

O efeito da fidelidade do simulador de direção veicular sobre a eficácia do treinamento

R. Wade Allen*, George D. Park*, Marcia L. Cook*, Dary Fiorentino**

*Systems Technology, Inc.; **Southern California Research Institute

Resumo

O grau de fidelidade do simulador de direção veicular tem, seguramente, algum efeito sobre a sua eficácia de treinamento potencial. Este estudo descreve os resultados da análise de acidentes pós-treinamento para um projeto que foi apresentado anteriormente nas conferências sobre DSC (*Dynamic Stability Control* - Controle Dinâmico de Estabilidade). O treinamento envolveu três configurações de simulador: 1) uma cabine equipada com visualização projetada em grande abertura angular; 2) um sistema de computadores de mesa de campo de visão amplo, com uma visualização em três monitores; 3) um sistema de computadores de mesa com monitor individual e campo de visão restrito. Houve resultados do treinamento divulgados anteriormente que apresentam algumas diferenças de desempenho entre as configurações de simulador. Os resultados dos acidentes para os condutores adolescentes treinados neste experimento foram obtidos do Departamento de Veículos Automotores, no Estado da Califórnia, EUA. A taxa de acidentes dos participantes treinados no simulador é comparado com as taxas de acidentes divulgadas de condutores adolescentes da Califórnia, para a população geral do estado, e também com os dados divulgados da Província de Nova Scotia, no Canadá. A taxa de acidentes da população participante de condutores adolescentes treinados na configuração de simulador com cabine equipada representou apenas um terço da taxa geral da população de condutores adolescentes. A taxa de acidentes de condutores adolescentes treinados na configuração de computadores de mesa de campo de visão amplo foi de 77% da taxa de acidentes geral de condutores adolescentes. A taxa de acidentes dos condutores adolescentes treinados no sistema de computadores de mesa de monitor individual foi quase igual a da população geral. O estudo descreve os métodos de treinamento, as configurações de simulador e fornece uma análise detalhada dos dados dos acidentes.

Résumé

Le degré de fidélité du simulateur de conduite aux conditions réelles a un effet incontestable sur son efficacité potentielle pour l'apprentissage. Cet article décrit les résultats de l'analyse du taux d'accidents post-formation pour un projet déjà présenté aux conférences de DSC. Cette formation comprenais trois configurations de simulateur : 1) un taxi équipé d'un

tableau de bord avec affichage projeté à grand angle; 2) un ordinateur avec champ visuel étendu sur trois moniteurs ; 3) un ordinateur avec un seul moniteur affichant un champ de vision étroit. Des résultats précédemment publiés de cette formation montrent quelques différences de performance entre les configurations différentes du simulateur. Les statistiques d'accidents pour les conducteurs adolescents de cette expérience ont été obtenus auprès du « department of motor vehicles » de l'état américain de Californie. Le taux d'accidents de ces sujets est comparé aux taux d'accidents des adolescents Californiens ainsi qu'aux données publiées de la province de la Nouvelle-Écosse du Canada. Le taux d'accidents des adolescents entraînés dans la configuration simulateur/taxi représentait seulement un tiers de celui de la population générale des conducteurs adolescents. Le taux d'accidents des conducteurs adolescents entraînés dans la configuration ordinateur/champ visuel étendu représentait 77% du taux d'accidents de la population générale des conducteurs adolescents. Le taux d'accidents des conducteurs adolescents qui se sont exercé sur le système du moniteur simple était environ égal à celui de la population générale. L'article décrit le déroulement de formation et les configurations de simulateur et donne une analyse détaillée des données portant sur les accidents.

Introdução

O treinamento de adolescentes em práticas de condução segura é um problema complexo e envolve questões que variam substancialmente de mais treinamento profissional nos âmbitos militar e comercial. Com o treinamento de participantes mais velhos, num contexto mais profissional, normalmente há um processo de seleção e um grau de profissionalismo e motivação para a aprendizagem não encontrados na população adolescente em geral. Os adolescentes são motivados basicamente pela obtenção da habilitação e liberdade para dirigir, e não têm consciência dos perigos no ambiente de direção. As taxas de acidentes para os adolescentes tendem a ser de aproximadamente 8-10% por ano (ou seja, 8-10 acidentes para cada 100 condutores por ano), enquanto que para os motoristas de meia-idade experientes a taxa é da ordem de 4-5% (1). Levando-se em consideração a exposição da quilometragem a diferença é ainda mais expressiva, com taxas de acidentes de adolescentes cerca de 5 vezes mais altas do que as dos motoristas experientes (1).

Pesquisas anteriores sugerem que o efeito da inexperiência no risco de colisão por parte de adolescentes supera o efeito da imaturidade no primeiro ano de condução, enquanto a imaturidade se torna mais importante quando os condutores adolescentes adquirem alguma experiência e confiança na direção. Embora a conduta de adolescentes ao dirigir possa parecer um risco intencional, na verdade, pode ser o resultado de sua incapacidade de avaliar o risco (2, 3). Condutores principiantes jovens enfrentam riscos por causa de sua imaturidade e se envolvem em situações arriscadas; assim, não conseguem evitar as colisões por inexperiência (4, 5). Para piorar o problema da segurança dos adolescentes ao dirigir os distritos escolares estão restringindo a instrução de condutores por problemas de orçamento,

e agora os adolescentes estão recorrendo cada vez mais a autoescolas comerciais, cursos informatizados e *on-line*, e aprendendo a dirigir com os pais (6). O estudo em casa está disponível em muitos estados, e, com base em um exame para aprovação, verificou-se que o uso de tecnologia interativa para a instrução de condução resulta em aprendizagem superior (6). Também foi sugerido que os métodos de aprendizado autodidáticos e individualizados podem ser mais eficazes do que a instrução em sala de aula convencional para ensinar os condutores jovens de maior risco, uma vez que as aulas convencionais podem entediar esses alunos nos estágios iniciais da instrução de condutores (7).

Em geral, parece haver alguma dificuldade em justificar a eficácia da instrução de condutores, embora ainda tenha apelo popular (8). A instrução de condutores pode ajudar os motoristas iniciantes a adquirir habilidades para dirigir, mas o curso padrão de instrução de condutores não parece formar motoristas mais seguros (9). A habilitação parece estar controlando a exposição de forma que as taxas de acidentes sejam mais baixas devido às restrições relacionadas ao horário noturno e aos passageiros, e por prática de direção supervisionada prolongada. As colisões de veículos automotores são significativamente maiores entre os condutores jovens durante o primeiro ano de habilitação, e os riscos de colisão diminuem com o tempo de experiência. No entanto, quanto mais os adolescentes com habilitação recente dirigem, maior a sua exposição ao risco. Isso produz um dilema interessante sobre como proporcionar experiência aos jovens condutores sem aumentar significativamente o seu risco de colisões (10). A simulação de direção veicular pode ser a solução para esse dilema, uma vez que a exposição às condições de condução arriscadas podem ser simuladas de forma controlada e repetitiva, sem riscos.

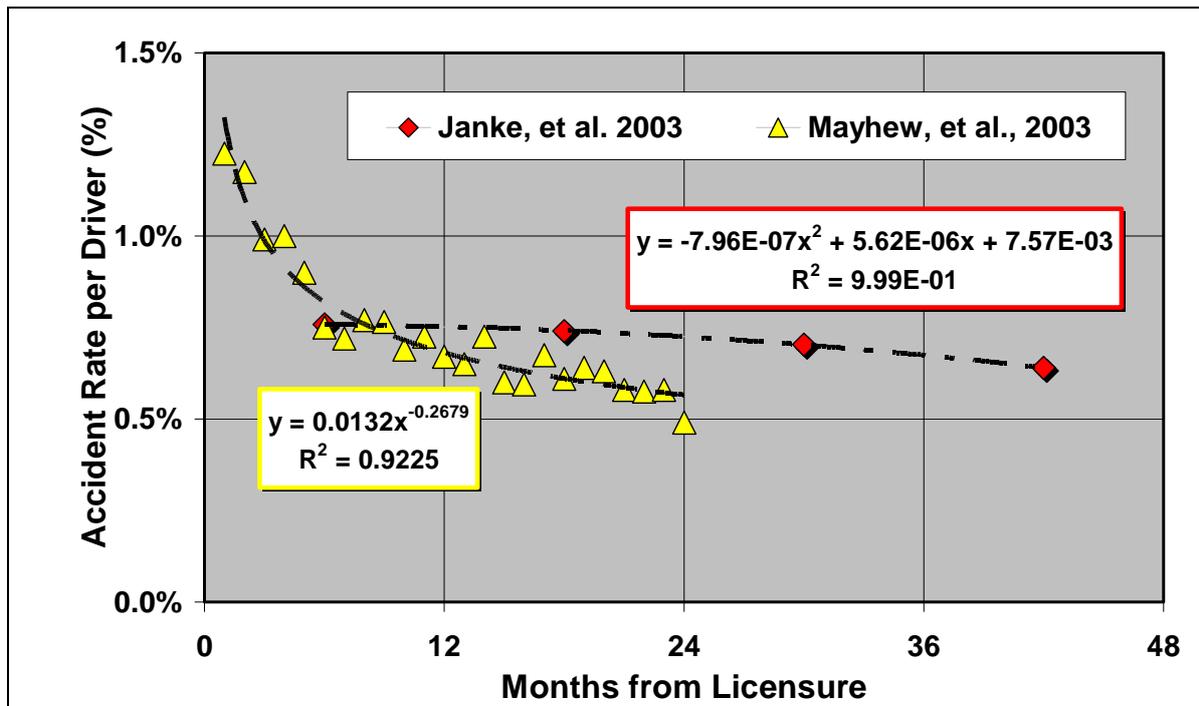
Histórico

Uma revisão recente também expôs o risco enfrentado pelos condutores principiantes (11). Essa revisão também reconheceu a aplicação de tecnologia na instrução de condutores. A simulação é uma tecnologia em potencial que poderia aperfeiçoar as habilidades do condutor principiante antes que este dirigisse no mundo real. O projeto de pesquisa de interesse neste estudo foi estabelecido há alguns anos para investigar se o treinamento com simulador pode transmitir conhecimentos e habilidades para condutores principiantes e que serão transferidos para a condução no mundo real. A fase de treinamento deste projeto foi apresentada anteriormente (12-16) e envolveu simuladores com três níveis de fidelidade. Como ilustrado na Figura 1, as configurações do simulador incluíram 1) uma configuração de computadores de mesa com um monitor individual ou campo de visão restrito (NFOVD); 2) uma configuração de computadores de mesa com três monitores ou campo de visão amplo (WFOVD); 3) uma cabine equipada, com visualização projetada de campo de visão amplo (WFOVC). A primeira fase deste projeto foi apresentada em (12), e os resultados detalhados do treinamento foram apresentados em (15). Os dados sobre as taxas de acidentes dos nossos participantes treinados no simulador foram obtidos do Departamento de Veículos

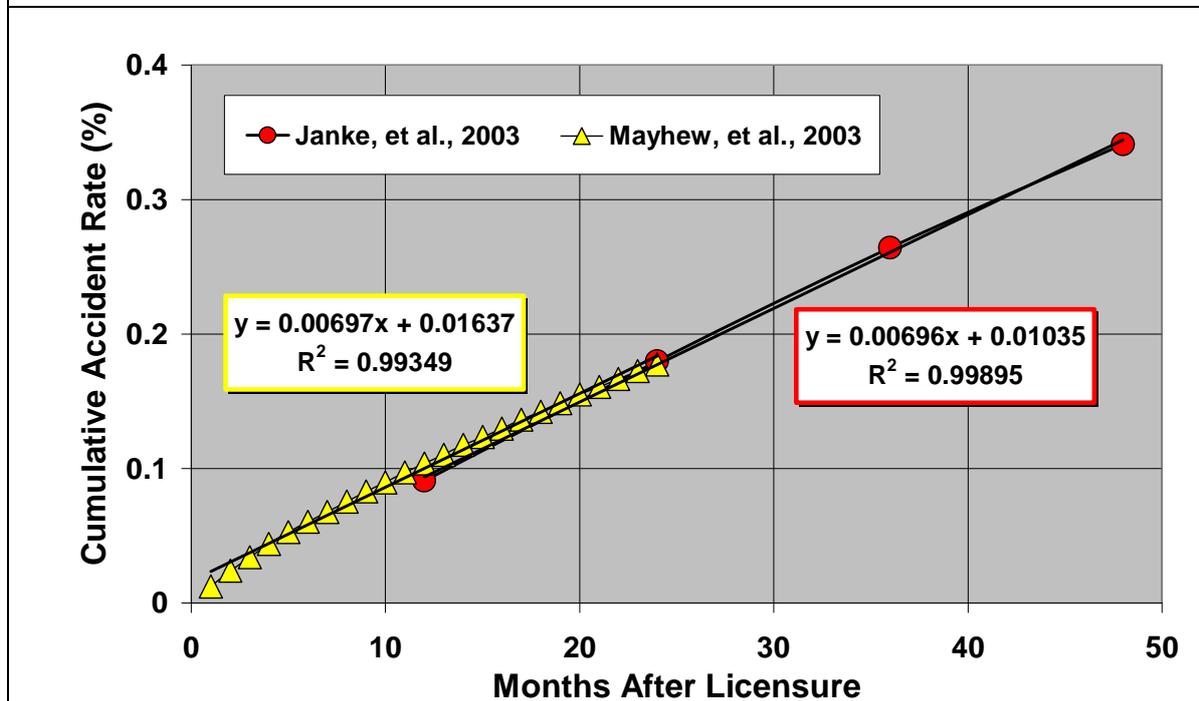
Automotores do Estado da Califórnia (DMV). A análise desses dados é apresentada neste estudo e em comparação com as taxas gerais de acidentes de adolescentes apresentados em outra parte (1, 17).

		
<p>Computadores de mesa de campo de visão restrito (NFOVD - Narrow Field of View Desktop): Monitor individual; campo de visão de 45°; dimensão de imagem de 50%; controles de jogo Sidewinder; espelhos retrovisores laterais icônicos; dois distritos escolares; alunos em aulas de instrução de condutores; uma com treinamento em laboratório de informática; a segunda com treinamento em sala de aula</p>	<p>Computadores de mesa de campo de visão amplo (WFOVD - Wide Field of View Desktop): Três monitores, computadores de mesa; campo de visão de 135°; dimensão de imagem de 50%; controles de jogo Sidewinder; espelhos retrovisores laterais de imagem real; alunos selecionados no escritório local do DMV; treinados em ambiente de laboratório e supervisionados por pesquisadores</p>	<p>Campo de visão amplo + Cabine de Veículo (WFOVC - Wide Field of View + Vehicle Cab): Imagem projetada de três canais; campo de visão de 135°; dimensão de imagem de 100%; cabine equipada; espelhos retrovisores laterais de imagem real; alunos selecionados no escritório local do DMV; treinados em ambiente de laboratório e supervisionados por pesquisadores</p>
<p>Figura 1. Configurações de simulador e ambiente de treinamento</p>		

A princípio, planejamos obter dados de acidentes para os grupos de controle em regiões geográficas consistentes com a população experimental treinada com o nosso simulador experimental. No entanto, até o momento, não pudemos obter esses dados do DMV da Califórnia, embora tenhamos recebido dados de acidentes para os participantes treinados com o nosso simulador, conforme será discutido posteriormente. Em vez de dados de controle, tentamos obter dados de controle equivalentes por meio da literatura publicada. Dois estudos parecem ter taxas comparativas de acidentes com condutores principiantes que são úteis, um para o Estado da Califórnia, EUA (1), de Janke et al, e o outro para a Província canadense de Nova Scotia (17), de Mayhew et al, ambos publicados em 2003. Os dados básicos, apresentados como acidentes por condutor, encontram-se exemplificados na Figura 2 a). Os dados do Canadá foram apresentados mensalmente para os primeiros 24 meses após a habilitação, e os dados da Califórnia são apresentados anualmente para quatro anos após a habilitação. Como os dados da Califórnia são apresentados para um ano, foram esboçados nos intervalos de seis meses para serem representativos da média para cada ano e foram divididos por doze para serem comparáveis às taxas mensais de Mayhew et al.



a) Accident rates per driver



b) Cumulative accident rates per driver

Figure 2. Novice Driver Accident Rates from the Literature (1, 17).

Accident rates per driver – Taxas de acidentes por condutor

Accident Rate per Driver – Taxa de acidentes por condutor

Cumulative accident rates per driver – Taxas de acidentes acumuladas por condutor

Cumulative Accident Rate – Taxa de acidentes acumulada

Figure 2. Novice Driver Accident Rates from the Literature (1, 17) – Figura 2. Taxas de acidentes de condutores principiantes da literatura (1, 17)

Months After Licensure – Meses após a habilitação

Months from Licensure – Meses desde a habilitação

Os dados de Mayhew na Figura 2 a) mostram a intensidade da taxa de acidentes dos condutores principiantes nos meses iniciais após a habilitação. De acordo com a função de regressão exponencial exibida na Figura 2 a) para os dados de Mayhew, a taxa de acidentes no primeiro mês é mais do que o dobro no 24º mês. A função de regressão para os dados de Janke et al apresenta uma taxa inicial de 0,0075 acidentes por condutor por mês ou 0,091 acidentes por condutor por ano, o que é consistente com (1). Os dados de Janke et al também mostram que a taxa de acidentes de condutores principiantes no primeiro ano é de, aproximadamente, duas vezes a de condutores de meia-idade. Os dados da Figura 2 a) são, na verdade, cumulativos para cada período de tempo, por isso, uma outra maneira de analisar esses dados é considerar as distribuições cumulativas na Figura 2 b). As distribuições cumulativas mostram a taxa em que os acidentes estão ocorrendo, e após os primeiros seis meses essa taxa de acúmulo é quase igual para os dois conjuntos de dados. A análise de regressão resumida na Figura 2 b) mostra que os dois conjuntos de dados têm aproximadamente a mesma taxa de acúmulo de acidentes de aproximadamente 0,0070 acidentes por condutor por mês, ou 0,084 (8,4%) acidentes por condutor por ano. É consistente com as taxas anuais apresentadas por Janke et al (1). A interpretação dos dados na Figura 2 b) é um formato útil sobre o qual comparar a análise de dados de acidentes neste projeto de pesquisa.

Pesquisas anteriores indicam que o treinamento de simulação de direção que leva em consideração os erros cometidos confere uma melhor transferência para exames de direção em pistas do que o treinamento concebido de forma a não dar margem a erros (18). Há também outra evidência na literatura, de que o treinamento é mais eficaz quando os participantes aprendem com os erros cometidos (19). A chave para a criação de cenários que permitem o aprendizado a partir de erros em uma simulação de direção é a capacidade de controlar variáveis independentes (tempo e relações especiais) que determinam a gravidade de situações arriscadas. Os cenários de direção na fase de treinamento deste estudo foram projetados para serem difíceis para os condutores não treinados e darem margem a erros, mas permitiram a execução bem-sucedida por condutores treinados (16). A dificuldade dos cenários era tal que os condutores cometeram muitos erros durante seus primeiros contatos, e aprenderam a minimizar os erros à medida que o treinamento progredia e as suas habilidades se aperfeiçoaram. Os alunos tiveram que dirigir em um mínimo de seis cenários antes que o seu desempenho fosse classificado para atender aos critérios de aprovação. Os participantes podiam dirigir em até três cenários a mais, a fim de atingir uma pontuação para aprovação. Cerca de 79% dos participantes atingiram uma pontuação para aprovação por volta do nono teste (16).

O desempenho do sistema de treinamento foi apresentado anteriormente para este estudo, por exemplo, (12), e as taxas de doenças no simulador também foram divulgadas (20). Variáveis de manobras como curvas difíceis e freagens bruscas foram aperfeiçoadas com maior fidelidade de simulação e foram superiores com o monitor projetado em tamanho real, de campo de visão amplo. Erros como o mau uso do indicador de direção e os acidentes foram reduzidos com o aumento da fidelidade. Os condutores também tenderam a dirigir no simulador de forma mais conservadora com maior fidelidade. A maior fidelidade aqui é considerada com a inclusão de visualizações em tamanho real, campo de visão amplo e espelhos retrovisores laterais realistas, como ilustrado na Figura 1. As taxas de doenças no simulador foram relativamente baixas para todas as configurações. Dado o desempenho do treinamento divulgado anteriormente, as questões básicas a serem abordadas aqui são: 1) se o treinamento no simulador se transfere para a condução no mundo real e se resulta em redução nas taxas de acidentes, e 2) se a configuração do simulador influencia a eficácia do treinamento.

Métodos

Este estudo obteve resultados do desempenho do treinamento em simulador de mais de 500 condutores principiantes. A plataforma do sistema de treinamento foi projetada de modo a permitir o ensino de habilidade perceptiva, psicomotora e cognitiva a condutores principiantes e para ser administrada por instrutores de direção sem conhecimento prévio em execução de experimentos com participantes humanos. A plataforma do PC foi projetada para oferecer orientação, manutenção de registros de participantes, treinamento, medição de desempenho e avaliação do comportamento do condutor (13). O componente do simulador da plataforma apresentou aos participantes situações de condução cognitivamente complexas. Estas situações envolveram conflitos arriscados, de tempo crítico para pedestres, de tráfego e de sinalização, contidos em nove cenários de direção. A ordem dos eventos foi contrabalançada entre os cenários para minimizar a antecipação de situações futuras. Os cenários foram projetados para treinar habilidades de condução críticas, incluindo o conhecimento da situação, a percepção de riscos, avaliação de riscos e tomada de decisão sob pressão do tempo, conforme discutido em outra parte (14).

Sistema de Treinamento

Foi desenvolvido um sistema de treinamento automatizado para conectar os participantes, criar um banco de dados, administrar material de orientação, administrar cenários de simulador de direção, registrar desempenho de condução e comparar os dados dos participantes aos critérios que iriam determinar o desempenho de treinamento aceitável (13).

Após o acesso, administraram-se aos participantes o material de orientação que apresentava as informações necessárias para a simulação de direção, incluindo: dispositivos de controle de tráfego (placas, sinalizadores e marcações), regulamento de tráfego, mudança de faixa, curva e uso de indicadores de direção, reconhecimento de riscos, conhecimento da situação e direção defensiva. A orientação terminou com informações sobre o sistema de pontuação de desempenho e uso dos controles de direção.

Simulação de condução

A simulação de direção foi descrita em outra parte (12). A primeira exposição foi um percurso de familiarização que apresentou lentamente ao aluno a direção e o controle de velocidade, depois os cruzamentos com dispositivos de controle de tráfego e, por fim, conflitos de tráfego e pedestres. Após o percurso de familiarização o sistema apresentou ao aluno cenários de treinamento padronizados. Os alunos receberam seis cenários de treinamento com duração de 12-15 minutos, com as pontuações de desempenho apresentadas no final de cada percurso. O desempenho foi avaliado no final do sexto cenário, e se os alunos atendiam aos critérios de desempenho (por exemplo, sem acidentes, sem multas e velocidade média aceitável), eram aprovados. Caso contrário, o aplicativo apresentava até três testes adicionais. Em qualquer teste adicional os alunos eram aprovados se atendessem aos critérios de desempenho. Se os alunos dirigiam em todos os testes adicionais e não atendiam aos critérios de desempenho, eram advertidos a dirigir com atenção no futuro e reconhecidos por sua participação. A taxa global de aprovação foi de 79% (14).

Cenários de direção

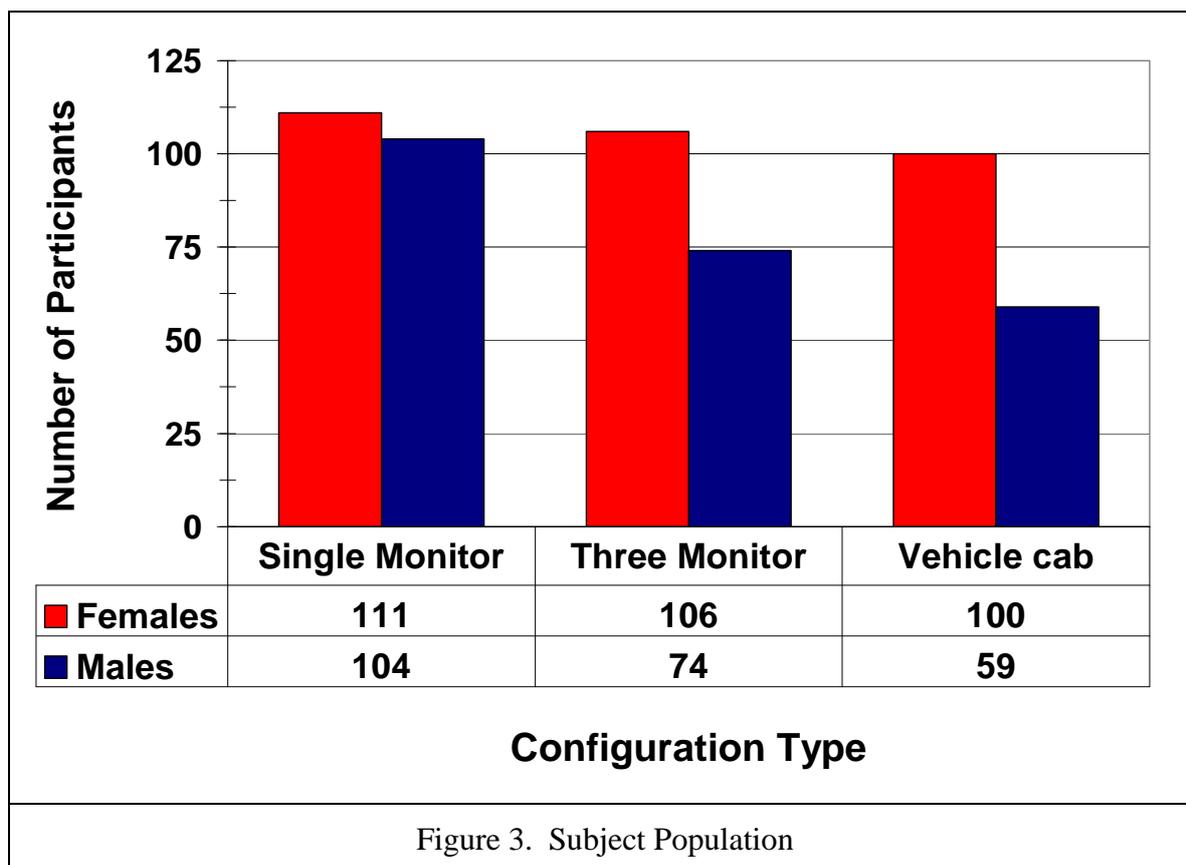
Os cenários de direção foram criados com uma linguagem de definição de cenários (SDL - *scenario definition language*), que permite a especificação e o controle de riscos críticos (21). A SDL permite que os cenários de direção sejam convenientemente descritos em termos de alinhamento de pista e incluem eventos para dispositivos de controle de tráfego (placas, sinalizadores e marcações), objetos de margem de estrada, tráfego e pedestres. Além disso, as propriedades temporais do tráfego, semáforos e pedestres foram acionados em relação ao veículo do próprio participante, a fim de controlar a gravidade (tempo) dos conflitos de riscos. A SDL também permite que situações sejam contrabalançadas entre os cenários de forma que os participante não tinham como tomar conhecimento de padrões de eventos futuros em testes sucessivos. O aplicativo foi concebido para selecionar uma variação diferente a cada vez que um determinado participante realizar um percurso adicional. As características dos cenários de direção, incluindo os eventos críticos, foram descritas anteriormente (14). A SDL também permite a especificação de medidas de desempenho. As medidas de desempenho incluíam elementos como infrações nas mudanças de faixa e

velocidade, limite de velocidade e de semáforos, erros de mudança de direção, curvas e freagem difíceis, acidentes, tempo de conclusão do percurso e tempo médio de colisão para todos os encontros de veículos. Algumas medidas de desempenho também foram utilizadas como critérios de aprovação (ou seja, nenhum acidente, menos de três infrações e menos de 10 erros de sinal de direção).

Os cenários de direção foram concebidos para terem cerca de 10-15 minutos de duração, dependendo da velocidade do condutor. Têm aproximadamente 10,363 metros de comprimento e a uma velocidade de 72 km/h poderia ser concluído em cerca de 8,5 minutos. Havia seções nas quais os participantes podiam ir mais rápido e seções nas quais os participantes tiveram que reduzir a velocidade ou parar em cruzamentos, tráfego e pedestres que fizeram com que o tempo de condução fosse prolongado para cerca de 12-15 minutos. Os cenários envolvem 155 veículos que se aproximam e 107 veículos que interagem, indo na mesma direção que os participantes. Os veículos foram distribuídos de forma relativamente uniforme durante os cenários. Havia também 67 pedestres distribuídos por todos os cenários. Os tempos de início para pedestres em movimento à frente do veículo do participante foram concebidos de modo a apresentar decisões desafiadoras (por exemplo, tempo típico de encontro de 3-6 segundos). Os tempos de início da luz de sinalização foram desenvolvidos para oferecer parada relativamente crítica ou tomada de decisões (por exemplo, o tempo típico de 3-6 segundos nos cruzamentos). A intensidade das curvas foi projetada para ser desafiadora, conforme os participantes iam mais rápido do que o limite de velocidade geral, de 72 km/h.

População participante e locais de treinamento

Participantes treinados em dois laboratórios de pesquisa e dois distritos escolares. Os participantes do laboratório de pesquisa foram selecionados dos escritórios locais do Departamento de Veículos Automotores, enquanto os participantes do ensino médio do distrito foram todos registrados nas aulas de instrução de condutores do ensino médio. Os participantes selecionados dos escritórios do DMV foram treinados em dois laboratórios de pesquisa, um com o campo de visão amplo em uma configuração de cabine do veículo, o outro com a configuração de computadores de mesa de campo de visão amplo (Figura 1). Os participantes das aulas de instrução de condutores do ensino médio foram treinados na configuração de desktop de monitor individual (campo de visão restrito) (Figura 1). A população teve um certo preconceito com relação às mulheres, e havia alguma variação no número total de participantes dirigindo em cada configuração. A Figura 3 mostra a distribuição de participantes por configuração de simulador e gênero. A seleção dos participantes foi limitada pelo tempo e pela logística e, em cada caso, procuramos maximizar o número de participantes.



Configuration Type – Tipo de configuração

Females – Mulheres

Figure 3. Subject Population – Figura 3. População participante

Males – Homens

Number of Participants – Número de participantes

Single Monitor – Monitor individual

Three Monitor – Três monitores

Vehicle cab – Cabine de veículo

Resultados dos acidentes

Os dados de acidentes para a nossa população estudantil foram obtidos do Departamento de Veículos Automotores do Estado da Califórnia, em outubro de 2006. Isso possibilitou mais de dois anos de experiência de acidentes para cada grupo. A população participante habilitada para os dados de acidentes variou entre os grupos e ao longo do tempo, conforme mostrado na Figura 4. Não tivemos controle sobre os participantes recebendo a sua carteira de habilitação, e os dados da Figura 4 são uma consequência de alguns participantes recebendo suas carteiras de habilitação mais tarde do que os outros. Os alunos da instrução de condução do ensino médio (NFOVD) representaram a maior população, mas, em geral, obtiveram suas habilitações mais tarde do que os grupos da seleção do DMV (WFOVC e WFOVD) e, assim, o tamanho da sua população diminuiu mais rapidamente em função do tempo desde a

habilitação. A pontuação de 50% de cada população está indicada na Figura 4. Isso ocorreu aos 25 meses para o grupo NFOVD, enquanto que a metade da pontuação do grupo WFOVC ocorreu aos 32 meses, e a metade da pontuação do grupo NFOVD ocorreu aos 33 meses. Essas metades das pontuações da população serão utilizadas como um limite no cálculo das taxas de acidentes, conforme será discutido em seguida.

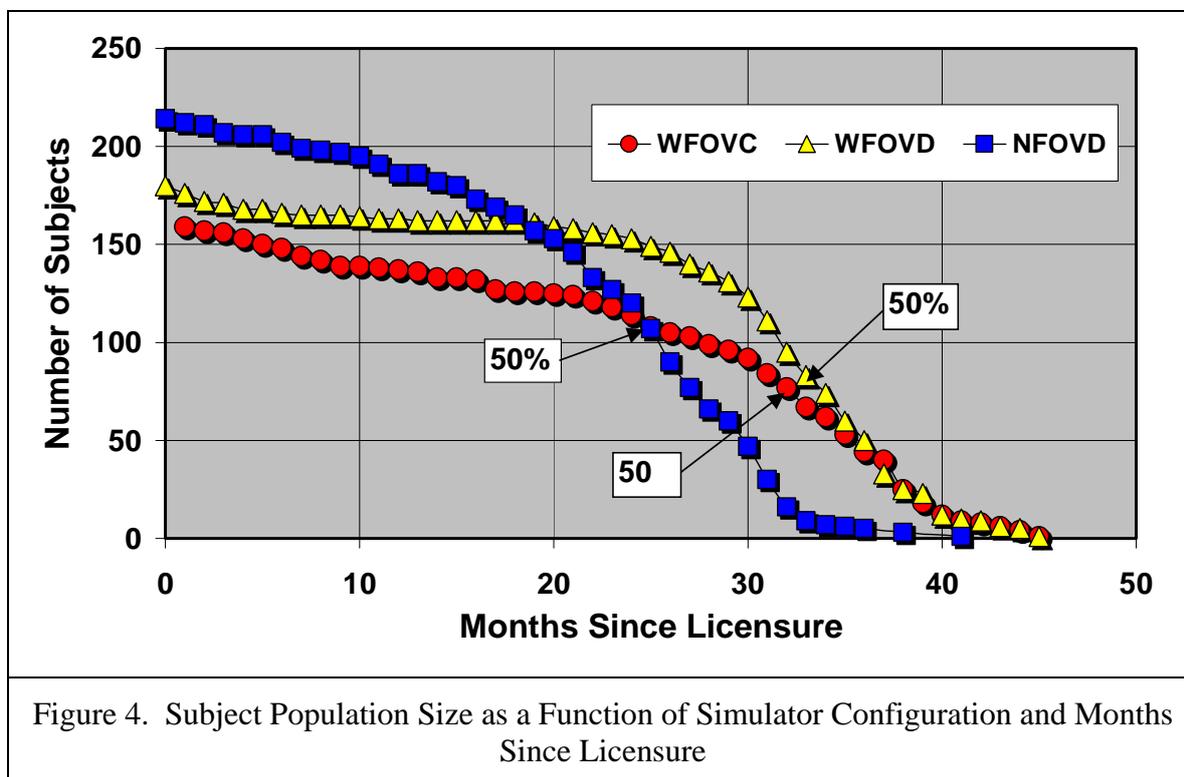
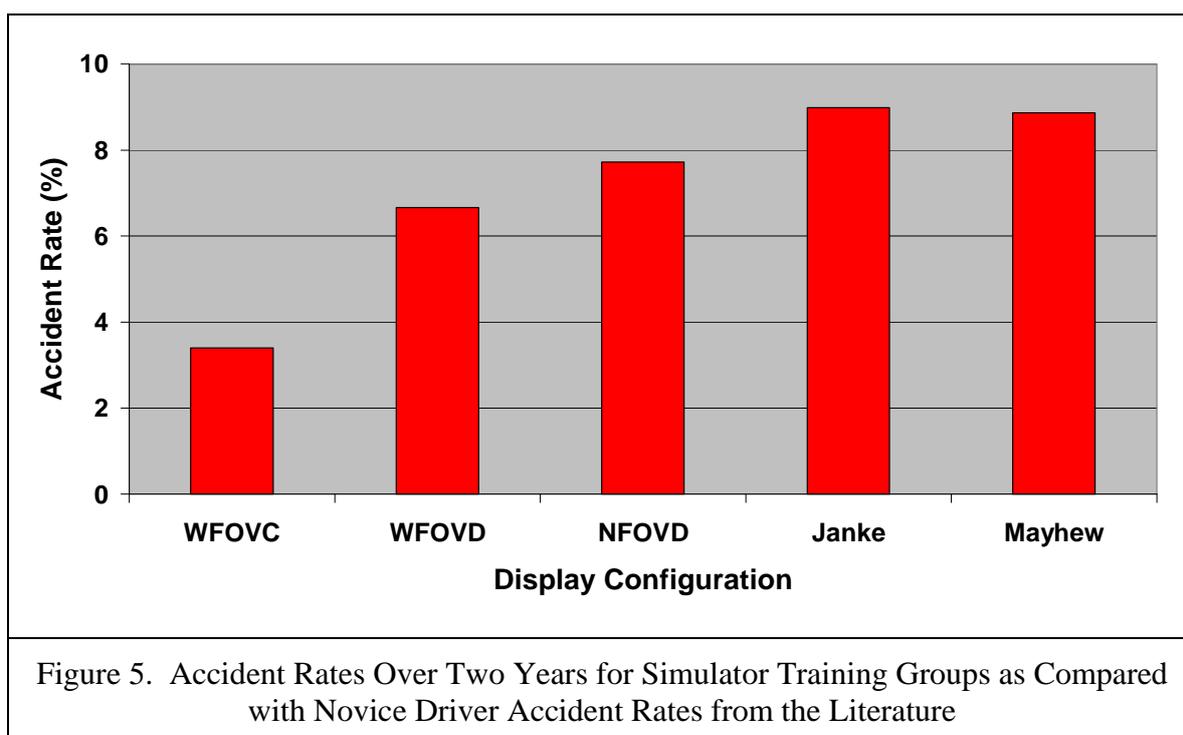


Figure 4. Subject Population Size as a Function of Simulator Configuration and Months Since Licensure - Figura 4. Tamanho da população participante como uma função da configuração de simulador e meses desde a habilitação
 Months Since Licensure – Meses desde a habilitação
 Number of Subjects – Número de participantes

A Figura 5 mostra as taxas de acidentes nos dois primeiros anos de condução para os nossos grupos treinados no simulador em comparação com dados de condutores principiantes treinados na forma tradicional, na Califórnia (1) e na Província canadense de Nova Scotia (17). A taxa de acidentes mais baixa é a do grupo WFOVC, treinado em uma cabine equipada com uma visualização de pista projetada em tamanho real, conforme exibido na Figura 1. O grupo WFOVD tem a próxima menor taxa de acidentes e foi treinado no sistema de campo de visão amplo, exibido na Figura 1. As taxas de acidentes para os grupos de treinamento em monitor individual foram ligeiramente inferiores às da literatura para os condutores treinados nos métodos tradicionais. As taxas de acidentes para os nossos grupos no simulador, na Figura 5, são para, nominalmente, dois anos. Essas são boas médias para os dados da literatura, mas são problemáticas, como foi sugerido pelas distribuições para o

número de alunos nas populações do grupo de treinamento no simulador ilustrados na Figura 4. O tamanho da população dos nossos participantes treinados no simulador diminuiu porque alguns participantes levaram mais tempo do que outros para obter a habilitação. Por esta razão, precisamos calcular as taxas de acidentes com base num aumento de tempo, considerando o tamanho da população em cada aumento de tempo, conforme discutido abaixo.

O nosso declínio no tamanho da população com o tempo foi explicado por meio do cálculo das taxas de acidentes por condutor de mês a mês, de acordo com o tamanho da população mês a mês apresentado na Figura 4. Para cada grupo da configuração de simulador, o total de acidentes para esse grupo, para um determinado mês, foi dividido pelo tamanho da população daquele grupo durante aquele período de tempo. As taxas de acidentes cumulativas foram, então, esboçadas, conforme ilustrado na Figura 6. Essas distribuições ilustram a frequência com que os acidentes se acumulam em cada população. Aqui, vemos a taxa de acumulação de acidentes para cada grupo de treinamento da configuração de simulador. Inicialmente, os grupos WFOVC e WFOVD têm um histórico de acidentes semelhante, mas após cerca de seis meses, o WFOVC (Cabine + visualização projetada de campo de visão amplo) apresenta a menor taxa de acidentes. A configuração NFOVD (computadores de mesa de campo de visão restrito) mostra a maior taxa de acidentes inicial e a taxa de acidentes de longo prazo mais alta.



Accident Rate – Taxa de acidentes

Display Configuration – Configuração do Visualização

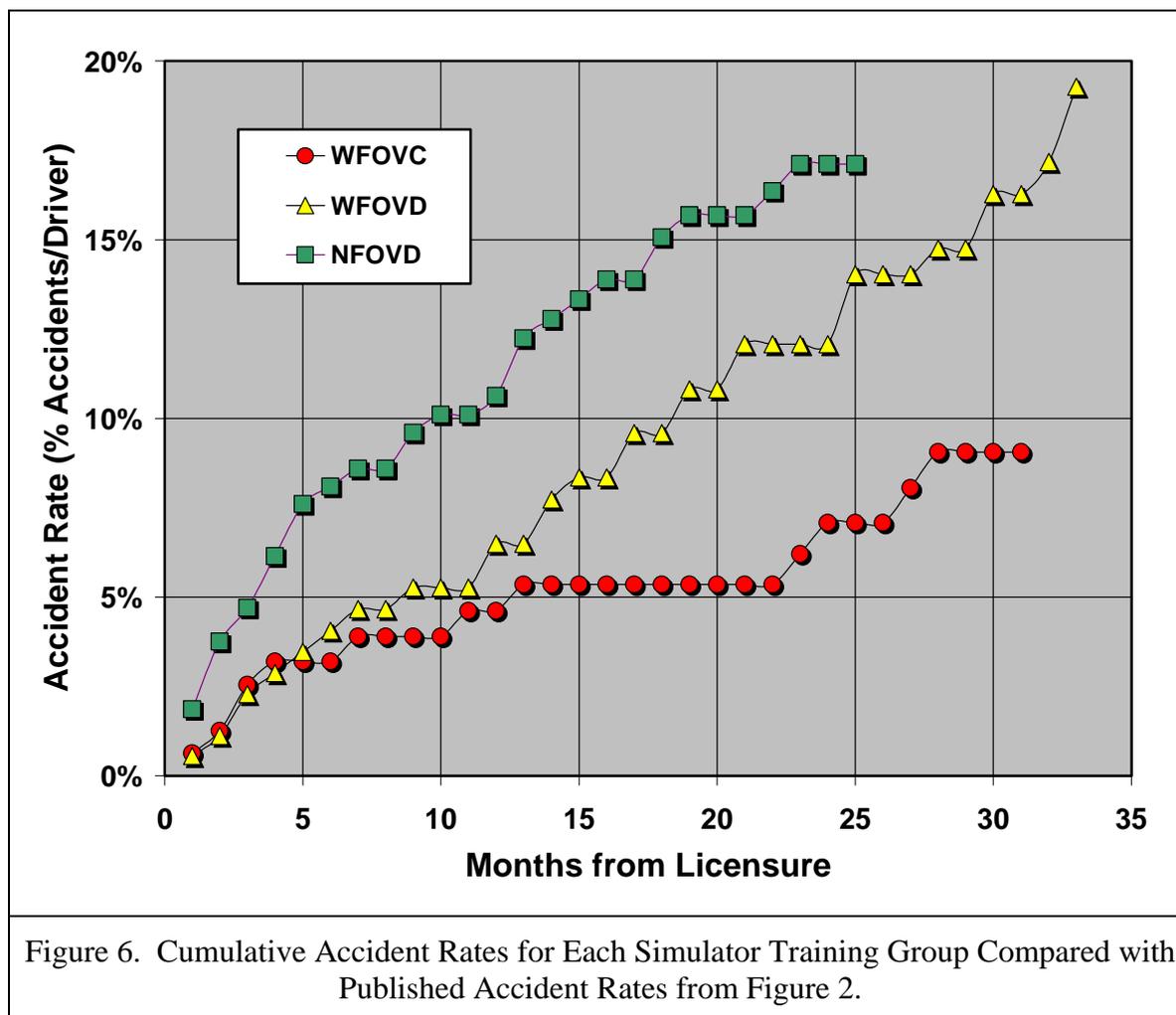
Figure 5. Accident Rates Over Two Years for Simulator Training Groups as Compared with Novice Driver Accident Rates from the Literature – Figura 5. Taxas de acidentes em dois

anos para grupos de treinamento em simulador, comparadas às dos condutores principiantes da literatura

As taxas de acidentes dos grupos de treinamento na configuração de simulador foram comparadas com as taxas de acidentes da Califórnia (1) e do Canadá (17) divulgadas, por meio de análise de regressão linear. Os resultados da análise de regressão estão resumidos na Tabela 1. Aqui, vemos em primeiro lugar que as correlações são bastante altas, de modo que os resultados são bastante confiáveis. Os intervalos de confiança indicam que as taxas de acidentes, representadas pela inclinação de regressão dos grupos WFOVC e WFOVD são seguramente inferiores às dos condutores treinados na forma tradicional na Califórnia e no Canadá, com base em intervalos de confiança não sobrepostos. A taxa de acidentes do grupo WFOVC também é seguramente mais baixa do que a do grupo WFOVD. Até mesmo a inclinação do NFOVD é ligeiramente menor do que os conjuntos de dados divulgados, embora a interseção inicial seja definitivamente mais alta, o que sugere uma taxa de acidentes inicial mais elevada, mas uma taxa de acumulação mais baixa. As inclinações de regressão estão esboçadas na Figura 7.

Discussão

Os resultados deste estudo sugerem que o treinamento em simulador pode reduzir as taxas de acidentes de condutores principiantes. O projeto experimental envolveu uma comparação entre grupos de configurações de simulador. Existem diferenças nítidas entre a taxa de acidentes entre os três grupos de configuração de simulador. Há também algumas variáveis não controladas entre esses grupos, uma vez que os sistemas de computadores de mesa de campo de visão restrito foram aplicados em escolas, enquanto os sistemas de campo de visão amplo foram aplicados em laboratórios de simulação. Os laboratórios de simulação selecionaram participantes dos escritórios do DMV, e as suas localizações geográficas sugerem composições étnicas semelhantes. A cabine de veículo + visualização de campo de visão amplo projetada em tamanho real apresentou uma taxa de acidentes menor do que a metade da taxa do sistema de computadores de mesa de três monitores,



Accident Rate (% Accidents/Driver) – Taxa de acidentes (% Acidentes/Condutor)

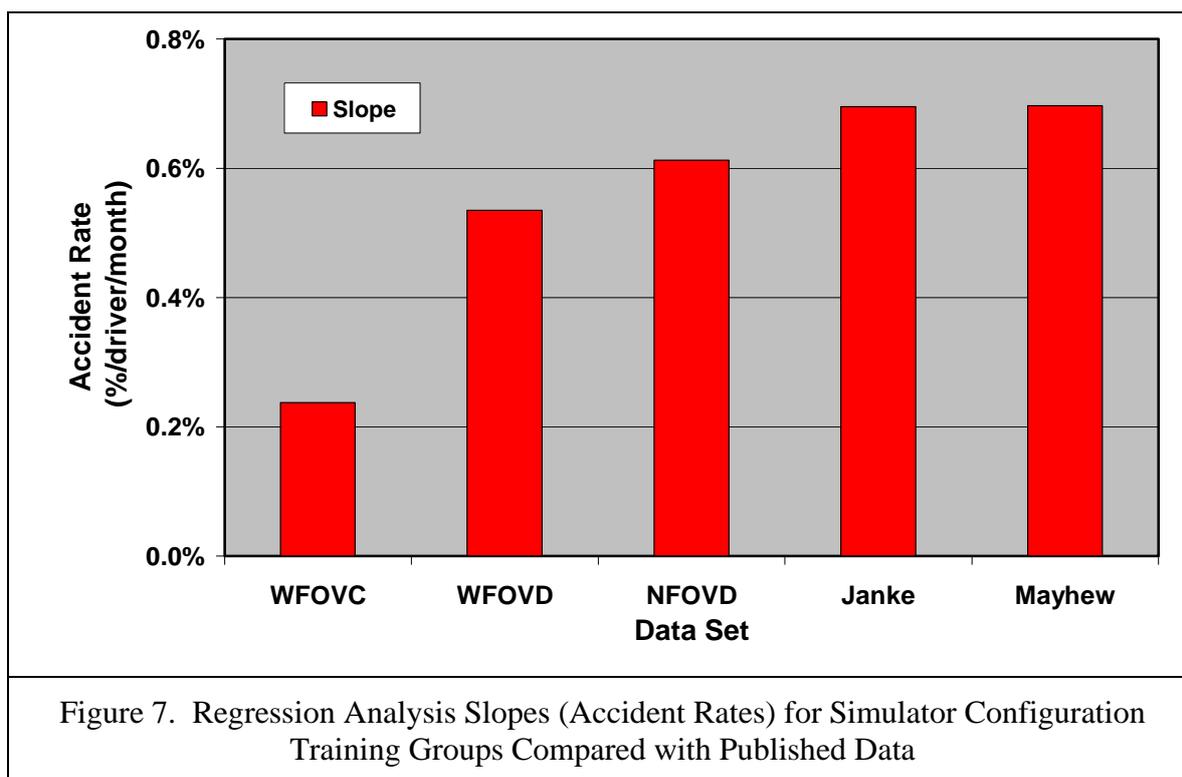
Figure 6. Cumulative Accident Rates for Each Simulator Training Group Compared with Published Accident Rates from Figure 2 – Figura 6. Taxas de acidentes acumuladas para cada grupo de treinamento em simulador, comparada com as divulgadas da Figura 2

Months from Licensure – Meses desde a habilitação

Tabela 1. Resumo da análise de regressão linear das taxas de acidentes para cada grupo de configuração de simulador, comparadas com as taxas de acidentes divulgadas

Conjunto de dados	R2	Coeficientes		Valor P	Menor 95%	Maior 95%
Mayhew (17)	0,993	Interseção	0,01637	0,0000	0,01280	0,01993
		Inclinação	0,00697	0,0000	0,00672	0,00722
Janke (1)	0,999	Interseção	0,01035	0,1868	-0,01219	0,03289
		Inclinação	0,00696	0,0005	0,00627	0,00764
WFOV/Cab	0,918	Interseção	0,01778	0,0000	0,01303	0,02254
		Inclinação	0,00237	0,0000	0,00211	0,00264
WFOV/Computador de mesa	0,986	Interseção	0,00795	0,0009	0,00351	0,01240
		Inclinação	0,00535	0,0000	0,00512	0,00558
NFOV/Computador de mesa	0,968	Interseção	0,035365	0,0000	0,02830	0,04243

		Inclinação	0,006125	0,0000	0,00563	0,00662
--	--	------------	----------	--------	---------	---------



Accident Rate (%/driver/month) – Taxa de acidentes (%/condutor/mês)

Data Set – Conjunto de dados

Figure 7. Regression Analysis Slopes (Accident Rates) for Simulator Configuration Training Groups Compared with Published Data – Figura 7. Inclinações da análise de regressão (taxas de acidentes) para grupos de treinamento em configurações de simulador comparados com dados divulgados

que teve cerca de 77% das taxas de acidentes dos condutores principiantes treinados na forma convencional que foram divulgadas. A taxa de acidentes do grupo de treinamento na cabine de veículo foi de aproximadamente 34% dos dados publicados, o que é uma redução bastante drástica, mesmo considerando a possibilidade da influência de variáveis não controladas.

Esses resultados têm implicações para as configurações de monitores do simulador de treinamento e, de modo mais amplo, para a fidelidade do simulador. No mínimo, parece que as visualizações projetadas em tamanho real são significativamente superiores em seu valor de treinamento para as apresentações de monitor reduzidas. O campo de visão amplo também parece ser importante, uma vez que os grupos treinados na visualização de monitor individual teve apenas uma pequena melhora na taxa de acidentes. Uma análise prévia dos dados do treinamento mostrou algumas desvantagens do treinamento, em que os condutores parecem

dirigir mais rápido do que nas visualizações de monitores de campo de visão amplo, o que poderia estar relacionado com os sinais periféricos (16).

O valor da cabine equipada e do ambiente são desconhecidos no momento e é uma variável que confunde de forma significativa. Parece, no mínimo, que os simuladores para o treinamento de condutores deveriam ter monitores com proporção de imagem ampla, ajustada e posicionada de forma a proporcionar dimensão de imagem real e incluindo espelhos retrovisores laterais também de imagem real (não ícones, como é apresentado pela configuração de computadores de mesa de monitor individual neste estudo). Há outras variáveis que confundem, com cada um dos grupos de treinamento em simulador que envolvem a sua seleção, supervisão e administração de treinamento, conforme listado na Figura 1. O treinamento em simulador com as configurações de maior fidelidade ocorreu em laboratórios de pesquisa e foi administrado pelo grupo de pesquisa, e os participantes foram selecionados nos escritórios locais do Departamento de Veículos Automotores da Califórnia. Os sistemas de monitores individuais foram implantados em escolas de ensino médio, como parte de suas aulas de instrução de condutores. Alunos e professores relataram entusiasmo pelo sistema de treinamento em simulador, que parecia se integrar bem ao seu currículo tradicional.

Considerações finais

Esta pesquisa indica que o treinamento em simulador de direção parece ter influência sobre as taxas de acidentes de condutores principiantes. O treinamento em simulador considerado aqui envolveu exposições repetidas a riscos críticos, concebidos a instruir sobre o conhecimento da situação, a percepção de riscos e a tomada de decisão sob pressão de tempo, o que permitiu que os condutores principiantes aprendessem com os seus erros. Os resultados mostram que a eficácia do treinamento variou com a fidelidade da simulação e que o treinamento mais eficaz parece depender das imagens em tamanho real, com visualização da direção com campo de visão amplo, com imagens reais nos espelhos retrovisores (não icônicas). Os efeitos do ambiente e controles do simulador e do ambiente do treinamento foram variáveis que causaram confusão nesta pesquisa e o seu efeito não é claro. O treinamento de simulação foi administrado em um sistema autoadministrado que foi considerado aceitável por professores e alunos. Demonstrou-se anteriormente que as taxas de doenças do simulador foram relativamente baixas.

Esses resultados não conduzem a uma descrição definitiva de uma configuração de simulador adequada, mas as imagens em tamanho real próximas são, definitivamente, indicadas. As imagens amplas, de grande proporção (9x16) podem fornecer uma resposta viável a esta condição e serem oferecidas pelos monitores de tela plana e projetados. O advento e a popularidade do HDTV estão reduzindo o custo de monitores grandes, de tela plana, o que resultará em monitores com preços acessíveis, em tamanho real, com visores de

grande abertura angular no futuro próximo. Além disso, os controles de portas de jogos de computador estão ficando mais sofisticados, e podem oferecer uma solução acessível, de controle satisfatório para aplicações de baixo custo.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pelo Centers for Disease Control and Prevention (Centros de controle e prevenção de doenças) dos Estados Unidos, sob o número de concessão 5 R44 CE00111-03, intitulado “A PC Based Low Cost Simulator for Driver’s Education” (“Um simulador baseado em PC, de baixo custo para a instrução de condutores”).

Referências

1. Janke, M.K., Masten, S.V., McKenzie, D.M., Gebers, M.A., Kelsey, S.L. *Teen and Senior Drivers*. CA Department of Motor Vehicles, Sacramento, CA, CAL-DMV-RSS-03-194, March 2003.
2. Arnett, J.J., “Developmental Sources of Crash Risk in Young Drivers,” *Injury Prevention*, 8 (Supplement II), pp.ii17-ii23, 2002.
3. Williams, A.F. and Ferguson, S.A., “Rationale for Graduated Licensing and Risks it Should Address,” *Injury Prevention*, 8 (Supplement II), pp.ii9-ii16, 2002.
4. Mayhew, D.R. and Simpson, H.M., *Youth and Road Crashes: Reducing the Risks from Inexperience, Immaturity and Alcohol*, Ottawa, Ontario: Traffic Injury Research Foundation, 1999.
5. Williams, A. F., “Teenage drivers: patterns of risk,” *Journal of Safety Research*, 34(1), 5-15.
6. Masten, S. V., & Chapman, E. A., *The Effectiveness of Home-Study Driver Education Compared to Classroom Instruction: The Impact on Student Knowledge, Skills, and Attitudes*, Final Report No. CAL-DMV-RSS-03-203, Sacramento, California Department of Motor Vehicles, 2003.
7. Lonero, L. P., “Beginning driver education: Driver education content,” Transportation Research E Circular: Driver Education at the Crossroads (No. E- C024), pp. 17-21, Transportation Research Board, Washington, DC, 2001.
8. Williams, A.F. and Ferguson, S.A. “Driver education renaissance?” *Injury Prevention*, **10**:4-7, 2004.
9. Hedlund, J., Compton, R., “Graduated driver licensing research in 2004 and 2005,” *Journal of Safety Research*, 36, pp. 109-119, 2005.
10. Simons-Morton, B.G., Hartos, J.L. “How well do parents manage young driver crash risks?” *Journal of Safety Research*, 34, pp. 91-97, 2003.
11. National Research Council, “Preventing Teen Motor Crashes – Workshop Report,” Program Committee for a Workshop on Contributions from the Behavioral and Social Sciences in Reducing and Preventing Teen Motor Crashes, Board on Children, Youth, and Families, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, Institute of

Medicine and the Transportation Research Board, The National Academies Press, Washington, DC, 2007.

12. Allen, R. W., Rosenthal, T. J., Park, G. D., Cook, M. L., Fiorentino, D. D., & Viirre, E. (2003). Experience with a Low Cost, PC Based System for Young Driver Training. In L. Dorn (Ed.), *Driver Behaviour and Training* (Vol. I). Hampshire, UK: Ashgate Publishing Limited.
13. Allen, R.W., Guibert, M.R., et al. (2006), "A User Configurable PC Platform for Driver Assessment and Training," Proceedings of the Driving Simulation Conference Asia/Pacific, Tsukuba, Japan, May/June 2006.
14. Park, G.D., Cook, M.L., et al., "Automated assessment and training of novice drivers," *Advances in Transportation Studies an international Journal, 2006 Special Issue*, pp. 87-96, University of Roma Tre (Italy).
15. Allen, R. W., Cook, M. L., & Park, G. D. (2005). Novice Driver Performance Improvement with Simulator Training. In L. Dorn (Ed.), *Driver Behaviour and Training* (Vol. II). Hampshire, UK: Ashgate Publishing Limited.
16. Park, George D., Allen, R.W., et al., "Training effectiveness: How does driving simulator fidelity influence driver performance?" Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 49th Annual Meeting, September 2005.
17. Mayhew, D.R., Simpson, H.M., Pak, A., (2003). Changes in Collision Rates among Novice Drivers During the First Months of Driving. *Accident Analysis and Prevention*, **35**, 683-691.
18. Ivancic, K. and Hesketh, B., (2000) "Learning from errors in a driving simulation: effects on driving skill and self-confidence," *Ergonomics*, vol. 43, no. 12, pp. 1966-1984.
19. Joung, W. and Hesketh, B., (2006) "Using 'War Stories' to Train for Adaptive Performance: Is it Better to Learn from Error or Success," *Applied Psychology: An International Review*, 55 (2), 282-302.
20. Park, G. D., Rosenthal, T. J., Allen, R. W., Cook, M. L., Fiorentino, D. D., & Viirre, E. (2004, September 20-24,). Simulator Sickness Results Obtained During a Novice Driver Training Study. Paper presented at the Human Factors Ergonomics Society 48th Annual Meeting, New Orleans. (STI-P-637)

21. Park, G., Rosenthal, T.J. and Aponso, B.L. (2004), "Developing Driving Scenarios for Research, Training and Clinical Applications," *Advances in Transportation Studies an International Journal*, 2004 Special Issue, December, pp 19-28, Aracne, Rome, Italy.