

Controle visual do início e da intensidade da freada em ciclistas: A velocidade não afeta o uso da informação de tempo para colisão

Sérgio T. Rodrigues, Gisele C. Bertoloni, Marcela de C. Ferracioli & Renata A. Denardi

Laboratório de Informação, Visão e Ação - LIVIA
Depto de Educação Física
Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, Brasil 17033-360

Visual control of breaking initiation and intensity in bikers: Velocity does not affect the use of time to collision information

Abstract: Time-to-collision is one of the possible sources of visual information participating in the control of deceleration when breaking a vehicle. Lee's (1976) theory suggested that the inverse rate of expansion in the retina of an approaching obstacle, the optic variable tau (τ), and its first derivative in time, tau-dot ($\dot{\tau}$), provide information for, respectively, braking initiation and its intensity regulation. The purpose of this study was to test Lee's hypotheses at the situation where a bicycle in linear trajectory is approaching a stationary obstacle. As relative quantities, τ_m and $\dot{\tau}$ should not be affected by the initial velocity. In three velocity conditions (high, medium, and low), participants had 23, 18 e 13 m to accelerate the bicycle until the final 14 m, when they were free to break at any time in order to stop at the obstacle. Peak velocities were 22.5, 19.5, and 16.6 m/s at 14.0, 12.0 and 10.2 m from the obstacle, respectively. Values of τ_m and $\dot{\tau}$ were not significantly affected by condition as expected. τ_m at braking initiation was 0.63, 0.62, and 0.62 s as $\dot{\tau}$ during the deceleration phase was -0.54, -0.54, and -0.55. These results strongly support the use of time-to-collision information contained in the optic flow to safely control braking initiation and intensity.

Key Words: breaking, time-to-collision, visual information, tau, tau-dot.

Introdução

Conduzir veículos é uma tarefa que requer ajuste do controle motor às demandas ambientais. Imagine que você está pedalando sua bicicleta a 30 km/h quando percebe repentinamente um tronco de árvore bloqueando seu caminho. Para evitar a colisão você tem de reduzir rapidamente a velocidade. Quanta força você deveria aplicar nos freios e por quanto tempo para parar com segurança antes de bater no obstáculo? Este tipo de situação tende a ser resolvido com relativa facilidade pelos ciclistas, obviamente quando o tempo disponível é suficiente; no entanto, os mecanismos visuais e motores que possibilitam tal sucesso ainda não foram completamente compreendidos, mesmo em circunstâncias mais previsíveis. Para controlar a sua freada o ciclista tem de monitorar visualmente, de modo mais ou menos contínuo, o seu movimento e sua distância em relação ao obstáculo.

Dar início à freada é apenas o primeiro estágio desta ação. O estágio seguinte de ajuste da intensidade da freada é tão crucial quanto o primeiro, pois determina os níveis de desaceleração

impostos à bicicleta. Como os ciclistas são capazes de controlar o início e a intensidade da freada com segurança é uma questão teórica complexa que envolve, além dos fatores mecânicos relativos aos componentes da bicicleta, a intrincada dinâmica entre percepção visual e ação humana.

A conceitualização de sistema visual feita por Gibson (1966, 1979) permite que a visão seja compreendida numa perspectiva ecológica, que assume a reciprocidade entre percebedor e ambiente (Lombardo, 1987) assim como a indissociabilidade entre percepção e ação (Michaels & Carello, 1981; Turvey, 1977). Para Gibson, o estímulo natural para o sistema visual é o *arranjo óptico*, um conjunto de ângulos visuais sólidos agrupados, com o ápice comum no ponto de observação e com a base de cada ângulo sólido correspondendo a uma superfície do ambiente. Em distintos pontos de observação o arranjo óptico é diferente. Para um ponto de observação em movimento, há uma transformação do arranjo óptico específica ao movimento do observador e às superfícies ambientais. Esta estrutura óptica em mudança foi denominada *fluxo óptico* (Gibson,

1966, 1979), uma das noções fundamentais do presente estudo.

O padrão do fluxo óptico vindo de um objeto se aproximando, tal como uma bola, indica o tempo remanescente até que o objeto alcance o plano do olho, a informação visual de tempo para colisão ou contato (TC). TC é a informação temporal, contida no padrão da expansão óptica, que possibilita o controle das ações. A imagem na retina de um objeto em aproximação se expande à medida que o objeto se aproxima. O tempo gasto pelo objeto até o observador é especificado por uma variável óptica de TC, denominada tau (τ) por Lee (1976). Ela equivale ao inverso da quantidade de dilatação da imagem óptica da superfície em aproximação. Assim, a informação τ está contida no fluxo óptico, ao qual o sistema nervoso central é sensível, para especificar o timing de ações motoras (Rodrigues, 1997, 2001, 2006).

Salvesbergh, Whiting e Bootsma (1991) foram os primeiros a manipular o padrão de expansão óptica na tarefa de agarrar uma bola. Os resultados mostraram que o aparecimento da velocidade de fechada máxima da mão foi mais tardio para a bola que murchava do que para as bolas de tamanho constante. Ajustes na fechada da mão em resposta a diferentes tamanhos de bola – em especial aquela que murchava, o que ocorria sem o conhecimento dos participantes – revelaram um forte acoplamento entre visão e ação baseado na informação de TC.

O trabalho pioneiro de Lee (1976) propôs uma estratégia, segundo a qual o controle da freada seria baseado na taxa de variação de τ em função do tempo ($\dot{\tau}$). Mais especificamente, a idéia original foi que colisões fortes poderiam ser evitadas pelos motoristas de automóveis através da manutenção do valor de $\dot{\tau}$ dentro do intervalo $-0.5 \leq \dot{\tau} < 0$, com -0.5 , sendo o valor margem mais eficiente. Manter $\dot{\tau} = -0.5$ é a única solução (se comparada com outros valores constantes de $\dot{\tau}$, como -0.8 ou -0.1 , por exemplo) que permite a desaceleração constante, com uma magnitude que depende da velocidade inicial e do TC no início da freada. A estratégia $\dot{\tau}$ é considerada eficiente porque minimiza as mudanças na força da freada e permite a parada em um tempo moderado (Bardy & Warren Jr, 1997).

Estudos sobre dirigir um automóvel em situação real (Treffner, Barrett & Petersen, 2002; Treffner, Barrett, Petersen & White, 2002) confirmam que os valores de $\dot{\tau}$ são mantidos próximos a $-0,5$, de modo independente do nível de experiência dos motoristas. Paralelamente, há evidências que indicam que um valor margem seguro de $\dot{\tau}$ seria dependente da tarefa. Wann, Edgard e Blair (1993)

analisaram as ações de agarrar a maçaneta de uma porta, empurrar uma porta giratória e beijar um quadro na parede. Para empurrar a porta e beijar o quadro, os valores encontrados de $\dot{\tau}$ foram, respectivamente, menores e maiores que $-0,5$. Os autores sugeriram que manter $\dot{\tau} = -0,5$ permite uma desaceleração constante e uma parada eficiente; manter $\dot{\tau} > -0,5$ leva a uma desaceleração inicial mais alta que gradualmente diminui, produzindo uma parada mais demorada, antes do alvo. Por outro lado, manter $\dot{\tau} < -0,5$ permite uma desaceleração inicial moderada que aumentaria exponencialmente para um valor infinito próximo do final da aproximação, o que é fisicamente impossível, e resultaria em colisão.

Em suma, a literatura sobre percepção visual e ação mostra que a estratégia de $\dot{\tau}$ constante (Lee, 1976) oferece uma solução elegante para controlar colisões em muitas situações, baseada em uma simples variável informacional. Este é um aspecto de grande interesse para habilidades complexas encontradas em muitos esportes e também no nosso cotidiano, nas quais o controle da ação deve ser preciso, eficiente e rápido. Warren (2006), num brilhante artigo de revisão sobre a dinâmica da percepção-ação, exemplifica a noção de dinâmica comportamental com a situação da freada no contexto da teoria de Lee, evidenciando a atualidade e a importância da proposta.

O presente estudo testou a hipótese de controle visual da freada, formulada por Lee (1976), em situação de distintas velocidades de aproximação de uma bicicleta em relação a um obstáculo estacionário. Estudos conduzidos com ciclistas em contextos naturais são bastante raros na literatura da área. A expectativa foi que o início e a intensidade da freada da bicicleta seriam regulados por magnitudes constantes das variáveis ópticas τ e $\dot{\tau}$, sem que as distintas velocidades iniciais afetassem tal controle visual.

Método

Participantes

Oito adultos, sendo três do sexo feminino e cinco do sexo masculino, com acuidade visual normal ou corrigida para normal, somente com experiência em ciclismo recreativo, foram voluntários do presente estudo. Entre os participantes, a média da idade foi 25,8 anos (DP=7,0), da altura 175,8 cm (DP=7,7) e da massa corporal 74,3 Kg (DP=18,3). Todos os participantes assinaram um formulário de consentimento antes do teste, conforme as normas

do Comitê de Ética da Faculdade de Ciências da Unesp – Campus de Bauru.

Equipamentos

Uma câmera de vídeo VHS padrão (marca Panasonic, modelo M9000), frequência de 60Hz, posicionada frontalmente à trajetória retilínea da bicicleta (marca Caloi, modelo Aspen, de 21 velocidades, equipada com freios tipo “V-brake”), foi utilizada para gravar seu movimento. A altura do selim foi ajustada individualmente. A marcha da bicicleta, que determina a força necessária para pedalar, foi definida na posição da segunda maior coroa e terceira maior catraca e mantida constante em todas tentativas do experimento.

Um computador equipado com uma placa de aquisição de vídeo (Pinnacle DC 10 Plus) digitalizou as imagens. Os softwares Studio (Pinnacle Systems, versão 8) e Digital Video for Windows (Unicamp, versão 4) foram utilizados para edição e procedimentos fotogramétricos. O software Matlab (Math Works, versão 5) foi utilizado para cálculo das variáveis e o software SPSS (SPSS Inc., versão 9) foi utilizado para as análises estatísticas.

Procedimentos

Os participantes, após chegarem às dependências do Laboratório de Informação, Visão e Ação (LIVIA), na Praça de Esportes da Unesp – Campus de Bauru, leram e assinaram o Termo de Consentimento. Inicialmente cada participante foi submetido a uma sessão de aquecimento, seguida da execução de tentativas de prática para familiarização com a tarefa e com o local de coleta de dados (um ginásio de esportes). Cada participante executou duas tentativas da tarefa em cada condição do experimento. Foram utilizadas três condições experimentais resultantes da manipulação da velocidade (baixa, média, alta) na fase de aproximação. A ordem das condições foi contrabalanceada entre os participantes para prevenir as ocorrências de efeitos de ordem nos dados. A coleta de dados foi realizada individualmente com cada participante, em ambiente tranquilo, minimizando interferências visuais e auditivas. A duração total da coleta de dados foi de aproximadamente 30 minutos.

Tarefa

A tarefa dos participantes foi, para cada uma das condições experimentais, a partir do repouso, pedalar uma bicicleta em velocidade máxima até

atingir uma demarcação, quando poderiam começar a frear para parar sem atingir o obstáculo, conforme mostra a Figura 1. A aparência normal do piso da quadra poli esportiva foi mantida para o teste, sem qualquer tipo de cobertura; as linhas demarcatórias estavam visíveis, assim como todos elementos naturais do ambiente da quadra (e.g., cerca, arquibancada, traves e bancos). A manipulação das distintas velocidades foi implementada através da definição de diferentes distâncias na fase de aproximação (27, 32 e 37 m do obstáculo). Ao participante foi permitido, a partir da referida demarcação (uma faixa facilmente identificável de 2m de comprimento e 15 cm de largura, fixada no piso com fita adesiva, perpendicularmente ao movimento da bicicleta), utilizar qualquer estratégia de frenagem a fim de atingir a meta de parar em frente ao obstáculo, sem colidir. O obstáculo utilizado foi um plinto piramidal de madeira, com sua parte superior estofada, posicionado no final da trajetória e direcionado perpendicularmente ao movimento da bicicleta, com as dimensões de 121 cm de comprimento, 115 cm de altura, 78 cm de largura em sua base e 36 cm em seu topo. A face do plinto voltada para o lado que a bicicleta se aproximava foi revestida com um colchão de espuma bastante densa para minimizar os riscos aos participantes.

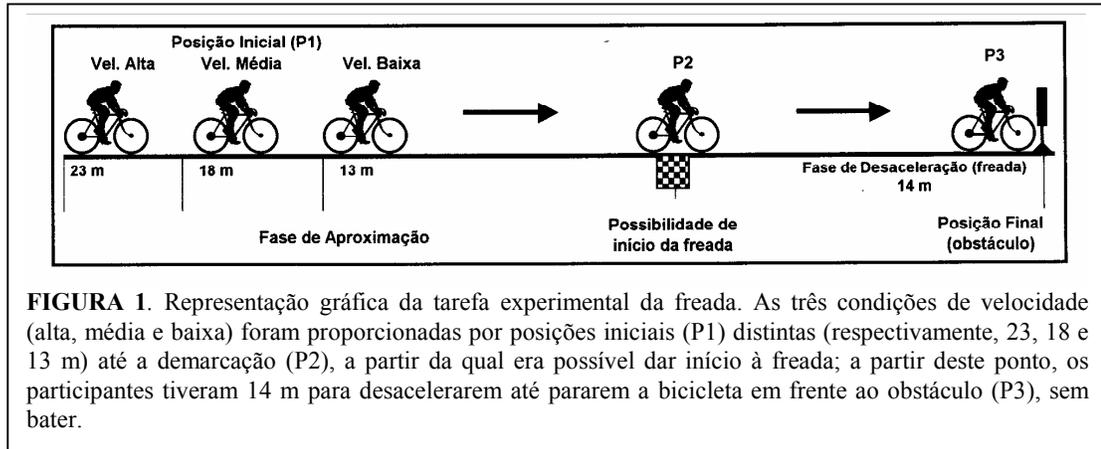
Análise dos dados

Cada participante teve, em cada condição, duas tentativas gravadas em cada uma das três condições experimentais, totalizando seis tentativas analisadas. Inicialmente, cada uma das tentativas gravadas em formato analógico (padrão VHS) foi digitalizada e transferida para o computador. Os dados do movimento retilíneo da bicicleta em relação ao obstáculo foram reconstruídos bidimensionalmente e filtrados com filtro Butterworth, de quarta ordem, a uma frequência de corte de 0,5 Hz, conforme análise residual sugerida por Winter (1990).

A realização da filmagem da bicicleta em aproximação do obstáculo no plano frontal, mais conveniente do que a perspectiva lateral numa situação de longa distância, requereu uma adaptação nos cálculos de movimento da bicicleta porque o software DVideo for Windows assume que o movimento ocorre em um único plano previamente calibrado em relação à posição da câmera. Criou-se, então, um modelo segundo o qual os dois marcadores fixos nos extremos do guidão da bicicleta, com distância de 57 cm entre eles, foram processados como uma projeção daquela imagem no plano calibrado, possibilitando a

associação do aumento do tamanho relativo da distância conhecida entre os dois pontos na imagem com a diminuição da distância da bicicleta em relação ao obstáculo estacionário. Isto possibilitou a descrição do afastamento de marcadores no guidão da bicicleta, um de cada lado, em relação ao plano da posição final da bicicleta (com base no

qual foi realizada a calibração), em frente ao obstáculo. O cálculo da distância da bicicleta em relação ao obstáculo baseou-se na distância relativa entre os marcadores, considerando-se somente a dimensão horizontal, uma vez que a distância entre as posições inicial e final era conhecida.



A variabilidade relativa (VR) da distância entre os dois marcadores (porcentagem que o desvio padrão representou em relação à média) na posição inicial e na posição final da bicicleta é mostrada na Tabela 1, assim como média (M) e desvio padrão (DP) nas três condições, caracterizando acurácia suficiente nas medidas utilizadas. Apesar da maior acurácia da reconstrução cinemática na posição final (próximo a 2%) do que na posição inicial (entre 10 e 13%), as variáveis de interesse, como o pico da velocidade, tau e tau-dot, foram obtidas aproximadamente na metade final da trajetória percorrida pela bicicleta, além das condições de velocidade não terem afetado drasticamente o DP e a VR nas posições inicial e final da bicicleta. Análise de variância de três fatores de Posição (Início, Final) pela Velocidade (Baixa, Média, Alta) pela Tentativa (Primeira, Segunda), com medidas repetidas em todos os fatores, dos dados da distância horizontal entre os marcadores no

guidão da bicicleta, revelou, como esperado, maior distância no final da tentativa, $F(1,14)=3754,9$, $p<0,001$. Nenhum outro fator ou interação teve efeito significativo neste teste.

Variáveis dependentes

Os dados originais de deslocamento da bicicleta, obtidos conforme descrito acima, foram usados para calcular as seguintes variáveis dependentes: velocidade no início da freada, distância bicicleta-obstáculo no início da freada, valor de τ margem no início da freada (τ_m), a inclinação da regressão linear de τ em função do tempo na fase de desaceleração - o valor de $\dot{\tau}$, a duração da fase de desaceleração (“tempo até parar” na Figura 2) e a magnitude média da desaceleração durante a freada.

TABELA 1. Média, desvio padrão (cm) e variabilidade relativa (DP/M*100, %) da distância entre os dois marcadores no guidão da bicicleta calculados a partir de dados individuais, nas condições de velocidade baixa (27 m), média (32 m) e alta (37 m).

Condição	Vel. Baixa (27m)			Vel. Média (32m)			Vel. Alta (37m)		
	M(cm)	DP(cm)	VR(%)	M(cm)	DP(cm)	VR(%)	M(cm)	DP(cm)	VR(%)
Inicial	2,94	0,29	9,75	2,57	0,33	12,95	2,24	0,26	11,68
Final	57,08	1,33	2,32	57,41	1,29	2,25	57,50	1,24	2,16

A variável τ foi calculada, a cada ponto de dado,

através da divisão da distância entre bicicleta e

obstáculo pela sua velocidade de aproximação; o plano que continha os dois marcadores no guidão da bicicleta foi assumido como contendo o ponto de entrada de luz no olho, não se considerando movimentos da cabeça do participante em relação à bicicleta. A Figura 2 ilustra o processo de redução dos dados espaço-temporais às variáveis dependentes. Na parte inferior da figura, são mostradas as curvas de posição e de velocidade em função do tempo; o instante do pico da velocidade (velocidade no início da freada) delimita a distância bicicleta-obstáculo no início da freada, a duração da freada e sua desaceleração média. O gráfico superior, à direita, mostra a curva de τ em função do tempo; seu primeiro valor (τ_m) revela informação de tempo para colisão no instante do início da freada, enquanto a inclinação de sua regressão linear (linha tracejada) indica a informação sobre a intensidade da freada ($\dot{\tau}$).

Análise Estatística

Os dados das variáveis dependentes foram submetidos à análise de variância de dois fatores (ANOVA) de Velocidade (Baixa, Média, Alta) por Tentativa (Primeira e Segunda), com medidas repetidas em ambos fatores. O nível de significância adotado para todos os testes foi 0,05. Comparações entre pares foram utilizadas quando necessário.

Resultados

Os resultados referentes às variáveis velocidade no início da freada, distância bicicleta-obstáculo no início da freada, duração e desaceleração durante a freada resumem as características espaço-temporais das fases de aproximação e desaceleração do movimento retilíneo da bicicleta em direção ao obstáculo (Tabela 2). Estes resultados também evidenciam que a manipulação da velocidade de aproximação foi bem sucedida, tendo em vista as diferenças significativas na velocidade no início da freada entre as condições de velocidade alta, média e baixa, $F(2,14)=70,67$, $p<0,001$. Comparações aos pares para os dados da velocidade no início da freada, com ajustes de Bonferroni para múltiplas comparações, mostraram diferenças significativas entre as condições de velocidade alta e média ($p=0,001$), média e baixa ($p<0,001$) e alta e baixa ($p<0,001$). Efeito semelhante foi observado para a distância até o obstáculo no início da freada, $F(2,14)=295,50$, $p<0,001$, e para desaceleração média, $F(2,14)=20,46$, $p<0,001$. Comparações aos pares

para os dados da distância até o obstáculo e desaceleração média, com ajustes de Bonferroni para múltiplas comparações, mostraram diferenças significativas entre as condições de velocidade alta e média ($p<0,001$ e $p=0,032$), média e baixa ($p<0,001$ e $p=0,009$), e alta e baixa ($p<0,001$ e $p=0,005$).

Foi observada diferença significativa entre a primeira e a segunda tentativa de cada condição para a variável velocidade no início da freada, $F(1,14)=6,57$, $p=0,037$, e para variável desaceleração média, $F(1,14)=6,52$, $p=0,038$; as médias (erros padrão) da primeira tentativa foram 19,36 (0,62) e 18,59 (0,92), e da segunda tentativa foram 19,70 (0,60) e 19,21 (0,85), respectivamente para as variáveis de velocidade no início da freada e desaceleração.

Os resultados referentes às variáveis τ_m e $\dot{\tau}$ descrevem as informações visuais que especificam o tempo para colisão entre a bicicleta e obstáculo no momento de início da freada (o valor da variável óptica τ no instante do pico da velocidade) e durante toda a fase de desaceleração (o valor da inclinação da reta de regressão linear dos valores da variável óptica τ em função do tempo) (veja Tabela 2). Os valores de τ_m não foram significativamente afetados pela velocidade, $F(2,14)=0,202$, $p=0,819$. Semelhantemente, os valores de $\dot{\tau}$ não foram afetados significativamente pelas condições de velocidade, $F(2,14)=2,23$, $p=0,145$.

Discussão

O objetivo do presente estudo foi testar o efeito de distintas velocidades sobre a variável óptica τ e sua primeira derivada no tempo, a variável óptica $\dot{\tau}$. Lee (1976) sugere que os condutores de veículos utilizam τ_m para dar início à freada e $\dot{\tau}$ para regular a intensidade da freada e parar de modo seguro, sem colidir com o obstáculo. Como estas variáveis baseadas na expansão da imagem na retina são relativas, elas não deveriam ser influenciadas por circunstâncias como a velocidade de aproximação, manipulada neste estudo.

Para que este teste fosse possível, a velocidade de aproximação da bicicleta foi manipulada através da determinação de distintas distâncias de início, em relação ao obstáculo. As nítidas diferenças de velocidade no início da freada nas três condições demonstram o sucesso desta manipulação, confirmando que os participantes estiveram sujeitos a aproximações de velocidades distintas, como planejado. As diferenças significativas observadas na variável distância bicicleta-obstáculo no início da freada mostram que os participantes iniciaram a

freada mais cedo nas velocidades maiores, sendo sensíveis às diferenças de velocidade. Apesar das diferenças espaciais, não houve diferença temporal significativa nos dados da variável duração da fase de desaceleração entre as condições de velocidade alta, média e baixa, indicando que a duração da freada foi preservada, apesar de suas intensidades terem sido diferentes. Os valores da variável desaceleração média mostraram que a intensidade média da freada decresceu com a velocidade. Assim, transparecem as condições favoráveis, para o teste da hipótese em questão, que o presente protocolo experimental foi capaz de gerar.

Quais foram as bases informacionais para a decisão de dar início à freada? Como ocorreu a modulação entre informação visual e força aplicada aos freios da bicicleta para o sucesso e a segurança desta tarefa? Os resultados mostraram que as variáveis ópticas τ_m e $\dot{\tau}$ não foram afetadas pela manipulação da velocidade no início da freada. Uma premissa da perspectiva ecológica da percepção, fundada por Gibson (1966, 1979), refere-se à aquisição de propriedades invariantes contidas no fluxo informacional. No caso da visão, o fluxo óptico contém uma diversidade de propriedades, entre elas a informação de tempo para colisão, resultante da taxa de dilatação das imagens na retina. Assim, com base na teoria da freada de Lee (1976), a expectativa era que padrões invariantes de luz contida no fluxo óptico, particularmente τ_m e $\dot{\tau}$ possibilitassem, respectivamente, a decisão de início da freada e o controle da intensidade da freada. Os resultados deste estudo corroboram fortemente a hipótese de Lee (1976), mostrando que a velocidade não afetou τ_m e $\dot{\tau}$.

“It seems possible that a driver might tend to start his braking reaction when the time-to-collision reaches a certain margin value, *irrespective* of his speed. This would mean that his braking would be harder the higher his speed”¹ (Lee, 1976, p. 443). Os resultados mostraram que quando τ_m alcançou uma magnitude de aproximadamente 620 ms, indicando o tempo remanescente até a colisão, os participantes deste estudo deram início à freada. A decisão da freada deve-se ao reconhecimento que os participantes estavam em curso de colisão. A ação de frear e a conseqüente desaceleração fizeram com que os participantes parassem efetivamente cerca de um segundo após o início da

freada, como mostram os valores da duração da freada na Tabela 2. Interessantemente, na condição de velocidade alta, os participantes iniciaram a freada alguns centímetros antes da linha demarcatória (P2), o que poderia ser interpretado como indicativo da força da invariância de τ_m no comportamento da freada. Adicionalmente, os dados sobre desaceleração média validam o estabelecimento acima de Lee, uma vez que a variável desaceleração média aumentou juntamente com o aumento da velocidade no início da freada, ao longo das três condições.

Estes resultados estão em concordância com muitos estudos sobre a informação de tempo para colisão, que mostram que humanos são sensíveis e usam tal fonte de informação para dar início a suas ações, como na rebatida de uma bola em queda livre (Lee, Young, Reddish, Lough & Clayton, 1983), na aterrissagem de um salto mortal (Lee, Young & Rewt, 1992) ou para agarrar uma pequena bola (Savelsbergh et al., 1991). Por outro lado, a utilização de τ como a única fonte para estimar o TC e sincronizar ações tem sido fortemente questionada (e.g., Tresilian, 1991, 1993), em especial em ambientes como o do presente estudo, com uma infinidade de potenciais dicas espaciais disponíveis para indicar o momento de início da freada, como as linhas demarcatórias da quadra e outras referências no espaço; de qualquer modo, os dados indicaram que a distância de início da freada variou de acordo com a condição de velocidade, o que não ocorreu com τ_m .

Tresilian (1999) argumenta que a informação usada no julgamento do tempo para colisão é dependente da tarefa e da situação, e que pode vir de distintas origens (das quais τ é apenas uma delas), além de ser influenciada pelas restrições de processamento de informação do sistema nervoso. Todavia, estas considerações não invalidam os indicativos positivos ao uso de τ_m na tarefa de frear uma bicicleta, em trajetória retilínea e previsível, sob condições de distintas velocidades aqui apresentados.

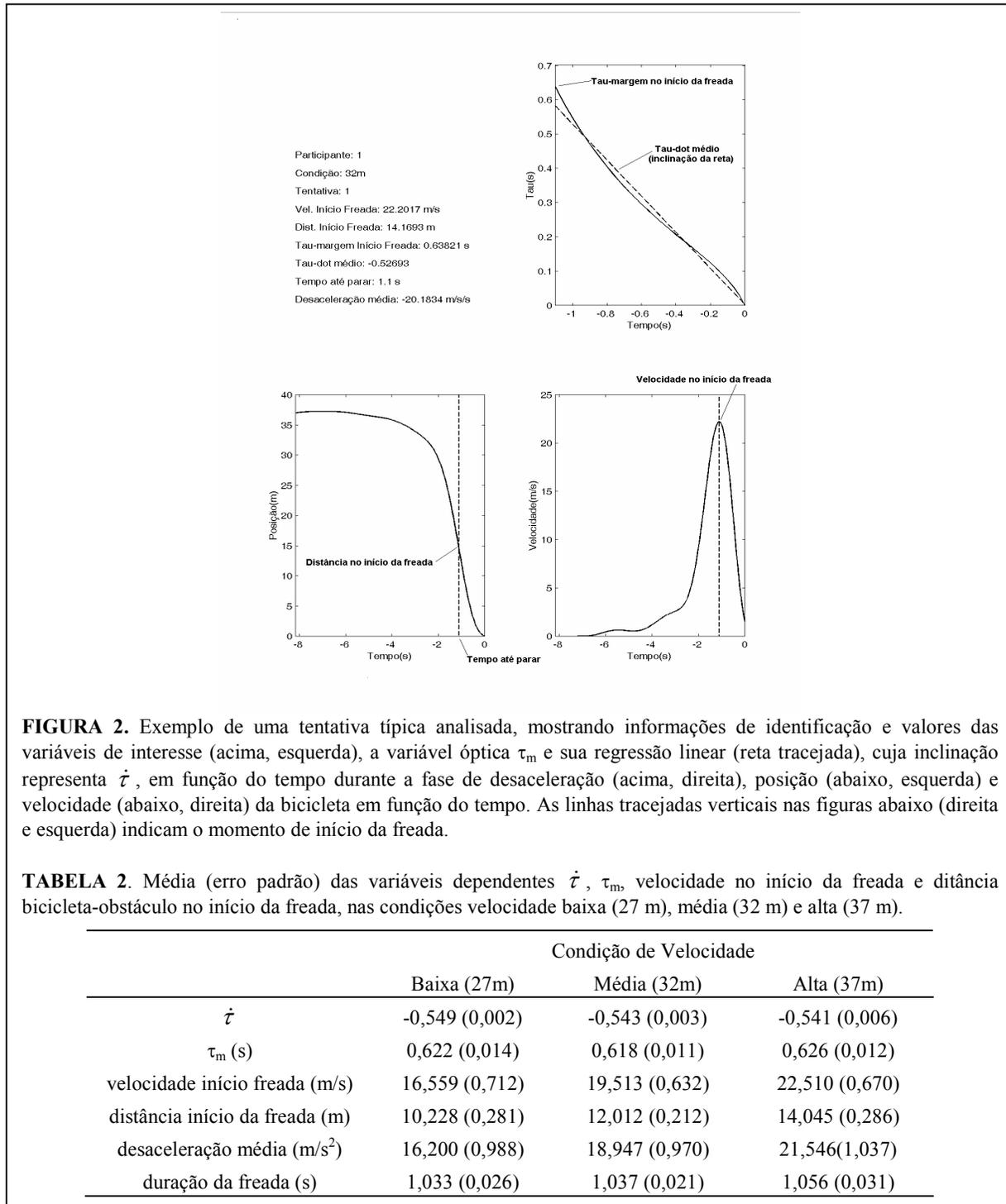
Com relação à regulação da intensidade da freada, informação sobre a taxa de variação de τ no tempo deveria possibilitar uma freada segura. Lee (1976) preconiza que valores de $\dot{\tau}$ próximos a $-0,5$ deveriam ser utilizados; os resultados do presente estudo mostram valores de $\dot{\tau}$ próximos a $-0,54$, independentemente das condições iniciais de velocidade na freada.

A estratégia de freada contida na proposta de Lee (1976), tem sido chamada de “estratégia de $\dot{\tau}$ constante” (Bardy & Warren Jr, 1997, p. 610) pelo fato de assumir uma busca média pelo valor de $-0,5$.

¹ Tradução: “Parece possível que um motorista tenderia a iniciar sua reação de freada quando o tempo para colisão alcançasse um certo valor margem, *irrespective* a sua velocidade. Isto significaria que sua freada seria mais intensa conforme sua velocidade fosse mais alta”.

Bardy e Warren fazem algumas críticas ao fato de ser constante, mas reconhecem o papel crítico da variável $\dot{\tau}$ no controle da desaceleração; os autores discordam, por exemplo, do método utilizado, baseado na inclinação da reta de regressão, porque representa apenas um $\dot{\tau}$ médio e, de fato, os valores de $\dot{\tau}$ estão sistematicamente se alterando.

Os autores também sugerem que aproximações de $\dot{\tau}$ constante poderiam resultar de estratégias alternativas ou de controle não visual, ou ainda de mecanismos passivos do movimento, e indicam a necessidade de mais estudos sobre as características de $\dot{\tau}$.



Yilmaz e Warren Jr (1995) mostram, por outro lado, resultados que são consistentes com a

estratégia $\dot{\tau}$ numa tarefa de simulação apresentada em computador, com valores de $\dot{\tau}$ próximos a –

0,5. A análise matemática de Lee sugere que $\hat{\tau} = -0,5$ é um valor crítico para o controle da colisão porque, dadas as capacidades de desaceleração de sistemas reais, ele diferencia entre os estados de “colisão” e de aproximação “segura”. Adicionalmente, porque este valor produz, de modo único, uma desaceleração constante, é uma característica de custo baixo para o sistema, interessante ao indivíduo em termos funcionais, representando uma troca entre força e tempo requeridos. Bardy e Warren Jr (1997) sugerem que este valor margem de $\hat{\tau}$ parece ser um bom candidato para o controle da colisão, uma vez que tem, na linguagem de sistemas dinâmicos, certas propriedades atrativas. Ou seja, as freadas se comportam como atratores no sentido que os ajustes da freada a partir dos valores iniciais de $\hat{\tau}$ tendem a se aproximar de $-0,5$.

No entanto, Bardy e Warren Jr. (1997) ponderam que o valor $-0,5$ não deveria ser interpretado como o único valor útil para o controle das ações. A literatura tem mostrado que valores margem de $\hat{\tau}$ são dependentes da tarefa. Valores de $-0,5$ ou acima foram observados quando velocidade zero foi necessária no contato, como a situação de freada (Lee, 1976, Yilmaz & Warren Jr, 1995), a fase final de uma tarefa de beijar e a fase de transporte de uma tarefa de correr e agarrar (Wann et al., 1993). Em contraste, valores abaixo $-0,5$ foram encontrados quando velocidade não-zero foi requerida no contato, como no estudo na aterrissagem de um salto mortal (Lee, Young & Rewt, 1992), entrada aérea e aterrissagem (Lee, Reddish & Rand, 1991) e o agarrar (Zaal & Bootsma, 1995). Na perspectiva destes autores, diferentes valores margem de $\hat{\tau}$ podem ser adotados para diferentes tarefas, dependendo do tipo de contato desejado. No entanto, a severidade do impacto depende não apenas de $\hat{\tau}$, mas também da velocidade corrente; assim, o valor margem de $\hat{\tau}$ pode precisar ser calibrado para uma variedade de velocidades típicas da tarefa.

Em suma, os resultados do presente estudo foram capazes de confirmar a hipótese de controle da freada de Lee (1976), expandindo suas bases para uma nova tarefa, o frear da bicicleta. O presente protocolo experimental foi apropriado para o teste proposto, e os resultados mostram com clareza a confirmação da utilização da informação de tempo para colisão e sua primeira derivada para, respectivamente, dar início à freada e regular a intensidade da freada, como esperado, numa situação de aproximação retilínea do obstáculo, com velocidade zero em seu final.

Conclusões

Pode-se concluir que os resultados obtidos sugerem fortemente que os ciclistas recreacionais participantes deste estudo utilizaram a variável óptica τ para iniciar a freada da bicicleta e a variável óptica $\hat{\tau}$ para regular a intensidade da freada. A tarefa de aproximação retilínea em relação a um obstáculo estacionário, mesmo que relativamente simples frente às demandas reais requeridas de qualquer ciclista no trânsito, foi suficiente para demonstrar a relevância e utilização de variáveis contidas no fluxo óptico, geradas pela dilatação da imagem de planos e objetos do ambiente na retina do ciclista, conforme hipotetizado. Em síntese, os dados aqui apresentados corroboram a hipótese de controle da freada de Lee (1976). Futuros estudos poderiam explorar a diversidade de tarefas esportivas e do cotidiano para melhor caracterizar as variações de $\hat{\tau}$ ao longo da fase de desaceleração e as estratégias de controle visual subjacentes.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao PIBIC/CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica, à Fundação para o Desenvolvimento da Unesp (Fundunesp) pelo fomento concedido (Processo 521/2001-DFP) e ao Prof. Rosa Júnior do CTI “Isaac Portal Roldan” da Unesp – Campus de Bauru, pelo apoio tecnológico.

Referências

- Bardy, B.G. & Warren Jr., W.H. (1997). Visual control of braking in goal-directed action and sport. *Journal of Sports Sciences*, 15, 607-620.
- Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Lee, D.N. (1976). A theory of visual braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- Lee, D.N., Reddish, P.E. & Rand, D.T. (1991). Aerial docking by Hummingbirds. *Naturwissenschaften*, 78, 526-527.
- Lee, D.N., Young, D.S. & Rewt, D. (1992). How do somersaulters land on their feet? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1195-1202.
- Lee, D.N., Young, D.S., Reddish, P.E., Lough, S. & Clayton, T.M.H. (1983). Visual Timing in

- Hitting and Accelerating Ball. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35A, 333-346.
- Lombardo, T.J. (1987). *The reciprocity of perceiver and environment: The evolution of James Gibson's ecological psychology*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Michaels, C.F. & Carello, C. (1981). *Direct Perception*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Rodrigues, S.T. (1997). O timing visual e a informação de tempo para contato. In A.M. Pellegrini (Ed.), *Coletânea de Estudos: Comportamento Motor I* (pp. 97-108). São Paulo: Movimento.
- Rodrigues, S.T. (2001). O movimento dos olhos e a relação percepção-ação. In L.A. Teixeira (Ed.), *Avanços em Comportamento Motor* (pp. 122-146). São Paulo: Movimento.
- Rodrigues, S.T. (2006). Controle visual de ações no tênis de mesa. In W. Marinovic, C.A. Lizuka & K.T. Nagaoka (Eds.), *Tênis de Mesa: Teoria e Prática* (pp. 141-159). São Paulo: Phorte.
- Salvesbergh, G.J.P., Whiting, H.T.A. & Bootsma, R.J. (1991). Grasping Tau. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 17, 315-322.
- Treffner, P., Barret, R. & Petersen, A. (2002). Stability and driving. *Human Movement Science*, 21, 749-784.
- Treffner, P., Barret, R., Petersen, A. & White, R. (2002). Active stabilisation and perceptual sensitivity in safe driving. In *Developing safer drivers and riders* (Proceedings of Travelsafe-Australian College of Road Safety Conference), 91-104, Mawson, ACT: ACRS.
- Tresilian, J.R. (1991). Empirical and theoretical issues in the perception of time to contact. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 17, 865-876.
- Tresilian, J.R. (1993). four questions of time to contact: A critical examination of research on interceptive timing. *Perception*, 22, 653-680.
- Tresilian, J.R. (1999). Visually timed action: Time-out for 'tau'? *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 301-310.
- Turvey. M.T. (1977). Contrasting orientations to the theory of visual information processing. *Psychological Review*, 84, 67-88.
- Wann, J.P., Edgar, P. & Blair, D. (1993). Time-to-contact judgement in the locomotion of adults and preschool children. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1053-1065.
- Warren, W.H. (2006). The dynamics of perception and action. *Psychological Review*, 113, 358-389.
- Winter, D.A. (1990). Biomechanics and motor control of human movement. New York: John Wiley & Sons.
- Yilmaz, E.H. & Warren, W.H. (1995). Visual control of braking: A test of hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 996-1014.
- Zaal, F.T.J.M. & Bootsma, R.J. (1995). The topology of limb deceleration in prehension tasks. *Journal of Motor Behavior*, 27, 193-207.

Endereço:

Sérgio Tosi Rodrigues
Laboratório de Informação, Visão e Ação (LIVIA)
Departamento de Educação Física
Universidade Estadual Paulista – Campus de Bauru
Av. Luis Edmundo Carrijo Coube, 14-01–Vargem
Limpa
Bauru, SP, Brasil, CEP: 17033-360
e-mail: srodrigu@fc.unesp.br

Submetido: 11 de Outubro de 2006.

Revisado: 07 de Novembro de 2006.

Aceito: 12 de Novembro de 2006.