização).

Os moluscos

O sistema nervoso dos moluscos é muito diferente dos outros invertebrados. Eles possuem um sistema nervoso compacto onde o corpo celular do neurônio é bem organizado e facilmente reconhecido no interior dos gânglios. Além disso o número de neurônios é menor do que nos outros invertebrados. Por exemplo, o gânglio abdominal da lesma do mar *Aplysia californica* possui 20000 neurônios. Por outro lado, certos neurônios atingem quase 1 mm de diâmetro, o que permite que o microelétrodo seja inserido no corpo celular, penetrando a membrana celular e registrando a atividade elétrica no osciloscópio.

Com relação a condução da informação neural, os cordões neurais sendo sistemas de condução direta, transmitem as informações mais rapidamente do que as em rede. A localização dos gânglios cerebroides sendo que o primeiro ocorre na região dorsal (gânglio supra-esofágico) e o segundo (gânglio sub-esofágico). O grau de desenvolvimento dos gânglios na porção anterior do animal está correlacionado com a atividade sensorial. O cordão nervoso ventral regula a locomoção (contração e retração) dos músculos do molusco.

A lesma do mar (*Aplysia sp.*) mostra o comportamento de habituação e condicionamento clássico. Na habituação há a tendência para o molusco ignorar pela repetição um estímulo, desde que não seja deletério para sua integridade corporal. É uma forma simples de aprendizagem- habilidade de diferentes animais aprenderem, qual seja, modificarem mediante um processo seu comportamento com resultado da experiência – é encontrada em quase todas espécies de animais. Por exemplo, quando o experimentador bate levemente com um bastão de madeira na concha do ca-

racol de jardim, este responde recolhendo seu corpo para o interior da concha. Quando se insiste repetidamente neste tipo de estímulo, a resposta não ocorre mais. Considera-se que a habituação não é mais devido a habituação sensorial dos receptores mecânicos do animal, mas, sim, que os gânglios cerebroides bloqueiam a resposta.

O molusco marinho *Aplysia californica* mostra um repertório de reflexo de retirada de sua cauda, das guelras (órgão respiratório) e do sifão (expele água e produtos de excreção). Um estímulo tátil aplicado no sifão produz a retirada das guelras e do sifão e inclusive a cauda (Figura 6). Com a estimulação repetida nestas estruturas o reflexo de retirada entra em habituação.

Em resposta a estímulo aplicado no sifão da *Aplysia* os neurônios sensoriais que inervam o sifão geram potenciais sinápticos excitatórios nos interneurônios e neurônios motores, os quais pela somação espacial e temporal descarregam neurotransmissores produzindo a rigorosa retirada reflexa das guelras.

A comunicação da informação entre neurônios ou entre neurônios e músculo ocorre por transmissão química ou elétrica. Neste último tipo há a junção celular por oposição entre os neurônios, sem fenda sináptica definida e a célula pré-sináptica despolariza a pós-sináptica pelo movimento de cargas elétricas geradas pelos iões. Na comunicação química há diminuta fenda entre os elementos neuronais e a transmissão da informação, dá-se pela liberação do neurotransmissor (NT) armazenado em vesículas no elemento pré-sináptico. O neurotransmissor flui pela fenda e se fixa em receptores proteicos na membrana pós-sináptica, permitindo o fluxo de iões pelas proteínas canal.

A inter-relação sináptica entre os neurônios resulta na produção de potencial excitatório pós-sináptico (PEPS) ou inibitório (PIPS).

Filo dos cordados (chordata) e os vertebrados

As estrelas-do-mar e os ouriços-do-mar possuem celoma e são triblásticos constituindo o Filo Echinodermata. Há uma provável relação evolutiva entre os subfilos dos equinodermos e os cordados (simetria bilateral, medula dorsal protegida por notocorda, estendendo-se da cauda à região cefálica (por exemplo, o

Anfioxo — *Anphioxus lanceolatus*), sem vertebras ou crânio. Já os craniata possuem crânio protegendo a extremidade anterior do tubo neural, que nos vertebrados se desenvolveu formando o encéfalo. São exemplos de craniados cordados: peixes, anfíbios, reptéis, aves e mamíferos.

Os Peixes

O peixe primitivo que viveu há 440 milhões de anos atrás originou os peixes atuais. Todos os peixes possuem pele quase sempre coberta por escamas. São animais peclotérmicos, isto é, variam sua temperatura de acordo com a do ambiente. Respiram através de brânquias (guelras). O ouvido interno tem a função de manter o equilíbrio do animal na água. Possuem bulbo olfativo, cérebro, cerebelo e medula espinhal dorsal protegida por vértebras ósseas (Figura 6).

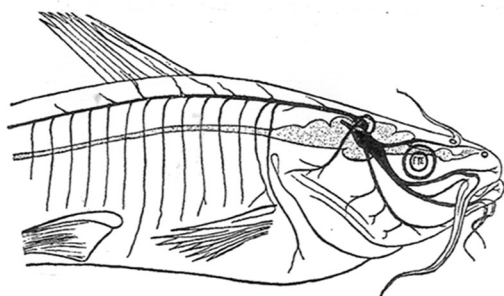


Figura 6. Ilustração esquemática do sistema nervoso de peixe (adaptado de Goodrich, 1958).

Há semelhança na estruturação dos nervos cranianos do peixe e do ser humano o que explica características da audição e respiração (Figura 7).

Anfíbios

Os representantes mais conhecidos são o sapo, a rã e a perereca. Na fase de larva respiram por brânquias e quando adultos por pulmões e através da pele. Os sapos são excelentes caçadores de insetos. Galvani (1791) executou experimentos iniciais com o sistema neuromuscular da rã. Com o músculo da perna e o ramo do ciático isolado mostrou a identidade entre processos naturais do corpo e os desenvolvidos pela corrente elétrica, e com o avanço da técnica neurocirúrgica mais recente, chegou-se às miofibrilas.

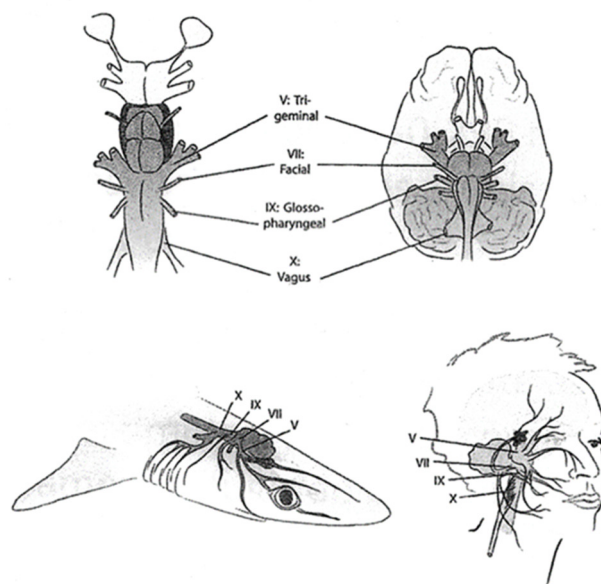


Figura 7. Ilustração comparando nervos faciais de peixe e humano (adaptado de Schmidt-Nielsen, 1975).

Com o desenvolvimento do voltímetro foi possível a medição da corrente elétrica “fluindo” pelo nervo na preparação do músculo lesado

Com fios ligados ao voltímetro e um deles em volta do músculo íntegro e outro em volta da porção lesada, no visor observa-se potencial de -70mV (potencial de repouso). Assim, o músculo A está húmido (líquido intersticial) com solução aquosa contendo concentrações dos íons sódio, potássio e cloreto. A região lesada é eletronegativa (maior concentração de cloreto e proteínas e pouco potássio) do que a região íntegra (mais sódio). Portanto, este conjunto constitui-se de uma “bateria biológica” capaz de gerar pela movimentação dos íons através da membrana e conduzir corrente elétrica iônica (“eletricidade animal”).

Mais contemporaneamente, Ramón y Cajal (1911) especificou que o neurônio típico é formado de soma (corpo celular), ramos de entrada (dendritos) e ramo de saída da informação (axônio). A membrana do neurônio é polarizada (ligeiramente negativa dentro) e excitável (responde a estímulos). Experimentalmente o microelétrodo estimula eletricamente o neurônio que responde com a produção de um sinal elétrico (potencial de ação) representado pelo pico na tela do osciloscópio (Figura 8).

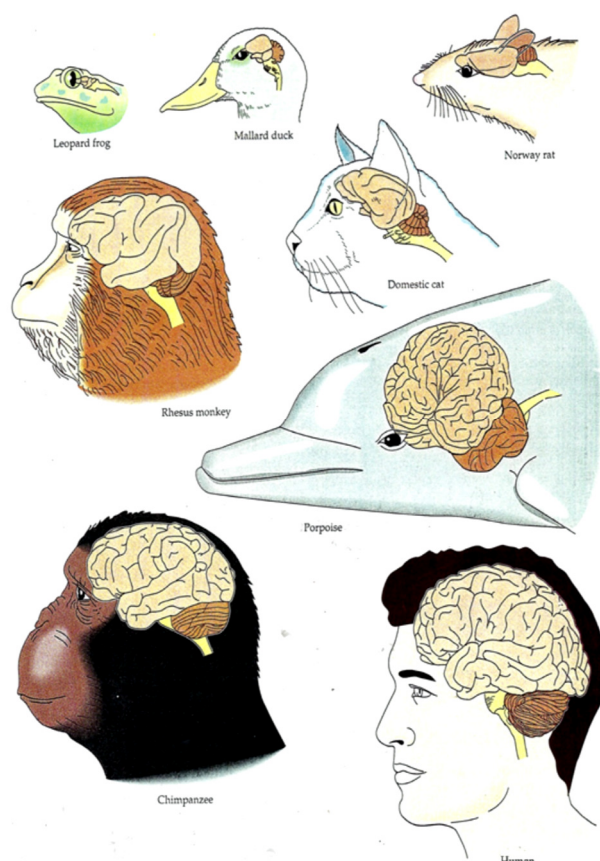


Figura 8. Ilustração comparando sistema nervoso central de vertebrados (Adaptado de Rosenzweig et al., 1996)

Os répteis

Os répteis primitivos (há 350-290 milhões de anos atrás) originaram os atuais como tartarugas, crocodilos, cobras. Possuem cérebro mais complexo o que permite às criaturas reagir a estímulos, procurar comida, acasalamentos, fugir de predadores.

Presume-se que os peixes que migraram para a terra, possam ter originado alguns répteis primitivos que evoluíram para os atuais.

Os vertebrados inferiores e primatas

O cérebro dos vertebrados parece ter sido submetido a um “programa” próprio de evolução. Ao longo da evolução os primatas incorporaram estruturas neurais observáveis em animais com sistema nervoso de menor complexidade (Figura 9).

Neste longo percurso evolutivo o cérebro humano aglutinou 3 unidades (cérebro triuno, estrutura triádica). O primeiro estágio evolutivo é o *arquipálio*, o cé-

rebro reptiliano (de lagarto). É composto de parte do hipotálamo, tronco cerebral. São circuitos neuronais direcionados para a manutenção das funções vitais básicas: respiração, circulação, digestão, reprodução, mecanismos de agressão, comportamento repetitivo. O segundo estágio evolutivo é o *paleopálio* o cérebro felino (mamíferos primitivos), formado pelo sistema límbico (essencialmente, bulbo olfatório, hipocampo, amígdala, corpo mamilar). A evolução gravou ali muitas das experiências primevas de nossos antepassados, pelo padrão de ativação de neurônios. Cria-se ali sentimentos e emoções: raiva, paixão, ciúmes, saudades, ódio, agressividade, pavor por exemplo a visão de uma aranha caranguejeira que se aproxima da pessoa.



Figura 9. Sistema límbico (ilustração do autor).

A terceira fase evolutiva é o *neopálio*, o cérebro mamífero moderno. Sobre as estruturas anteriores, acrescenta-se a camada do córtex cerebral (o neocórtex). É o cérebro pensante, aprende a habilidade de usar a linguagem/números, desenvolve memória, pensamento abstrato, criatividade. O córtex pré-frontal é onde o planejamento, os julgamentos são formados. Todavia, os 3 milhões de anos no desenvolvimento do cérebro (do de lagarto até o mamífero recente) se repetem na fase de embrião humano durante a gestação. No desenvolvimento do embrião recapitula (ontogenia) o caminho evolucionário dos antecessores.

Implicações educacionais

O consumo de drogas e álcool pela gestante durante a gravidez, podem deixar o bebê e depois a criança após o parto no nível evolutivo “lagarto & felino”. O adulto, diferentemente do adolescente, em geral faz

bloqueio do seu sistema límbico em determinadas situações, e impera a lógica, há acesso a memória de fotos anteriores. Por exemplo, ao ouvir um insulto isto pode lhe despertar ódio mortal, até o córtex pré-frontal perceber que o comentário desairoso de fato foi feito para outra pessoa que estava no grupo. O cérebro do adolescente humano nesta região é a última a amadurecer (21-25 anos). Em termos educacionais, as conexões entre neurônios estão em progresso, o que afeta a capacidade emocional e habilidades mentais e físicas. O professor da pré-escola e séries iniciais pode participar no ensino de “conhecimento emocional”. Pode pedir que os alunos nomeiem sentimento se demonstrem expressão de “estar triste”. Pode apresentar emoções já estudadas na população mundial estampadas em cartazes como gravuras e fotos de pessoas nesta situação. As crianças podem também aprender interpretar sinais menos evidentes, como rapidez na fala, entonação de voz, gestos, postura corporal. Ações na educação artística (pinturas, cantigas, teatrinho, jogos de simulação) fazem excelente contribuição.

Exemplos de atividades dos “3 cérebros”:

- Quando você se levanta pela manhã, toma banho, escova os dentes, penteia os cabelos, toma seu café e vai trabalhar, está usando de certa forma a “inteligência reptiliana”;
- O cérebro cria rotinas automáticas para evitar que você gaste tempo pensando como “escovar os dentes”;
- Ou quando alguém se senta no seu lugar à mesa no jantar em família, você fica perturbado e derrama o vinho na toalha;
- Quando você ri, chora, zanga-se ou se aborrece com alguém, trata-se da ativação do seu sistema límbico (estágio felino). Ao vivenciar formas de emoção elas se expressam na face como sorrisos, lágrimas, franzir da testa;
- Quando você vê um “cara” encostado na árvore próximo do portão de sua casa, parece que ele está em atitude suspeita, não confiável. O seu neocórtex direito “conversa” com o esquerdo, repassa lembranças e avisa: fique alerta com este “cara”.

Conclusão

Os circuitos do cérebro humano foram “construídos” evolutivamente para extrair uma representação razoável da realidade, uma representação simbólica, no qual este órgão pode se comportar de modo adaptativo e criativo. O ser humano percebe, reconstrói e resgata somente pequena porção da realidade externa, de acordo como evoluiu na detecção de estímulos pelos sistemas sensoriais.

Há preocupação do pesquisador em investigar o desenvolvimento do cérebro humano e o cognitivo comparativamente as espécies na perspectiva evolutiva que antecederam este órgão. O domínio e bom aproveitamento nas disciplinas escolares tais como alfabetização científica, numerosidade, leitura e suas dificuldades, aritmética e informática. Procura-se conhecer melhor o desenvolvimento das funções executivas na infância e adolescência com relação ao desempenho escolar, e a taxa de sono nos resultados de aprendizagem.

Referências

- Cannon, W. B. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiological Review*, 9:399-431.
- Cox, F. E. G. (1969). *Practical Invertebrate Zoology*. London: Sidgwick & Jackson.
- Galambos, R. (1965). *Nervos e músculos*. São Paulo: Editora Edart.
- Galvani, L. (1791) De viribus electricitatis in motu musculari commentaries. *De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii*, 7, (pp. 363-418).
- Goodrich, E. S. (1958). *Studies on the structure and development of vertebrates*, vols. I, II. New York: Dover Publications.
- Hall, Z. W. (1992). [Edt.] *An introduction to molecular neurobiology*. Sunderland: Sinauer Associates, pp. 474-484.
- Muedra, V. (1959). *Atlas de Anatomia Animal*. Rio de Janeiro: Livro Ibero-Americano.
- Ramón Y Cajal, S. (1911). *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés*. Paris: A. Maloine.
- Rose, P. R. S., & Chalmers, N. R. (1971). *Biological Bases of Behaviour*. Milton Keynes: The Open University
- Rosenzweig, M. R., Leiman, A. L., & Breedlove, S. M. (1996). *Biological Psychology*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Schmidt-Nielsen, K. (1975). *Animal Physiology-adaptation and environment*. London: Cambridge University Press.