

A CONEXÃO DO CÉREBRO é, em muitos casos, contralateral (*à esquerda*). O hemisfério direito processa informações do campo visual esquerdo, enquanto o hemisfério esquerdo processa informações do campo visual direito. Em relação ao movimento das mãos, o hemisfério direito controla a esquerda e o hemisfério esquerdo, a direita. Ambos os hemisférios ditam o movimento da parte superior dos braços. Os dois hemisférios são conectados por pontes neuronais, chamadas de comissuras. A maior dessas pontes, cortada durante cirurgias de secção do cérebro, é o corpo caloso.

O cérebro dividido

revisitado

Trabalhos desenvolvidos durante quatro décadas levaram aos conhecimentos atuais sobre a organização do cérebro e a consciência

Por Michael S. Gazzaniga

Há cerca de 35 anos, escrevi um artigo para a *SCIENTIFIC AMERICAN* sobre estudos inovadores a respeito do cérebro. Três pacientes que sofriam de epilepsia haviam se submetido à cirurgia de secção do corpo caloso – a supervia de neurônios que conecta as duas metades do cérebro. Roger W. Sperry, Joseph E. Bogen, P. J. Vogel e eu pudemos observar o que acontece quando os hemisférios esquerdo e direito são incapazes de se comunicar.

Tomou-se evidente que as informações visuais deixam de transitar entre os dois lados. Quando projetamos uma imagem no campo visual direito – ou seja, para o hemisfério esquerdo, onde as informações do campo direito são processadas – os pacientes conseguem descrever o que vêem. Entretanto, quando a mesma imagem é apresentada ao campo visual esquerdo, a resposta dos pacientes é nula: eles afirmam não ver coisa alguma. Contudo, quando pedimos que apontem para um objeto similar ao que foi projetado, conseguem fazê-lo sem problemas. O cérebro direito vê a imagem e é capaz de mobilizar uma resposta não-verbal, mas incapaz de falar sobre o que vê.

O mesmo acontece com o tato, o olfato e a audição. Além disso, cada metade do cérebro é capaz de controlar os músculos superiores de ambos os braços, porém os músculos responsáveis pelo movimento das mãos são orquestrados apenas pelo hemisfério contralateral. Em outras palavras: o hemisfério direito consegue controlar apenas a mão esquerda, e o hemisfério esquerdo, a direita. No final, descobrimos que os dois hemisférios controlam aspectos muito diferentes do pensamento e da ação. Cada metade tem sua especialização e, portanto, suas próprias limitações e vantagens. O cérebro esquerdo é dominante no controle da fala e da linguagem; o direito sobressai em tarefas visuomotoras.

Nas décadas seguintes, a pesquisa sobre a secção do cérebro continuou. Aprendemos mais a respeito das diferenças entre os hemisférios, e conseguimos compreender como se comunicam uma vez separados. Fizemos descobertas sobre a linguagem, os

mecanismos da percepção e atenção e a organização cerebral, bem como o sítio potencial de memórias falsas. O mais fascinante é que ampliamos nossa compreensão sobre consciência e evolução. Os estudos originais sobre a secção do cérebro levantaram muitas questões interessantes, incluindo algumas a respeito da capacidade das metades distintas de “conversarem” entre si e sobre o papel desta comunicação no pensamento e na ação. Existem diversas pontes de neurônios, denominadas comissuras, que conectam os hemisférios; o corpo caloso é a maior delas e aquela normalmente seccionada durante cirurgias para epilepsia. Mas, e as muitas outras comissuras menores?

Pontes Remanescentes

ESTA QUESTÃO FOI ABORDADA com estudos sobre o sistema atencional. A atenção envolve diversas estruturas no córtex e no subcórtex – a porção mais antiga e primitiva de nosso cérebro. Na década de 80, Jeffrey D. Holtzman, da Cornell University Medical College, descobriu que cada hemisfério é capaz de direcionar a atenção espacial não somente para a sua própria esfera sensorial, mas também para certos pontos na esfera sensorial do hemisfério oposto desconectado. Isso sugere que o sistema atencional seja comum aos dois hemisférios – pelo menos no que diz respeito às informações espaciais – e ainda consegue operar através de algumas conexões inter-hemisféricas remanescentes.

O trabalho de Holtzman foi particularmente fascinante por levantar a possibilidade da existência de “recursos” atencionais finitos. Ele postulou que alguns tipos de tarefas utilizam certos recursos cerebrais; quanto mais complexa a tarefa, mais desses recursos são necessários – e maior é a necessidade desta metade do cérebro de solicitar o auxílio do subcórtex ou do outro hemisfério. Em 82, Holtzman mais uma vez abriu novos caminhos, descobrindo que, de fato, quanto mais arduamente uma metade do cérebro dividido trabalhasse, mais difícil tomava-se para a outra metade realizar outra tarefa simultaneamente.

Steve J. Luck, da University of Iowa, por Steven A. Hillyard e colegas da University of California, em San Diego, e por G. Ronald Mangun, atualmente na Duke University School of Medicine, estudaram o que acontece quando uma pessoa examina um campo visual em busca de um padrão ou de um objeto. Descobriram que pacientes com o cérebro dividido apresentam desempenho superior àquele de indivíduos normais em algumas tarefas de busca visual. Aparentemente, o cérebro intacto inibe os mecanismos de busca que cada um dos hemisférios naturalmente possui.

O hemisfério esquerdo, em particular, pode exercer um forte controle sobre esse tipo de tarefa. Alan Kingstone, da University of British Columbia, descobriu que o hemisfério esquerdo apresenta estratégias de busca "inteligentes", ao contrário do hemisfério direito. Em testes nos quais um indivíduo pode deduzir como procurar de forma eficiente um elemento diferente entre uma série de itens similares, o hemisfério esquerdo tem desempenho superior. Assim, aparentemente, o hemisfério esquerdo, mais competente, é capaz de seqüestrar o sistema atencional intacto.

mas que continuam funcionais e daqueles que são seccionados junto com o corpo caloso, os estudos da comunicação entre os hemisférios levaram a uma importante descoberta sobre as limitações de pesquisas em seres não humanos. Durante muitos anos, neurocientistas examinaram o cérebro de macacos e de outros animais, pois acreditava-se que o cérebro dele apresentasse organização e função muito similares, se não idênticas, às nossas.

Tal conjectura pode ser falsa. Apesar de algumas estruturas e funções serem notavelmente similares, existem também muitas diferenças. Por exemplo: quando a comissura anterior, pequena estrutura que se localiza um pouco abaixo do corpo caloso, fica intacta no cérebro dividido, os macacos mantêm a capacidade de transferir informações visuais de um hemisfério para o outro. As pessoas, no entanto, não transferem informações visuais de forma alguma. A mesma estrutura desempenha, portanto, diferentes funções em diferentes espécies.

Mesmo a extrapolação entre seres humanos pode ser perigosa. Uma de nossas primeiras descobertas foi a de que o cérebro es-

Aprendemos mais a respeito das diferenças entre os hemisférios e COMO ELES SE COMUNICAM

Apesar de este e de outros estudos sugerirem que os hemisférios divididos mantêm alguma comunicação entre si, outras aparentes conexões inter-hemisféricas provaram ser ilusórias. Realizei uma experiência em conjunto com Kingstone que quase nos conduziu a conclusões errôneas. Mostramos duas palavras para um paciente e então pedimos que desenhasse o que havia visto. A palavra "arco" foi mostrada para um dos hemisférios, e a palavra "flecha" para o outro. Para nossa surpresa, o paciente desenhou um arco e flecha! Achamos que houvesse integrado as informações internamente em um hemisfério, que então guiara a resposta desenhada (*ver ilustração da pág. 32*). Estávamos enganados. A integração ocorrera no papel, e não no cérebro. Um dos hemisférios havia desenhado seu item – o arco – e então o outro havia assumido o controle da mão, desenhando seu estímulo – a flecha. Descobrimos isso ao usar pares de palavras cuja integração era menos imediata, como "céu" e "arranha". O paciente não fez um edifício, mas desenhou o céu sobre uma raspadeira (em inglês, "arranha" é "scraper", ou raspadeira).

Além de auxiliar os neurocientistas na determinação dos siste-

querdo era capaz de processar livremente a linguagem e falar sobre suas experiências. Apesar de o hemisfério direito não ser tão livre, conseguia processar a linguagem até certo ponto. Entre outras habilidades, o hemisfério direito era capaz de associar palavras a imagens, soletrar e rimar, além de separar objetos em categorias. Apesar de nunca termos descoberto nenhuma habilidade para realizar sintaxes sofisticadas naquela metade do cérebro, achávamos que esse conhecimento léxico fosse bastante extenso.

Os Limites da Extrapolação

Nossos três casos provaram ser exceções. O hemisfério direito da maioria das pessoas não consegue lidar sequer com os rudimentos mais básicos da linguagem. Isso é consistente com outros dados neurológicos, particularmente aqueles referentes a vítimas de acidentes vasculares cerebrais. Lesões no hemisfério esquerdo são muito mais prejudiciais à função da linguagem do que no direito. Todavia, existe grande plasticidade e variação individual. Um paciente, J.W., desenvolveu a capacidade de falar a partir do hemisfério direito – 13 anos após ter se submetido à cirurgia, e consegue às vezes verbalizar informações apresentadas tanto à metade esquerda quanto à metade direita de seu cérebro.

Kathleen B. Baynes, da University of California, em Davis, relata outro caso único. Uma paciente canhota falou a partir de seu cérebro esquerdo após uma cirurgia de secção do cérebro – uma descoberta não tão surpreendente por si só. Entretanto, a paciente era capaz de escrever apenas a partir do hemisfério direito, em geral incapaz de falar. Essa dissociação confirma a idéia de que a capacidade de escrita não precisa estar necessariamente associada à capa-

O AUTOR

MICHAEL S. GAZZANIGA é professor de neurociência cognitiva e diretor do Center for Cognitive Neuroscience no Dartmouth College. Ele recebeu o título de doutor no California Institute of Technology, onde, junto com Roger W. Sperry e Joseph E. Bogen, iniciou as pesquisas sobre o cérebro dividido. Desde então, já publicou artigos em várias áreas e é tido como o responsável pelo lançamento do campo da neurociência cognitiva no início da década de 80. Gazzaniga gosta de esquiar e de organizar pequenas e movimentadas reuniões intelectuais em lugares exóticos.

cidade de representação fonológica, ou seja parece ser um sistema independente, uma invenção da espécie humana, e não precisa fazer parte do sistema de linguagem verbal hereditário.

Módulos Cerebrais

APESAR DE NUMEROSAS EXCEÇÕES, a maior parte das pesquisas sobre a secção do cérebro revelou um nível enorme de lateralização, ou seja, de especialização em cada hemisfério. Enquanto os pesquisadores se empenhavam em compreender como o cérebro atinge seus objetivos e como é organizado, a lateralização revelada pelos estudos sobre a secção do cérebro levou ao chamado modelo modular. Pesquisas nas áreas da ciência cognitiva, inteligência artificial, psicologia evolutiva e neurociência nos direcionaram para a idéia de que o cérebro e a mente são constituídos de unidades discretas, ou módulos. Tais módulos realizam funções específicas, trabalhando em conjunto para suprir as necessidades de processamento de informações da mente.

Nesse sistema, o hemisfério esquerdo mostrou-se bastante dominante em relação a atividades cognitivas importantes, tais como a solução de problemas aparentemente não afetados pela secção do cérebro. É como se o hemisfério esquerdo não precisasse do vasto poder computacional da outra metade para desenvolver atividades complexas. Por outro lado, o hemisfério direito apresenta deficiências graves na solução de problemas complicados.

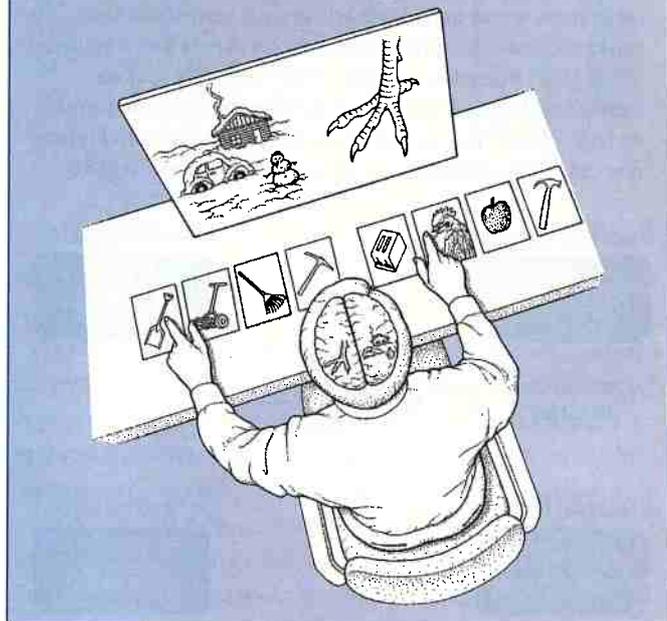
Joseph E. LeDoux, da New York University, e eu descobrimos esta habilidade do cérebro esquerdo há quase 25 anos. Queríamos saber como o hemisfério esquerdo responde aos comportamentos produzidos pelo cérebro direito silencioso. Apresentamos a cada hemisfério uma imagem relacionada a uma de quatro imagens posicionadas na frente do paciente com cérebro dividido. Ambos os hemisférios, tanto o esquerdo como o direito, selecionaram a imagem correta com facilidade. A mão esquerda apontou para a escolha do hemisfério direito, e a mão direita para a escolha do hemisfério esquerdo (*ilustração à direita*). Perguntamos então ao hemisfério esquerdo, o único capaz de falar, por que a mão esquerda apontava para o objeto. Ele não sabia, pois a decisão havia sido tomada no hemisfério direito. No entanto, rapidamente criou uma explicação. Chamamos este talento narrativo criativo de mecanismo de interpretação.

Esta fascinante habilidade vem sendo estudada a fim de determinar como a interpretação do hemisfério esquerdo afeta a memória. Elizabeth A. Phelps, atualmente na New York University, Janet Metcalfe, da Columbia University, e Margaret Funnell, do Dartmouth College, descobriram que os dois hemisférios diferem no processamento de novos dados. Quando apresentadas a novas informações, as pessoas geralmente se lembram de muito do que vivenciaram. Quando questionadas, também geralmente afirmam lembrar-se de coisas que não fizeram realmente parte da experiência. Quando pacientes que sofreram secção do cérebro são submetidos a testes como esse, o hemisfério esquerdo gera muitos relatos falsos. Já o direito fornece um relato muito mais verídico.

O INTÉRPRETE

NARRATIVAS PESSOAIS originam-se no hemisfério esquerdo. Meus colegas e eu estudamos esse fenômeno através da aplicação de um teste. Apresentamos a cada hemisfério quatro pequenas figuras, uma das quais relacionada a uma figura maior, também apresentada àquele hemisfério. O paciente deveria escolher, entre as figuras pequenas, a mais apropriada.

Como visto abaixo, o hemisfério direito — ou seja, a mão esquerda — escolheu corretamente a pá para complementar a figura da neve. A mão direita, controlada pelo hemisfério esquerdo, escolheu de modo correto a figura da galinha para complementar o pé de ave. Perguntamos então ao paciente por que a mão esquerda — ou o hemisfério direito — apontava para a pá. Uma vez que apenas o hemisfério esquerdo retém a habilidade da fala, ele respondeu. Mas, já que não tinha como saber o motivo pelo qual o hemisfério direito fazia o que fazia, o esquerdo criou uma história sobre o que conseguia ver — a saber, a galinha. Ele respondeu que o hemisfério direito escolhera a pá para limpar um galinheiro. — M.S.G.



JOHN W. KARAFELDU

Essa descoberta pode auxiliar a determinar onde e como as memórias falsas se desenvolvem. Existem diversas hipóteses sobre quando, no ciclo de processamento das informações, essas memórias são formuladas. Alguns pesquisadores sugerem que seja no início; que relatos errôneos sejam codificados no momento em que se dá o evento. Outros acreditam que a memória falsa seja um reflexo de um erro na reconstrução de experiências passadas.

O hemisfério esquerdo exibe certas características que apóiam esta última visão. A especialidade do intérprete do hemisfério esquerdo é desenvolver esquemas como esse. Em segundo, Funnell descobriu que o hemisfério esquerdo possui a capacidade de determinar a fonte de uma memória, com base no contexto ou nos eventos circundantes. O hemisfério esquerdo coloca as experiências em um contexto maior, enquanto o direito lida com os aspectos intuitivos do estímulo.

O mecanismo de interpretação do hemisfério esquerdo pode estar sempre trabalhando, procurando o significado dos aconteci-

TESTANDO A SÍNTESE

A CAPACIDADE DE SINTETIZAR informações entre hemisférios é perdida após a cirurgia de secção do cérebro. Apresentamos ao hemisfério de um paciente um cartão com a palavra "arco" e ao outro, a palavra "flecha". Como o paciente desenhou um arco e flecha, assumimos que os dois hemisférios ainda fossem capazes de se comunicar entre si e que tivessem integrado as palavras em uma composição que fazia sentido. O teste seguinte provou que estávamos enganados. Apresentamos a palavra "céu" para um dos hemisférios e a palavra "arranha" (*scraper*, em inglês, também significa raspadeira) para o outro. A imagem resultante revelou que o paciente não sintetizava as informações: desenhou um céu em cima de uma raspadeira dentada, em vez de um arranha-céu (*skyscraper*). Um hemisfério desenhou o que havia visto, e o outro desenhou a palavra. No caso do arco e da flecha, a superposição das duas imagens nos levou a conclusões errôneas, pois a imagem parecia integrada. Finalmente, realizamos testes para descobrir se cada hemisfério seria capaz de, sozinho, integrar palavras. Apresentamos a palavra "fogo" (*fire*) e depois a palavra "arma" (*arm* = braço) ao hemisfério direito. A mão esquerda desenhou um rifle (arma de fogo = *firearm*) e não um braço em chamas, deixando claro que cada hemisfério é capaz de realizar sínteses. — M.S.G.

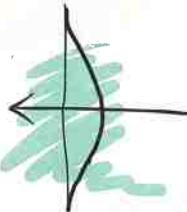
HEMISFÉRIO ESQUERDO

FLECHA

DESENHO

HEMISFÉRIO DIREITO

ARCO



HEMISFÉRIO ESQUERDO

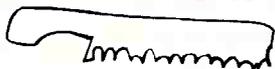
ARRANHA

DESENHO



HEMISFÉRIO DIREITO

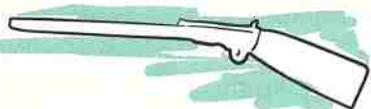
CÉU



HEMISFÉRIO ESQUERDO



DESENHO



HEMISFÉRIO DIREITO

FOGO

ARMA

mentos. Ele busca constantemente a ordem e a razão, mesmo quando elas não existem — o que faz com que continuamente crie erros. Ele tende a generalizar em excesso, freqüentemente construindo um passado potencial, em vez de um passado verdadeiro.

A Perspectiva Evolutiva

OS ESTUDOS DE GEORGE L. WOLFORD, do Dartmouth, contribuíram para reforçar esta hipótese. Em um teste simples, em que é preciso adivinhar se uma luz aparecerá na parte superior ou inferior de uma tela de computador, as pessoas são criativas. O estímulo é manipulado de modo que a luz apareça na parte superior da tela 80% das vezes, mas em seqüência aleatória. Apesar de logo ficar evidente que o botão superior se ilumina mais vezes, as pessoas invariavelmente tentam determinar um padrão ou seqüência — e realmente acreditam que são capazes de fazê-lo. Adotando esta estratégia, acertam apenas 68% das vezes. Se apertassem sempre o botão superior, acertariam 80% das vezes.

Ratos e outros animais apresentam maior propensão a "aprender a maximizar", apertando apenas o botão superior. O hemisfério direito age da mesma maneira: não tenta interpretar a experiência e descobrir um significado mais profundo. Vive apenas no presente — acertando 80% das vezes. O hemisfério esquerdo, entretanto, quando questionado por que tenta desvendar a seqüência completa, sempre cria uma teoria, não importa quão descabida seja.

A teoria da evolução pode explicar melhor esse fenômeno narrativo. O cérebro humano, como qualquer cérebro, é uma coleção de adaptações neurológicas estabelecidas através da seleção natural. Cada uma dessas adaptações tem sua própria representação — isto é, podem ser lateralizadas para redes ou regiões específicas no cérebro. No reino animal, no entanto, as capacidades geralmente não são lateralizadas. Pelo contrário, tendem a ser encontradas em ambos os hemisférios, em níveis mais ou menos iguais. Apesar de os macacos apresentarem alguns sinais de especialização lateral, estes são raros e inconsistentes.

Por isso, a lateralização vista no cérebro humano aparentava ser uma conquista evolutiva — mecanismos ou habilidades criados em apenas um dos hemisférios. Recentemente topamos com uma incrível dissociação hemisférica que nos força a especular que alguns fenômenos lateralizados podem surgir da perda de uma habilidade em um hemisfério, e não de um ganho. No que deve ter sido uma feroz competição por espaço cortical, o cérebro do primata em evolução teria sofrido grande pressão para adquirir novas faculdades, sem perder as antigas — e a lateralização pode ter sido sua salvação. Uma vez que os dois hemisférios estão conectados, um "jeitinho" para um ajuste com uma região cortical homóloga poderia criar uma nova função, sem perdas para o animal, já que o outro lado permaneceria inalterado.

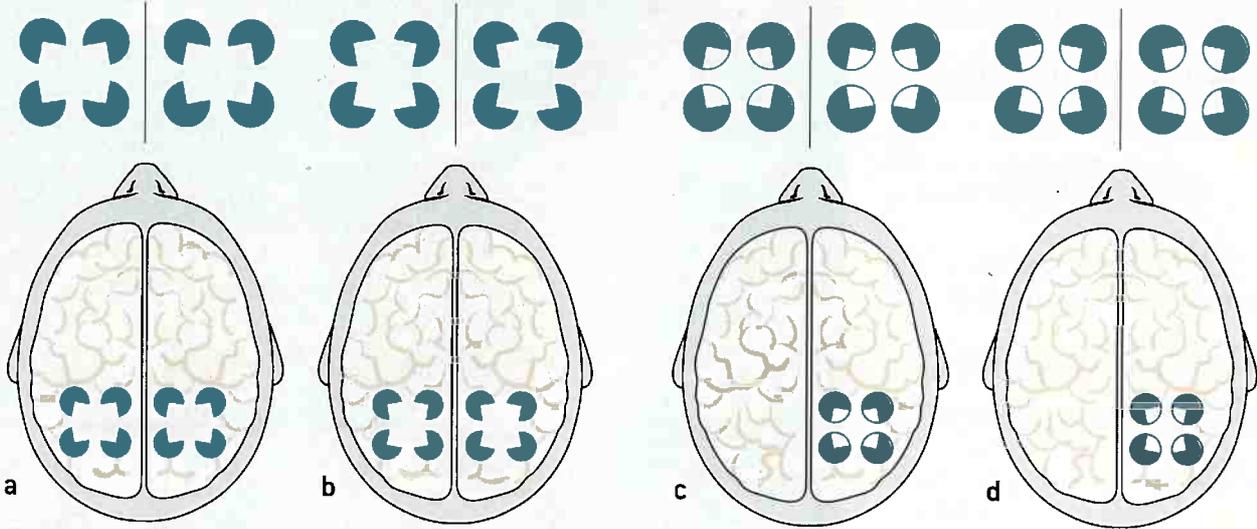
Paul M. Corballis e Robert Fendrich, do Dartmouth, Robert M. Shapley, da New York University, e eu estudamos a percepção daquilo que chamamos de contornos ilusórios em vários pacientes

LAURE GRACE

EM BUSCA DE ILUSÕES

CONTORNOS ILUSÓRIOS REVELAM que o cérebro humano direito é capaz de processar algumas coisas que o esquerdo não consegue. Os dois hemisférios são capazes de “ver” se os retângulos ilusórios deste experimento são largos (a) ou estreitos (b). Entretanto, quando são adicionados contornos às figuras, somente o cérebro direito consegue continuar vendo a diferença (c e d). Em camundongos, no entanto, ambos os hemisférios são consistentemente capazes de perceber essas diferenças. O fato de um roedor apresentar um desempenho superior ao nosso sugere que algumas capacidades foram perdidas em um hemisfério ou em outro durante a evolução do cérebro humano. Novas habilidades podem ter causado a remoção de antigas na luta por espaço.

— M.S.G.



com cérebros divididos. Trabalhos anteriores haviam sugerido que a visualização dos conhecidos contornos ilusórios estudados pelo falecido Gaetano Kanizsa, da Universidade de Trieste, fosse especialidade do hemisfério direito. Nossos experimentos revelaram que não. Descobrimos que ambos os hemisférios podiam perceber contornos ilusórios —, mas que o hemisfério direito era capaz de perceber certos agrupamentos perceptuais que o esquerdo não conseguia. Assim, enquanto os dois hemisférios de uma pessoa com o cérebro dividido conseguem julgar se os retângulos ilusórios são largos ou estreitos quando não existem linhas desenhadas ao redor das figuras, por exemplo, apenas o direito consegue continuar a discernir após o contorno ser feito (ver ilustração acima). Esse arranjo é conhecido como versão amodal do teste.

Que um simples camundongo seja capaz de perceber certos agrupamentos perceptuais, como demonstrado por Kanizsa, quando o hemisfério esquerdo humano é incapaz disso, sugere que talvez a nossa capacidade tenha sido perdida. Seria possível que o surgimento de uma habilidade humana como a linguagem — ou um mecanismo interpretativo — tenha causado a remoção desta habilidade perceptiva do cérebro esquerdo? Acreditamos que sim, e esta hipótese abre uma nova maneira de encarar as origens da especialização lateral.

Nossas habilidades humanas únicas podem muito bem ser produzidas por redes neurais minúsculas e limitadas — e ainda assim nosso cérebro, altamente modular, cria a sensação, em todos nós, de que somos integrados e unificados. Como isso é possível? A resposta pode ser que o hemisfério esquerdo busca explicações sobre o porquê dos eventos. Indo além da simples observação e per-

guntando por que ocorreram, o cérebro consegue lidar melhor com os eventos, caso se repitam no futuro.

A compreensão dos pontos fortes e fracos de cada hemisfério nos levou a indagar acerca da base da mente, desta organização abrangente. Depois de vários anos de pesquisas fascinantes com cérebros divididos, parece que o hemisfério esquerdo, criativo e interpretativo, tem uma experiência consciente muito diferente daquela do cérebro direito, verdadeiro e literal. Apesar de ambos os hemisférios poderem ser vistos como conscientes, a consciência do cérebro esquerdo ultrapassa em muito a do direito. E isso levanta uma outra série de questões que devem nos manter ocupados pelos próximos 30 anos, mais ou menos.

PARA CONHECER MAIS

Hemispheric Specialization and Interhemispheric Integration. M. J. Tramo, K. Baynes, R. Fendrich, G. R. Mangun, E. A. Phelps, P. A. Reuter-Lorenz e M. S. Gazzaniga em *Epilepsy and the Corpus Callosum*. Segunda edição. Plenum Press, 1995.

How the Mind Works. Steven Pinker. W. W. Norton, 1997.

The Mind's Past. Michael S. Gazzaniga. University of California Press, 1998.

The Two Sides of Perception. Richard B. Ivry e Lynn C. Robertson. MIT Press, 1998.

Illusory Contour Perception and Amodal Boundary Completion: Evidence of a Dissociation Following a Callosotomy. P. M. Corballis, R. Fendrich, R. M. Shapley e M. S. Gazzaniga em *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 11, n° 4, págs. 459-466; julho de 1999.

Cerebral Specialization and Interhemispheric Communication: Does the Corpus Callosum Enable the Human Condition? Michael S. Gazzaniga in *Brain*, vol. 123, Part 7, págs. 1293-1326; julho de 2000.

The Left Hemisphere's Role in Hypothesis Formation. George Wolford, Michael Miller e Michael S. Gazzaniga em *Journal of Neuroscience*, vol. 20, n° 6, RC64, págs. 1-4; 15 de março de 2000.