

Nelson F. Anunciato

Neurocientista;  
Professor do Programa de  
Pós-Graduação em Distúrbio  
do Desenvolvimento da  
Universidade Mackenzie-São Paulo.

## O sistema auditivo e os processos plásticos do sistema nervoso

**S**empre que se fala sobre o Sistema Nervoso — SN —, devemos ter em mente que ele é um todo, único, indivisível, cindido apenas com finalidades didáticas. Assim, ainda que se faça uma divisão anatômica e funcional do SN, ele se desenvolve, organiza, processa, aprende e reage como um todo.

Para que este SN possa se organizar adequadamente, necessita-se de:

- um *programa genético básico* e
- fatores epigenéticos*, ou seja, todos os fatores que não pertencem ao programa genético básico: os fatores ambientais.

Através dos dois itens acima, temos a *biografia* de cada indivíduo, a qual é a base para as diferenças individuais. Este conceito se torna altamente importante para a compreensão do

desenvolvimento pré e pós-natal normais, bem como de seus distúrbios, para exames funcionais, diagnósticos e prognósticos.

O *programa genético básico* oferece possibilidades importantes para um desenvolvimento normal, ou não, do SN, haja vista que determinadas mutações neurogênicas culminam em diferentes graus de má formação neuroanátomo-funcional.

Os *fatores epigenéticos*, por sua vez, não alteram o programa genético básico, mas influenciam a expressão deste programa. Como exemplo clássico, pode-se citar a Síndrome da Privação, onde crianças hospitalizadas ou que

são criadas em orfanatos por longo período, têm, geralmente, um atraso na aquisição de uma série de funções sensitivo-motoras, como, por exemplo, atraso na aquisição da linguagem articulada.

Desta forma, para que o *sistema auditivo* possa se organizar de maneira adequada e dentro do seu período sensível, temos que contar com a participação de um programa genético normal e um meio ambiente adequado, não só do ponto de vista de quantidade, mas, significativamente, do ponto de vista de qualidade dos estímulos.

### Função da plasticidade nervosa sob condições normais

O que é e para que serve a plasticidade nervosa? Apesar de toda a resistência, algumas décadas de pesquisas científicas demonstraram que a plasticidade nervosa não ocorre apenas em processos patológicos, mas assume, também,

**“...o sistema auditivo possa se organizar de maneira adequada e dentro do seu período sensível, temos que contar com a participação de um programa genético normal e um meio ambiente adequado, não só do ponto de vista de quantidade, mas, significativamente, do ponto de vista de qualidade dos estímulos.”**

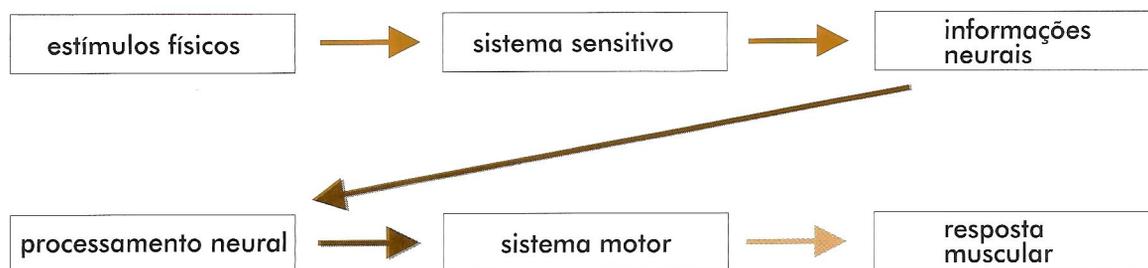


Fig. 1. Esquema dos fenômenos que compreendem desde a codificação de estímulos físicos através de receptores, até a resposta motora.

funções extremamente importantes no funcionamento normal do organismo. Aqui, por exemplo, podemos citar as importantes organizações das conexões nervosas que têm lugar durante o desenvolvimento geral do indivíduo [SCHÄFGEN (1991)]. Muitas dessas conexões, como sabemos, não podem ser determinadas apenas por um programa genético e, mais tarde, no adulto, suas funções neuronais de *adaptação* dependerão de condições do ambiente. Uma das primeiras formas de plasticidade nervosa é, com frequência, denominada de *amadurecimento estímulo-dependente* (fatores epigenéticos) do Sistema Nervoso Central (SNC). Uma segunda forma da plasticidade, em um organismo normal, pode ser

entendida como *processo de aprendizagem*, no qual são considerados, tanto o aprendizado neuromuscular quanto o aprendizado cognitivo (memória). Os dois processos se baseiam em mecanismos fisiológicos semelhantes e constituem a base para uma *organização normal do sistema nervoso, bem como para uma reorganização após processos lesionais*. O que torna esses processos especialmente interessantes é o fato de que eles são direcionados por atividade neural e, por conseguinte, são influenciados através de estimulação periférica, uma vez *que todas as percepções do nosso corpo e do meio que nos rodeia são captadas e conduzidas ao SNC através dos sistemas dos sentidos*.

Desta maneira, os órgãos dos sentidos são responsáveis pela captação dos estímulos físicos, para que os mesmos possam ser transformados em informações neurais. A partir daí, o SN pode processar as informações para que as mesmas se transformem, posteriormente e de acordo com a necessidade, em atividade muscular (fig. 1):

Em outras palavras, a seqüência de eventos que acontecem neste processo, pode ser assim resumida:

- captação dos estímulos físicos (codificação);
- transporte dos códigos até o SNC;
- decodificação pelo SNC;
- avaliação sobre a importância/urgência das respostas a serem dadas;
- integração, a fim de que o sistema possa desenvolver uma memória e possa comparar informações;
- preparação do(s) movimento(s); e,
- execução do(s) movimento(s).

**“...os órgãos dos sentidos são responsáveis pela captação dos estímulos físicos, para que os mesmos possam ser transformados em informações neurais.”**

**“...o porquê de uma criança nascida com surdez profunda poder balbuciar sem, porém, poder desenvolver, a contento, uma linguagem articulada normal.”**

Para exemplificar de maneira ainda mais clara, partamos do exemplo de um indivíduo, o qual foi concebido com um programa genético e desenvolvimento pré-natal normais. Ainda que vários neurônios devam, mesmo após o nascimento, dar continuidade ao processo de multiplicação (proliferação), migração, agregação e formação de sinapses, este indivíduo já conta com um número de neurônios nas áreas corticais auditivas primárias (lobo temporal), na área da compreensão da linguagem (Wernicke), na área expressiva da linguagem (Broca), nas áreas sensitivo/pré-motora (homúnculo) e nos núcleos de nervos encefálicos (tronco-encefálico) vinculados à produção de fonemas. Entrementes, as conexões entre estas diferentes áreas devem tomar lugar e necessitam, agora, de estímulos externos (fatores epigenéticos). Com os sons externos, os neurônios podem dar continuidade ao processo de organização do SN

vinculado à linguagem articulada. Caso, porém, os estímulos externos não tenham acesso adequado ao córtex auditivo, os neurônios desta área apresentarão dificuldades em formar conexões com a área de compreensão (Wernicke) e, assim, sucessivamente, com as demais áreas e neurônios. É isto que explica o porquê de uma criança nascida com surdez profunda poder balbuciar sem, porém, poder desenvolver, a contento, uma linguagem articulada normal. Neste momento, mais uma vez, temos que nos valer dos fatores externos (programa terapêutico) para aumentar, ainda mais, a qualidade dos estímulos físicos, neste caso, auditivos, em uma tentativa de auxiliar, mais ainda, um desenvolvimento do SN mais próximo do normal.

**Base da organização microfuncional do SNC**

Em nível celular, o SNC pode

ser entendido como um entrelaçamento de várias conexões de diferentes células nervosas. Através dos dendritos, as células nervosas podem receber informações, as quais, na célula, são, geralmente, transformadas em atividade elétrica. As células nervosas fazem um verdadeiro somatório de todas as informações que deságuam sobre elas e, em resultado positivo, essas informações, em forma de atividade elétrica, são, então, transportadas pelo seu(s) axônio(s) até à(s) subsequente(s) célula(s) nervosa(s). Esses axônios, por sua vez, através de sinapses elétricas, químicas, ou mesmo gasosas, estabelecem contatos com os dendritos, corpo celular e ou axônios das outras células nervosas.

O cérebro se divide, grosso modo, de acordo com suas funções, em área sensitivo/pré-motora e áreas associativas. A área predominantemente sensitiva serve para a análise e o processamento de estímulos; a área predominantemente pré-motora, para o planejamento (plano e ordem) dos movimentos conscientes voluntários. Já, as áreas associativas integram as informações dos diferentes sistemas sensitivos e pré-motores e, por conseguinte, deixa-os à mercê de uma complexa coordenação do planejamento de movimentos e/ou comportamentos. Em outras palavras, essas áreas tratam da conversão da percepção em reação.

Os neurônios sensitivos do córtex reagem com impulso elétrico quando os receptores periféricos são estimulados. Esses neurônios não reagem indiferentemente a cada forma de estímulo; pelo contrário, reagem somente a excitações determinadas e limitadas. A limitação depende tanto da *localização do estímulo*, por exemplo: estimulação auditiva ou mesmo a posição de uma parte do corpo; quanto da *qualidade do estímulo*, por exemplo: intensidade, velocidade e ritmo de movimento.

Uma vez que os neurônios são organizados para responder aos estímulos respectivos e específicos, e que essa reação cortical é uma reação em cadeia, há, dentro de uma mesma região nervosa, uma subdivisão funcional contínua. Dessa maneira, têm-se, no córtex, representações de várias partes dos corpo: *mapa cortical*. No lobo temporal, por sua vez, o córtex auditivo recebe, de maneira organizada, as várias frequências sonoras que constituem um verdadeiro *mapa auditivo (tonotopia)*. A disposição deste mapa auditivo e a organização do tecido nervoso são, de maneira geral, designados como *organização neuro-funcional*.

Esse tipo de organização neural faz com que estímulos oriundos de diferentes órgãos dos sentidos sejam analisados simul-

taneamente. Assim, quanto mais significado e importância tiver o estímulo, tanto mais neurônios devem estar disponíveis.

A seguir, discorrer-se-á um pouco sobre como esse mapa cortical é modificável e como o SNC está em condições de compensar a perda de uma região.

#### Reorganização do córtex auditivo após uma lesão central

A possibilidade da reorganização do córtex auditivo têm sido alvo de várias investigações. Como se sabe e mencionado acima, o córtex auditivo é organizado tonotopicamente, ou seja, possui uma representação fiel da cóclea no que tange à ordem das frequências codificadas. Assim, os sons de alta frequência captados na base da cóclea, projetam-se para níveis mais altos do lobo temporal, enquanto os sons de baixa frequência, captados no ápice da

cóclea, projetam-se para níveis mais caudais.

Um dos primeiros e mais interessantes trabalhos nesta área, foi realizado por Robertson e Irvine (1989). Após provocar lesão coclear, por exemplo, no segmento responsável pela codificação de 10 KHz, os neurônios da área cortical correspondente não exibem nenhuma atividade elétrica à frequência de 10 KHz. Entretanto, eles podem ser ativados através de sons de intensidades maior, por exemplo, de + 30dB. Após um mês ou mais, os neurônios desta mesma área cortical (fig. 2) passam a responder às frequências imediatamente acima e abaixo daquela que fora lesada (10 KHz). Conclui-se, então, que o córtex auditivo têm a capacidade de expandir as representações das frequências adjacentes.

Essa observação esclarece os mecanismos que têm lugar na plasticidade do mapa cortical, ou

**“Os neurônios sensitivos do córtex reagem com impulso elétrico quando os receptores periféricos são estimulados.”**

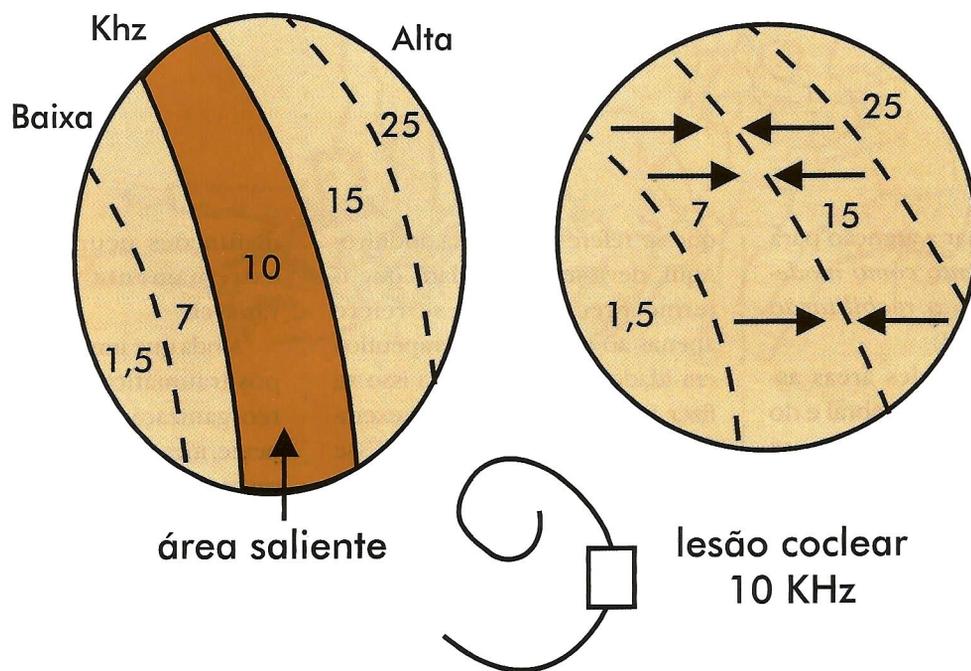


Fig. 2. Reorganização do córtex auditivo após lesão parcial da cóclea. Lesões em segmentos da cóclea (abaixo) culminam em modificações da área cortical correspondente (acima). Inicialmente, os neurônios da área cortical privada deixam de exibir atividade elétrica formando uma zona altamente deprimida aos estímulos auditivos. Consegue-se ativação desta área a partir do aumento de 30 dB. Após um mês, ou mais, os neurônios desta área respondem à frequências que eram representadas nas adjacências, neste caso, 7 e 15 KHz. A plasticidade se dá, evidentemente, de forma gradual. Baseado em Robertson & Irvine, 1989.

**“Sabe-se que a reorganização que ocorre no sistema nervoso, utiliza-se tanto da formação de novas conexões, quanto do fortalecimento das mesmas e das já existentes.”**

seja, a estimulação periférica significa uma forte excitação nos neurônios da área cortical que representa a região estimulada. Para tanto, deve-se ter em mente que a atividade neural ou, mais precisamente, um padrão es-

pecífico de atividade neural, talvez sirva como um dos componentes do mecanismo da plasticidade neural. Ela tem, por assim dizer, um efeito protetor e benéfico e pode ser utilizada para tornar mais fortes as representações

tonotópicas e ou somatotópicas (representação do corpo) enfraquecidas por distúrbios e/ou lesões.

Sabe-se que a reorganização que ocorre no sistema nervoso, utiliza-se tanto da formação de novas conexões, quanto do fortalecimento das mesmas e das já existentes. É oportuno reforçar que esses dois processos ocorrem durante o processo de desenvolvimento individual, no qual vários fatores epigenéticos desempenham um papel vultoso, o que

nos leva a chamar a atenção para o *desenvolvimento como modelo também para a reabilitação* (ainda que parcial).

Devido às grandes áreas associativas do córtex cerebral e do SN, não se deveria pensar em se treinar apenas e unicamente a região comprometida, pois isso estaria muito longe da verdade do desenvolvimento sensitivo-motor amplo e normal. E, se o sistema nervoso é um todo, único, indivisível, cindido apenas com finalidades didáticas, devemos atentar para o paciente como um todo e *terapiá-lo também como um todo*, fornecendo, dessa forma, dentro da cronologia e do grau de complexidade da organização do SN, as informações e estímulos epigenéticos adequados.

que se refere ao sistema auditivo. Aqui, deve-se deixar claro que o termo precocemente se refere apenas ao tratamento terapêutico em idades baixas, quando isso se fizer necessário, como por exemplo, em crianças de alto-risco. Esse termo, entretanto, nunca deverá ser confundido com conduta terapêutica, na qual o paciente receba estímulos aquém de sua idade cronológica e ou neurológica, tais como, ensinar uma criança de três anos a ler, escrever e fazer cálculos matemáticos.

Uma pergunta importante que ocorre durante as medidas terapêuticas é até quando ou até que ponto a terapia ainda tem sentido. Não há, infelizmente, até o momento, nenhuma regra para tal, pois isso fugiria ao esclarecimento

disfunções neurais podem ser extremamente complexas e variáveis.

Ainda que um processo plástico pós-traumático possibilite uma reorganização funcional permanente, mesmo assim essa restituição re-aprendida pode, novamente, perder-se caso ela não seja utilizada a longo prazo [PÖPPEL *et alii*, (1978)]. Como consequência disso, vemos que, deve tomar parte da reabilitação de uma função uma frequência, uma duração e uma intensidade de exercícios.

Acreditamos ser óbvio que condutas terapêuticas sejam tomadas não somente em relação a pacientes sabidamente lesados, mas também a pacientes que apresentem disfunções menores, como um atraso de desenvolvimento, por exemplo, ou mesmo para pacientes que tenham certas inadequações neurológicas, como, por exemplo, dislexia ou ainda integrações neuromusculares inadequadas em pacientes retrognatas e respiradores bucais.

Deixaremos de discutir aqui, por questões de espaço, os fatores neurotróficos que estão intimamente envolvidos nos processos plásticos do sistema nervoso. Este assunto deverá ser tema de um próximo artigo.

**“...devemos atentar para o paciente como um todo e terapiá-lo também como um todo, fornecendo, dessa forma, dentro da cronologia e do grau de complexidade da organização do SN, as informações e estímulos epigenéticos adequados.”**

Lógico se torna que as medidas terapêuticas deveriam começar precocemente no sentido de se tentar evitar distúrbios maiores do desenvolvimento, mormente no

das *diferenças individuais*. Além dessa pergunta não poder ser pesquisada cientificamente em seres humanos, temos o fato de que diferentes tipos de funções e

### Referências Bibliográficas

ANNUNCIATO, N.F. *A Plasticidade do Sistema Nervoso*. In: Patofisiologia Oral — vol. I, São Paulo: Ed. C.R. Douglas; Pancast Editora, (cap. 20, 354-369), 1998.

\_\_\_\_\_ e DA-SILVA, C.F. *Regeneração do sistema nervoso e fatores neurotróficos*. In: Patofisiologia Oral — vol. I. São Paulo: Ed. C.R. Douglas; Pancast Editora, (cap. 21, 370-379), 1998.

\_\_\_\_\_. *Patologia do Desenvolvimento do Sistema Nervoso*. In: Patofisiologia Oral — vol. II. São Paulo: Ed. C.R. Douglas; Pancast Editora, (cap. 59, 358-377), 1998.

\_\_\_\_\_. *Sozialentwicklung und Entwicklungsförderung im Kindesalter auf der Grundlage der Plastizität des Nervensystems*. In: *Kindliche Sozialisation und Sozialentwicklung — Fortschritte der Sozialpädiatrie 2*. Ed. Th. Hellbrügge; Hansisches Verlagskontor Lübeck, (p.87-112), 1999.

BIRBAUMER, N. e SCHMIDT, R.F. *Biologische Psychologie*. Springer Verlag Heidelberg, 1990.

KAAS, J.H. *Plasticity of sensory and motor maps in adult mammals*. Annu. Rev. Neurosci. (14: 137-67), 1991.

LUND, R. *Development and plasticity of the brain*. Oxford University Press, New York, 1978.

NICCHOLLS, J.G. *Repair and regeneration of the nervous system*. Dahlem Konferenzen. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1982.

PÖPPEL, E. *Neural mechanisms in visual restitution*. Human Neurobiology, vol. 1, 1982.

PÖPPEL, E.; BRINKMANN, F.; CRAMON, D. von; SINGER, W. *Association and dissociation of visual functions in a case of bilateral occipital lobe infarction*. Archiv. f. Psychiatrie u. Nervenkrankheiten (225: 1-21) 1978.

POSNER, U. e SEDLMAIER, P. *Neuropsychologische Rehabilitation bei Schädel-Hirn-Traumatiken*. Zeitschrift für Neuropsychologie (1:4-22), 1990.

ROBERTSON, D. e IRVINE, D.R.F. *Plasticity of frequency organisation in auditory cortex of guinea pigs with partial unilateral deafness*. J. Comp. Neurol. (282:456-71), 1989.

SCHÄFGEN, R. *Die Entwicklung der Wahrnehmung*. Praxis Ergotherapie, Heft 4, August 1991.

SINGER, W. *Neuronale Mechanismen der erfahrungsabhängigen Ausreifung visueller Funktionen*. Verh. der deutschen Zoologischen Gesellschaft (78:119-36), 1985.

STEMME, G. e LAAGE-HELLMAN, A. *Frühkindliche Bewegungsentwicklung. Beschäftigungstherapie und Rehabilitation*, Heft 3, mai., 1990.

TSUKAHARA, N. *Synaptic plasticity in the mammalian central nervous system*. Annu. Rev. Neurosci. (4: 351-79), 1981.