

A PERCEPÇÃO DO MOVIMENTO

Nossa discussão da percepção visual tem sido largamente confinada à percepção de estímulos estáticos ou imóveis por um observador estacionário. Contudo, a percepção de um objeto estacionário, projetado na retina de um observador estacionário, não ocorre com frequência. Em vez disso, a maioria dos organismos é relativamente móvel e se movimenta em um ambiente que contém vários tipos de objetos em movimento — objetos a serem perseguidos, como alimento ou um companheiro — ou potencialmente perigosos, como predadores, e obstáculos móveis a serem evitados.

A percepção do movimento tem utilidade biológica importante. Para se moverem eficientemente, os animais precisam ser capazes de detectar a posição, a direção e, muitas vezes, até mesmo a velocidade de movimento dos objetos. Sem dúvida, as informações sobre o movimento são indispensáveis para a sobrevivência da maioria das espécies. No decurso da evolução, o desenvolvimento da percepção do movimento provavelmente era moldado por exigências ambientais mais fortes do que outros aspectos da visão. Sobre esse assunto, Gregory (1977) conjectura que a percepção do movimento tem prioridade evolucionária sobre a percepção de formas:

Pode-se ver que na retina humana está preservada alguma coisa do desenvolvimento evolutivo do olho, do movimento à percepção de formas. A borda da retina é sensível apenas ao movimento. Isso pode ser visto quando se agita um objeto no perímetro do campo visual, onde somente a borda da retina é estimulada. Descobrir-se-á que o movimento é visto, mas é impossível identificar o objeto. Quando o movimento pára, o objeto se torna invisível. Isso foi o mais próximo a que conseguimos chegar nas experiências sobre a percepção primitiva. A borda mais extrema da retina é ainda mais primitiva quando, ao ser ela estimulada pelo movimento, nada experimentamos, mas inicia-se um reflexo que faz girar os olhos para trazer o objeto em movimento para dentro da visão central, de modo que a região foveal, altamente desenvolvida, com a rede neural central que lhe está associada, é colocada em jogo para identificar o objeto. A borda da retina é, assim, um dispositivo de alerta antecipado, sendo usada para rotacionar os olhos a fim de que a parte sofisticada do sistema de reconhecimento de objetos tenha em mira os objetos que possam ser amigos, ou inimigos, ou alimento, e não os neutros. (p. 93)

Neste capítulo, descreveremos os mecanismos e os processos responsáveis pela percepção do movimento. Examinare-

mos tanto os mecanismos fisiológicos quanto os comportamentais que intervêm na percepção do movimento, destacando diversos fenômenos a ele relacionados, como padrões de fluxo óptico e movimento biológico. Também descreveremos as distorções na percepção do movimento, delineando o efeito cinético de profundidade, o movimento induzido e o efeito de pêndulo de Pulfrich. Serão examinados tópicos sobre movimento aparente ou ilusório, inclusive o movimento estroboscópico, o movimento de quadros usados no cinema, o fenômeno autocinético e os pós-efeitos de movimento. O capítulo termina com uma discussão rápida sobre a previsão das trajetórias do movimento. Começaremos com um exame das unidades neurais que controlam a percepção do movimento.

DETECTORES DE MOVIMENTO

De um ponto de vista evolutivo, a percepção do movimento é um aspecto básico da visão, decisivo para a sobrevivência. No ambiente natural, um objeto em movimento pode assinalar perigo — algo a ser evitado imediatamente, como um predador — ou indicar uma fonte potencial de alimento, ou um companheiro. A maioria dos animais (e todos os vertebrados) possui a capacidade de perceber movimento; já foram identificados mecanismos neurais sofisticados para muitas espécies (p. ex., Groh, 2000; Treue *et al.*, 2000; Movshon & Newsome, 1992; Rind & Simmons, 1999). Além disso, os mecanismos neurais especializados na análise do movimento parecem funcionar em uma idade muito precoce. O bebê humano, por exemplo, consegue acompanhar um objeto em movimento imediatamente depois do nascimento (p. ex., Nanez, 1988).

Nas discussões anteriores, deparamos com receptores sensíveis ao movimento. No Capítulo 3, observamos que as células M no nível dos gânglios retinianos reagem especificamente aos estímulos de movimento (Yang & Masland, 1992). Também descrevemos o papel desempenhado pela divisão magnocelular do LGN no processamento dos estímulos de movimento. No nível do córtex visual (lobo occipital), descobrimos mais evidências de neurônios especializados nos estímulos de movimentos (p. ex., Dupont *et al.*, 1994). Como observamos na discussão sobre os campos receptivos de neurônios no Capítulo 3, há células que reagem não apenas ao movimento, mas também ao movimento em uma direção específica. E, ainda, há uma região do lobo médio-temporal (MT) do córtex (também chamada Área V5) que recebe *inputs* das células motossensíveis do córtex visual (p. ex., Movshon & Newsome, 1992; Rosenzweig *et al.*, 1999). Enquanto essas células possuem

campos receptivos relativamente precisos e pequenos e reagem ao movimento local, muitos neurônios respondem ao movimento em algumas regiões um pouco maiores do campo visual. No entanto, como as células motossensíveis do córtex visual que os inervam, os neurônios MT apresentam uma forte seletividade direcional. Tem-se sugerido que os neurônios MT integram diversos movimentos, agindo como detectores generalizados de movimento (Albright, 1992; Logethesis & Schall, 1989; Salzman & Newsome, 1994).

Embora os processos neurais envolvidos na percepção humana de movimento estejam distribuídos por muitas áreas do cérebro, os neurônios na área MT parecem desempenhar um papel central. Isso é ressaltado no seguinte estudo clínico relatado por Zihl *et al.* (1993), sobre uma mulher que sofrera lesões da área MT por causa de um derrame. As lesões haviam criado uma forma de *agnosia de movimento* chamada **acinetopsia** (combinação dos radicais gregos *a*, "ausência de", *kinein*, "mover" e *opsis*, "visão"), a qual se refere à incapacidade de percepção do movimento. Embora a paciente mantivesse outras funções visuais, como acuidade visual, visão binocular (ou seja, uso integrado de ambos os olhos) e percepção de formas e cores, perdera a capacidade de perceber a maioria dos movimentos nas três dimensões, e os objetos que se moviam fisicamente apenas em posições distintas e sem ligação. As avaliações clínicas mostraram que enquanto ela tinha alguma percepção de movimento ao longo dos eixos vertical e horizontal, sua percepção se restringia a uma pequena região do campo visual interno. Além disso, era totalmente incapaz de ver movimentos em profundidade. "Tinha dificuldade, por exemplo, em verter chá ou café na xícara, porque o líquido parecia estar congelado, como uma geleira. E ainda não conseguia parar de vertê-lo no momento certo, já que era incapaz de perceber o movimento na xícara (ou no bule) quando o líquido subia" (p. 315). Também se queixava de dificuldade em acompanhar uma conversa, porque não conseguia ver os movimentos faciais, especialmente os movimentos labiais. Em um cômodo onde houvesse mais de duas pessoas se movimentando, sentia-se extremamente incomodada e costumava sair imediatamente porque, como dizia, "de repente as pessoas estavam em um lugar ou em outro, mas eu não as havia visto se movendo" (p. 315). A paciente sofria esse problema muito mais em lugares cheios de gente e onde havia um movimento muito grande, como ao ar livre, que evitava sempre que possível. Assim, não podia atravessar a rua por não ser capaz de estimar a velocidade dos carros, embora conseguisse identificá-los com facilidade. "A princípio, quando estou olhando para o carro, ele parece estar bem longe. Mas, quando vou atravessar a rua, de repente ele está bem perto" (p. 315). Por fim, porém, ela adquiriu estratégias de como lidar com a situação para compensar, em parte, sua incapacidade de perceber movimentos. Por exemplo, ela aprendeu a avaliar a distância de veículos em movimento pela intensificação do barulho à medida que eles se aproximavam. Sua falta de percepção do movimento era específica e limitada à modalidade visual. Consequia perceber um movimento com facilidade por meios táteis (p. ex., um estímulo se movendo pela superfície de seu rosto) e indicações auditivas (uma fonte de som em movimento).

SISTEMAS DE MOVIMENTO DO OLHO

O modo mais geral de perceber movimentos é através da estimulação seqüencial de uma sucessão de elementos retinianos vizinhos por uma imagem. Porém, o deslocamento retiniano seqüencial não inclui todas as formas de percepção do movimento. O movimento de um estímulo pode ser percebido quando sua imagem permanece relativamente estacionária na retina, como quan-

do os olhos seguem ou acompanham um objeto em movimento. Nesse caso, os movimentos oculares correspondem ao movimento do alvo, o que resulta em uma imagem retiniana mais ou menos imóvel. Gregory (1997) propõe que essas condições de visão servem a dois sistemas interdependentes de movimento: o **sistema de movimento imagem-retina** e o **sistema de movimento olhos-cabeça** (Figura 8.1).

Sistema de Movimento Imagem-Retina

Para o sistema de movimento imagem-retina, a estimulação eficaz para a percepção do movimento é a estimulação sucessiva de receptores retinianos adjacentes. Quando o olho é mantido relativamente parado, como durante uma fixação, uma série de imagens produzidas por um estímulo de movimento se desloca pela retina. O movimento assim registrado é causado por uma atividade seqüencial dos receptores retinianos na trajetória da imagem do estímulo. Esse sistema de detecção de movimento é bem adequado ao mosaico de omatídios encontrado no olho composto de artrópode (descrito no Capítulo 3; veja Figura 3.4). A Figura 8.2 sugere um modelo neural de um detector de movimento coerente com o sistema de movimento imagem-retina.

Sistema de Movimento Olhos-Cabeça

Quando seguimos um alvo móvel com os olhos (executando normalmente movimentos de perseguição), sua imagem permanece mais ou menos fixa na mesma região retiniana (ou foveal). Nesse

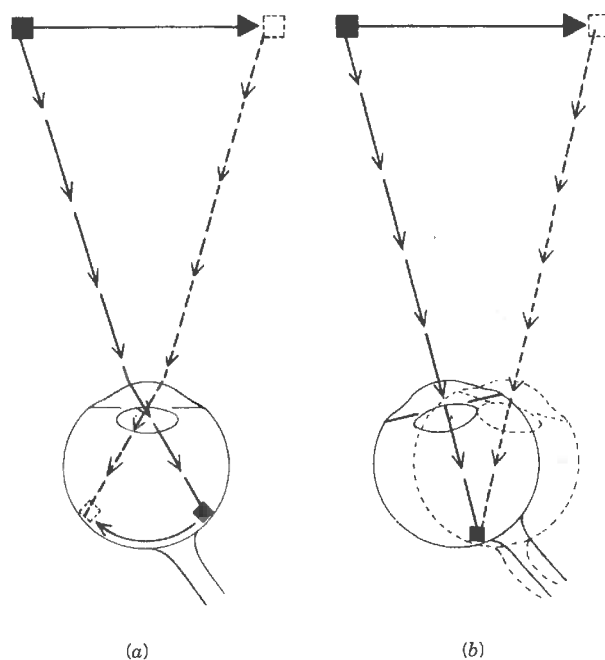


Figura 8.1 Sistema de movimento do olho. (a) Sistema de movimento olho-retina. A sucessão de imagens do estímulo-alvo móvel através da retina fornece informações do movimento a um olho estacionário. (b) Sistema de movimento olhos-cabeça. Um estímulo-alvo móvel é acompanhado por um olho em movimento, de modo que a imagem permanece estacionária na retina e ainda assim o movimento do estímulo-alvo é percebido. As imagens que se movem através da retina são percebidas como estímulos estacionários de fundo, e as imagens que nela permanecem estacionárias enquanto o olho se move são percebidas como em movimento. (Fonte: Adaptado de Gregory, 1973.)

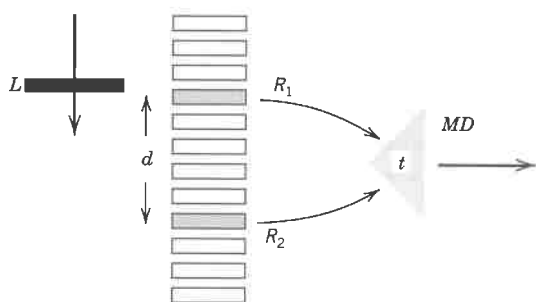


Figura 8.2 Modelo neural de um detector de movimento. Dois receptores retinianos, R_1 e R_2 , com uma distância entre eles e o d , alimentam o detector de movimento MD . O detector de movimento reage se a luz, L , atingir primeiro o receptor R_1 , e então, depois de um dado período de tempo, t , ou dentro dele, atingir o receptor R_2 . (Fonte: De J. F. Schouten, Subjective stroboscopy and a model of visual movement detectors, in W. Wathen-Dunn (Ed.), *Modes for the perception of visual form*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1967. Com permissão da MIT Press.)

caso, o movimento ocular compensa o movimento do alvo, mas mesmo assim percebemos seu movimento. Se o alvo móvel for acompanhado visualmente contra um fundo estacionário com textura — por exemplo, seguindo-se visualmente uma bola rolando sobre um chão de ladrilhos — a imagem do alvo permanecerá fixa em nossa retina enquanto a imagem do fundo, com os desenhos, se deslocará por ela com rapidez. Contudo, a percepção da estimulação do fundo não parece ser necessária à percepção do movimento do alvo. Por exemplo, um ponto ou luz que se move em outro cômodo que, a não ser por isso, está escurecido, fornece informações suficientes para a percepção do movimento, mas à medida que os olhos acompanham o ponto não há estimulação de fundo para se deslocar pela retina.

A questão óbvia que surge aqui é: como é que um estímulo-alvo pode ser percebido em movimento se o olho o acompanha de tal maneira que a imagem permanece em uma posição relativamente fixa na retina? A resposta exige um breve exame do modo como o sistema visual monitora os movimentos dos olhos. Quando os olhos acompanham um objeto em movimento, o cérebro envia sinais neurais de comando motor — **sinais eferentes** — aos músculos oculares, os quais produzem o movimento adequado dos olhos nas órbitas. Esses sinais de comando neural para os músculos oculares — feitos diretamente em resposta ao movimento do objeto — ocorrem somente com movimentos oculares *autoproduzidos*. (Nesse contexto, os movimentos oculares *autoproduzidos*, ou *ativos*, não se referem somente aos movimentos oculares relativamente infreqüentes, diretamente controlados e deliberadamente executados, como, digamos, quando decidimos “movimentar os olhos da esquerda para a direita” conscientemente. Em vez disso, referimo-nos aqui aos movimentos oculares comuns, especialmente os movimentos de perseguição, discutidos no Capítulo 4, automática e inconscientemente executados e registrados pelo sistema visual, enquanto desempenhamos muitas atividades visuais, como leitura, acompanhamento de objetos em movimento e, simplesmente, ficar olhando ao redor.) O papel desses sinais eferentes ativos e autoproduzidos na percepção do movimento é discutido a seguir.

Teoria Corolária de Descarga Um dos eventos visuais mais comuns é examinar o ambiente visual estacionário e percebê-lo como estacionário. Por exemplo, enquanto você lê esta página, movimentando os olhos da esquerda para a direita e de cima para baixo, a estimulação de movimento é registrada na sua retina, e mesmo assim a página e o texto aparecem como estacio-

nários. Por mais simples e corriqueiro que esse tipo de atividade pareça ser, ele também suscita uma indagação básica: por que é que o ambiente visual parece se mover quando os olhos se movimentam? Quando movemos ativamente os olhos, mesmo que mínimo, uma corrente de imagens do ambiente flui pela retina; isso estimula uma sucessão de receptores retinianos e, de acordo com o que dissemos sobre o sistema imagem-retina, deveríamos perceber movimento. Mas não é o que acontece. Para explicar esse fenômeno, foi proposto um mecanismo neural hipotético, chamada **teoria corolária de descarga**, que leva em conta os sinais de comando que movimentam os olhos automaticamente, comparando-os com as alterações resultantes geradas pelos movimentos oculares na imagem retiniana. Assim, quando os movimentos oculares são autoproduzidos, os sinais eferentes do comando motor, enviados pelo cérebro aos músculos para movimentar os olhos, neutralizam, cancelam ou suprimem o fluxo resultante de imagens geradas por movimentos oculares autoproduzidos.

Mais especificamente, a teoria corolária de descarga propõe que, quando o cérebro envia um sinal de comando motor para que os músculos oculares se movimentem, é também enviado um sinal relacionado, ou **sinal de descarga corolária** (ou CDS, também chamado **sinal de saída**) dessa mensagem a um centro **comparador** hipotético do sistema nervoso (veja Figura 8.3). Pressupõe-se que o processo comparador seja executado, pelo menos em parte, pelo *cerebelo* (“pequeno cérebro”), uma complexa estrutura subcortical importante em atividades como manutenção da postura, orientação e coordenação muscular (p. ex., Blakemore *et al.*, 1998; Middleton & Strick, 1998; Miles & Fuller, 1975). Segue-se que, enquanto os sinais de comando motor movimentam os olhos, a estimulação do movimento é registrada na retina. Essas mensagens que entram, ou **sinais aferentes** do movimento registrado na retina, são enviadas ao comparador, onde são examinadas e comparadas com os sinais de descarga corolária (SCD) enviadas pelo cérebro a esse local (Matin, 1986).

A Figura 8.3 apresenta ilustrações esquemáticas do comparador para duas condições: (1) quando os olhos se movimentam voluntariamente, mas o ambiente fica estacionário, e (2) quando os olhos ficam estacionários, mas há movimento no ambiente. Se os sinais que entram forem coerentes com o CDS ou corresponderem a ele (isto é, ambos os sinais indicarem movimento, conforme ilustrado na Figura 8.3a), os olhos criam um *cancelamento*, ou supressão, perceptual do deslocamento da imagem na retina. O resultado é que a cena visual parece estacionária, apesar das alterações de movimento da imagem. Assim, se as alterações na imagem retiniana forem autoproduzidas, criadas *somente* por movimentos oculares ativos — e não pelo movimento de um objeto nem pelo ambiente —, as alterações retinianas decorrentes do sinal entrante correspondem ao movimento no CDS, e são assim suprimidas ou canceladas pelo sistema visual. O resultado perceptual é que a cena visual parece estacionária. Essas alterações na retina ocorreriam pelo simples exame atento da cena visual estacionária.

Em contraste, quando o movimento retiniano no sinal entrante não é coerente com o sinal de descarga corolária, o movimento é percebido. Daí, quando os olhos estão estacionários, havendo somente movimento ambiental (p. ex., Figura 8.3b), não há nenhum CDS para cancelar o movimento resultante registrado pelo sinal entrante, e o movimento é percebido. Essa é a condição típica da visão processada pelo sistema de movimento imagem-retina. Nosso sistema visual é capaz, assim, de estabelecer diferença entre movimentos na imagem retiniana, produzidos somente por movimentos oculares ativos e autoproduzidos, e movimentos produzidos somente pelos movimentos físicos reais dos objetos (isto é, por causa da simulação do sistema de movimento imagem-retina).

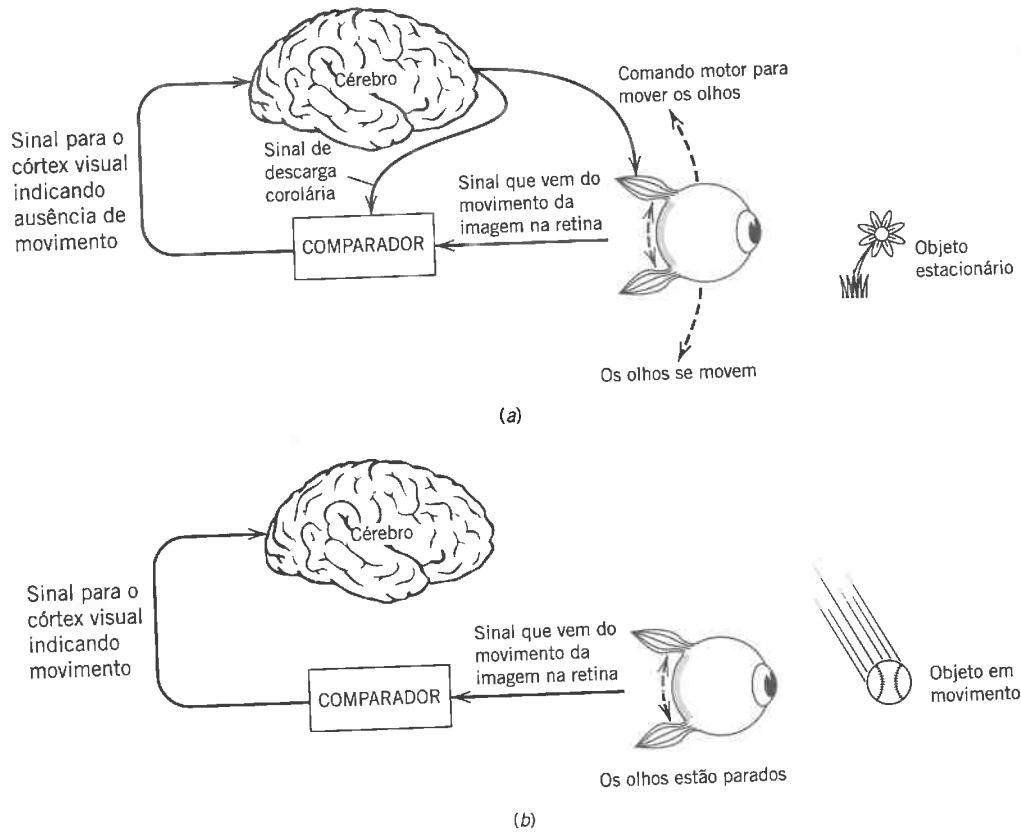


Figura 8.3 Esquema do comparador e do sinal de descarga corolária (CDS) em duas condições. (a) O ambiente é estacionário, sendo feitos movimentos oculares voluntários. Quando o cérebro envia um comando motor para movimentar os olhos, envia também um sinal de descarga corolária (CDS) ao comparador. Os movimentos oculares autoproduzidos criam um movimento da imagem retiniana correspondente, o qual é enviado ao comparador como sinal entrante. O CDS e o sinal entrante do movimento da imagem retiniana são comparados. Se ambos indicarem movimento, conforme mostrado, cancelam-se mutuamente e não se percebe movimento algum (veja condição 2, Tabela 8.1). (b) Os olhos ficam estacionários e um objeto se movimentando, cancelam-se mutuamente e não se percebe movimento algum (veja condição 1, Tabela 8.1). (Figura cortesia de Noah Schiffman, 2000.)

Agora podemos considerar nossas questões iniciais com relação à capacidade de perceber o movimento de um objeto quando o acompanhamos, mesmo se sua imagem permanecer estacionária na retina. Nesse caso, os movimentos de perseguição autoproduzidos criam sinais de descarga corolária que não correspondem aos sinais aferentes que entram. Em vez de gerar esse tipo de sinais de movimento na imagem da retina, a imagem do objeto fisicamente móvel é nela estabilizada. Como a estimulação do objeto sobre a retina não é cancelada nem neutralizada por sinais de descarga corolária, o objeto parece estar em movimento. Daí, quando acompanhamos um objeto em movimento, o que *não* é cancelado perceptualmente por sinais de descarga corolária é a imagem do objeto que permanece fixo na retina. É isso o que vemos como estando em movimento. Por outro lado, são cancelados os sinais de movimento que entram na imagem retiniana do fundo em que está o objeto, e o fundo parece estacionário (conforme ilustrado na Figura 8.3a). Em suma, quando os olhos se movem de maneira ativa para acompanhar um objeto o campo visual do fundo estacionário do alvo parece estável e somente os estímulos fisicamente em movimento, e acompanhados, é que parecem se mover.

A partir da análise do sistema olhos-cabeça, segue-se que quando os movimentos oculares *não* são autoproduzidos — estando, pois, ausentes os sinais de descarga corolária — as imagens retinianas em mutação não podem ser canceladas; será percebido o movimento de objetos ou do ambiente. Isso se verifica pela de-

monstração (atribuída a Hermann von Helmholtz) pela qual, quando o movimento do globo ocular é iniciado *passivamente*, estimulando com isso o sistema de movimento imagem-retina, o ambiente visual total é erroneamente visto como estando em movimento.

DEMONSTRAÇÃO Movimentando Passivamente o Globo Ocular

Você poderá verificar isso com facilidade. Se fechar um olho e movimentar um dedo levemente contra a pálpebra inferior do olho aberto, movendo os olhos para os lados ou para cima, a cena visual parecerá mover-se na direção oposta à do movimento ocular. Apertar o globo ocular faz com que o olho se mova, e isso, por sua vez, faz com que a imagem da cena se mova na retina. Contudo, como o movimento é passivo (isto é, feito pelo dedo, e não pelo comando normal autoproduzido do cérebro para os músculos oculares), ele fornece um sinal apenas para o sistema de imagem-retina. De forma correspondente, não é gerada nenhuma descarga corolária para cancelar na retina a imagem de uma cena em movimento. Daí, percebe-se a cena em movimento. Por outro lado podemos dizer que, faltando qualquer indicação de que o movimento na retina seja devido a movimentos oculares, o cérebro conclui que a cena deve ter-se movido. Ou seja, ela parece se mover.

porque o olho é movido passivamente, faltando os impulsos auto-produtos que dirigem ativamente os movimentos oculares e os sinais de descarga corolária que os acompanham (Bridgeman & Delgado, 1984). Em resumo, quando se vê um movimento estacionário, os movimentos passivos do globo ocular produzem sinais de imagem-retina sem sinais correspondentes de descarga corolária, e todo o campo visual parece se mover.

Outras evidências do papel dos sinais de descarga corolária na percepção do movimento são fornecidas pelo eminente físico Ernst Mach, que realizou uma demonstração oposta à de Helmholtz (Gregory, 1973). Em vez de movimentar passivamente os globos oculares, Mach imobilizou seus olhos com massa de vidro. Quando tentava movê-los, a cena visual parecia mover-se na mesma direção da tentativa de movimento. Nessa condição, são gerados sinais de comando dos movimentos oculares autoproduzidos e sinais de descarga corolária, mas, por causa da imobilização experimental dos olhos, eles *não* são acompanhados de quaisquer sinais aferentes (isto é, movimentos da imagem retiniana). Em outras palavras, apenas com os sinais de descarga corolária e não sendo confirmado por nenhum sinal aferente de movimento, o campo visual parece deslocado na direção do movimento ocular pretendido, mas não executado. (Em Stevens *et al.*, 1976, e Matin *et al.*, 1982 podem ser encontrados estudos mais recentes de imobilização experimental dos olhos para exame do papel dos movimentos oculares autoproduzidos e dos sinais de descarga corolária na percepção do movimento.)

Por fim, há um estudo clínico surpreendente sobre um indivíduo incapaz de gerar sinais de descarga corolária quando movia os olhos ativamente (Haarmeler *et al.*, 1997). Testes e avaliações neurológicas, baseados principalmente em imageamento por ressonância magnética (MRI), revelaram que em uma região do seu córtex visual primário havia lesões aparentemente determinantes para o processo de sinais do movimento visual produzido por movimentos oculares ativos. Sem sinais de descarga corolária, o paciente não era capaz de fazer compensação dos movimentos oculares autoproduzidos, de modo que sempre que executava movimentos de perseguição, para explorar todo o ambiente estacionário, percebia-o movendo-se a uma velocidade correspondente à dos próprios movimentos oculares.

A Tabela 8.1 resume alguns dos resultados de movimento ambiental (objeto) e retiniano que temos descrito, com movimentos oculares autoproduzidos e sem eles (e sinais de descarga corolária). Em (1), apenas o sistema de imagem-retina está ativo. Um objeto se move pelo campo visual e a imagem retiniana se altera, mas os olhos permanecem estacionários. Não há descarga corolária para cancelar as alterações na retina, e o movimento é percebido. Isso pode acontecer quando os olhos estão fixos em um alvo estacionário e outro objeto se move pelo campo de visão. Em (2), o sistema olhos-cabeça está ativo. Os olhos se movem por uma cena estacionária, fazendo com que a que imagem na retina se altere.

Contudo, como os movimentos oculares são autogerados, os sinais da descarga corolária resultante cancelam as imagens no comparador, e o movimento não é percebido. Isso pode acontecer quando estamos meramente passando os olhos pela cena visual estacionária. Em (3), o sistema olhos-cabeça está também ativo. Um objeto se move contra um fundo estacionário e os olhos se movem de maneira correspondente, acompanhando o objeto cuja imagem permanece fixa na retina. Como resultado, já que os movimentos oculares são autogerados, os sinais de descarga corolária cancelam as alterações na imagem retiniana produzida pelo fundo, que assim parece estacionário. Contudo, como eles não cancelam a imagem retiniana estacionária do objeto em movimento que está sendo acompanhado, este é percebido como em movimento. Isso acontece normalmente quando os olhos acompanham um objeto em movimento.

O mundo visual não parece se mover muito quando movimentamos o pescoço, a cabeça ou o corpo, independentemente dos movimentos oculares. O mecanismo geral do sistema olhos-cabeça não acompanha simplesmente o movimento dos olhos, mas envolve a orientação geral do indivíduo (p. ex., Blackmore *et al.*, 1999). Isso indica que o sistema nervoso central também leva em conta a influência recíproca de informações visuais e de orientação, de modo que percebemos um ambiente visual estável em muitos tipos de movimentos *ativos*, apesar das alterações resultantes na imagem retiniana. Por exemplo, os sinais autogerados e ativos de comando motor que são feitos quando caminhamos, fazemos cooper, corremos, saltamos ou mesmo quando casualmente passamos de uma posição sentada para uma posição de pé, ou quando simplesmente subimos ou descemos um lance de escadas, estão integrados com as imagens que passam pela retina e as cancelam. Assim, como resultado dos sinais de descarga corolária gerados enquanto nos movemos de um lado para outro, geralmente percebemos um ambiente visual relativamente estável. É evidente a vantagem funcional desse mecanismo para um organismo dinâmico interagir de maneira significativa com um ambiente dinâmico.

ESTIMULAÇÃO ÓPTICA PARA A PERCEÇÃO DO MOVIMENTO

No mundo visual, as coisas se movem de um lado para outro de maneiras diferentes, em direções diferentes e a velocidades diferentes. Além disso, à medida que um observador se move o ponto a partir do qual o mundo é visto fica em mudança contínua. Todos esses eventos dinâmicos produzem alterações correspondentes no arranjo de luz que forma a imagem na retina. Segue-se que a percepção do movimento é tirada de um padrão complexo de estímulos que se modificam na projeção retiniana. Diversas variáveis, fornecidas por essas mudanças e identificadas aqui, são especialmente informativas na percepção do movimento.

Tabela 8.1 Resultados de Movimento de Objetos, Alterações na Imagem Retiniana e Movimentos Oculares Voluntários na Percepção do Movimento

Sistema de Movimento	Atividade Típica	Atividade do Objeto (ou do Ambiente)	Imagem Retiniana	Movimentos Oculares	
				Voluntários e Descarga Corolária	Percepção
1. Imagem-Retina	Fixação	Há Movimento	Há Alteração	Não	Com Movimento
2. Olhos-cabeça	Varredura	Estacionário	Há Alteração	Sim	Sem Movimento
3. Olhos-cabeça	Acompanhando	Há Movimento	Estacionária	Sim	Com Movimento

Padrões de Fluxo Óptico

À medida que uma pessoa vai se movendo no mundo visual, a imagem na retina vai mudando diretamente com as características físicas do movimento. Em outras palavras, a projeção óptica da maioria das superfícies (p. ex., pisos, paredes, tetos, estradas e campos) continua mudando com o movimento do observador. O padrão de mudanças criado por esse movimento chama-se **padrão de fluxo óptico**. Como foi esboçado na Figura 8.4, quando o observador se move em direção à superfície frontal mantendo a vista no ponto F , os contornos parecem deslizar radialmente (isto é, espalhar-se em leque) a partir do ponto de vista focal, fluindo cada vez para mais longe, para a margem do campo visual, criando um padrão de fluxo radial. O ponto focal do padrão de fluxo criado pelo movimento do observador em direção a esse fluxo é chamado de *foco de expansão*, correspondendo à direção do movimento do observador.

Os vetores na figura sugerem a alteração dos padrões ópticos da disposição criada pelo movimento do observador para a frente, em um ambiente tridimensional. Como é o movimento do observador que gera o padrão de fluxo óptico, ele deveria fornecer uma fonte direta e segura para calcular a *direção* do movimento do observador (Warren & Hannon, 1988, 1990; Warren, Morris & Kalish, 1988; Kim *et al.*, 1996). Lidar com padrões de fluxo óptico é uma experiência razoavelmente comum. Eles são criados toda vez que dirigimos ou corremos por uma estrada ou caminhamos pelo *ball* de um edifício com o olhar direcionado à frente. Um padrão complexo de fluxo óptico pode ser simulado facilmente para dar a impressão de movimento em determinada direção. É a manipulação dos padrões de fluxo óptico que empregam disposições complexas de iluminação que produz os extraordinários efeitos na maioria dos videogames.

Expansão da Retina e Velocidade de Movimento

As informações no padrão das alterações na retina também ajudam o observador a calcular a *velocidade* relativa de seus movimentos. Com o movimento em direção a uma superfície estacionária (como

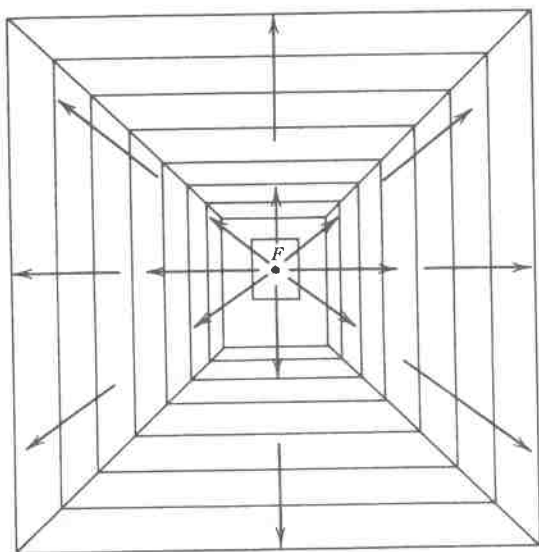


Figura 8.4 Padrão de fluxo óptico. À medida que o observador se move em direção à superfície frontal, mantendo o olhar fixo no ponto F , os elementos de todos os lados do desenho óptico parecem ir passando.

o movimento em direção ao ponto F , ilustrado no padrão de fluxo óptico da Figura 8.4), expande-se o tamanho da imagem retiniana da superfície. A fonte resultante de informações sobre o movimento chama-se **expansão retiniana**. À medida que o observador se dirige para uma superfície estacionária, a velocidade da expansão retiniana (isto é, o grau de expansão da imagem retiniana da superfície estacionária) reflete diretamente a velocidade da sua aproximação. Se a imagem retiniana da superfície se expandir rapidamente à medida que ele se aproxima, isso pode ser um indicador potencial de *colisão* iminente com a superfície. De maneira análoga, veja a condição oposta, em que superfícies ou objetos parecem se deslocar em direção a um observador estacionário. Ao causar a expansão retiniana, o objeto no plano frontal (perto-longe) será percebido como se estivesse se aproximando a uma certa velocidade. O aumento da imagem do objeto na retina do observador estacionário é, por isso, percebido como movimento em direção ao observador, e a velocidade do aumento indica a velocidade do objeto (p. ex., Schiff, 1965). Esse fenômeno perceptual chama-se *looming* e será discutido em detalhes no Capítulo 11.

As alterações no tamanho da imagem de um objeto também podem ser um sinal de uma alteração pouco freqüente — e por isso pouco provável — de tamanho em um objeto estacionário. Quando faltam indicações espaciais diretas para a percepção do movimento, uma imagem retiniana em expansão de um objeto poderia resultar de um dentre dois eventos iminentes: (1) o objeto é estacionário com respeito ao observador, mas está aumentando ou crescendo, ou (2) o objeto na verdade está se aproximando a uma velocidade uniforme. Sem quaisquer outras indicações visuais fornecidas por um observador estacionário a imagem retiniana de uma forma em expansão gradativa de um objeto redondo, por exemplo, poderia significar que um balão estacionário estivesse se enchendo aos poucos, ou teria a mesma probabilidade de significar que uma bola de tamanho constante estivesse se aproximando do observador. Em tal condição visual ambígua, as alterações de tamanho em um objeto servem como indicação de expansão física ou como sinal de movimento. Contudo, Regan *et al.* (1979) aplicam uma abordagem adaptativa funcional aos possíveis resultados perceptuais propondo que

enquanto a forma de um objeto permanecer constante, o sistema visual (possivelmente por meio de algum sistema neural primitivo) responde como se a alteração de tamanho fosse causada por movimento em profundidade. Isso poderia ser descrito como uma solução de “melhor palpite”. Para um animal (incluindo o homem), haveria pouca vantagem, em termos de sobrevivência, conferida por um sistema visual que submetesse a um julgamento intelectual despreocupado a questão de saber se um predador estava se aproximando com rapidez ou inchando rapidamente! (p. 142)

Limiares para o Movimento

Até que ponto somos eficazes na detecção do movimento? Em um extremo, os objetos se movimentam com tanta rapidez em um campo visual que, no melhor dos casos, só conseguimos ver um borrão. No outro extremo se acham os objetos e eventos de velocidade tão lenta que não conseguimos detectar movimento algum. Uma cobra pode rastejar tão lentamente para junto da presa e, mesmo assim, atacar com tanta agilidade que o olho humano não detecta nenhum dos dois movimentos. Recorrendo a exemplos mais familiares, não observamos qualquer movimento no ponteiro maior dos relógios e, provavelmente, teremos dificuldade em ver também o ponteiro menor se mexer, ao passo que o movimento das pás de um ventilador elétrico parece invisível.

Os valores de limiar para a percepção do movimento — a velocidade mínima em que ele pode ser detectado — variam em função de muitos fatores físicos e psicofisiológicos, além da própria velocidade do objeto. O limiar do movimento varia de acordo com fatores como o tamanho do alvo e os componentes das frequências espaciais, a distância do alvo, o fundo em que ele se encontra (ou seja, homogêneo *versus* com textura), o nível de luminosidade, a região estimulada na retina e o estado adaptativo do olho (p. ex, Gegenfurtner *et al.*, 1999). Por exemplo, os valores de limiar para o movimento são os mais baixos para estímulos iluminados que se movem em um fundo estacionário cuja imagem incide na fóvea.

Veja a seguinte condição específica de limiar: quando a fóvea é estimulada, dá para se detectar o movimento de um alvo bem iluminado de 0,8 cm² visto a uma distância de 2 m, se ele se mover a cerca de 0,2 cm/s (Brown, 1931; veja Spiegel, 1965). Em comparação, quando a velocidade de um alvo móvel a 2 m do observador ultrapassa em mais ou menos 150 cm/s, o alvo aparece como um borrão, e não como um estímulo em movimento. Valores específicos à parte, há tanto um limiar mais baixo — uma velocidade mínima, abaixo da qual não se percebe movimento (Bonnet, 1982) — como um teto — um valor máximo de velocidade, acima do qual o movimento também não é percebido (Burr e Ross, 1982; veja Mack, 1986, para uma análise e um resumo das medidas de limiar para movimento). Em outras palavras, os objetos que se movem com excesso de lentidão ou de rapidez não são percebidos como estando em movimento.

MOVIMENTO BIOLÓGICO

Como seres humanos observadores, normalmente notamos os movimentos de outros seres humanos. Captar esses movimentos fornece uma rica fonte de informações sobre as atividades das pessoas à medida que elas interagem com o ambiente. Reconhecemos rapidamente se uma pessoa está caminhando ou correndo, pulando ou dançando, escalando com apoios ou subindo uma escada, e assim por diante. Além disso, podemos detectar ligeiros desvios das normas gerais. Por exemplo: notamos facilmente quando uma pessoa caminha mancando um pouco, ou a postura curvada e o andar mais lento dos idosos, e muitas vezes reconhecemos (e até mesmo imitamos) uma pessoa com base em sua postura característica, modo de andar e padrão gestual.

A partir de um ponto de vista evolutivo, faz sentido a capacidade de identificar com rapidez os diferentes tipos de atividades motoras dos seres humanos e outros animais enquanto executam movimentos. O intercâmbio adaptativo com o ambiente natural exige o reconhecimento rápido de certas atividades animadas, e muitas vezes essa tarefa de reconhecimento deve ser executada em condições de iluminação em que não é fácil discernir a identidade e nem mesmo a espécie do organismo em movimento. Assim, não é surpresa que tenhamos desenvolvido um mecanismo para extrair informações precisas com relação à natureza de atividades biológicas motoras com base somente nas indicações de movimento. O padrão complexo de movimentos que determinam a percepção dos atos de movimento animado do tipo Gestalt é construído a partir de combinações de movimentos como os do pêndulo, específicos para cada tipo de atividade. (Lembre-se do princípio de agrupamento de *destino comum* da Gestalt, no Capítulo 7.) Esses padrões de movimento animado têm sido estudados extensamente, e foram denominados **movimento biológico** pelo cientista sueco Gunnar Johansson (1973, 1975).

Johansson criou um método simples e preciso para isolar e examinar diretamente as informações visuais para a percepção do

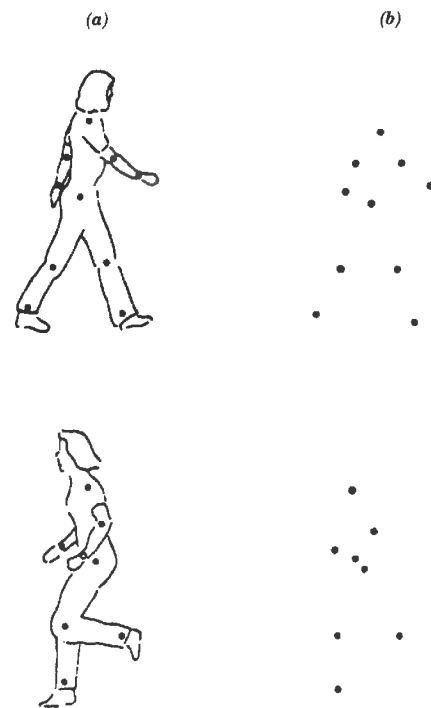


Figura 8.5 Esboços de um sujeito andando e de um sujeito correndo (a) e as configurações correspondentes em pontos (b). Depois de um ou dois passos, os sujeitos que viam os pontos luminosos percebiam uma pessoa andando (configuração de pontos em cima) ou uma pessoa correndo (configuração de baixo). (Fonte: De G. Johansson, Visual perception of biological motion and a model for its analysis, *Perception & Psychophysics*, 14, 1973, p. 202. Reimpresso com permissão de Psychonomic Society, Inc.)

movimento biológico puro, sem qualquer interferência de informações de não-movimento, como a forma da figura em movimento e os estímulos do fundo. Em uma experiência, os movimentos de um ator foram gravados em videotape, mas os movimentos foram feitos em completa escuridão, só ficando visíveis os pontos de luz (isto é, *exposição de pontos luminosos*) colocados em 10 articulações corporais principais (Figura 8.5a). Conforme está ilustrado na Figura 8.5b, o resultado era uma percepção espontânea de uma atividade reconhecível, mesmo quando o ator havia dado apenas um ou dois passos. A impressão vívida da animação humana criada pelo desenho formado dos pontos iluminados nas articulações era tão convincente que os observadores não conseguiam combinar perceptualmente os pontos em movimento para estabelecerem impressões alternativas de movimento. Nem conseguiam enxergá-los simplesmente como uma série de pontos de luz em movimento. Cessado este, a configuração de luzes não parecia representar uma forma humana. Fica claro, pois, que é o movimento geral dos pontos iluminados e de seus movimentos com relação uns aos outros — o *padrão de movimento* — que cria a impressão de um tipo particular de movimento.

Movimento Biológico Deduzido da Exposição de Pontos Luminosos

Estudos posteriores de percepção do andar, usando exposição de pontos luminosos como estímulos cinéticos, têm estabelecido que é possível à pessoa reconhecer o próprio modo de caminhar, bem como o dos amigos (Cutting & Koslowski, 1977). Além disso, homens e mulheres possuem padrões distintos e identificáveis de

movimento no modo de caminhar (Cutting & Proffitt, 1981; Cutting, Proffitt & Koslowski, 1978; Mather & Murdoch, 1994). As seqüências de exposição de pontos luminosos foram identificadas como masculinas quando os movimentos dos ombros eram mais perceptíveis do que os dos quadris, e femininas quando ocorria o padrão contrário (Barclay *et al.*, 1978; Cutting, 1978; Runeson & Frykholm, 1983; Mather & Murdoch, 1994).

Os desenhos formados pela exposição de pontos luminosos também possibilitam aos observadores avaliar a quantidade de esforços despendidos por uma pessoa nas atividades de movimento. Em uma experiência relatada por Runeson & Frykholm (1983), foram mostrados pontos luminosos de uma pessoa atirando um saquinho de feijão a uma distância entre 1,80 m e 8 m. A única informação disponível ao observador, porém, envolvia movimentos dos pontos luminosos localizados nas articulações da pessoa que atirava o saquinho. (Nem este nem seu movimento eram visíveis.) Os observadores demonstraram um acerto muito elevado na estimativa da distância à qual o saquinho de feijão era arremessado. Em uma experiência relacionada, os observadores também acertaram muito ao avaliarem o peso de objetos relativamente pesados (p. ex., bolas de boliche), pegos por um indivíduo cujo esforço físico despendido, a cada vez que pegava o saquinho, era representado apenas pelo movimento dos pontos luminosos nas articulações (isto é, mesmo quando, como no caso do saquinho de feijão, os observadores não podiam ver a bola de boliche; veja Henderson *et al.*, 1993).

Quando representada apenas por padrões de movimento de pontos luminosos em uma tela de televisão, a percepção do movimento biológico não se restringe aos seres humanos adultos. Fox e Daniel (1982) descobriram que os bebês conseguem não apenas fazer distinção entre simulações de formas biológicas e não-biológicas (ou aleatórias) de movimento, mas, por volta dos quatro meses também demonstram uma preferência distinta pelo movimento biológico (veja também Bertenthal, 1992).

A percepção do movimento biológico nem mesmo fica restrita à locomoção humana. Os observadores humanos também conseguem identificar o movimento de uma grande variedade de espécies animais — por exemplo, babuínos, camelos, gatos, cães, elefantes, cavalos, leões, bois, porcos — com base apenas em exposições dinâmicas de pontos luminosos de animais apresentados em posição lateral ao se movimentarem pelo campo de visão (Mather & West, 1993). Além disso, alguns animais, como o macaco (Oram & Perrett, 1994) e o gato, percebem algum grau de movimento biológico quando o “movimento” é criado por mudanças nas seqüências de pontos luminosos (Blake, 1993).

A captação do movimento biológico a partir de pontos luminosos é imediata e automática, não exigindo, aparentemente, qualquer mediação sofisticada nem processamento complexo por parte do observador. Por exemplo, bastam segmentos curtos contendo seqüências de movimento biológico, projetados rapidamente por apenas 100 ms (isto é, 1/10 de segundo de tempo de visão), para que os observadores identifiquem aspectos de movimentos familiares (Johansson, von Hofsten & Jansson, 1980; veja também mais variações de espaço-tempo no movimento biológico em Neri *et al.*, 1998).

Talvez a facilidade com que o movimento biológico é deduzido e interpretado a partir de pontos luminosos se deva, em parte, à atividade neural em regiões corticais especializadas. Existem indícios de que há uma região específica do cérebro que age no controle do movimento biológico. Bonda *et al.* (1996) monitoraram e fizeram imageamento da atividade cortical utilizando a Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET *scans*) enquanto adultos humanos viam pontos luminosos de movimento, como uma pessoa dançando ou pegando uma xícara e levando-a à boca. Tipos

particulares de movimento criados pela percepção de pontos luminosos provocavam o aumento da atividade neural em áreas corticais específicas, especialmente no lobo parietal.

Em suma, quando representados apenas por seqüências de luzes em movimento — exposição de pontos luminosos — colocadas em articulações corporais principais, os movimentos gerais do corpo são organizados com facilidade, apresentando informações suficientes para evocar fortes impressões identificáveis de atividades complexas e biologicamente importantes.

DISTORÇÕES NA PERCEPÇÃO DO MOVIMENTO

Muitos eventos dinâmicos partilham de uma percepção distorcida do movimento físico, criada por uma reinterpretação ou por uma percepção errônea do movimento aparente no campo visual. Além disso, o movimento aparente de um objeto e a estrutura em que é visto podem influir na percepção de sua configuração ou forma. A seguir, são discutidos dois fenômenos que ilustram essa influência de efeitos que dependem do movimento: o *efeito cinético de profundidade* e a *percepção anortoscópica*. Os dois últimos tópicos desta seção, o *movimento induzido* e o *efeito do pêndulo de Pulfrich*, focalizam a influência do contexto espacial geral sobre a percepção do movimento ambiental.

Profundidade Produzida pelo Movimento: Efeito Cinético de Profundidade

Se um padrão de sombras bidimensionais, como as que são criadas pela rotação da forma de um cubo de arame, for lançado em uma tela translúcida, conforme é mostrado na Figura 8.6a, criará uma impressão convincente de um objeto tridimensional rígido. Wallach e O'Connell (1953) denominaram esse fato **efeito cinético de profundidade**. Quando a figura é estacionária, a sombra do cubo de fio metálico parece plana, em duas dimensões. Porém, quando ela é posta em rotação em torno do eixo vertical percebe-se a forma mutante da sombra em profundidade, como se proviesse de um cubo sólido em rotação, muito embora todo o movimento forme a imagem em uma superfície plana. Nesse caso, projeta-se na retina uma seqüência de imagens visuais correspondentes à imagem contínua, conseqüência normal da rotação de um verdadeiro objeto tridimensional. Na Figura 8.6b é dada uma amostra de tais imagens. Como resultado, o sistema visual interpreta as alterações na forma das sombras como as de um objeto tridimensional em rotação, e não como uma sucessão de formas planas realmente projetadas.

A forma percebida no efeito cinético de profundidade não tem de ser uma forma familiar. Ver o movimento de um objeto nada familiar, como um fio entortado a esmo, também facilita o efeito cinético de profundidade. Como estímulo estacionário, ele aparece como curva plana, sem forma detectável. Porém, quando se usa uma versão do arranjo da Figura 8.6a para rotacioná-lo percebe-se imediatamente uma forma coerente em três dimensões. A demonstração que se segue, ilustrada na Figura 8.6c, ilustra esse fenômeno.

DEMONSTRAÇÃO Efeito Cinético de Profundidade

Tome um clipe grande de papel (ou qualquer peça de arame relativamente firme, mas flexível, como um limpador de cachimbos, um fio elétrico ou um cabide de arame para camisas) e entorte-o,

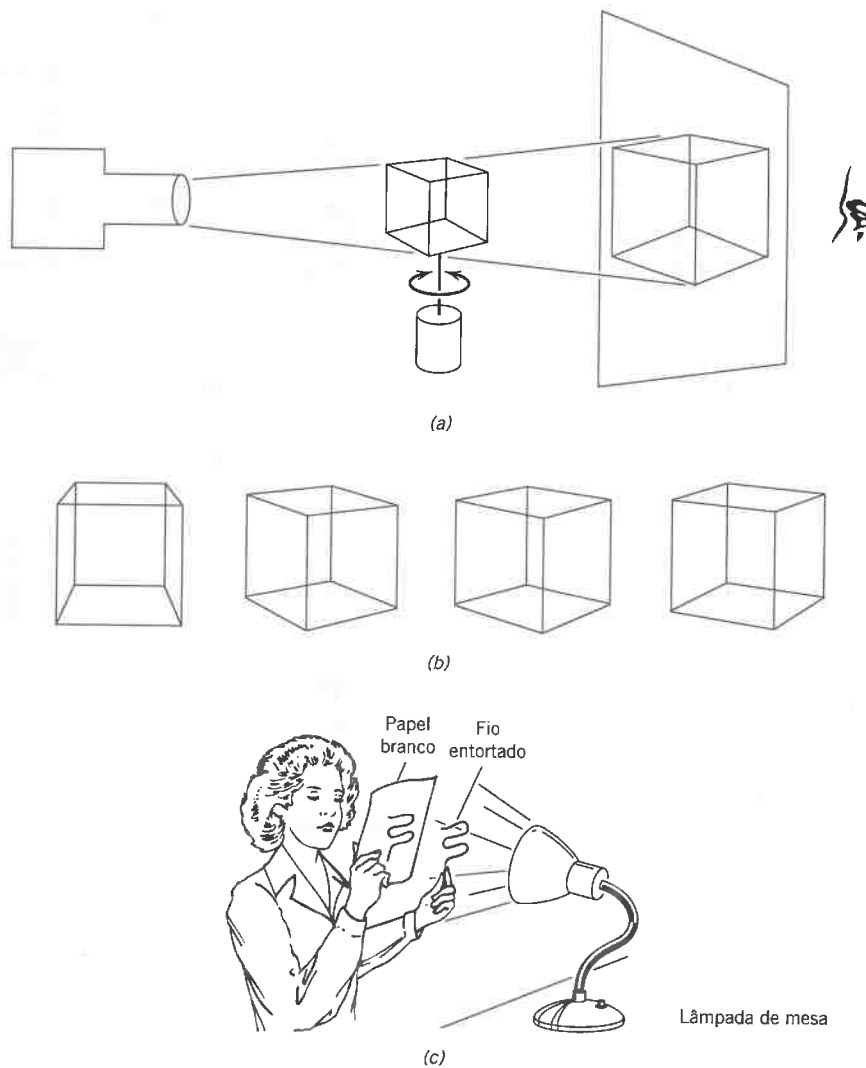


Figura 8.6 O efeito cinético de profundidade. (a) Arranjo para a demonstração do efeito cinético de profundidade com uma forma cúbica feita de fio metálico. (b) Alguns exemplos das imagens projetadas do cubo de fio ao ser girado. (c) Um arranjo simples para ilustrar o efeito cinético de profundidade com uma forma não familiar (veja demonstração no texto).

dando-lhe uma forma tridimensional irregular. Como é mostrado na Figura 8.6c, segure-o diante de uma lâmpada de mesa e por trás de uma folha de papel branco, de modo que ele lance uma sombra nítida no papel. Para garantir que a sombra da imagem seja nítida, mantenha o fio relativamente perto da folha. Enquanto girar, o fio parecerá uma figura de forma tridimensional dinâmica. Parado, parecerá uma forma plana irregular.

Os bebês de cinco meses percebem o efeito cinético de profundidade (Schmuckler & Proffitt, 1994). Assim, como no caso do movimento biológico, esse tipo de efeito cinético ilustra uma sensibilidade básica às informações especificadas pelo movimento. De maneira geral, esse efeito e o movimento óptico de um objeto ilustram o aspecto importante de que a percepção do movimento de um objeto exerce influência significativa na percepção da estrutura ou forma deste objeto (p. ex., Sperling *et al.*, 1989; Norman & Lappin, 1992; Kourtzi & Shiffrar, 1999).

Mesmo quando visualmente degradada, a forma das alterações criadas por um objeto em movimento pode também ajudar a identificar o próprio movimento. Pesquisas feitas por Bingham (1995)

sublinham esse ponto. Em um estudo, ele e seus colaboradores (Bingham, Schmidt & Roseblum, 1995) apresentaram aos sujeitos *exposições* dinâmicas de pontos luminosos de objetos inanimados e rígidos em movimento (usando somente um deslocamento irregular de luzes, como na técnica de Johansson, descrita antes na seção sobre o movimento biológico). Com base no padrão de atividade definida unicamente pelas fontes dinâmicas de pontos luminosos, os observadores conseguiram identificar eventos do movimento com exatidão, como o balanço de um pêndulo, uma bola rolando, uma superfície aquática sendo agitada e a queda de folhas.

Percepção Anortoscópica

O contexto em que o movimento é visto influi enormemente no caráter do movimento percebido. Empregando condições pouco comuns de visualização, Parks (1965) demonstrou que, quando uma figura é movida horizontalmente por trás de um tela, ficando visível somente uma pequena parte dela através de uma fenda estacionária, em qualquer momento dado ela é vista na sua totalidade como uma figura coesa unificada (veja as Figuras 8.7 e 8.8). Esse

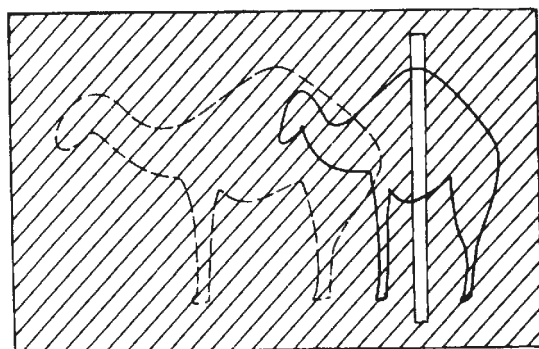


Figura 8.7 Um estímulo e contorno de exemplo do arranjo para a demonstração do efeito de Parks. O estímulo, à esquerda, aparece como a forma comprimida de um camelo à direita. (Fonte: De T. E. Parks, Post-retinal visual storage, *American Journal of Psychology*, 78, 1965, p. 148. Reimpresso com permissão do editor, University of Illinois Press.)

efeito incomum, atribuído a Zöllner em 1862, chama-se **percepção anortoscópica** (do grego *an*, “falta”, “não”; *orthos*, “direito”, “correto”; e *optos*, “ver” — em suma, uma percepção “incorreta” ou vista de maneira anormal. Veja em Rock, 1986, uma breve história). O que é interessante é que, com uma *exposição* dinâmica anortoscópica, a figura total pode ser reconhecida, mesmo que se veja somente uma estreita faixa dela em determinado momento. Assim, apesar do fato de não aparecer uma imagem extensa da figura inteira em determinado momento, o sistema visual consegue integrar, ou reunir, em uma única forma integrada, o conjunto de partes sucessivas que incidem na mesma região da retina.

Juntamente com a forma da fenda (Figura 8.8), a forma percebida da figura depende da velocidade do movimento com que ela passa por trás da fenda. Em velocidades relativamente lentas, a figura parece ligeiramente alongada; em velocidades relativamente rápidas, parece comprimida ou condensada (Anstis & Atkinson, 1967; Haber & Nathanson, 1968). Além disso, a figura parece deslocada na direção do movimento.

Além de realçar o efeito crítico dos fatores de movimento e fundo sobre a percepção da forma de um objeto, a percepção anortoscópica também demonstra que as visualizações sucessivas de partes relativamente isoladas podem ser integradas no tempo com relação umas às outras e sintetizadas para permitir a percepção de sua forma. Enquanto ainda falta elaborar uma explicação completa, as implicações da percepção anortoscópica afetam muitos assuntos perceptuais e cognitivos importantes (veja em Rock, 1983, 1986, uma análise detalhada do fenômeno).

Movimento Induzido

A percepção da configuração ou forma de um objeto pode sofrer enorme influência do contexto, ou estrutura espacial, no qual o estímulo em movimento é visto. Em certos contextos dinâmicos, o que um observador percebe que está em movimento nem sempre é exato. Se duas figuras iluminadas, de tamanhos diferentes, forem vistas dentro de um ambiente totalmente escuro e somente a figura maior estiver realmente em movimento, a impressão geral será de que ela estará parada e somente a figura menor estará em movimento. Nessa condição de visão, diz-se que o estímulo maior em movimento *induz* o movimento do menor. Por exemplo, se um ponto luminoso estacionário estiver limitado no escuro por um retângulo luminoso e este se deslocar lentamente para a direita, teremos a impressão de que o retângulo está parado, com o ponto no seu interior movendo-se para a esquerda. Conforme delineado na

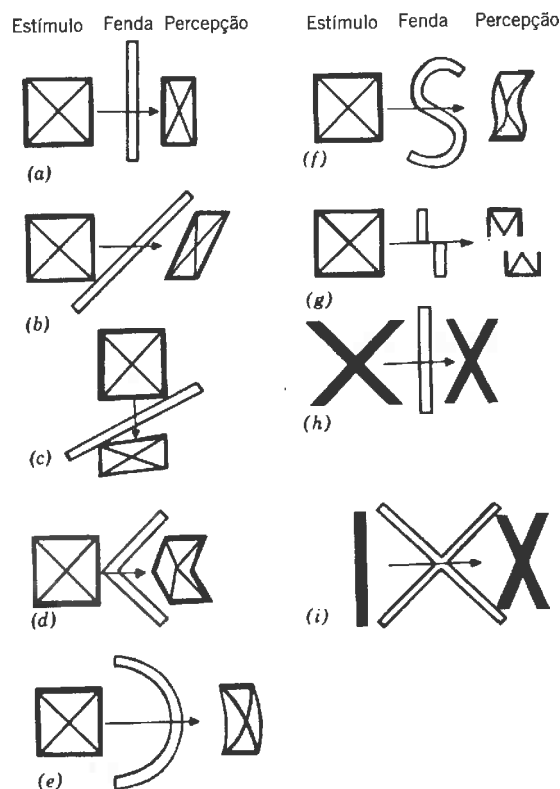


Figura 8.8 Exemplos de distorção da percepção de figuras movidas por trás de uma fenda estacionária. (a) A figura percebida parece deslocada e comprimida na direção do movimento. (b-g) Fendas inclinadas, curvas ou múltiplas fazem as figuras em movimento parecerem inclinadas, curvadas ou múltiplas, respectivamente. (h, i) A forma da figura e a fenda podem ser intercambiadas. Uma figura em forma de “X” vista por uma fenda em linha vertical parece ser a mesma figura em linha vertical vista pela fenda em “X”. (Fonte: De S. M. Anstis e J. Atkinson, Distortions in moving figures viewed through a stationary slit, *American Journal of Psychology*, 80, 1967, p. 573. Reimpresso com permissão do editor, University of Illinois Press.)

Figura 8.9, o movimento aparente do ponto é *induzido* pelo deslocamento físico do retângulo. Um exemplo mais familiar envolve a visão de uma lua brilhante contra um céu noturno nublado. Nessa situação, a lua normalmente parece correr por trás de nuvens aparentemente paradas, mas são as nuvens que estão em movimento, cobrindo a lua parada. Assim, o **movimento induzido** é uma distorção ou ilusão visual em que há um movimento físico, sim, mas atribuído perceptualmente à parte errada da disposição dos estímulos.

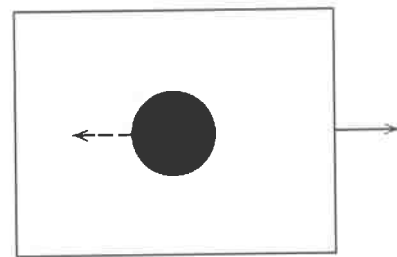


Figura 8.9 Movimento induzido. Um ponto luminoso estacionário, limitado por um retângulo luminoso, é visto no escuro. Se o retângulo for deslocado fisicamente para a direita (seta cheia), o ponto limitado parecerá se mover para a esquerda (seta interrompida). O movimento aparente do ponto estacionário é induzido pelo deslocamento físico do retângulo.

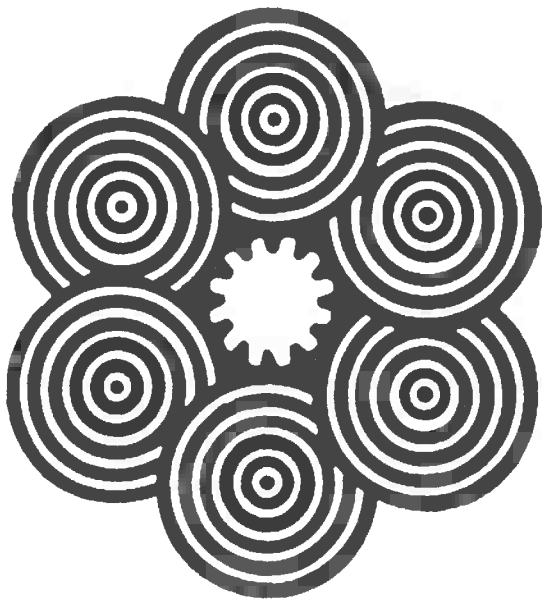


Figura 8.10 Efeito de movimento rotatório induzido. Concentre o olhar na engrenagem do centro à distância de 30 cm. Movendo-se a página de um lado para outro, a uma velocidade de cerca de uma vez por segundo, as rodas exteriores parecerão mover-se em uma direção, e a engrenagem central, em outra. (Fonte: Baseado em Le Grand, 1967.)

Quando as indicações do fundo e da estrutura são um tanto ambíguas, o estímulo menor e mais limitado parece se mover com relação ao estímulo maior que o limita. Talvez isso aconteça por causa das inferências que tiramos automaticamente, com base em experiências já tidas com objetos ambientais grandes e pequenos. Ou seja, normalmente são os objetos pequenos do nosso ambiente que se movem de um lado para outro, enquanto há mais possibilidade de que os objetos grandes, juntamente com o fundo, permaneçam estáveis.

O movimento induzido não fica restrito a percursos lineares aparentes. Em seu tratado clássico sobre o movimento induzido, Duncker (1929) relatou que o movimento de um disco estacionário com desenhos pode ser induzido pela rotação de um anel concêntrico desenhado ao redor dele. (Veja na Figura 8.10 a demonstração de um efeito relacionado. Veja também Anstis & Reinhardt-Rutland, 1976, e Day, 1981.)

O Efeito do Pêndulo de Pulfrich

Uma distorção perceptual interessante de movimento físico, conhecida como **efeito do pêndulo de Pulfrich**, pode ocorrer quando ambos os olhos são estimulados pelo mesmo evento ambiental, mas com intensidades diferentes de luz. Esse efeito está esquematizado na Figura 8.11. O pêndulo é balançado para a frente e para trás, em linha reta, em um plano perpendicular à linha de

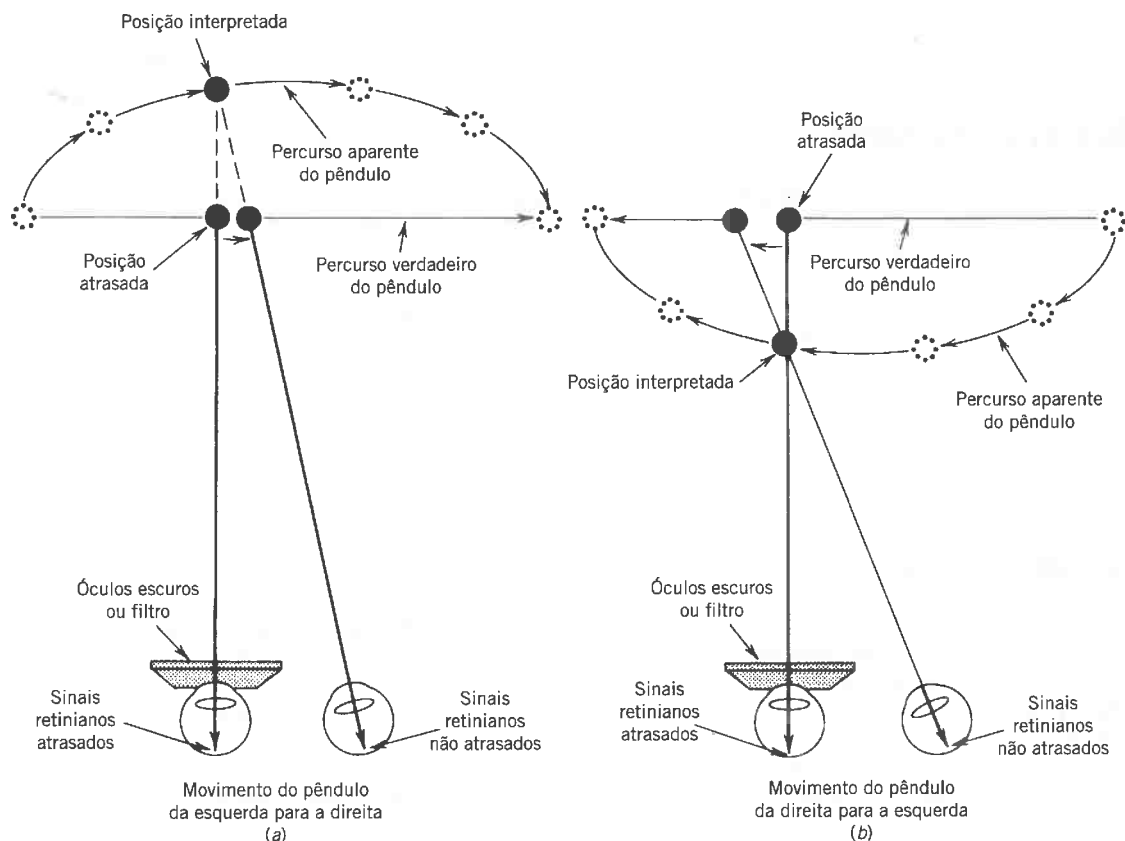


Figura 8.11 Diagrama esquemático do efeito do pêndulo de Pulfrich. Quando um pêndulo, balançando em arco em um plano perpendicular à linha de visão e sem se deslocar dele, é visto por uma pessoa com um filtro sobre um dos olhos, parece balançar-se em um percurso elíptico. Isso se deve aos sinais que ficam atrasados a partir do olho coberto pelo filtro. O efeito perceptual é que há um deslocamento aparente do pêndulo afastando-se do observador ao se movimentar da esquerda para a direita, ou seja, do lado coberto pelo filtro para o lado sem filtro do campo visual (a), e um deslocamento em direção ao observador quando o pêndulo se movimenta na direção oposta (b).

Tanto em (a) como em (b), os percursos aparentes criados pela série de posições interpretadas do pêndulo conformam-se ao conjunto de sinais visuais que alcançariam o olho se aquele, na verdade, se afastasse do observador e se aproximasse dele, ou seja, fizessem um movimento em profundidade.

visão do observador. No entanto, quando os olhos estão abertos, mas um deles se acha coberto com um vidro escuro ou um filtro de luz (p. ex., uma lente de um par de óculos escuros), o pêndulo parece balançar em uma linha elíptica, indo em direção ao observador e dele se afastando, em movimento de arco.

Segundo Gregory (1973) e outros (Brauner & Lit, 1976; Enright, 1970), essa distorção ocorre principalmente porque o tempo de reação do sistema visual varia com a intensidade dos estímulos. O filtro reduz a quantidade de luz que atinge um dos olhos, o que, por sua vez, provoca um atraso ligeiro, porém significativo, nos sinais desse olho que chegam ao cérebro. Em qualquer instante, a posição aparente do pêndulo, que é codificada pelo olho coberto com o filtro, fica um pouco atrasada em relação à posição codificada pelo olho sem cobertura de filtro, de modo que cada olho vê o pêndulo em um posicionamento ligeiramente diferente. Durante o movimento, essas posições aparentes do pêndulo, com uma leve diferença e provocadas pelo atraso do sinal filtrado, são os mesmos sinais de posicionamento que seriam recebidos pelos olhos e enviados ao cérebro se o pêndulo na verdade se deslocasse em uma linha elíptica em profundidade. Assim, o sistema visual avalia e harmoniza as informações de disparidade enviadas ao cérebro por ambos os olhos na percepção de uma distorção no movimento em si — um deslocamento aparente — do pêndulo em uma linha elíptica em profundidade.

Ironicamente, esse fenômeno foi analisado e explicado em 1922 por Carl Pulfrich, físico alemão cego de um olho, que nunca pôde experimentar o efeito de distorção. (Pode-se encontrar um relatório detalhado dos procedimentos e dos prováveis processos envolvidos no efeito do pêndulo de Pulfrich em Emerson & Pesta, 1992; Fineman, 1981; e Walker, 1978.)

MOVIMENTO APARENTE

Na presente discussão, o significado do **movimento aparente** restringe-se à percepção do movimento quando não há nenhum movimento físico verdadeiro de um objeto no espaço. Em outras palavras, é a *ilusão* do movimento de estímulos estacionários. Contudo, o movimento aparente é mais do que uma curiosidade perceptual rara observada em laboratório. Na realidade, é um fenômeno surpreendentemente familiar. Experimentamos isso todas as vezes que vemos um filme ou assistimos a programas de televisão. Nesta seção, discutiremos diversas condições que dão surgimento ao movimento aparente, começando com uma das formas mais simples: o *movimento estroboscópico*.

Movimento Estroboscópico

Um dos exemplos mais antigos já estudados e mais convincentes do movimento aparente ocorre quando duas luzes estacionárias, colocadas a pouca distância uma da outra, piscam alternadamente a certa velocidade (Figura 8.12). À medida que a luz *A* liga e desliga, a luz *B* desliga e liga; ou seja, uma luz começa quando a outra termina. O caráter do movimento aparente depende do intervalo de tempo, ou ISI (intervalo entre os estímulos), entre as duas luzes piscando. De modo geral, vê-se alguma forma de movimento aparente quando o ISI das duas luzes se situa em 30 e 200 ms. Se o ISI for muito longo (mais de 200 ms), somente a sucessão é percebida — duas luzes piscando alternadamente. Se o ISI for breve demais (menos de 30 segundos), a percepção do movimento aparente se transforma em percepção de simultaneidade — percebem-se duas luzes, *A* e *B*, piscando mais ou menos ao mesmo tempo, cada uma em seu local. Se, porém, o ISI for de cerca de 60 ms,

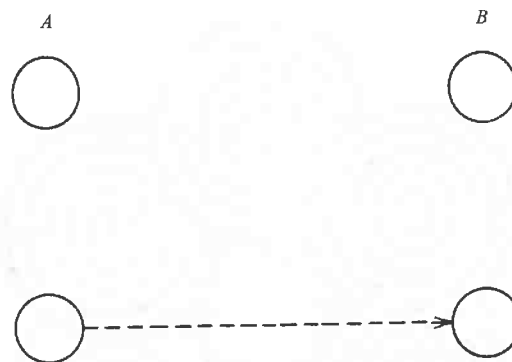


Figura 8.12 Movimento estroboscópico de duas luzes estacionárias, *A* e *B*, piscando alternadamente. Dependendo da intensidade das piscadas da luz, da distância física que as separa e do intervalo de tempo entre as piscadas a ilusão de uma luz se movendo de *a* para *b* — esquematizada na figura de baixo pela linha tracejada — pode ser recriada por duas luzes piscando seqüencialmente.

percebe-se o movimento ótimo: isto é, a percepção de uma única luz se movendo no espaço entre as luzes *A* e *B*. (Quando o ISI tem mais ou menos 100 ms percebe-se um tipo pouco comum de movimento aparente, chamado de *movimento de phi*. No movimento *phi*, os observadores sentem o movimento das luzes que piscam, mas na verdade não vêem qualquer objeto se movendo de uma para outra.)

Essa forma de movimento aparente, criada para manipular o controle do tempo entre o piscar das luzes, denomina-se **movimento estroboscópico** ou **movimento beta (β)**. (O *estroboscópio*, dispositivo que gera o movimento estroboscópico, foi inventado em 1833.) Essa forma de movimento é vista popularmente como uma série de luzes em cartazes de propaganda e cruzamentos ferroviários, bem como nos anúncios luminosos de neon que indicam a direção de restaurantes, estacionamentos, shoppings e motéis. A natureza do movimento estroboscópico é determinada não somente pelo intervalo entre as emissões de luz (ISI), mas também pela intensidade das luzes e o espaço entre elas. As complexas influências mútuas entre essas três variáveis foram elaboradas por Korte em 1915, sendo apropriadamente denominadas *leis de Korte* (veja Boring, 1942, p. 598). Por exemplo: à medida que aumenta a distância física entre as luzes que piscam, sua intensidade, ou seu ISI, deve ser aumentada para manter a percepção do movimento estroboscópico.

Na próxima seção discutiremos uma forma extremamente familiar do movimento aparente, derivada do movimento estroboscópico: o movimento de quadros ou figuras.

Movimento de Quadros ou Figuras

Conforme mostrado na Figura 8.13, o movimento aparente de estímulos seqüenciais estacionários não se limita a simples linhas ou pontos. Os princípios nele envolvidos formam a base de um dos mais familiares e persuasivos exemplos de movimento: o **movimento de quadros ou figuras**. É claro que, no movimento de quadros, as figuras em si não se movimentam verdadeiramente. Em vez disso, uma série de fotogramas imóveis de fotografias, com diferenças muito pequenas, é projetada em uma tela em sucessão rápida. Cada fotograma é uma visão de uma posição espacial ligeiramente diferente de um objeto em movimento. Quando essa sucessão de fotogramas estáticos é projetada à velocidade adequada (normalmente, pelo menos 24 fotogramas por segundo), percebe-se o movimento. Como acontece com o movimento estroboscópi-



Figura 8.13 Movimento aparente com dois estímulos estacionários sucessivos. Quando a linha vertical (a) é sucedida pela linha horizontal (b) depois de um intervalo de cerca de 60 milissegundos, a linha vertical parece girar em 90°, no sentido horário, conforme mostrado em (c).

co, a qualidade varia com a velocidade da projeção. Se a velocidade for lenta demais, é vista uma série de oscilações (ou até mesmo, em velocidades mais lentas, fotogramas de fotografias distintas); se a velocidade for muito rápida, vêem-se imagens borradas. (Wead e Lellis, 1981, oferecem uma história concisa do movimento de quadros ou figuras e de sua tecnologia, bem como uma análise de sua percepção; veja também Hochberg, para uma análise extensa e provocativa desse tópico.)

Como observamos antes, (p. ex., no *maskamento visual* e na *persistência visual*, veja Capítulo 4), uma vez iniciada, a resposta visual persiste por um breve período, mesmo depois de acabado o estímulo visual. No caso do movimento de quadros, quando os fotogramas de fotografias distintas são exibidos na velocidade adequada, as células da retina, estimuladas por um fotograma, ainda estão estimuladas quando é exibido o fotograma seguinte. Desse modo, a imagem de cada fotograma parece fundir-se com a imagem do anterior e dos que se seguem, produzindo a percepção de um movimento contínuo. O sistema visual soma, ou integra, uma série de imagens sucessivas distintas, produzindo um ambiente ou evento visual aparentemente contínuo. A demonstração que se segue utiliza a persistência visual para produzir um fenômeno familiar chamado de *borrão cinético*.

DEMONSTRAÇÃO

Borrão Cinético

Mantenha o dedo a uns 25 ou 30 cm diante de um monitor de computador com a tela iluminada (ou da tela de TV) e observe seu movimento enquanto o balança de um lado para outro. Você perceberá uma série meio fantasmagórica de imagens indistintas do dedo à medida que ele se move. Esse efeito ocorre na maioria das condições luminosas, mas funciona melhor em condições de baixa iluminação (que favorecem a persistência visual).

Embora a *persistência* da resposta visual (isto é, a *persistência visual*) seja importante para produzir a percepção de movimentos regulares e contínuos de uma sucessão de imagens distintas — fazendo especialmente com que a escuridão entre as imagens passe despercebida — há outro fator importante também envolvido. A integração homogênea dos fotogramas é facilitada pela correspondência entre as características de cada fotograma e seu contexto em comum. Quanto maior a relação recíproca e quanto maior a semelhança de estrutura dos fotogramas imediatos uns com os outros — quanto maior sua “identidade fenomenal” —, mais facilmente o sistema combinará as informações sequenciais, permitindo-nos perceber um movimento fluido, contínuo, que parte de estímulos fisicamente distintos (Ramachandran *et al.*, 1988).

Quando vemos um segmento de um filme — uma pessoa correndo, por exemplo — e as alterações nas unidades separadas (p. ex., braços, pernas e corpo) são *coerentes* e refletidas sobre o mesmo local da retina de um fotograma para outro, as unidades do

fotograma retêm a coesão aparente e a integridade estrutural. O resultado perceptual é que o sistema visual interpreta essas alterações coerentes como *movimento*. Em contraste, uma sucessão de fotogramas desiguais aparentemente incompatíveis pode desafiar o sistema visual. Embora possa haver experiências passageiras de uma forma transformando-se em outra, a percepção do movimento contínuo aparente ficará reduzida. Provavelmente, as condições para a produção desse efeito ocorreriam apenas em um laboratório de percepção.

Efeito Roda de Carroça Na prática, a luz de cada fotograma projetado na tela pela maioria dos projetores cinematográficos profissionais é interrompida diversas vezes antes de passar para o fotograma seguinte. Isso é necessário porque, com apenas 24 fotogramas por segundo, ainda perceberíamos a oscilação. Para evitar o efeito oscilatório, cada fotograma é exibido normalmente três vezes. Isso é feito com um obturador especial de três folhas, sendo cada fotograma projetado na tela como três emissões, o que resulta em uma frequência de 72 emissões por segundo. Os velhos filmes domésticos são rodados a 16 fotogramas por segundo (num total de 48 emissões, ou projeções, por segundo), mas como são normalmente exibidos em um nível de intensidade mais baixo eles se combinam com mais facilidade, havendo menos tendência a se ver a oscilação. A imagem produzida na tela de televisão é o resultado de um princípio de fusão conceitualmente semelhante, embora seja tecnicamente diferente.

Nesse contexto, oferecemos uma explicação do *efeito roda de carroça*, pelo qual os raios das rodas dos veículos que, evidentemente, estão se movendo para a frente, como é mostrado em filmes, às vezes parecem estar se movendo para trás. Christman (1979) e Fineman (1981) destacam que não há ilusão alguma de movimento (além da percepção das rodas, induzida pela sucessão dos próprios fotogramas). Em vez disso, há uma discordância entre o número de revoluções por segundo e o número de fotogramas filmados por segundo. Se a câmera fotografar 24 fotogramas por segundo e a roda estiver girando a 23 revoluções por segundo (ou algum múltiplo desse número), cada fotograma sucessivo de filme capturará o movimento da roda um pouquinho *antes* de ela completar uma revolução completa. Quando o filme é mostrado, a roda parecerá estar se movendo para trás, à velocidade de uma revolução por segundo. Se a roda girar mesmo a 24 revoluções por segundo — à mesma velocidade em que o filme é projetado (ou seja, 24 fotogramas por segundo) — parecerá estacionária. Finalmente, se a câmera filmar 24 fotogramas por segundo, mas a roda estiver girando a 25 revoluções por segundo (ou algum múltiplo desse número), a roda projetada parecerá mover-se para a frente, à velocidade de uma revolução por segundo.

Em suma, a percepção de filmes a partir de uma série de imagens distintas e intermitentes resulta da persistência da visão e do reconhecimento de características relacionadas, e alterações coerentes de um fotograma para outro. Porém, não temos ainda uma explicação completa. Como concluem Wead e Lellis (1981), “A ciência ainda não explicou a causa da ilusão [filmes]. Sabemos que, em condições certas, nossa tendência é perceber objetos em separado como unidades contínuas, mas ninguém ainda sabe por que é que esse truque acontece” (p. 41).

Movimento Real versus Movimento Aparente Serão as alterações retinianas produzidas por condições diversas de movimento aparente processadas pelo sistema visual como se fossem induzidas por objetos fisicamente em movimento? É evidente que os movimentos de quadros ou figuras (ou o movimento estroboscópico) não oferecem alterações retinianas derivadas de movimento físico real. Como observamos nos filmes, elas

são criadas por seqüências de fotogramas distintos em exposição rápida, com intervalos escuros muito breves entre cada um. Assim, dada a complexidade envolvida no processamento de diversos elementos do estímulo, não seria surpresa encontrar algumas diferenças nos mecanismos fisiológicos que se encontram no movimento real e no aparente.

De um ponto de vista experimental, porém, os movimentos de objetos representados nos movimentos de quadros ou figuras parecem tão contínuos como o movimento dos objetos reais. Por conseguinte, pode-se supor que muitas formas de movimento aparente e de movimento real são controladas por um mecanismo comum de detecção de movimento (p. ex., Clatworthy & Frisby, 1973). O movimento estroboscópico, em especial, pode ser produto de um sistema que controla a percepção de certas classes de seqüências rápidas de movimento real. Walls (1963), que faz uma abordagem evolucionária, oferece um ponto de vista único e um tanto extravagante sobre a similaridade do movimento real e do aparente:

O movimento real e o estroboscópico são enganosamente semelhantes do ponto de vista subjetivo. ... Isso não deve ser uma coincidência, pois a imitação quase perfeita do movimento real pelo movimento aparente, sob as mesmas condições espaciais, temporais e de intensidade, provavelmente deve ter algum valor biológico. O que é, não sabemos dizer. O autor sugeriria — sem se comprometer muito! — que talvez, quando um vertebrado primitivo e sem inteligência viu um objeto móvel passar por trás de um obstáculo e surgir novamente, não podia ter certeza de que se tratava de um objeto só, e não de dois objetos diferentes, a menos que tivesse um meio automático de manter a unidade do objeto durante o movimento enquanto ele permanecesse escondido. Qualquer que possa ter sido o incentivo para a evolução do processo de “preenchimento” no fenômeno phi, é difícil ver qual o bem que essa retenção nos fez — a menos que... consideremos os filmes como necessidade absoluta. (p. 362)

Movimento Autocinético

Pode ocorrer uma experiência de movimento quando estamos olhando fixamente para um ponto estacionário de luz em um cômodo completamente escuro. Nessa condição, não há nem fundo espacial nem contexto visual fixo que possa servir de referência para esse ponto. Como resultado, parece que um único ponto de luz estacionário vagueia de um lado para outro, produzindo um efeito denominado **movimento autocinético**. Tipicamente, o ponto de luz parece fazer pequenos desvios, mas geralmente com movimento considerável. Na extensão e na direção do movimento autocinético existem amplas diferenças individuais, e esse movimento é bastante afetado por influências sociais (Sherif, 1936).

Têm sido propostas diversas explicações para o movimento autocinético (Mack, 1986; Post & Leibowitz, 1985), tendo como base principalmente o papel dos movimentos involuntários dos olhos. Gregory (1973) oferece uma explicação atraente. Sua teoria, às vezes chamada de teoria da *tensão dos músculos oculares*, baseia-se na variação da eficiência desses músculos em manter a fixação sobre um ponto estacionário de luz. Durante um período de fixação contínua, leves tremores oculares provocam flutuações na fixação e, durante uma fixação prolongada, os músculos sofrem fadiga. A fim de compensar o aumento do esforço necessário à manutenção da fixação, bem como para o caso de fadiga, os músculos oculares precisam de *sinais anormais de comando* para que o olhar se mantenha no ponto de luz. Os sinais anormais são os mesmos sinais eferentes que movem normalmente os olhos quando estes acompanham estímulos de movimento. Porém, como não têm

nenhuma indicação visual de fundo, são interpretados erroneamente como sinais de movimentos oculares. Assim, de acordo com Gregory, não é o movimento dos olhos, mas os sinais de correção aplicados para *impedir* que eles se movam que “fazem com que” o ponto de luz vagueie no escuro.

Pós-Efeitos de Movimento

Depois de um período prolongado fitando a paisagem instável, um passageiro de um trem que tenha acabado de parar vê a nova paisagem estacionária movendo-se para a frente de maneira tão realista que o trem parece estar andando devagar para trás. Isso é um exemplo de um **efeito secundário de movimento (MAE)**, no qual o movimento percebido pode persistir depois de cessado o estímulo móvel. Do mesmo modo, se ficarmos olhando para uma parte de uma cachoeira por algum tempo e depois olharmos para uma cena estacionária, esta parecerá mover-se para cima. Isso é um exemplo de um MAE específico chamado *ilusão da cachoeira* (descrita por Addams, 1834, e por Bowditch & Hall, 1882; veja detalhes em Fineman, 1981). Um dispositivo antigo usado para criar o MAE é mostrado na Figura 8.14. Conforme ilustra a demonstração que se segue, pode-se criar um MAE facilmente com a ajuda de um computador.

DEMONSTRAÇÃO Pós-Efeito de Movimento

Você vai precisar de um computador, no qual possa acessar um texto razoavelmente longo com espaço duplo (ou, melhor ainda, triplo). Faça o texto se deslocar para baixo em velocidade constante, com o olhar firmemente fixo no centro da tela do monitor (sem ler), enquanto ele vai passando. Depois de cerca de 90 segundos de exposição ao movimento, interrompa-o; nesse ponto, você vai experimentar a ilusão de um movimento para cima na tela estaci-

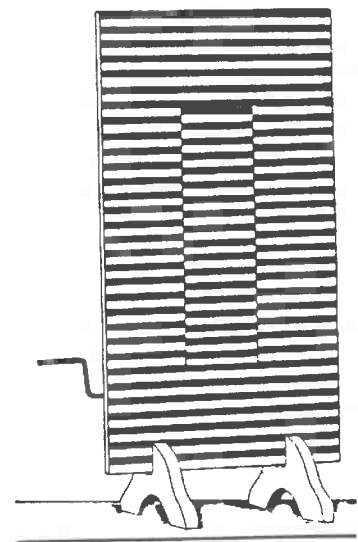


Figura 8.14 Dispositivo antigo usado para produzir a ilusão da cachoeira. Uma alavanca movimenta a faixa listrada, vista através da abertura central, para baixo (ou para cima). Quando cessa o movimento da faixa, o sujeito vê um movimento invertido se olhar para o fundo ou para outra superfície. (Geralmente atribuído a Bowditch e Hall, 1882, embora Boring, 1942, estime que haja uma versão desse dispositivo que pode remontar a William James.)

onária do monitor. A impressão de um movimento para cima é o *pós-efeito de movimento* produzido pela percepção anterior do movimento para baixo.

Se você não tiver acesso a um computador, pense na seguinte condição: observe os créditos de encerramento de um programa de televisão à medida que eles vão passando de baixo para cima, olhando para o centro da tela sem tentar ler os créditos. Quando estes acabarem, você terá a impressão de que a tela da televisão está se movendo para baixo.

Um MAE um pouco diferente, derivado em parte do padrão dos movimentos oculares involuntários executados durante a fixação, pode ser demonstrado com o padrão geométrico da Figura 8.15.

Base Neural dos MAEs Uma explicação geral para os MAEs baseia-se na noção dos *pós-efeitos* e da *adaptação seletiva* (veja Capítulos 4, 5 e 7). Em resumo, os MAEs são causados pela adaptação seletiva e pela fadiga dos detectores sensíveis ao movimento, específicos do movimento de objetos que é percebido pelo observador. Com relação à ilusão da cachoeira ou ao movimento do texto na demonstração anterior, isso significa que, depois de olharmos por algum tempo exclusivamente para um estímulo que se move *para baixo*, os detectores sensíveis a esse movimento tornam-se fatigados ou adaptados e, por isso, menos ativos. Assim, depois de uma exposição continuada ao movimento para baixo, quando o observador muda o olhar subitamente e fita uma cena estacionária, a sensibilidade do movimento “para baixo” fica

reduzida. A impressão resultante é que a cena e seus elementos estão se movendo para cima.

No sistema visual, onde ficam situados os detectores de MAEs? Não podemos ainda afirmar com certeza, mas podemos ter alguma idéia variando as condições nas quais eles ocorrem. Assim, se estiverem no nível da retina, então se apenas um olho receber os estímulos de movimento de adaptação o teste com o outro olho, não estimulado, *não* irá revelar nenhum MAE. Ou seja, se os MAEs fossem originários da retina, não haveria transferência dos efeitos de adaptação entre os olhos. No entanto, quando essa experiência foi realizada descobriu-se a presença de MAEs, o que indicava que provavelmente eles teriam origem central ou cortical (Mitchell, Reardon & Muir, 1975; Mitchell & Ware, 1974; Murakami & Cavanagh, 1998; veja também Mather *et al.*, 1998, para uma análise mais completa do MAE).

A PREVISÃO DAS TRAJETÓRIAS DO MOVIMENTO

Esta última seção se concentra mais na *previsão* de como os objetos irão se mover do que na percepção de seu movimento. Este tópico garante uma discussão rápida, porque alguns dos fatores que explicam o motivo de os objetos se moverem de determinada maneira derivam dos fenômenos gerais de percepção do movimento, já discutidos.

Já que muitas pessoas estão sempre observando eventos dinâmicos no ambiente e com eles interagindo, poderíamos concluir

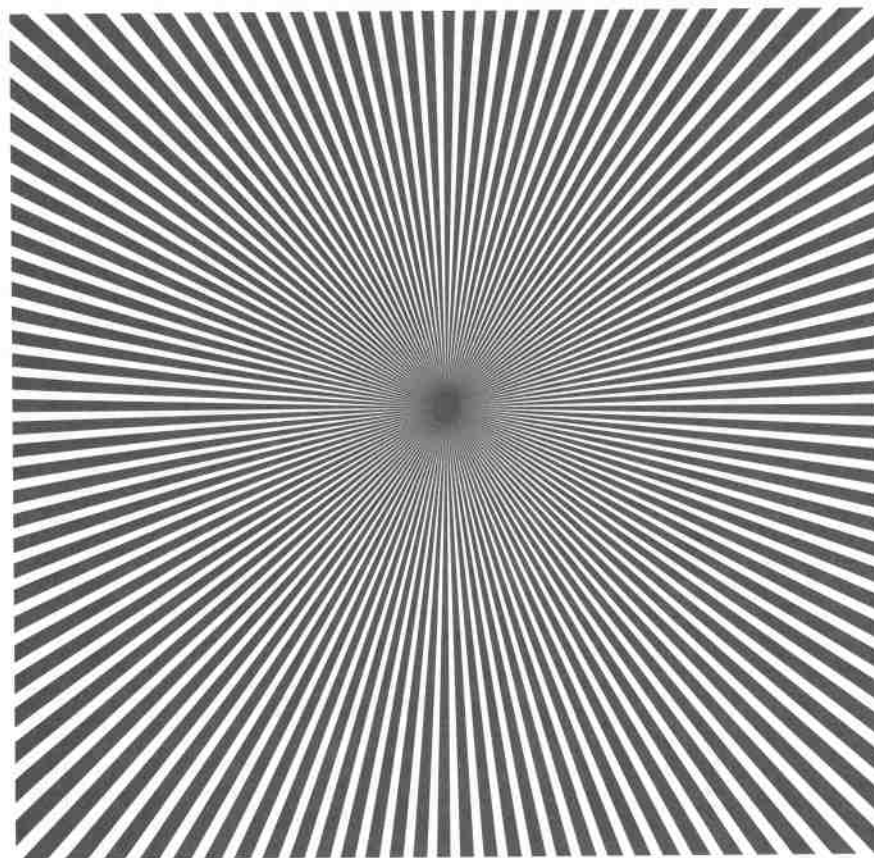


Figura 8.15 Exemplo de padrão geométrico que produz pós-imagens em que o movimento pode ser percebido. Quando fixamos o olhar no centro do desenho por aproximadamente 20 segundos e depois projetamos a pós-imagem em uma superfície branca plana, o movimento rotativo é normalmente percebido. (Fonte: De D. M. MacKay, Ways of looking at perception, in W. Wathen-Dunn (Ed.), *Models for the perception of visual form*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1967. Com permissão de MIT Press.)

que acabariam por entender alguns dos princípios e das leis básicas, reconhecendo que os objetos em movimento se movem de maneira previsível. Não obstante, persistem certas concepções errôneas, e até mesmo crenças errôneas, sobre o movimento de objetos em condições aparentemente simples. McCloskey, Caramazza e Green (1980; veja também Kaiser, Proffitt & McCloskey, 1985) têm avaliado a capacidade de as pessoas preverem com exatidão a trajetória de objetos em movimento, com base nas respostas a problemas físicos simples, como os dois primeiros apresentados na Figura 8.16. Quando solicitados a indicar a **trajetória do movimento** que um objeto em movimento seguiria ao sair de um tubo, um número surpreendente de sujeitos (todos eles alunos universitários, dos quais quase 70% tinham pelo menos estudo física no secundário) revelou alguma ingenuidade. Suas respostas foram que quando um objeto em movimento passa por um tubo curvo continuará em trajetória curva, mesmo quando não for aplicada nenhuma força externa. Além disso, o aumento no número de erros do Problema 1 para o Problema 2 sugere que muitos sujeitos pensaram que, quanto mais tempo o objeto em movimento permanecesse no tubo curvo, mais curvo seria seu movimento ao sair. A resposta correta aos dois problemas provém diretamente da *lei da inércia*, ou primeira lei do movimento de Newton: *Não há alteração no movimento de um corpo, a menos que uma força resultante atue sobre ele. Se o corpo estiver em repouso, continuará em repouso. Se estiver em movimento, continuará em movimento em velocidade constante em linha reta, a menos que se lhe aplique uma força externa.*

As entrevistas pós-experimento feitas com os sujeitos revelaram que suas previsões incorretas não eram uma questão de distorção visual nem de tendenciosidade perceptual; em vez disso, derivavam de noções ingênuas sobre o movimento. Sua concepção errônea geral baseava-se na crença de que um objeto forçado a percorrer um caminho curvo em um tubo adquire um *momentum*, ou impulso, que o faz continuar em movimento curvilíneo por

algum tempo, mesmo depois de sair do tubo, e que sofre a influência da força original. Assim, somente depois que o impulso desaparecer gradativamente é que a trajetória do objeto se torna linear. McCloskey (1983a) atribui essas noções ingênuas de movimento — completamente em desacordo com os físicos clássicos — à teoria pré-newtoniana do *impulso* do movimento, que prevalecia na Idade Média. Essa teoria alegava que um objeto colocado em movimento adquire uma força, ou impulso, que mantém o movimento. O impulso desaparece gradativamente, causando a desaceleração e, por fim, o final do movimento do objeto.

Outras indicações de noções ingênuas sobre a mecânica física, e não sobre processos perceptuais incorretos, baseiam-se na descoberta de que os sujeitos realmente *reconhecem* a trajetória correta dos objetos quando estes são observados em movimento, como nos Problemas 1 e 2 da Figura 8.16 (Kaiser, Proffitt & Anderson, 1985). Quando os sujeitos viam seqüências, simuladas em uma tela de vídeo, de bolas rolando em tubos curvos e seguindo várias trajetórias retas e curvas na saída, quase todos eles escolhiam a trajetória correta. Os sujeitos percebiam a trajetória reta, que era a certa, como a mais natural, e não a trajetória errada que muitas vezes era prevista em representações estacionárias.

Sobre objetos em queda, também há previsões errôneas que podem se basear no processamento perceptual. O Problema 3 da Figura 8.16 mostra uma aeronave, em altitude e velocidade constantes, que deixa cair um objeto. A tarefa nesse problema é mostrar a trajetória do objeto desde o momento em que ele começa a cair até o momento em que se choca com o chão. A figura mostra tanto a trajetória correta como as duas incorretas. A resposta correta é que o objeto continuará a se mover para a frente, em arco parabólico, enquanto estiver caindo. McCloskey (1983a, 1983b) e colaboradores (Kaiser *et al.*, 1985; McCloskey, Washburn & Felch, 1983) sugerem que as concepções errôneas comuns se devem a uma ilusão visual baseada na experiência repetida de que os objetos que caem de um outro objeto em movimento muitas vezes parecem cair diretamente para baixo. Quando alguém deixa cair algo enquanto está caminhando ou correndo, age como um quadro de referência contra o qual é visto o objeto que cai. (Isso está intimamente ligado às primeiras discussões do movimento *induzido* e se refere a um fenômeno relacionado ao efeito na Figura 8.9.) Em outras palavras, a percepção do movimento de queda do objeto é vista contra um quadro ou referência móvel — a pessoa em movimento. Por conseguinte, o movimento do objeto *com relação* ao fundo em movimento pode ser erroneamente percebido como movimento relativo a um ambiente estacionário e, desse modo, ser erroneamente interpretado como movimento absoluto do objeto. Assim, vemos que um objeto caído de um outro objeto em movimento cai diretamente para baixo *com relação ao segundo objeto*, podendo sua queda ser erroneamente percebida como um caminho vertical reto. De modo geral, as concepções errôneas sobre as trajetórias de objetos neste tipo de situação se desenvolveram depois de percebido o movimento, muitas e muitas vezes, contra um quadro móvel de referência (veja também Kaiser *et al.*, 1985).

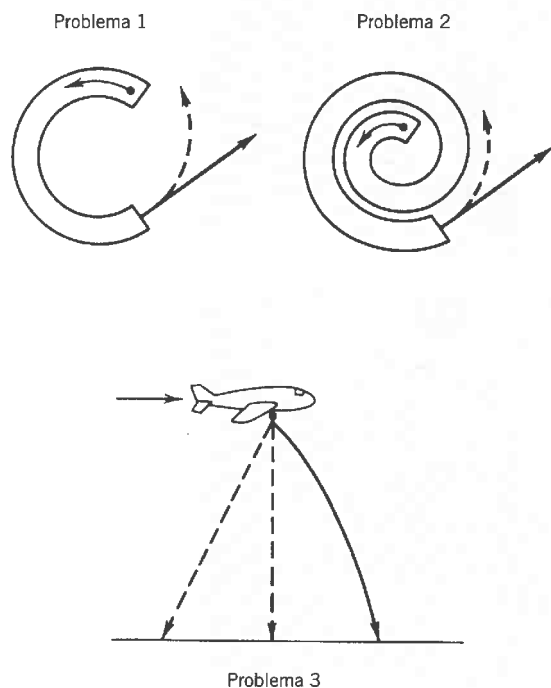


Figura 8.16 Problemas de movimento com as soluções corretas (linhas cheias) e as respostas incorretas (linhas interrompidas). (Fonte: Baseado em McCloskey, 1983a; Kaiser, Proffitt, & McCloskey, 1985; McCloskey, Caramazza & Green, 1980.)

RESUMO

Neste capítulo, descrevemos a percepção de diversas formas de movimento real e aparente. Para a percepção do movimento real, foram identificados dois principais sistemas interdependentes de movimento: o sistema imagem-retina e o sistema de movimento olho-cabeça. Além disso, observamos a contribuição feita por sinais de saída, ou sinais de descarga corolária durante movimentos oculares voluntários para o sistema olho-cabeça. Uma discussão se concentrou na distinção perceptual entre alterações na imagem

retiniana produzidas pelo movimento ambiental e as produzidas por movimentos oculares autoproduzidos.

Foram descritos diversos tipos de estimulação óptica para a percepção do movimento, como também a percepção da atividade biológica humana e os tipos de informações obtidas do movimento biológico. Foram discutidas as distorções na percepção do movimento físico, a saber: efeito cinético em profundidade, percepção anortoscópica, movimento induzido e o efeito do pêndulo de Pulfrich.

Em seguida, foi examinado o movimento aparente — a percepção do movimento na ausência de movimento físico — com foco especial no movimento estroboscópico. Foi descrita a relação do movimento estroboscópico com cenas em movimentos sendo estas explicadas em termos de persistência visual e reconhecimento da coerência e da correspondência de elementos de um fotograma para outro. Nesse contexto, foi explicado o estranho fenômeno do efeito roda de carroça. Foi apresentada outra forma de movimento aparente, o efeito autocinético — envolvendo a percepção em um contexto espacial ambíguo — e foram examinados rapidamente os pós-efeitos da percepção de certos tipos de movimento.

A seção final se concentrou na previsão das trajetórias de movimentos seguidos por objetos fisicamente móveis. Algumas formas de trajetórias de movimento são previstas incorretamente por causa das concepções errôneas sobre o movimento físico, enquanto outras formas são erroneamente previstas por causa de uma tendenciosidade no processamento perceptual — ilusão visual baseada provavelmente no movimento induzido.

TERMOS-CHAVE

Acinetopsia
 Comparador
 Efeito Cinético em Profundidade
 Efeito do Pêndulo de Pulfrich
 Efeitos Secundários do Movimento (MAE)
 Expansão Retiniana
 Movimento Aparente
 Movimento Autocinético
 Movimento Biológico
 Movimento de Quadros
 Movimento Estroboscópico (β)
 Movimento Induzido
 Padrão de Fluxo Óptico
 Percepção Anortoscópica
 Sinais Aferentes
 Sinais de Descarga Corolária (Sinal de Fluxo Externo)
 Sinal Eferente
 Sistema de Movimento Imagem-Retina
 Sistema de Movimento Olho-Cabeça
 Teoria de Descarga Corolária
 Trajetória do Movimento

QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Discuta o significado da percepção do movimento para a sobrevivência de um animal. Examine os tipos de informa-

ções ambientais recebidos pela visão de objetos e eventos em movimento.

2. Compare o sistema imagem-retina com o sistema de movimento olho-cabeça. Indique as condições em que cada um desempenha um papel dominante.
3. Explique por que o ambiente visual parece estacionário quando os olhos se movem voluntariamente. Explique por que é que os movimentos passivos do globo ocular causam o movimento aparente do ambiente visual. Em sua resposta, leve em conta o papel da descarga corolária e dos sinais de saída externa.
4. Identifique os padrões principais de alterações na projeção na retina enquanto um objeto ou um observador se move através do ambiente visual. Na sua discussão, examine os padrões de fluxo óptico.
5. O que é o movimento biológico? Que tipos de informações ele transmite? Que fatores de estímulo são os mais informativos?
6. Identifique o efeito cinético em profundidade. Considere como a percepção do movimento de um objeto pode contribuir para a percepção de sua forma.
7. O que é a percepção anortoscópica? Que efeito tem a forma da abertura sobre a percepção da forma do estímulo que se move por trás dela?
8. Explique o movimento induzido e descreva como ele pode ser demonstrado. Quais são alguns dos fatores entre um objeto e o fundo em que se encontra que podem promover o movimento induzido?
9. Explique o efeito do pêndulo de Pulfrich, levando em conta o atraso dos sinais retinianos. Indique como o efeito estimula o padrão de sinais visuais que corresponde à profundidade ambiental.
10. O que são o movimento aparente e o movimento estroboscópico? Como é que o movimento aparente difere do movimento induzido? Que fatores são decisivos na produção do movimento aparente?
11. Explique a percepção de movimento de quadros como uma elaboração do movimento estroboscópico. Que fatores explicam a aparente integração e fusão dos fotogramas separados dos movimentos de figuras de um filme?
12. Explique por que as rodas raiadas de veículos que aparentemente estão se movendo para a frente às vezes parecem mover-se para trás quando vistas em filmes ou na televisão.
13. Faça distinção entre movimento autocinético e movimento induzido. Explique o movimento autocinético com relação a fixações oculares prolongadas e à fadiga do músculo ocular.
14. Como é que os pós-efeitos do movimento podem ser demonstrados? Quais são os exemplos mais comuns?
15. Com base nas formas das estruturas que as provocam, quais são algumas concepções errôneas sobre as trajetórias previstas para objetos colocados em movimento? Até que ponto elas deixam de levar em conta a lei da inércia? Que tipos de erros são cometidos com relação às trajetórias previstas que são percorridas por objetos caindo de veículos em movimento? Como podem os efeitos do movimento induzido contribuir para esses erros?

NOTAS:

¹Fenômeno perceptual no qual a pessoa é exposta a imagens que sugerem risco de colisão com um objeto (nota do revisor técnico).