

NEUROANATOMIA FUNCIONAL

Anatomia das áreas activáveis nos usuais paradigmas em ressonância magnética funcional

JORGE RESENDE PEREIRA, ANA MAFALDA REIS, ZITA MAGALHÃES
Serviço Médico de Imagem Computorizada (SMIC). Porto

RESUMO/SUMMARY

Com base em casos da sua própria experiência, os autores descrevem resumidamente o mapeamento cortical relacionado com as principais funções cerebrais, investigadas por Ressonância Magnética Funcional (RMF).

Palavras-chave: Neuroanatomia, ressonância magnética funcional, RMF

FUNCTIONAL NEUROANATOMY - Cortical mapping in usual paradigm in functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

Using cases of their own experience, the authors describe the cortical mapping related with the main brain functions they had investigated by Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI).

Key words: Neuroanatomy, functional magnetic resonance, fMRI

INTRODUÇÃO

Com casos demonstrativos da sua experiência em Ressonância Magnética Funcional (RMF), os autores pretendem dar resumidamente uma perspectiva anatómica das diferentes áreas eloquentes, de activação nos paradigmas mais frequentemente por eles praticados, no que concerne à motricidade, linguagem, audição, visão e memória.

Não serão aqui exemplificados estudos relacionados com o olfacto, oculomotricidade, leitura, bem como estudo do sistema vestibular, embora possamos referir alguns destes aspectos no decurso da nossa exposição.

Todos conhecemos as grandes potencialidades da RMF na investigação em neurologia, neurocirurgia, neuropsiquiatria, otorrinolaringologia, etc., e os arrebatadores estudos que têm sido realizados no que respeita à emoção, às doenças afectivas, à activação encefálica na dor, aos efeitos farmacológicos das mais

diversas drogas, como por exemplo a cocaína e a nicotina.

Todos os campos de investigação em Neurociências estão abertos à RMF, que pouco a pouco vem substituindo métodos mais complexos, agressivos e onerosos, como a PET, cada vez mais em desuso ou o teste de John Wada no estudo da esclerose mesial.

Procuraremos aqui recordar a localização anatómica das principais áreas activáveis, nos diversos paradigmas que rotineiramente começámos a utilizar no dia a dia da nossa actividade Neurorradiológica, nas diferentes investigações em RMF.

Demonstraremos com casos clínicos do nosso arquivo e com esquemas elucidativos, por nós elaborados.

1 – MOTRICIDADE E SENSIBILIDADE¹⁻⁸

O SM 1 (córtex sensorio-motor primário) tem uma conhecida organização somatotópica, e quando se utilizam paradigmas sensitivo-motores é fundamental a identificação

da região perirrolândica e do sulco central (figura 1), que nos permite separar as circunvoluções frontal ascendente (córtex motor) e parietal ascendente (córtex sensitivo). Ambas as circunvoluções apresentam uma constituição somatotópica ao longo da sua extensão, em que a função da extremidade inferior se localiza na face medial do hemisfério cerebral, ao nível do vertex.



Fig.1 - O ómega representa o sulco central e o "bigode" corresponde ao sulco cingular.

Assim, e de acordo com o homúnculo de Penfield (figura 2), vamos encontrar sucessivamente, de cima para baixo, as áreas de activação do pé (figura3), da mão (figura 4 A e B) dos lábios (figura 5) e da língua (figura 6).



Fig.2 - O homúnculo de Penfield mostra a organização somatotópica do córtex motor.

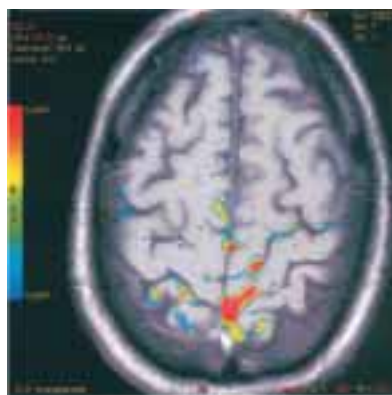


Fig. 3 - Foco de activação do pé.



Fig.4 - Focos de activação motora (A) e sensitiva (B) da mão.

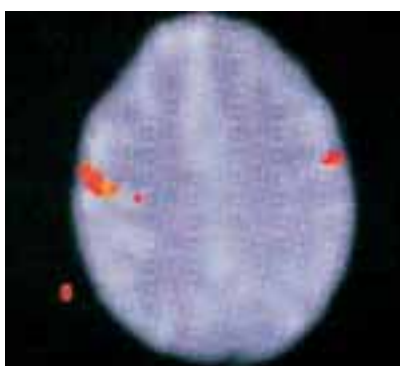


Fig.5 - Foco de activação dos lábios, neste plano visível à direita (obtiveram-se focos de activação bilateral). Imagem EPI sem sobreposição anatómica.

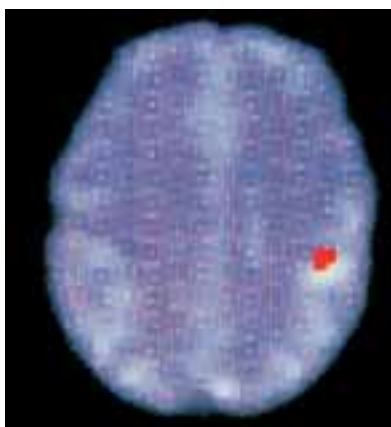


Fig.6 - Foco de activação resultante da mobilização da língua. Imagem EPI, sem sobreposição anatómica.

A determinação das áreas motoras tem sido útil na investigação de tumores ou outras lesões com carácter expansivo, permitindo ao neurocirurgião correlacionar a sua localização em relação a áreas eloquentes, que deverão ser preservadas no acto cirúrgico.

As lesões ocupando espaço (LOE) condicionam frequentemente uma distorção anatómica considerável, tornando impossível a identificação do sulco central, para além de deslocarem as áreas do córtex motor ou sensitivo (figura 7).

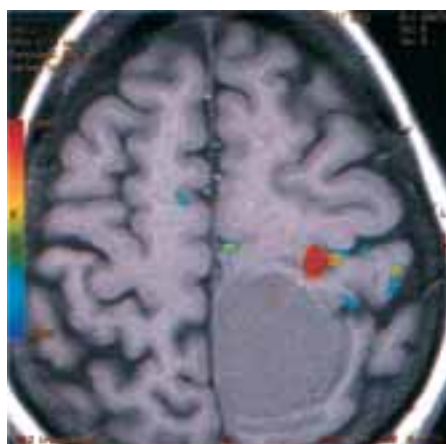


Fig.7 - LOE que desloca a área motora da mão direita para diante, pelo efeito de massa que condiciona sobre a circunvolução frontal ascendente.

É importante determinar a distância das áreas activadas à margem aparente da lesão, e segundo os trabalhos de Yetkin et al, quando aquela excede os 2 cm a ressecção é segura, ao passo que quando se situa entre 1 a 2 cm, 33% dos doentes apresentam défices pós-cirúrgicos, e quando é inferior a 1cm há mais de 50% de doentes com sequelas.

Quando as áreas eloquentes se situam adjacentes à lesão, opta-se frequentemente por uma remoção parcial e/ou eventual radioterapia.

2-LINGUAGEM⁴⁺¹¹

“In Spain the rain, stains mainly in the plain”.

A Linguagem é, na opinião de vários autores, uma função complexa, constituída por um conjunto de processos que permite a comunicação

Trata-se da capacidade de armazenar, evocar e combinar símbolos numa permuta inesgotável de expressões que permitem a elaboração do pensamento. Quer eu pense, logo exista, quer exista, logo pense (que se entendam Descartes e Damásio...), e sendo o pensamento um *perpetuum mobile*, estamos perpetuamente a utilizar a linguagem, ou não fosse o pensamento uma forma de linguagem, pois quando penso, falo com os meus botões!

Todos conhecemos o *modelo clássico* da linguagem, baseado no estudo de doentes afásicos, com diferentes lesões cerebrais.

Segundo este modelo há uma área frontal *expressiva* para planeamento e execução da fala e movimentos de escrita, designada por área de Broca (1861), e uma área posterior, *receptiva*, para análise e identificação dos estímulos linguísticos sensoriais, designada por área de Wernicke (1874).

As tarefas linguísticas requerem processos complexos em que interferem a informação sensorial **visual** e **auditiva**,

a **atenção**, a realização de operações comparativas e outras operações sobre a informação obtida, a selecção de uma resposta baseada em tais operações e expressão da referida resposta.

A linguagem não é pois uma função ou capacidade estanque, estando relacionada e dependente de outros tipos de função que incluem a AUDIÇÃO, VISÃO, ATENÇÃO e mesmo a MEMÓRIA, não esquecendo a função MOTORA, necessária para a produção dos sons, que se constituem em palavras, as quais são agrupadas em frases com determinado sentido ou significado.

Assim, no processo da LINGUAGEM podemos considerar:

1 – A **Fonética**, que constitui o processo que governa a produção e percepção dos SONS falados.

2 – A **Fonologia**, conjunto de regras específicas da linguagem, através das quais os SONS são representados e manipulados, permitindo a construção de palavras.

3 – A **Semântica**, que permite atribuir um significado às palavras ou nomes.

4 – A **Sintaxe**, que permite utilizar as palavras, já com um conhecimento do seu significado e assim construir frases.

São múltiplas as aplicações da RMF no estudo da linguagem e na activação das diferentes áreas com ela relacionadas, como na avaliação da relação das mesmas com lesões expansivas, tumorais ou inflamatórias, para adequada informação do neurocirurgião, no estudo de doentes com esclerose mesial (é conhecida a polémica alternativa da RMF ao Teste de Wada), na investigação longitudinal de doentes com Doença de Alzheimer, observando a *degradação* da linguagem nestes doentes. Estão em curso estudos acoplados de RMF e Diffusion Tensor Imaging (DTI) em doentes esquizofrénicos, tentando com testes de fluência verbal e de decisão semântica determinar as áreas de Broca e Wernicke e a sua interligação através do fascículo arqueado, que se pensa poder estar interrompida neste grupo de pacientes.

As principais áreas que vamos activar nos paradigmas para o estudo da linguagem são:

I – ÁREA DE BROCA – Ocupa a circunvolução frontal inferior (*pars opercularis* e um pequeno segmento posterior da *pars triangularis*), no *hemisfério dominante* (figura 8 A e B). Corresponde à área 44 de Brodmann, e às margens das áreas 6, 12, 45 e 47. Constitui o componente sintáctico-articulatório da linguagem e sabe-se que muitas mulheres (mas não os homens) têm também áreas motoras da fala nas circunvoluções frontais inferiores bilateralmente. Gera sinais para a musculatura (dependente do córtex motor) produzir sons significativos.

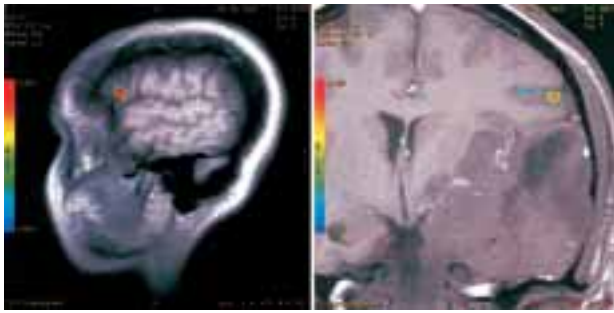


Fig. 8 - (A e B) - Dois exemplos de activação da área de Broca, em testes de fluência verbal.

O doente com lesões desta região tem dificuldade na produção/articulação das palavras, apesar de manter a sua capacidade musical (hemisfério direito), e poder cantar correctamente uma melodia.

Mantém uma boa compreensão da linguagem falada e escrita.

É conhecido o fenómeno da **plasticidade neuronal**, em que lesões de crescimento lento, independentemente do efeito mecânico por elas produzido sobre as estruturas circum-adjacentes, condicionam um deslocamento das áreas funcionais, que alteram a sua localização para outra área anatómica (*anatomic shift*). Pode até haver deslocamento de uma área eloquente para o hemisfério oposto.

A recuperação após uma afasia de Broca envolve uma mudança transitória da função para o hemisfério direito, seguida de um retorno à lateralidade esquerda, como já se tem constatado na evolução de alguns casos de enfarte da artéria cerebral média esquerda, em estudos longitudinais por RMF.

II – ÁREA DE WERNICKE – Localiza-se no segmento posterior do gyrus temporal superior, na sua face dorsal, logo atrás da circunvolução de Heschl e adiante do gyrus angularis (figura 9 A e B).

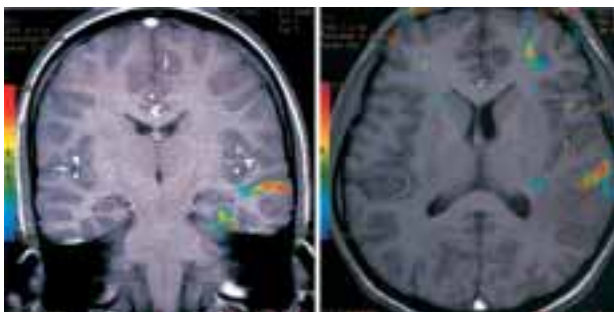


Fig. 9 - (A e B) - Dois casos de activação da área de Wernicke, em testes de fluência semântica, na proximidade de lesões expansivas.

Corresponde às áreas 22, 37, 39 e 40 de Brodmann e constitui o componente léxico-semântico da linguagem.

Há autores que postulam uma *organização hierárquica dorso-ventral do lobo temporal*, no processamento da fala.

Segundo este modelo, a informação segue de cima para baixo, das regiões relacionadas com a audição, na circunvolução temporal superior (CTS) que respondem a aspectos simples do sinal auditivo (córtex auditivo primário), aos lábios do sulco temporal superior (STS) e face lateral da circunvolução temporal superior relacionados com fenómenos auditivos mais complexos, e abaixo do STS, na face látero-ventral do lobo temporal, às regiões relacionadas com os *processos léxico-semânticos* (fig.10).

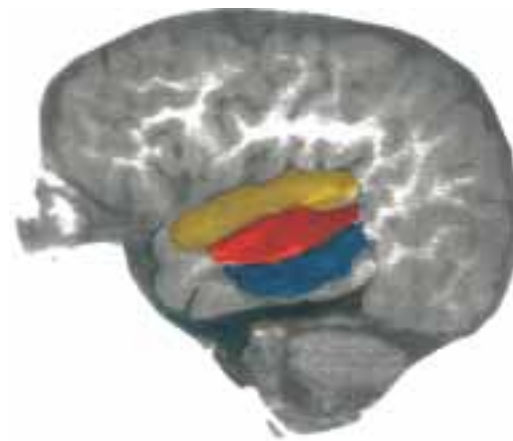


Fig.10 - Modelo hipotético da organização hierárquica dorso-ventral do lobo temporal esquerdo.

Segundo J.R.Binder, recentes estudos de RMF demonstram que os processos léxico-semânticos envolvem um número de regiões no *hemisfério dominante*, localizados nos lobos TEMPORAL, PARIETAL e região PRÉ-FRONTAL.

Nos testes de *DECISÃO SEMÂNTICA* são utilizados sistemas de ATENÇÃO, MEMÓRIA de trabalho (*working memory*), processos SENSORIAIS e sistemas de resposta MOTORA. São habitualmente utilizados estímulos AUDITIVOS, que estimulam o córtex auditivo.

Assim, os paradigmas semânticos recrutam sistemas auditivos, atencionais, de memória de trabalho e de resposta motora, que podem induzir uma série de áreas de activação, pelo que devem ser utilizados paradigmas *baseline* de subtracção, nas fases de repouso, para evitar uma *colorida e confusa* activação de múltiplas áreas envolvidas e evidenciar apenas aquelas a que se destinam na realidade os paradigmas.

Démonet, Price et al concluíram que num processo semântico estão implicadas pelo menos quatro áreas corticais distintas, no hemisfério esquerdo (figura 11):

1 – Uma REGIÃO TEMPORAL POSTERO-VENTRAL que inclui parte dos *gyri* temporal médio (CTM), inferior (CTI), fusiforme e parahipocampo.

2 – Uma grande região PRÉ-FRONTAL, que inclui os *gyri* frontal superior, inferior, parte do *gyrus* frontal médio e do *gyrus* cingular anterior.

3 – O *GYRUS ANGULARIS*.

4 – A região PERI-ESPLÉNICA, incluindo o *gyrus* cingular posterior e a porção ventral do pré-cúneo.

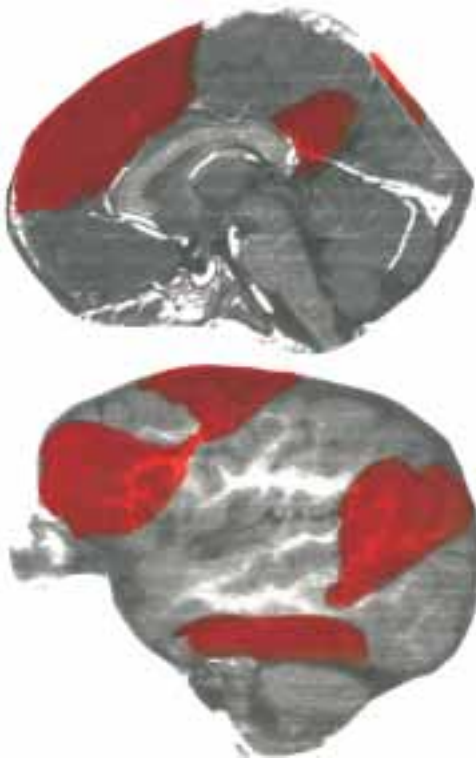


Fig.11 - Modelo sumário das áreas implicadas no processo semântico, incluindo o córtex ventrolateral do lobo temporal, o *gyrus* angular, o córtex pré-frontal, o segmento anterior do *gyrus* cingular e o córtex periesplénico.

III – ÁREA DE DRONKER – Localizada no *gyrus* pré-central da ínsula (ínsula anterior).

Segundo Price, a ínsula anterior corresponderia à verdadeira localização da função que Broca descreveu para o *gyrus* frontal inferior.

As lesões da área de Dronker estão relacionadas com a **apraxia da fala**, isto é, com a programação da musculatura da fala para a produção de sons na ordem correcta e no *timing* correcto.

Os doentes com lesões específicas desta área mantêm

uma boa percepção da linguagem, podem reconhecer e perceber sons falados, mas cometem erros articulatórios, que eles próprios reconhecem.

Os erros articulatórios são ligeiros, aproximando-se da palavra pretendida, ao contrário da **apraxia oral**, que consiste num defeito no planeamento e execução de movimentos orais voluntários com a musculatura laríngea, faríngea, dos lábios e bochechas, embora estejam preservados os movimentos automáticos daqueles músculos.

IV – FASCÍCULO ARQUEADO (*Fasciculus arcuate*)

– Constitui um feixe de fibras que liga as áreas de Wernicke e Broca, estendendo-se entre BA 22 e BA 44 (fig. 12)

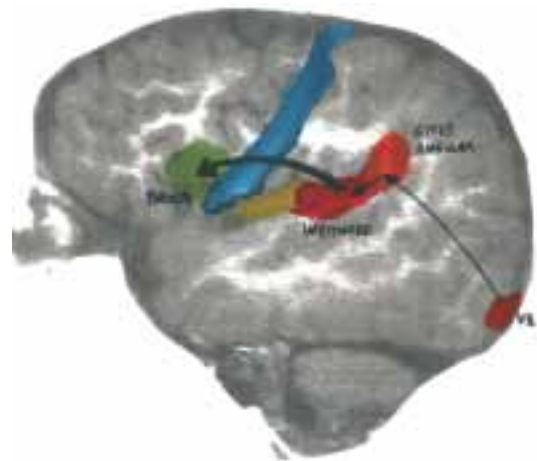


Fig.12 - Modelo de Wernicke-Gerschwind, representando o circuito implicado no processo de repetição de palavras escritas. A seta mais grossa representa o fascículo arqueado.

As lesões do fascículo arqueado dão uma **afasia de condução**, com áreas de Wernicke e Broca intactas, o doente consegue articular correctamente as palavras, compreende o que se lhe diz mas é incapaz de repetir uma palavra.

Curiosamente a dificuldade de repetição é maior para palavras mais pequenas, estando relativamente preservada a capacidade de repetição de números.

3 – AUDIÇÃO ^{6,9}

Intimamente ligado à Linguagem funciona o Sistema Auditivo.

São frequentes as estimulações auditivas nos paradigmas sonoros utilizados para o estudo da linguagem ou da memória.

Os neurónios provenientes do **gânglio espiral da cóclea** integram o **nervo vestibulo-coclear** (o VIII nervo craniano). Este nervo atravessa a cisterna ponto-cerebelosa e os neurónios sensoriais primários terminam nos **núcleos**

cocleares ventral (baixas frequências) e **dorsal** (altas frequências), estando aqueles núcleos localizados ao nível da junção bulbo-protuberancial.

A maioria dos neurónios auditivos secundários ascendem no **lemnisco lateral** contralateral.

As fibras provenientes do núcleo ventral que cruzam a linha média, formam o **corpo trapezoide**.

Algumas fibras que cruzam, sinapsam no **núcleo olivar superior** contralateral, antes de atingirem o lemnisco lateral.

O lemnisco lateral ascende no tegumento pontomesencefálico, terminando no **colículo inferior**. Daqui, os axónios dirigem-se para o **corpo geniculado medial** do tálamo.

Estes neurónios talâmicos enviam os seus axónios, através da cápsula interna, terminando no *gyrus* temporal transvers, onde ocorre a percepção consciente do SOM (figura 13).



Fig.13 - Ativação do córtex auditivo primário, na face dorsal da circunvolução temporal superior, com dominância à direita, pois o paradigma constou na audição biaural de música erudita, do período Barroco. O hemisfério dominante, para a música, é o direito (segundo a nossa experiência, os Rolling Stones estimulam preferencialmente à esquerda).

Como referimos é frequente a estimulação auditiva quando se utilizam paradigmas sonoros nos estudos da linguagem ou da memória, podendo ser subtraídos por uma estimulação sonora de *baseline*, nas fases de repouso (por exemplo, discriminação de tons graves e agudos).

No estudo da audição pode ocorrer a activação dos colículos inferiores (figura 17) e corpos geniculados mediais.

O córtex auditivo primário (A1) localiza-se na circunvolução temporal superior (área 41 de Brodmann), adiante da área de Wernicke.

Apesar da extensa conexão entre as vias aferentes, a maioria da actividade neural que atinge o córtex auditivo primário, origina-se no **ouvido contralateral**.

Existe uma **organização tonotópica** do córtex auditivo primário, sendo a representação tonotópica das baixas frequências lateral e rostral, no A1, e a representação das altas frequências mediana e caudal (posterior).

Se uma surdez pode resultar da ablação bilateral do A1 (por exemplo, num caso de enfartes bilaterais das artérias cerebrais médias), ela está contudo mais frequentemente associada a lesão do ouvido.

Como cada um dos ouvidos envia informações ao córtex homolateral e ao córtex contralateral, a função auditiva permanece mais preservada nas lesões corticais unilaterais. Assim, o défice primário resultante de uma perda unilateral de A1 consiste frequentemente na *impossibilidade de localizar a origem de um som*. No entanto, a discriminação da sua frequência e intensidade mantêm-se normais.

Se num indivíduo normal, submetido a estimulação monaural, há uma activação cortical contralateral predominante, em relação ao ouvido estimulado, num doente com surdez unilateral, se estimulado o ouvido normal, constata-se uma activação bilateral dos A1, mas é muito menos acentuada a disparidade entre a extensão de activação contralateral vs ipsilateral.

O estudo por RMF com paradigmas auditivos, tem grande interesse em doentes candidatos a implantes cocleares ou sofrendo de *tinnitus*. Os doentes que padecem de *tinnitus* localizados, quando submetidos a estimulação biaural, demonstram uma assimetria de activação ao nível dos colículos inferiores, de maior intensidade ipsilateral, ao passo que os indivíduos normais, quando submetidos a idêntica estimulação, apresentam uma activação simétrica.

4 – VISÃO E OCULOMOTRICIDADE ^{3,6,9}

Apresentamos agora a organização geral da via sensorial, do tálamo ao córtex, relacionada com a visão.

A visão é uma modalidade sensorial complexa que se divide num certo número de subfunções ligadas à detecção da cor dos objectos, do seu contraste, da sua forma ou do seu movimento, não esquecendo a memória visual, que são tratadas por diferentes grupos de células do sistema visual. Trata-se pois de um processo igualmente complexo, que torna consciente a percepção visual, e em que estão implicados como referimos múltiplos componentes, seja a forma dos objectos visualizados, a sua cor, o seu movimento, a orientação do mesmo, a sua localização

espacial, as suas dimensões, a sua concepção tridimensional, enfim, toda uma multiplicidade de estímulos que ocorre num campo visual.

O córtex visual primário (V1), corresponde à área 17 de Brodmann (figura 14), localizada nos lábios da cisura calcarina, na face medial do lobo occipital (córtex estriado). O V1 é um segregador de sinais visuais no cérebro humano, encontrando-se numa relação dinâmica (e não estática) com as diferentes áreas visuais, enviando-lhes múltiplos sinais.

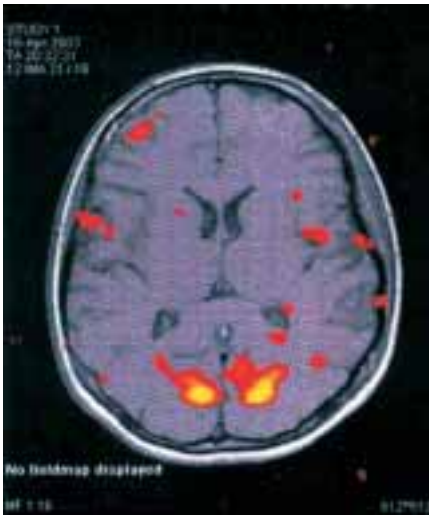


Fig.14 - Estimulação visual bilateral, com estimulação bilateral do córtex estriado (V1).

No córtex estriado há diferentes áreas para cada uma daquelas características que integram a visão, isto é, se o estímulo for estático e predominantemente colorido, será estimulada uma área do V1, se se tratar de um estímulo dinâmico, diferente será a área activada.

O V1, área visual primária (*area striata*), é a primeira a receber informação do **gânglio geniculado lateral** (GGL).

Apresenta múltiplas conexões com áreas visuais circundantes, especializadas no processamento de diferentes espécies de sinais visuais e que constituem o córtex visual de associação. A sua relação com as diferentes áreas visuais é dinâmica e não uma relação fixa, enviando-lhes sinais segundo uma base de *necessidades* momentâneas.

A partir do V1 há cerca de *duas dúzias* de diferentes áreas corticais, todas elas contribuindo para a percepção visual – constituem as **áreas extra-estriadas** e a sua contribuição e papel desempenhado no processo da visão continua em viva e aberta discussão.

Há um esquema actual, ainda que simplificado, segundo o qual existem dois grandes SISTEMAS CORTICAIS DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO VISUAL. Estes fluxos relacionados com o tratamento da informação visual têm

sido sobretudo estudados no macaco, mas recentes estudos com PET e RMF têm identificado áreas equivalentes no homem.

Um ascendente, **DORSAL**, estende-se do V1 para o **lobo parietal**, e serve para a análise do **movimento**. No processo da visão está implicado o movimento, conforme são paradigmas as esculturas móveis de Alexander Calder, ou a pintura estática de Giacomo Balla (“Dinamismo de um cão”) que concretiza a tentativa da expressão visual do movimento, no cérebro.

Outro, **VENTRAL**, dirige-se ao **lobo temporal**, servindo fundamentalmente para o reconhecimento (**forma**) dos objectos. Neste sistema destaca-se o V4, que recebe aferências do V1, apresentando receptores maiores do que os do córtex estriado, apresentando células sensíveis à **orientação** e células sensíveis à **cor**.

No síndrome da **acromatopsia** há uma perda parcial ou total da visão das cores, sem qualquer anomalia dos cones, na retina. Resulta de uma lesão occipito-temporal, sem atingimento do V1, do GGL ou da retina. Está também associada a uma certa falta de reconhecimento das formas dos objectos.

Há uma outra área, denominada **IT**, por se situar no córtex infratemporal, ligada à **memória visual**.

Recentemente identificada em estudos por RMF, uma pequena área relacionada com a percepção das faces. Na **prosopagnosia**, sendo normal a visão, há uma dificuldade no reconhecimento das faces.

Um pouco entre estes dois sistemas, a **área V5 – MT**, assim designada por ter sido identificada, por alguns autores, em localização médio-temporal, mas segundo

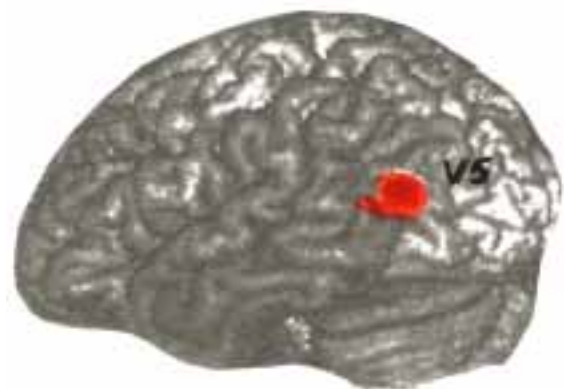


Fig.15 - Foco de activação no V5, induzido por estímulos visuais dinâmicos.

Marianne Dieterich, no ramo ascendente do sulco temporal inferior (figura 15), corresponderá no cérebro humano à primeira região a responder aos padrões de movimento.

A área V5 recebe conexões de outras áreas corticais,

segundo uma organização retinotópica, designadamente do V1 (camada IV B, sensível aos estímulos luminosos e com grande selectividade de direcção).

Os neurónios da área V5 são muito sensíveis ao **Movimento e à Direcção**.

Já foram contudo identificadas áreas sensíveis ao movimento no **córtex parietal**.

Recentes estudos por RMF identificaram múltiplas regiões que participam na percepção do movimento, incluindo V5, V3A, córtex parietal, ínsula posterior e mesmo no córtex frontal e córtex ventral occipito-temporal.

O envolvimento cortical no processo da visão é complexo, não sendo ainda perfeitamente conhecidos os limites entre o ver e o "perceber" (o que se vê).

São ainda pouco esclarecidas as relações entre o V1 e o V5, sabendo-se que nem toda a activação do V5 produz uma activação paralela de V1, havendo assim uma relação V1/V5 variável.

Em estudos realizados com macacos, verificou-se que há:

- a) - Impulsos que passam de V1 para V5.
- b) - Projecção de retorno de V5 para V1.
- c) - Impulsos directos que realizam *by-pass* de V1, passando directamente do pulvinar e colículo superior a V5.

Quando se aplicam estímulos visuais, sobretudo se estes são dinâmicos e induzem movimento, podem exigir **movimentos oculares**, lentos (de perseguição) ou rápidos (sacádicos), podendo ser activadas áreas corticais relacionadas com o controle dos movimentos oculares, designadamente os **campos oculares frontais** (área 8 de Brodmann) ou os **campos oculares occipitais** (áreas 17, 18 e 19 de Brodmann), (fig.16).

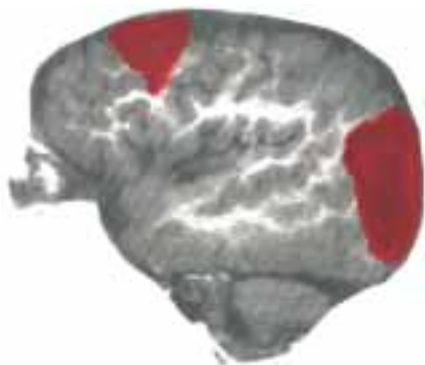


Fig.16 - Os campos oculares frontais e occipitais, relacionados com a oculomotricidade.

Os sistemas relacionados com a visão/movimento são independentes do sistema implicado nos movimentos oculares, de modo que alguns paradigmas que envolvem

os dois sistemas podem activar áreas de difícil diferenciação, sendo importante determinar qual o sistema activado ou que sistema foi inadvertidamente activado por deficiente controle dos estímulos.

Entre os mais recentes estudos da visão por RMF, refere-se a estimulação com diapositivos estáticos e vídeos com movimento, em crianças sofrendo de Leucomalácia Periventricular (LPV), para estudar a activação dos lobos occipitais, realizando-se ulterior DTI, para averiguar eventuais lesões das radiações ópticas.

A estimulação visual pode activar para além do V1, áreas do córtex de associação e o V5, podendo ocorrer raramente activação dos colículos superiores.



Fig.17 - Activação dos colículos inferiores, com paradigma de estimulação auditiva.

5 – MEMÓRIA^{3,7,9,11}

De todas as funções que falámos, a MEMÓRIA é talvez a mais complexa e a que se encontra em fase de mais acesa discussão.

Apenas nos limitaremos a fazer algumas breves referências, no que respeita a uma área de investigação em plena evolução e com aplicações muito concretas, no que concerne ao estudo das demências e epilepsia, designadamente da esclerose mesial, sendo polémica a substituição do teste de Wada pela RMF.

Estão implicados neste processo os lobos temporais e estruturas mesiais, os lobos frontais, mas também o diencefalo, os lobos parietais e o cerebelo (figura 18). É complexo o mapeamento cortical relativamente aos diversos tipos de memória.

1 - Vários são os tipos de memória, cujo processo envolve diferentes etapas, como a **recepção** de informação, a sua **codificação** (organização e processamento da informação recebida pelos órgãos dos sentidos), **armazenamento** (através de um processo de consolidação)

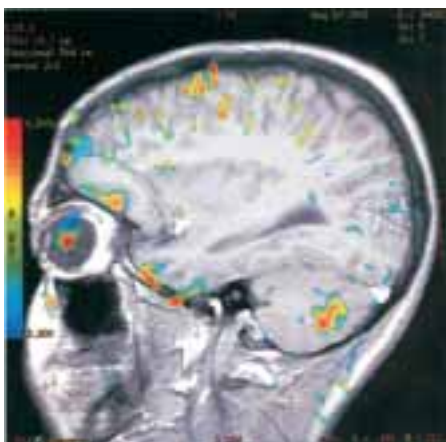


Fig.18 - Nos paradigmas de linguagem e memória obtém-se frequentemente a activação do cerebello (hemisfério contralateral).

e **recuperação**, ou seja, a recolha e evocação dos dados armazenados.

2 - Há uma **memória sensorial**, imediata, em que nos chegam as informações através dos órgãos dos sentidos, que se pode converter em **memória de trabalho**, para a qual têm importância os lobos frontais (**córtex pré-frontal**) mas também o **córtex parietal**, em que as informações podem ser retidas por determinado período, mais ou menos curto. Estas informações podem ser esquecidas ou ser armazenadas numa **memória a longo prazo**, através de um **sistema de consolidação**.

Tudo funciona como num arquivo, em que se recolhem as informações, estas são codificadas, armazenadas nas respectivas pastas ou gavetas, onde se vão buscar através de um processo de recolha (recuperação), conforme os nossos interesses.

3 - A **memória a longo prazo** pode ser **explícita** ou **declarativa** (Ex.: *Bagdad é a capital do Iraque*) ou **implícita** – **procedimental** (Ex.: andar de bicicleta ou nadar – é uma forma de memória que resulta de aprendizagem sem esforço consciente).

Por sua vez a memória declarativa pode-se dividir em **memória episódica** (Ex.: factos relacionados com a nossa vida passada) ou **semântica** (conjunto de conhecimentos relacionados com o significado das palavras, dos objectos, de concepções teóricas, etc.).

4 – Estão implicados no processo da memória as estruturas mesotemporais, designadamente núcleos amigdalinos, hipocampos e parahipocampos, no processo de consolidação das informações e armazenamento em memória a longo prazo.

Sabe-se que a memória verbal (figura 19) e os paradigmas com ela relacionados activam preferencialmente o lobo temporal esquerdo.

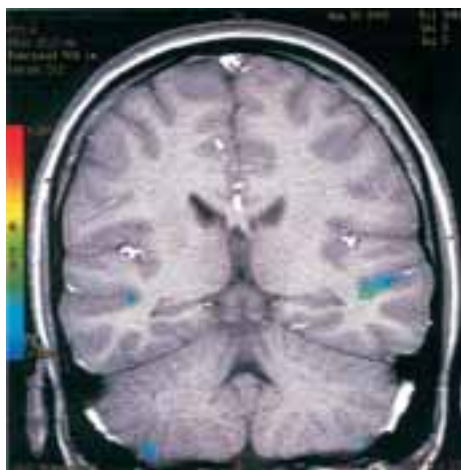


Fig.19 - Caso de activação do lobo temporal esquerdo com paradigma de memória verbal imediata.

Quanto à memória visual, se utilizarmos estímulos concretos, observa-se uma activação temporal bilateral. Em caso de estímulos abstractos, a activação é predominantemente direita (fig.20).

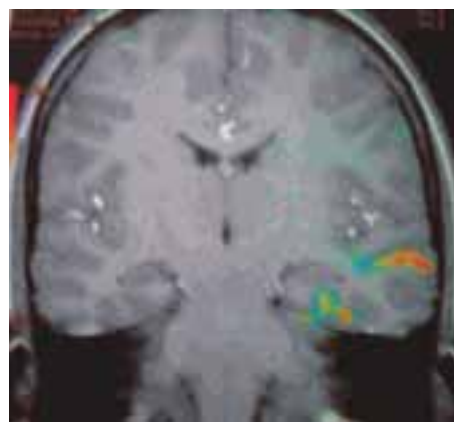


Fig.20 - Caso de activação do lobo temporal esquerdo com paradigma de memória visual imediata, em doente jovem com esclerose mesial direita. Há pois uma lateralização da memória visual, cuja activação seria esperada à direita.

Quando são utilizados paradigmas semânticos, as activações são mais evidentes no lobo temporal esquerdo (circunvoluções média, inferior e gyrus fusiforme) e no córtex parieto-temporal posterior.

Os **lobos frontais** estão sobretudo relacionados com a memória de trabalho, memória episódica, procedimental e metamemória, que é uma forma de reconhecimento que possuímos da nossa própria memória e suas capacidades (é a que permite aos doentes queixarem-se dos seus défices mnésicos).

Em RMF há ainda um longo caminho a percorrer na investigação da Memória, nas suas diferentes variantes, sobretudo no que respeita à optimização dos diferentes paradigmas, para estudo dos diferentes tipos mnésicos e adequado mapeamento.

6 – LEITURA E ESCRITA^{3,12}

Começamos a dar os primeiros passos no estudo destas funções, com paradigmas de leitura e escrita. Na primeira, a palavra escrita apresentada desencadeia um processamento **Visual** (percepção da forma), que por sua vez determina um processo **Ortográfico** (sistema que analisa a informação respeitante à identificação das letras e numa fase mais avançada à forma das palavras) que activa o **sistema Léxico-semântico** (o entendimento do significado das palavras), sendo então possível a expressão oral dessas palavras através de um processo de **Fonologia Lexical** (que codifica os constituintes fonémicos do texto), que se segue da **Assembleia Fonológica e Execução Fonológica**, com a **Articulação** motora das palavras lidas e respectiva **Geração do(s) Son(s)**. Este é um modelo extremamente simplificado da Leitura, que envolve múltiplas funções encefálicas, desde a visão à linguagem, abrangendo áreas corticais como o polo occipital, incluindo as áreas V1 e V2, a circunvolução frontal inferior, a circunvolução temporal superior, o gyrus angular, o **gyrus supramarginal**, o lóbulo parietal inferior ... o cerebelo.

Segundo C. J. Price, no processo fonológico parecem estar implicadas as áreas BA 37 (córtex temporal inferior posterior esquerdo) e BA 45 (córtex frontal inferior esquerdo). No processo semântico de reconhecimento das palavras são recrutadas áreas anteriores do córtex temporal ventral esquerdo e do córtex parietal inferior na vizinhança do *gyrus* angular.



Fig. 21 - Activação fronto-parietal esquerda em paradigma da escrita com a mão direita.

Finalmente, no processo da Articulação são activadas áreas de ambos os córtices sensorio- motores, tálamo esquerdo e cerebelo.

Numa recente investigação de um doente dextro, com epilepsia reflexa da escrita, ensaiámos um paradigma em que o doente, segurando um lápis, simulava a escrita de uma determinada frase, sem ver o que “escrevia”, na posição de decúbito em que o exame é realizado e com o seu braço estendido e apoiado, para evitar artefactos de movimento, obtendo-se uma extensa área de activação cortical fronto-parietal esquerda (figura21).

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a preciosa colaboração prestada por Belina Nunes, Neurologista e Consultora Clínica do SMIC, bem como pela Joana Pais, Neuropsicóloga, que dedicaram um extraordinário apoio ao desenvolvimento da Ressonância Magnética Funcional nesta instituição, sobretudo no que respeita à optimização dos paradigmas relacionados com o estudo da linguagem e da memória, o que foi fundamental para a obtenção de áreas de boa activação, permitindo assim a realização deste trabalho monográfico.

Agradecem igualmente a Mário Forjaz Secca, distinto Físico, que entre nós teve um papel primordial no arranque da RMF, pela ajuda concedida nas questões técnicas que ao longo deste tempo se nos têm deparado.

BIBLIOGRAFIA

- DAMASIO H: Human Brain Anatomy in Computerized Images, Oxford University Press.1995
- JACKSON GD, DUNCAN JS: MRI Neuroanatomy, a new angle on the brain, Churchill Livingstone, 1996
- FRACKOWIAK RSJ, FRISTON KJ, FRITH CD, RJDOLAN, MAZZIOTTA JC: Human Brain Function, Academic Press, 1997
- KRETSCHMANN JH, WEINRICH W: Neurofunctional Systems, Thieme, 1998
- DUVERNOY HM: The Human Brain, Second edition, Springer, 1999
- ALBAERT, KSARTOR, JEYOUKER: Functional MRI, Springer, 2000
- JEZZARD P, MATTHEWS PM, SMITH SM: Functional MRI, an introduction to methods, Oxford University Press, 2001
- NAIDICH TP, YOUSRY TA, MATHEWS VP: Neuroimaging Clin North Am 2001;11(2):
- BEAR MF, CONNORS BW, PARADISO MA: Neurosciences, À la découverte du cerveau, Éditions Pradel 2002
- HUGDAHL K, DAVIDSON RJ: The Asymmetrical Brain, Massachusetts Institute of Technology, 2003
- Ressonância Magnética Funcional – Princípios físicos e aplicações clínicas, SMIC, 2003
- NOWINSKI WL, THIRUNAVUUKARASUU A, KENNEDY DN: Brain Atlas for Functional Imaging, Thieme (CD – ROM)