

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA

**PUPILOMETRIA E CONTROLE POSTURAL DURANTE MOVIMENTOS
SACÁDICOS DOS OLHOS A ALVOS IMAGINÁRIOS EM ADULTOS
JOVENS E IDOSOS**

GABRIEL PALMEIRA PASCHOALINO

BAURU

2019

GABRIEL PALMEIRA PASCHOALINO

**PUPILOMETRIA E CONTROLE POSTURAL DURANTE MOVIMENTOS
SACÁDICOS DOS OLHOS A ALVOS IMAGINÁRIOS EM ADULTOS
JOVENS E IDOSOS**

ORIENTADOR: SÉRGIO TOSI RODRIGUES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Educação Física da Faculdade de Ciências do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte do requisito para obtenção do grau de Bacharel em Educação Física.

BAURU

2019

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus amados pais e minha amada companheira.

AGRADECIMENTOS

Neste momento, gostaria de explicitar a imensa sensação de gratidão e reconhecimento pelas pessoas que se envolveram na realização desse trabalho de maneira direta ou indireta. Sou plenamente grato por cada indivíduo que compartilhou seus conhecimentos comigo e assim me permitiu a aprender. À minha família e ao meu amor, que me apoiaram em situações estressantes e compreendem as demandas do exercício acadêmico-científico. Ao meu professor orientador, por todo o direcionamento e por compartilhar momentos ricos de conhecimento dos mais variados campos da ciência. Aos meus colegas de laboratório, que enriqueceram minha experiência com o ensino de técnicas de laboratório e manuseio de equipamentos, detalhes procedimentais de coleta de dados e discussões teóricas ao longo dos anos nesse ambiente de pesquisa científica. À vocês, minha eterna expressão de gratidão. Cada segundo que compartilhamos valeu a pena.

RESUMO

Para controlar as oscilações corporais de maneira segura e eficiente, o sistema de controle postural utiliza informações oriundas de diferentes vias sensoriais para produzir ações motoras adequadas. É sabido que o sistema visual desempenha importante papel no controle postural. Contudo, existem evidências contrastantes sobre a relação entre movimentos dos olhos e o controle da postura. Além disso, há lacunas na literatura a respeito das demandas cognitivas para o controle da postura e as respectivas interações com movimentos dos olhos e informações retinal e extra-retinal, além dos efeitos relacionados ao envelhecimento. A técnica de pupilometria prediz o nível de esforço cognitivo requerido em função de diferentes demandas enfrentadas pelo indivíduo através da mensuração do diâmetro da pupila. Dessa forma, avança a compreensão dos mecanismos neurais na interação dos movimentos oculares e o controle postural. O objetivo geral do estudo foi analisar o diâmetro da pupila durante a execução de tarefas posturais visuo-motoras em adultos jovens e idosos. Dez idosos e quinze adultos tiveram suas oscilações corporais e diâmetro da pupila analisados enquanto permaneceram em pé na condição postural de pés unidos, antes e após uma sessão de treinamento de movimentos sacádicos à alvos imaginários. Os movimentos sacádicos reduziram a oscilação corporal AP, $p < 0,001$. Análises post-hoc revelaram que, durante as tarefas visuais com alvos imaginários, os idosos apresentaram maior oscilação corporal AP em comparação aos adultos jovens, $p = 0,049$. Interessantemente, os movimentos sacádicos reduziram a área de oscilação corporal no grupo Adulto, $p = 0,032$, enquanto aumentaram no grupo Idoso, $p = 0,036$. A ausência dos alvos causou maior dilatação média da pupila em comparação aos alvos reais, $p < 0.01$. Somente o grupo Adulto apresentou maior dilatação média após treinamento, $p < 0.01$. Por fim, o grupo Adulto apresentou maior dilatação média nas fixações e sacadas quando comparado ao grupo Idoso, $p < 0,05$. O grupo Adulto não dependeu da presença do alvo para reduzir diferentes parâmetros de oscilação corporal, enquanto o grupo Idoso não demonstrou tal redução sem o alvo. O treinamento alterou o esforço cognitivo somente no grupo Adulto e, aliado ao comportamento de redução da oscilação corporal, sugere aumento dos recursos cognitivos empenhados nas tarefas. O envelhecimento parece modular a capacidade de utilização de recursos cognitivos através da menor ativação de vias corticais relacionadas à sustentação da atenção, limitando tais recursos para tarefas posturais e supraposturais.

PALAVRAS CHAVE: Pupilometria, Movimento dos olhos, Controle Postural, Envelhecimento.

ABSTRACT

Maintaining safe and economic postural oscillations depends on the postural control system, which utilizes information derived from various perceptual systems in order to produce adequate forces and, therefore, adequate body movements. There is an agreement on the substantial role of vision on postural control. However, there are discrepant evidence on the relationship between eye movements and postural control. Furthermore, there are gaps in the literature about the cognitive demands of postural control and the respective interactions with eye movements and retinal or extra-retinal information, besides the ageing related changes. The measurement of pupil diameter predicts the required cognitive workload when one is facing different task-related demands. Therefore, provides the further understanding of neural mechanisms between eye movements and the control of posture. In this study, the main goal was to analyze the pupil diameter during postural, visuo-motor tasks in young and older adults. Ten elder and fifteen young adults stood upright in a narrow stance before and after training to execute saccadic eye movements to imaginary targets. Postural sway and pupil diameter were analyzed. Saccadic eye movements reduced AP body sway, $p < 0,001$. Post-hoc analysis revealed that, within imaginary visual tasks, AP body sway was greater for the elderly group, $p = 0,049$. Interestingly, saccadic eye movements attenuated body sway area within the young adults, $p = 0,032$, whilst body sway area increased in the elderly group, $p = 0,036$. Imaginary visual tasks evoked greater mean pupil dilatation compared to real visual tasks, $p < 0,01$. Finally, the young adults exhibited greater mean pupil dilatation during fixations and saccades compared to the elderly group, $p < 0,05$. The Adult group did not rely only on real targets to reduce different body sway variables. On the other hand, the Elder group showed greater body sway when moving the eyes, mainly on imaginary targets. Training modified the cognitive workload only on the Adult group and, combined with the reduction of body sway, suggests an increase on the cognitive resources demanded on tasks of these nature. Aging seems to interfere task engagement capacity through the reduction of cortical activity related to sustained attention, retrenching attentional resources to postural and suprapostural tasks.

KEYWORDS: Pupillometry, Eye movements, Postural control, Aging.

SUMÁRIO

	Página
Resumo	5
1. Introdução	8
2. Objetivos	11
3. Método	11
3.1 Participantes	11
3.2 Equipamentos	12
3.3 Procedimentos	12
3.4 Análise e Tratamento dos Dados	14
3.5 Variáveis Dependentes	15
3.6 Análise Estatística	15
4. Resultados	15
5. Discussão	23
6. Conclusão	25
7. Referências	25
Apêndice A	31

1. INTRODUÇÃO

A estabilidade e a flexibilidade da postura dependem de uma relação eficiente entre as informações disponíveis no ambiente (sensíveis através de diferentes sistemas sensoriais) e ações motoras reguladas pelo Sistema Nervoso Central (SNC) (BARELA et al, 2013). Dentre outras vias sensoriais, a visão possibilita a entrada de informações relevantes para a manutenção da postura. Naturalmente, o corpo oscila em relação ao ambiente. A disposição do Centro de Massa (CoM) sobre base bipodal se assemelha a um pêndulo invertido (WINTER et al., 1998), emergindo a constante necessidade de um sistema de controle de postura para possibilitar e facilitar inúmeras interações do indivíduo com o ambiente. A oscilação resultante dessas interações faz com que os olhos (que se localizam interiormente à cabeça, que faz parte do corpo como um todo) também oscilem, gerando padrões de fluxo de movimento de luz na retina, ou fluxos ópticos, percebidos através da visão. Os padrões de fluxo óptico fornecem informação de retroalimentação (feedback) para o SNC, permitindo que o sistema interprete essas mudanças no arranjo da cena visual como resultado do deslocamento corporal, possibilitando assim a execução de ajustes através de contrações musculares. (GUERRAZ & BRONSTEIN, 2008).

Os seres humanos e uma variedade de seres vivos utilizam de uma estratégia de exploração visual conhecida como a estratégia fixações-sacadas (LAND, 2019). Os cones, fotorreceptores com alta capacidade de detalhamento visual, localizam-se primordialmente em uma pequena região da retina, a fóvea. Movimentos sacádicos são movimentos rápidos do olhar que redirecionam a fóvea para um novo ponto da cena visual. Por outro lado, fixações representam momentos nos quais o olhar está relativamente estático enquanto obtém informação detalhada de um ponto específico na cena (LAND, 2006). Para minimizar o deslocamento da imagem na retina, o controle postural empenha-se em reduzir oscilações do corpo – e adicionalmente, a oscilação dos olhos - em relação ao ambiente, facilitando a absorção de informações disponíveis através dos sentidos visuais (HUNTER & HOFFMAN, 2001).

O SNC compartilha várias estruturas responsáveis pelos movimentos dos olhos e controle postural, contudo, os mecanismos desse relacionamento não são totalmente esclarecidos (GUERRAZ & BRONSTEIN, 2008). Além disso, existem evidências contrastantes sobre o efeito de movimentos sacádicos no controle postural. Em um estudo de White et al (1980), quando o deslizamento retinal foi causado pela movimentação do olhar, não houve associação com desestabilização postural. Por outro lado, quando um

movimento similar foi produzido através da movimentação da cena visual em frente aos olhos estacionários, a postura foi fortemente afetada, evidenciando que o controle da postura é dependente da origem do deslizamento retinal.

Quando a execução de movimentos sacádicos em situações de olhos abertos e olhos fechados foi comparada, observou-se redução na oscilação corporal quando os olhos estavam abertos, mas não na condição de olhos fechados, indicando a influência da informação visual no controle da postura (STOFFREGEN et al, 2006). Outros estudos apresentam resultados contrastantes com os mencionados anteriormente, nos quais foi possível observar deterioração da estabilidade postural quando há movimentação do olhar.

Glasauer, Schneider et al (2005) demonstraram que a perseguição visual, seja com ou sem perseguição simultânea da cabeça, aumentou a oscilação corporal nas situações de escuridão completa, alvo fixo e alvo móvel. Os autores argumentaram que embora haja influência do fluxo óptico sobre o controle postural, os sinais oriundos dos movimentos dos olhos (informações eferentes dos músculos oculares) também influenciam diretamente o controle da postura. Interpretações similares foram feitas em um estudo envolvendo pacientes com neurite vestibular que utilizaram uma máscara que permitia fixação de um alvo em relação a cabeça, com intuito de suprimir o nistagmo espontâneo. Os resultados indicaram redução da oscilação corporal associada à supressão do nistagmo quando os pacientes permaneceram sobre uma espuma, suportando a ideia de que a estabilização visual da postura não é apenas dependente das dicas visuais aferentes, mas também da informação óculo-motora (JAHN et al, 2002; STRUPP et al, 2003).

Outros estudos mostraram suporte à redução da oscilação corporal quando há execução de movimentos sacádicos. Rodrigues et al (2013) investigaram a influência de movimentos sacádicos dos olhos com diferentes frequências (0.5 e 1.1 Hz) sobre diferentes bases de apoio (ampla, restrita). Houve menor deslocamento total e menor oscilação na direção ântero-posterior na presença de movimentos sacádicos, sendo que esse efeito foi mais forte quando somados base ampla e alta frequência.

De maneira similar, Aguiar et al (2015) avaliaram a influência de movimentos sacádicos sobre o controle postural de população idosa. Houve redução da oscilação corporal durante a execução de movimentos sacádicos. Entretanto, os idosos apresentaram amplitude e frequência de oscilação similar sobre as condições de base ampla e restrita. Esses resultados sugerem que apesar do movimento dos olhos afetarem similarmente o controle postural, a estratégia adotada é menos flexível e não permite maiores oscilações em situações de base mais desafiadora para essa faixa etária.

Em suma, os resultados apresentados acima indicam uma relação entre o movimento dos olhos e o controle postural. Contudo, ainda não é totalmente claro como o controle postural seleciona e utiliza informações (aférentes ou eférentes) oriundas do sistema visual. Além disso, há pouca compreensão sobre as demandas cognitivas e as respectivas influências do fluxo óptico e informações óculo-motoras no sistema de controle postural.

O uso de paradigmas de tarefa-dupla tem sido utilizado para acessar o esforço atencional durante a manutenção da postura frente a fenômenos como o envelhecimento e doenças neurodegenerativas. (HUNTER & HOFFMAN, 2001; WOOLLACOTT & SHUMWAY-COOK, 2002; HOLMES et al, 2010). Esses estudos demonstram que, em adultos jovens, a demanda cognitiva para a manutenção da postura é relativamente baixa. Por outro lado, populações idosas e neurologicamente debilitadas necessitam empenhar mais recursos nesta mesma situação. Quando os requerimentos da tarefa frente ao indivíduo esgotam seus recursos cognitivos, os riscos de quedas aumentam junto com o aumento da instabilidade corporal (WOOLLACOTT & SHUMWAY-COOK, 2002).

Alterações no nível de esforço cognitivo têm sido acessadas através de respostas comportamentais automáticas como o monitoramento da resistência galvânica, frequência de ventilação e frequência cardíaca, além de variações no diâmetro da pupila (NOURBAKHS et al, 2012; HIDALGOMUNÓZ et al, 2019; SIROIS & BRISSON, 2014). As análises de variações no diâmetro da pupila, ou pupilometria, têm crescido consideravelmente nos últimos 50 anos, investigando relações da pupilometria na percepção, cognição, tomada de decisão e desenvolvimento cognitivo, por exemplo (HESS & POLT, 1964; SIROIS & BRISSON, 2014; ZEKVELD et al, 2010; TAKEUCHI et al, 2011).

Ao comparar situações em ambiente de luminosidade controlada, o diâmetro da pupila varia de acordo com o esforço cognitivo demandado para alcançar um propósito. Esse fenômeno ocorre devido à estrutura do sistema LC-NE (Sistema Locus Ceruleus-Nor-epinefrina) que possui projeções nor-adrenérgicas distribuídas por todo SNC, incluindo relações com o controle postural e a pupila (SIROIS & BRISSON, 2014; MCGREGOR & SIEGEL, 2010).

Apesar da ampla utilização desse tipo de análise, existem lacunas na literatura a respeito das relações entre controle postural, movimentos dos olhos e variações no diâmetro da pupila. Embora o controle postural utilize poucos recursos cognitivos em populações saudáveis, ainda assim, a pupilometria é uma análise sensível que possibilita o entendimento da variação das demandas cognitivas durante a manutenção da postura

(WOOLLACOTT & SHUMWAY-COOK, 2002; KAHYA et al, 2018). O estudo de Jainta et al (2011) mostrou que a pupilometria reflete o esforço cognitivo durante a preparação motora das sacadas através de um paradigma de lacuna ou sobreposição de alvos; contudo, nenhum estudo da área parece ter investigado os efeitos da presença ou ausência dos alvos sobre o nível de esforço cognitivo em diferentes comportamentos visuais. Dessa maneira, a análise de pupilometria permite avançar a compreensão dos mecanismos neurais na interação dos movimentos dos olhos com o controle da postura e esforço cognitivo, agindo como ferramenta de auxílio a programas de reabilitação física e desenvolvimento de ambientes de aprendizado amigáveis através do entendimento das respectivas demandas cognitivas para o controle postural e suas alterações de acordo com o comportamento visual, os processos relacionados ao envelhecimento e as informações visuais disponíveis ao indivíduo.

Assim, o presente estudo testou a hipótese de que um maior nível de esforço cognitivo ocorreria em movimentos sacádicos quando comparados às fixações. Adicionalmente, executar movimentos sacádicos espaço-temporalmente pré-definidos em memória (com alvos imaginários) elevaria ainda mais o esforço cognitivo requerido pelo indivíduo. Finalmente, foi esperado que o processo de envelhecimento seria acompanhado por uma redução na capacidade total de esforço cognitivo dos indivíduos, causando maior esforço relativo para populações idosas quando comparado aos seus pares jovens durante a manutenção do equilíbrio.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo foi analisar o esforço cognitivo e a oscilação corporal de adultos jovens e idosos durante a execução de movimentos sacádicos dos olhos dirigidos a alvos reais e imaginários.

3. MÉTODO

3.1 PARTICIPANTES

Participaram do experimento 15 adultos jovens (21,6 anos, DP=3,06) e 10 idosos (69.8 anos, DP = 5,39) anos, sem histórico de tonturas, instabilidades ou quedas, com acuidade

normal ou corrigida para normal através do uso de óculos ou lentes. A participação dos voluntários foi condicionada à autorização por escrito, através do termo de consentimento livre e esclarecido, aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Ciências da UNESP – Campus de Bauru.

3.2 EQUIPAMENTOS

Eye-tracker: Sistema ASL, modelo H6. O Eye-tracker é um aparato utilizado para mensurar diferentes parâmetros do olhar, dentre eles os movimentos realizados pelos olhos, captando as informações através de duas câmeras: a primeira capta dados de vídeo do olho do participante através da detecção da pupila por diferencial de frames e a emissão de um feixe de luz que reflete na córnea do indivíduo, permitindo que um ponto referencial informe sobre os deslocamentos da pupila. A segunda câmera fica posicionada com as lentes em direção à frente do participante, captando em vídeo quais as imagens esse participante está visualizando. Uma calibração de nove pontos é executada a fim de posicionar o cursor gerado pelo sistema no local onde o participante direciona a fóvea. Este sistema possui ferramentas para aquisição de dados de integração olho cabeça. A frequência de aquisição foi de 60 Hz.

Plataforma de força: Equipamento da marca AMTI com quatro sensores de deformação mecânica. A plataforma mensura os três componentes de força e os três componentes do momento de força. Esse aparato é capaz de mensurar o componente de reação do solo para estimar o centro de pressão (CP). A frequência de aquisição foi de 60 Hz.

Estímulo visual: as imagens utilizadas no presente projeto foram geradas pelo programa Flash MX (versão 6.0, Macromedia) e apresentadas em um monitor LCD (marca LG, modelo Flatron L1952H, 50/60 Hz). Foram utilizados os softwares Origin Lab (6.0) para cálculo e produção de gráficos, Matlab (R2018b) para cálculo de matrizes e SPSS (17.0.1) para análises estatísticas.

3.3 PROCEDIMENTOS

Os participantes tiveram seus valores de oscilação corporal avaliados em situação anterior e posterior a uma fase de treinamento para os movimentos sacádicos com alvos imaginários. As avaliações compuseram uma situação em que os participantes se posicionavam em base restrita (pés posicionados juntos), a um metro dos estímulos visuais, que eram representados por círculos vermelhos com dois centímetros de diâmetro em um fundo branco. Quatro condições visuais foram realizadas. Cada condição era composta por duas ou três tentativas de 40 e 75 segundos (idosos e adultos, respectivamente), descartando

os cinco primeiros segundos. As condições foram: (1) fixação alvo real – o alvo permaneceu no centro da tela por toda a tentativa e o participante era instruído a manter o olhar fixado no alvo até o fim da mesma; (2) fixação alvo imaginário – o participante era instruído a manter a fixação no centro da tela, semelhante à condição anterior, porém sem a presença do alvo; (3) movimento sacádico alvo real – o alvo se deslocava de uma lateral do monitor para outra em frequência de 0.5 Hz, entre 19,5 centímetros e o participante deveria acompanhar os deslocamentos do alvo durante toda a tentativa; (4) movimento sacádico alvo imaginário – situação semelhante à condição (3), porém sem a presença do alvo. A ordem das tentativas foi randomizada.

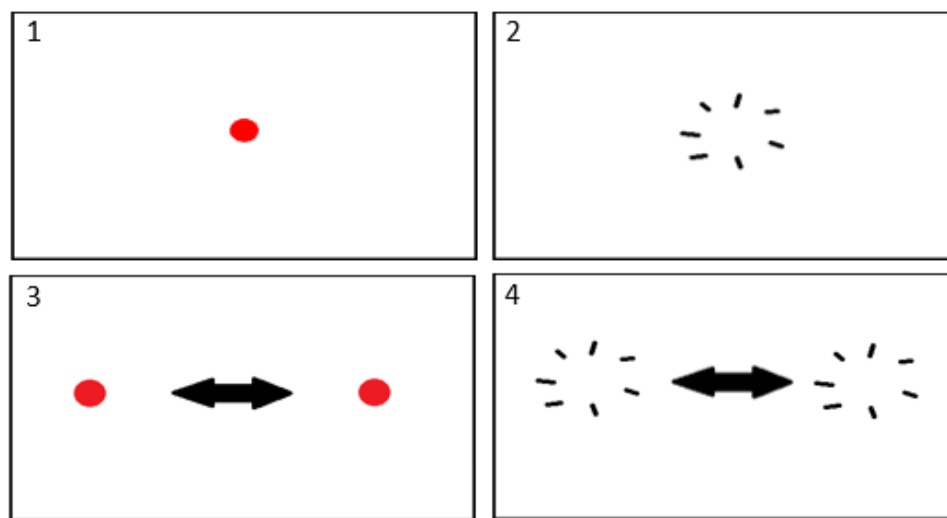


Figura 1. Exemplo das condições de fixação real, fixação imaginária, movimento sacádico real e movimento sacádico imaginário, respectivamente.

Posteriormente a fase pré-treinamento, os indivíduos se sentavam para realizar o treinamento com alvos imaginários: Cinco tentativas na condição visual (3) e dez tentativas da condição com alvo imaginário (4). Na situação de treinamento com alvo imaginário, o experimentador fornecia feedback sobre a frequência do movimento sacádico durante toda a tentativa, com o intuito de aproximar a velocidade e frequência do movimento sacádico o máximo possível para a situação de alvo real. Após esse período de treinamento, os participantes foram reavaliados nas quatro condições visuais.

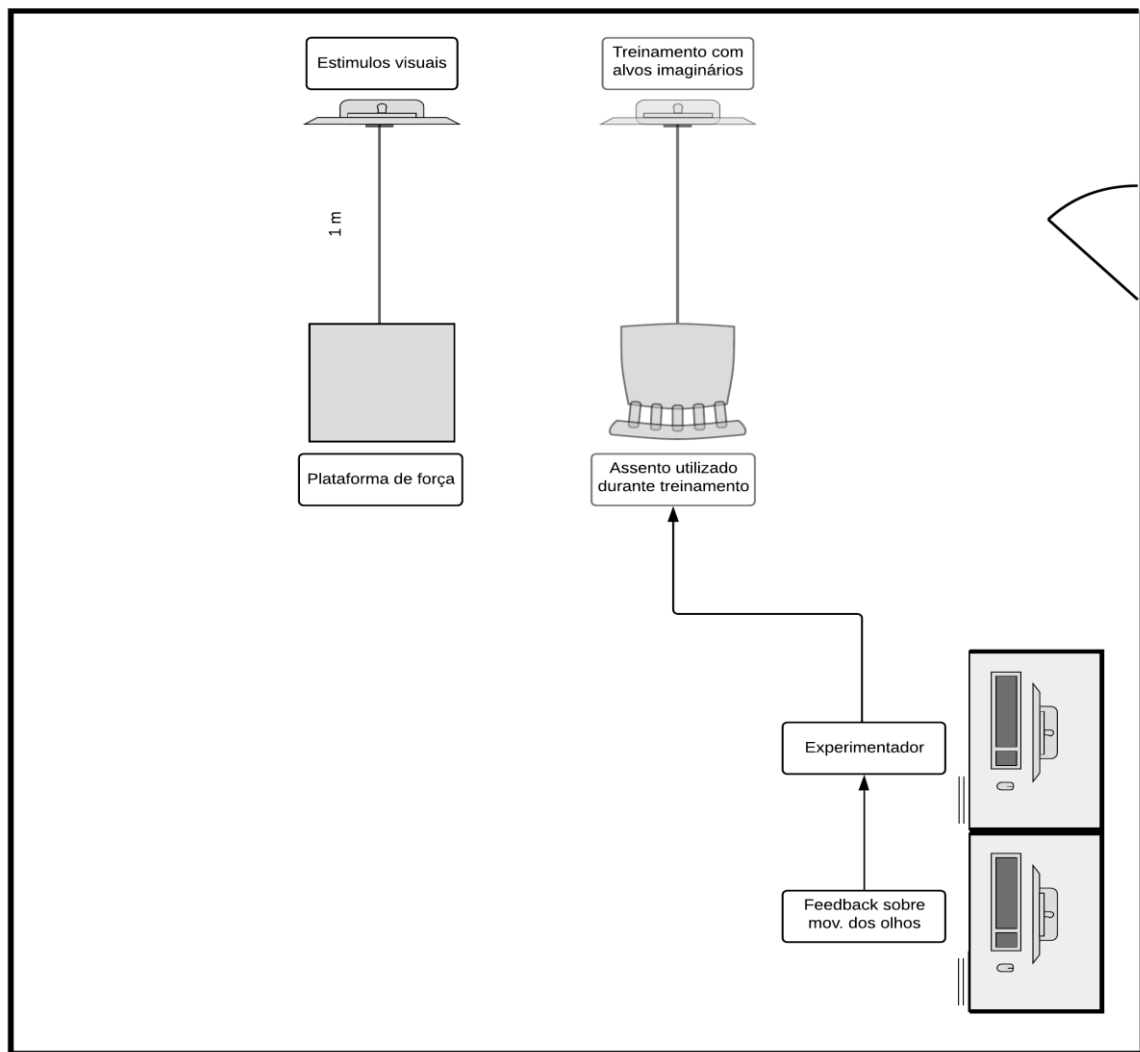


Figura 2. Esquema experimental onde as tarefas posturais e visuo-motoras ocorreram. Nas fases pré e pós treinamento, os participantes permaneciam em pé, sobre uma plataforma de força. Durante o treinamento, os participantes se mantiveram sentados em uma cadeira, com o monitor ajustado à altura do olhar.

3.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

A partir dos dados de centro de pressão (CP) obtidos pela plataforma de força foram calculadas as seguintes variáveis dependentes:

- Oscilação corporal nas direções anterior-posterior (AP) e médio-lateral (ML);
- Velocidade média da oscilação corporal nas direções anterior-posterior (AP) e médio-lateral (ML);
- Área de oscilação corporal.

A partir dos dados oriundos do eye tracker foram calculadas as seguintes variáveis dependentes:

- Diâmetro médio da pupila; essa variável foi obtida a partir das médias dos valores de diâmetro da pupila mensurados a cada frame de vídeo ao longo de cada tentativa.

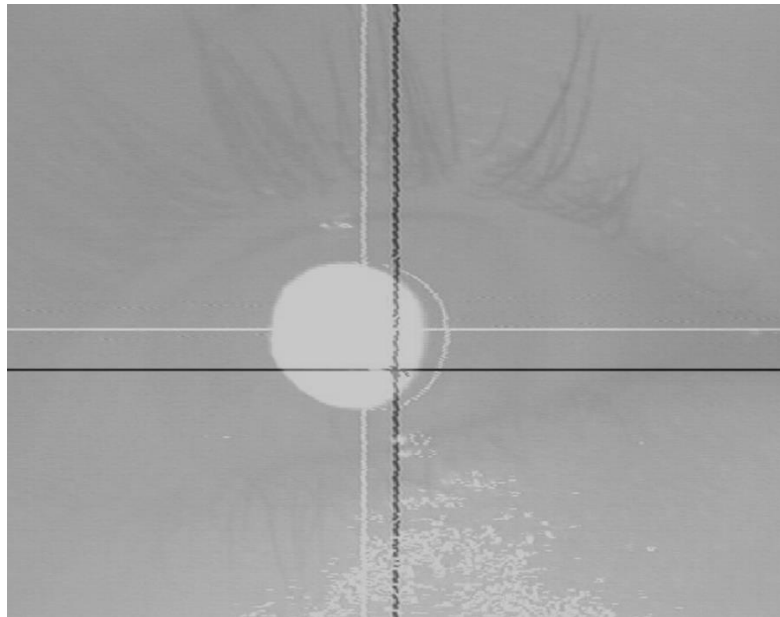


Figura 3. O diâmetro da pupila é obtido através do método "pupila brilhante", onde um feixe de luz infravermelha incide sobre a retina e reflete na câmera do eye tracker (olho), gerando alto contraste entre estruturas anatômicas como a íris e a pupila, permitindo que o sistema reconheça essas estruturas através de um processo de discriminação.

3.5 VARIÁVEIS DEPENDENTES E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as variáveis dependentes relacionadas ao controle postural e diâmetro da pupila foram submetidas à análise de variância tendo como fatores principais Treino (Pré, Pós), Tipo de Alvo (Real, Imaginário) e Olhar (Fixação, Sacádico), com medidas repetidas nos três fatores. Comparações aos pares foram feitas através do Teste LSD de Tukey; ajustes de probabilidades de Bonferroni foram utilizados quando necessário. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$ para todas as análises.

4. RESULTADOS

4.1 AMPLITUDE DE OSCILAÇÃO AP

As análises estatísticas mostraram que a amplitude de oscilação AP aumentou significativamente entre as fases pré ($M = 0,152$, $EP = 0,008$) e pós treinamento ($M = 0,171$, $EP = 0,009$), $F(1,23) = 6,410$, $p = 0,019$. A amplitude de oscilação AP foi maior na condição do Olhar fixação ($M = 0,174$, $EP = 0,009$) em comparação à condição de movimentos sacádicos

($M = 0,149$, $EP=0,007$), $F(1,23) = 24,585$, $p < 0,001$ (Figura 4). Adicionalmente, essa variável foi afetada pela interação Grupo por Alvo, $F(1,23) = 13,294$, $p < 0,001$ e pela interação Treino por Olhar por Alvo, $F(1,23) = 7,204$, $p = 0,013$. Análises post-hoc revelaram que, durante as tarefas visuais com alvos imaginários, os idosos apresentaram maior oscilação corporal AP ($M = 0,177$, $EP=0,013$) em comparação aos adultos jovens ($M = 0,141$, $EP=0,011$), $p = 0,049$ (Figura 5). A oscilação corporal AP aumentou após treinamento nas condições de fixação real ($M = 0,165$, $EP=0,012$ vs $M = 0,200$, $EP=0,015$), $p = 0,016$, e movimento sacádico imaginário ($M = 0,143$, $EP=0,009$ vs $M = 0,162$, $EP=0,013$), $p = 0,011$. Todos os resultados sobre amplitude, velocidade e área de oscilação, bem como os valores do diâmetro da pupila entre as comparações dos fatores Grupo, Treino, Olhar e Alvo estão descritos na Tabela 1.

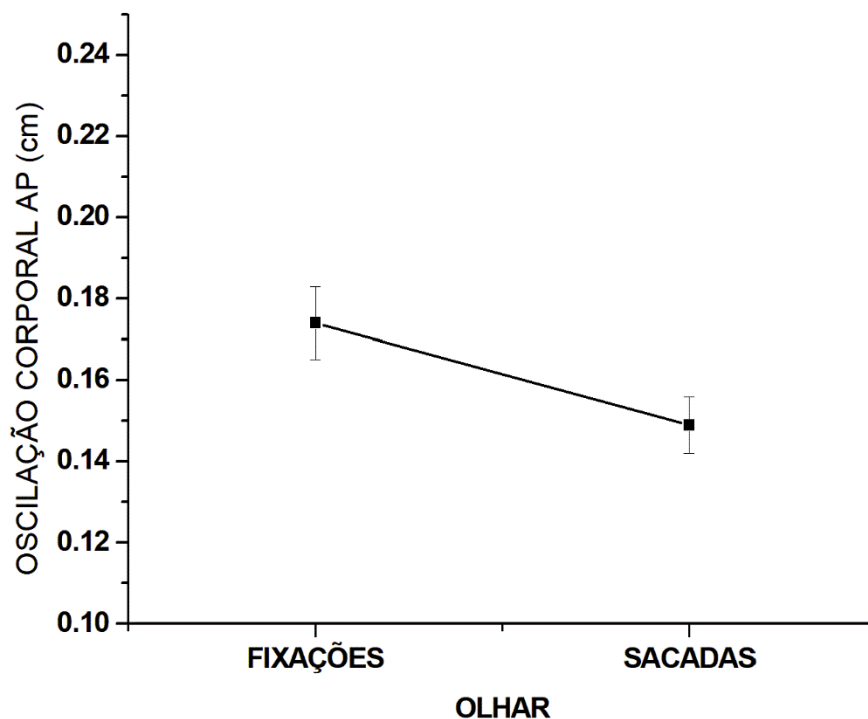


Figura 4. Amplitude de oscilação corporal ântero-posterior (eixo Y) e tipo de olhar (eixo X), $p < 0,001$.

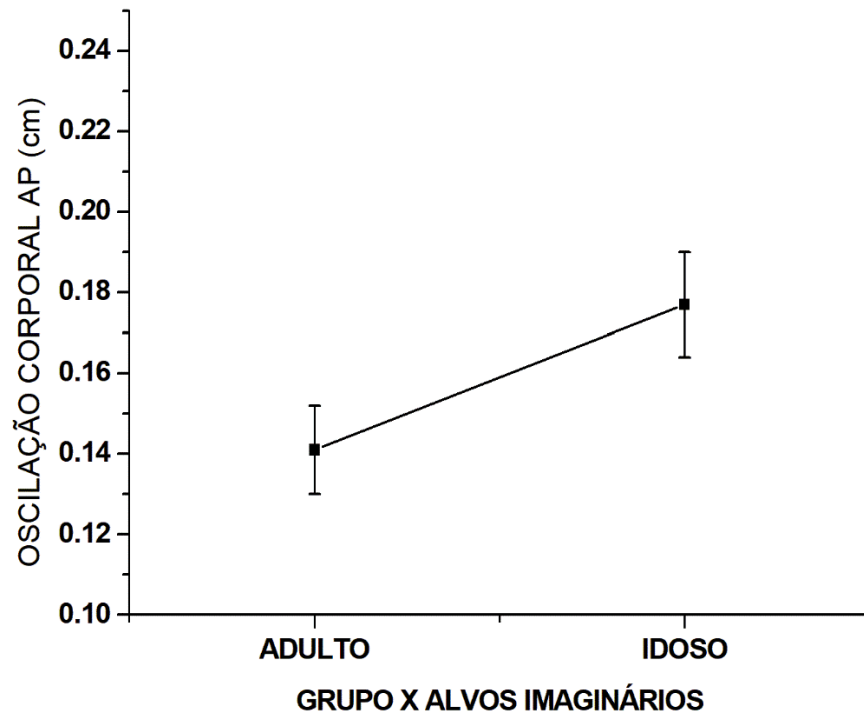


Figura 5. Amplitude de oscilação corporal ântero-posterior (eixo Y) e interações entre grupos durante condições de alvo imaginário (eixo X). $p = 0,049$.

4.2 VELOCIDADE DE OSCILAÇÃO AP

A variável velocidade média de oscilação AP foi significativamente maior para o grupo Adulto ($M=0,651$, $EP=0,023$) em comparação ao grupo Idoso ($M=0,277$, $EP=0,028$), $F(1,23) = 105,021$, $p < 0.001$ (Figura 6). Adicionalmente, essa variável foi afetada pela interação Treino por Olhar por Alvo por Grupo, $F(1,23) = 4,919$, $p = 0,037$. Análises post-hoc demonstraram que, após o treinamento, a velocidade média aumentou nas condições de fixação real ($M= 0,644$, $EP=0,023$ vs $M= 0,668$, $EP=0,021$), $p = 0,027$, fixação imaginária ($M= 0,643$, $EP=0,025$ vs $M= 0,663$, $EP=0,022$), $p = 0,018$, e movimento sacádico imaginário ($M= 0,635$, $EP=0,025$ vs $M= 0,654$, $EP=0,026$), $p = 0,002$, no grupo Adulto, sem diferenças de treino para movimento sacádico com alvo real ($p = 0,139$). A velocidade média de oscilação AP também aumentou após treinamento na condição de fixação real para o grupo Idoso ($M= 0,272$, $EP=0,029$ vs $M= 0,303$, $EP=0,026$), $p = 0,021$. Em contraste, essa variável diminuiu após treinamento na condição de fixação imaginária somente para o grupo Idoso ($M= 0,292$, $EP=0,031$ vs $M= 0,257$, $EP=0,027$), $p = 0,002$.

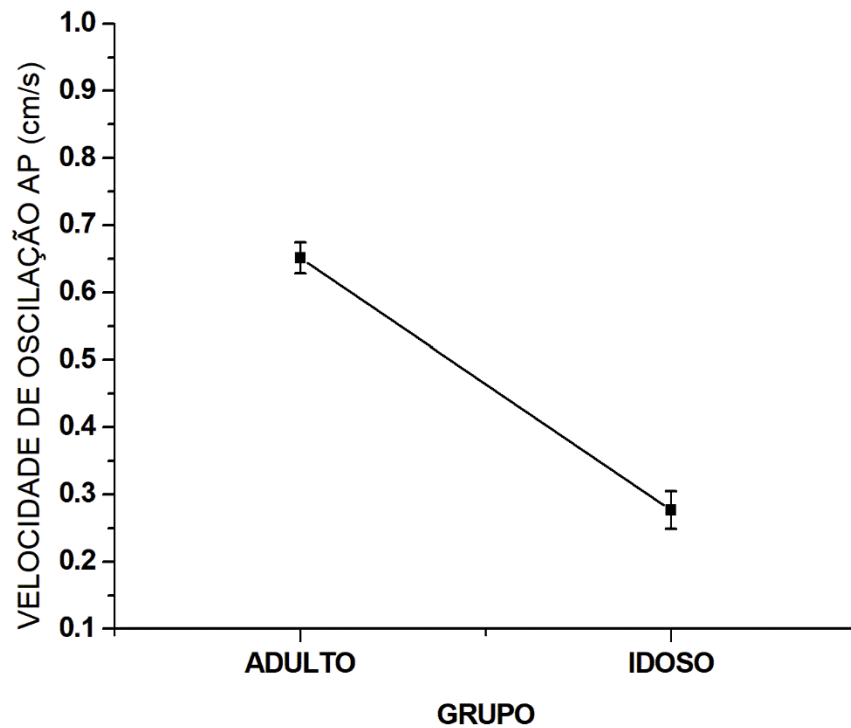


Figura 6. Velocidade média de oscilação ântero-posterior (eixo Y) e grupos Adulto e Idoso (eixo X). $p < 0.001$.

4.3 ÁREA DE OSCILAÇÃO CORPORAL

A Área de oscilação corporal foi afetada pela interação Olhar por Grupo, $F(1,23) = 10,057$, $p = 0,004$ (Figura 7). Os movimentos sacádicos reduziram a área de oscilação corporal no grupo Adulto ($M = 0,103$, $EP = 0,014$ vs $M = 0,072$, $EP = 0,018$), $p = 0,032$. Em contrapartida, os movimentos sacádicos aumentaram a área de oscilação corporal no grupo Idoso em comparação às fixações ($M = 0,120$, $EP = 0,017$ vs $M = 0,157$,

EP=0,023), $p = 0,036$.

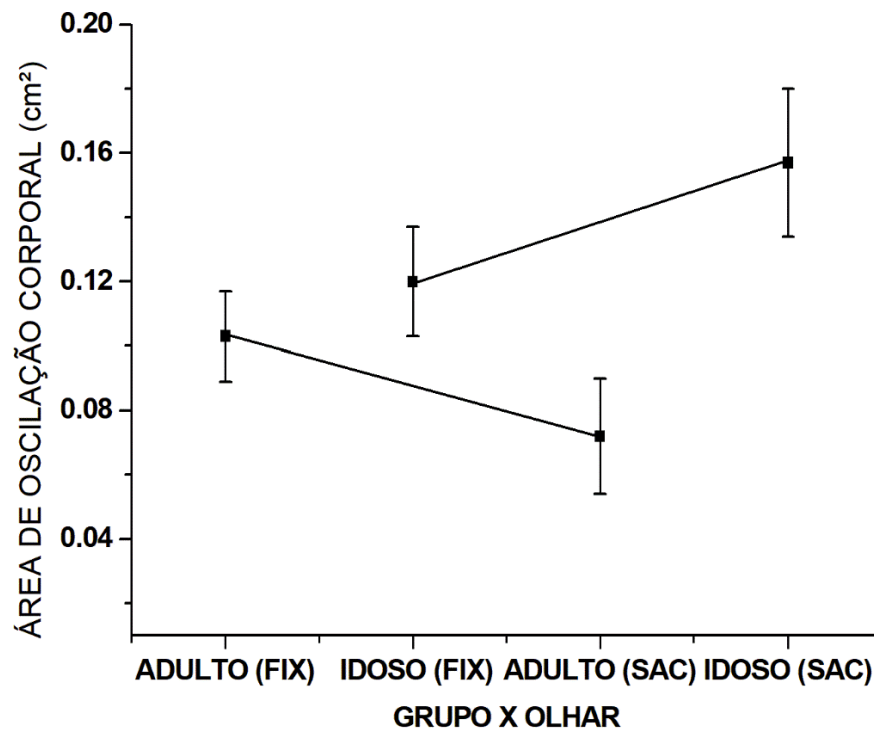


Figura 7. Área de oscilação corporal (eixo Y) e interações entre grupos Adulto, Idoso e tipo de olhar Fixações, Sacadas (eixo X). $p = 0,032$ (Adulto x Sacadas); $p = 0,036$ (Idoso x Sacadas).

4.4 DIÂMETRO DA PUPILA

O grupo Adulto apresentou maior diâmetro médio da pupila durante as fixações e movimentos sacádicos comparado ao grupo Idoso, $F(1,23) = 4,709$, $p = 0,041$. Os alvos imaginários provocaram aumento na dilatação média em comparação aos alvos reais ($M = 43,062$, $EP = 1,503$ vs $M = 43,889$, $EP = 1,526$), $F(1,23) = 10,473$, $p = 0,004$ (Figura 8).

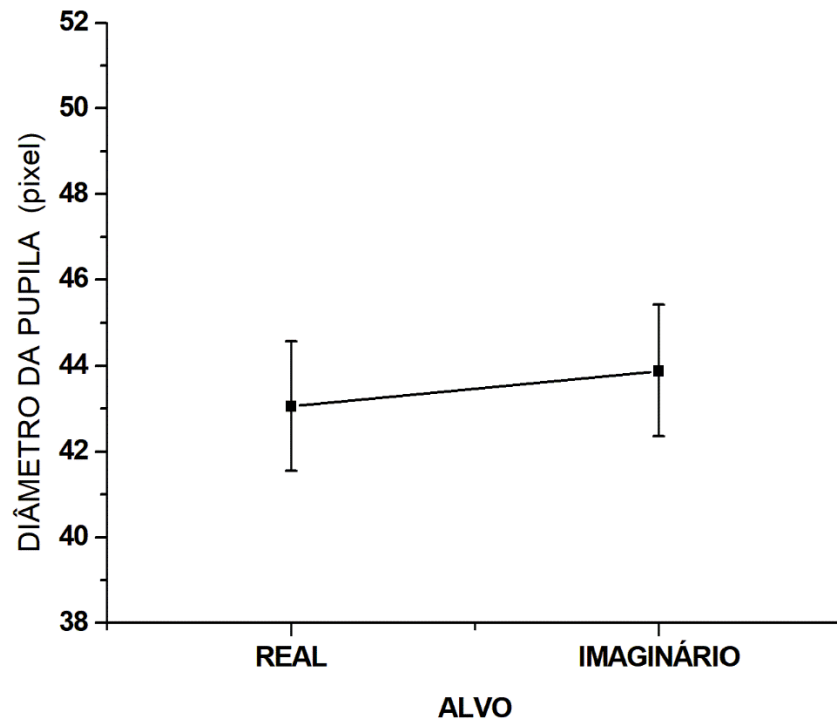


Figura 8. Diâmetro da pupila (eixo Y) e tipo de alvo (eixo X). $p = 0,004$.

Além disso, houve interação de Treino por Grupo, sendo que somente o grupo adulto apresentou maior dilatação média após treinamento ($M = 47,090$, $EP = 1,927$ vs $M = 49,354$, $EP = 1,927$ pixels), $p < 0,01$ (Figura 9). O diâmetro da pupila do grupo Idoso não foi significativamente afetado pelo treinamento.

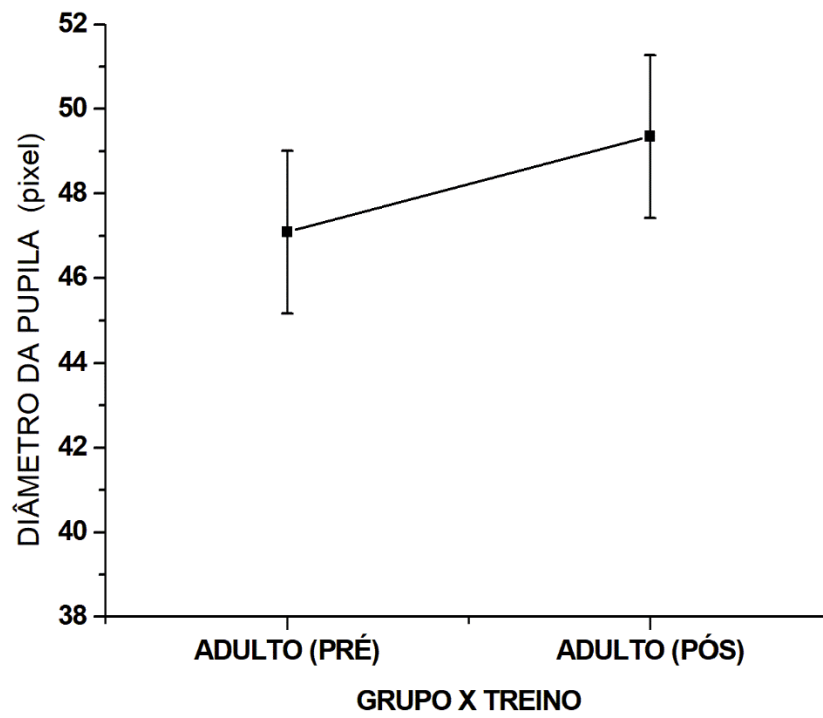


Figura 9. Diâmetro da pupila (eixo Y) e interação entre o grupo Adulto e fases pré e pós treinamento (eixo X). $p < 0,01$.

Tabela 1. Média, erro padrão, graus de liberdade e nível de significância dos efeitos principais de Grupo, Treino, Olhar e Alvo sobre as variáveis de controle postural e diâmetro pupilar. * $p \leq 0,05$.

	Amplitude AP (cm)			Área (cm ²)			Velocidade AP (cm/s)			Diâmetro da pupila (pixel)		
	M±EP	F(gl)	p	M±EP	F(gl)	p	M±EP	F(gl)	p	M±EP	F(gl)	p
Grupo (Adulto)	0,146±0,010	3,993 (1,23)	=	0,087±0,015	4,756 (1,23)	=	0,657±0,023	105,021 (1,23)	<	48,222±1,909	9,889 (1,23)	=
Grupo (Idoso)	0,176±0,012		0,058	0,139±0,018		0,004*	0,277±0,028		0,001*	38,730±2,338		0,005*
Treino (Pré)	0,152±0,008	6,410 (1,23)	=	0,104±0,013	1,746 (1,23)	=	0,460±0,018	3,703 (1,23)	=	42,959±1,524	6,243 (1,23)	=
Treino (Pós)	0,171±0,009		0,019*	0,122±0,014		0,19	0,468±0,018		0,067	43,993±1,523		0,020*
Olhar (Fixação)	0,174±0,009	24,585 (1,23)	<	0,112±0,011	0,081 (1,23)	=	0,468±0,018	3,323 (1,23)	=	43,348±1,489	0,782 (1,23)	=
Olhar (Sacada)	0,149±0,007		0,001*	0,115±0,015		0,778	0,461±0,019		0,081	43,604±1,543		0,386
Alvo (Real)	0,164±0,008	0,664 (1,23)	=	0,111±0,010	0,237 (1,23)	=	0,467±0,018	1,571 (1,23)	=	43,062±1,503	10,473 (1,23)	<
Alvo (Imaginário)	0,159±0,009		0,423	0,116±0,015		0,631	0,462±0,019		0,223	43,889±1,526		0,005*

5. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos do envelhecimento (adultos, idosos), da tarefa visual (fixação, sacádicos), do tipo de alvo (presente, imaginado) e do treinamento para situação de alvo imaginário (pré, pós) sobre o esforço cognitivo, mensurado através da análise de pupilometria. Em estudo anterior (PASCHOALINO et al, 2017; 2018), os referidos efeitos foram investigados com relação à oscilação corporal, dados que serão descritos para caracterizar o controle postural decorrente das manipulações utilizadas.

Espera-se que o esforço cognitivo reflita, através das medidas de diâmetro da pupila, todas as demandas concorrentes no controle da postura, da tarefa visual e da presença / ausência de estímulo necessário à tarefa para ambos os grupos estudados.

5.1 CONTROLE POSTURAL

Os resultados sobre movimentos sacádicos e oscilação corporal encontrados no presente estudo estão de acordo com a literatura da área (STOFFREGEN et al, 2006; RODRIGUES et al, 2013; AGUIAR et al, 2015). Foi possível observar efeito de redução de parâmetros de oscilação corporal quando movimentos sacádicos estavam sendo executados. As sacadas, independentemente da presença do alvo, mas somente no grupo Adulto, reduziram a amplitude de oscilação AP em comparação às fixações. A área de oscilação também foi reduzida durante a condição com movimentos sacádicos, mas esse efeito aconteceu somente no grupo Adulto. Diferentemente, a execução de movimentos sacádicos provocou aumento na área de oscilação no grupo Idoso; esses achados sugerem que a redução da área e amplitude de oscilação corporal AP não dependeu da presença do alvo ao executar movimentos sacádicos. Em outras palavras, o controle postural utiliza informações provenientes não somente de vias aferentes, mas também de vias eferentes oriundas dos músculos oculares (JAHN et al, 2002; STRUPP et al, 2003). Os processos relacionados ao envelhecimento alteraram a interação entre movimentos dos olhos e o controle postural, uma vez que os idosos não apresentaram redução da amplitude de oscilação AP ao realizarem movimentos sacádicos, enquanto houve aumento da área de oscilação corporal nessas condições. Durante a execução de movimentos sacádicos, o grupo Idoso não apresentou nenhum efeito de redução da oscilação corporal, com valores semelhantes à tarefa de fixação. A literatura aponta que o envelhecimento causa declínios na percepção visual de movimentos (WARREN et al, 1989), o que pode ter dificultado a interpretação do fluxo óptico entre os Idosos tão efetivamente quanto os adultos jovens, aumentando as oscilações corporais

principalmente quando o alvo não estava presente. Diferentemente, os Adultos apresentaram valores de oscilação AP semelhantes entre sacadas para alvos reais ou imaginários. Em outras palavras, os adultos não dependeram da presença da imagem retinal do alvo para reduzir a oscilação corporal, efeito que parece sofrer alterações em função dos processos de envelhecimento.

5.2 PUPILOMETRIA

Os diferentes processos relacionados ao envelhecimento diminuem os limites de segurança e tendem a causar comportamentos mais restritos durante a manutenção da postura (AGUIAR et al, 2015). Desse modo, esperou-se que as mesmas tarefas visuo-motoras demandariam quantidades relativas diferentes de recursos cognitivos entre os grupos Adulto e Idoso, o que seria confirmado por maiores dilatações na pupila do grupo Idoso. Todavia, o grupo Idoso apresentou menor dilatação da pupila tanto nas fixações quanto nas sacadas comparados ao grupo adulto. A hipótese elaborada sobre maior esforço cognitivo relativo para o grupo Idoso não foi corroborada. É importante salientar que a performance do controle postural nesse grupo tendeu a piorar com os movimentos sacádicos e após treinamento.

A menor dilatação da pupila para o grupo Idoso em ambos comportamentos visuais, fases de treino e tipos de alvo possui explicações plausíveis envolvendo os processos de envelhecimento. Tsukahara, Harrison e Engle (2016) demonstraram, através de uma série minuciosa de experimentos, como o diâmetro pupilar de base reflete o envelhecimento e habilidades cognitivas (dentre outros fatores), sobretudo o nível de inteligência fluida e, em menor grau, a capacidade total de memória de trabalho. As diferenças encontradas entre os grupos no presente estudo estão em linha com estudos sobre o envelhecimento e diâmetro pupilar, uma vez que esses processos diminuem o nível de tônus autônomo de base e a capacidade total de inteligência fluída (PARASHAR et al, 2016; HORN & CATTEL, 1967). Por outro lado, a execução das tarefas visuo-motoras pode ter sido relativamente difícil e exaustiva para o grupo idoso, causando menor dilatação da pupila pelo fato de não terem se empenhado integralmente na tarefa (WINN et al, 2018; SIROIS & BRISSON, 2014).

Os alvos imaginários demandaram maior esforço cognitivo comparados aos alvos reais devido à constante utilização de informações espaço-temporais baseados em um tipo de memória instantânea, na qual a informação espacial relativa à posição do olhar é processada em níveis automatizados e implícitos, mas que podem ser detectados através de variações no diâmetro da pupila (LAENG et al, 2007).

O treinamento aumentou o diâmetro da pupila somente no grupo Adulto. Princípios de aprendizagem motora estabelecem que a prática e a experiência em contexto favorecem a performance, refletindo maior eficiência dos recursos cognitivos do agente (MAGILL, 2013; SCHMIDT, 2008). É aceitável que o diâmetro da pupila tenha refletido o engajamento do agente com o contexto, uma vez que as fases pré, durante e pós treinamento foram executadas com pausas de poucos minutos. O aumento do engajamento nas tarefas visuo-motoras após treinamento foi evidente entre os Adultos. Assim, nessa fase, esses indivíduos demandaram maiores esforços cognitivos por estarem constantemente recuperando e assimilando informações relacionadas ao contexto imposto.

6. CONCLUSÃO

Em suma, os resultados do presente estudo mostraram que a pupilometria foi capaz de evidenciar diferenças da presença ou ausência de alvos no campo visual durante a manutenção da postura e, adicionalmente, modulações no esforço cognitivo acometidas pelos processos naturais do envelhecimento.

As variáveis relacionadas ao controle postural confirmaram os efeitos de movimentos sacádicos dos olhos sobre a oscilação corporal. Adicionalmente, foi possível evidenciar diferenças posturais entre os grupos, como a menor velocidade de oscilação entre idosos. Ainda, houve redução da amplitude de oscilação antero-posterior independentemente da presença do alvo, somente no grupo Adulto.

Futuras investigações contendo análise de dados do comportamento do olhar, caracterizando número, duração de fixações, latência e velocidade dos movimentos sacádicos, podem enriquecer o debate e a compreensão dos efeitos do envelhecimento, movimentos dos olhos, treinamento e a presença de alvos disponíveis naturalmente no campo visual ou imaginados sobre o esforço cognitivo requerido na manutenção da postura.

7. REFERÊNCIAS

Aguiar, S. A., Polastri, P. F., Godoi, D., Moraes, R., Barela, J. A., Rodrigues, S. T.. (2015). Effects of saccadic eye movements on postural control in older adults. *Psychology & Neuroscience*, 8, 19-27.

- Barela, J. , Genoves, G. , Alleoni, B. and Barela, A. (2013) Visual reweighting in postural control is less adaptative in older adults. *Health*, 5, 74-79. doi: 10.4236/health.2013.512A010.
- Glasauer, S., Schneider, E., Jahn, K., Strupp, M. & Brandt, T. (2005). How the eyes move the body. *Neurology*, 65, 1291-1293.
- Guerraz, M., & Bronstein, A M. (2008). Ocular versus extraocular control of posture and equilibrium. *Clinical Neurophysiology*, 38, 391-398.
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1964). Pupil Size in Relation to Mental Activity during Simple Problem-Solving. *Science*, 143(3611), 1190–1192. doi:10.1126/science.143.3611.1190.
- Hidalgo-Muñoz, A. R., Béquet, A. J., Astier-Juvenon, M., Pépin, G., Fort, A., Jallais, C., ... Gabaude, C. (2019). Respiration and Heart Rate Modulation Due to Competing Cognitive Tasks While Driving. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12. doi:10.3389/fnhum.2018.00525.
- Holmes, J. D., Jenkins, M. E., Johnson, A. M., Adams, S. G., & Spaulding, S. J. (2010). Dual-Task Interference: The Effects of Verbal Cognitive Tasks on Upright Postural Stability in Parkinson's Disease. *Parkinson's Disease*, 2010, 1–5. doi:10.4061/2010/696492.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta Psychologica*, 26(2), 107-129. doi: 10.1016/0001-6918(67)90011-X.
- Hunter, M. C. & Hoffman, M. A. (2001). Postural control: Visual and cognitive manipulations. *Gait & Posture*, 13, 41-48.
- Jahn, K., Strupp, M., Krafczyc, S., Schüler, O., Glasauer, S. & Brandt, T. (2002). Suppression of eye movements improves balance. *Brain*, 125, 2005-2011.
- Jainta, S. (2011). The pupil reflects motor preparation for saccades – even before the eye starts to move. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5. doi:10.3389/fnhum.2011.00097.
- Kahya, M., Wood, T. A., Sosnoff, J. J., & Devos, H. (2018). Increased Postural Demand Is Associated With Greater Cognitive Workload in Healthy Young Adults: A Pupillometry Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12. doi:10.3389/fnhum.2018.00288.
- Laeng, B., Waterloo, K., Johnsen, S. H., Bakke, S. J., Låg, T., Simonsen, S. S., & Høgsæt, J. (2007). The Eyes Remember It: Oculography and Pupillometry during Recollection in Three

Amnesic Patients. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1888–1904. doi:10.1162/jocn.2007.19.11.1888.

Land, M. (2006). Eye movements and the control of actions in everyday life. *Progress in Retinal and Eye Research*, 25, 296–324. Land, M. (2019). Eye movements in man and other animals. *Vision Research*, 162, 1–7. doi:10.1016/j.visres.2019.06.004.

Magill, R. A., & Anderson, M. *Motor Learning and Control: Concepts and Applications: Tenth Edition*. McGraw-Hill Higher Education, 2013.

McGregor, R., & Siegel, J. M. (2010). Illuminating the locus coeruleus: control of posture and arousal. *Nature Neuroscience*, 13(12), 1448–1449. doi:10.1038/nn1210-1448.

Nourbakhsh, N., Wang, Y., Chen, F., & Calvo, R. A. (2012). Using galvanic skin response for cognitive load measurement in arithmetic and reading tasks. *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference on - OzCHI '12*. doi:10.1145/2414536.2414602.

Parashar, R. (2016). Age Related Changes in Autonomic Functions. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* doi:10.7860/jcdr/2016/16889.7497.

Paschoalino, G. P., Zago, P. F., Barela, J. A., Moraes, R., Rodrigues, S. T. *Controle da postura e movimentos sacádicos dos olhos à alvos imaginários*. Bauru: UNESP, 2017. Relatório final técnico-científico encaminhado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Paschoalino, G. P., Zago, P. F., Barela, J. A., Moraes, R., Rodrigues, S. T. *Controle da postura e movimentos sacádicos dos olhos à alvos imaginários em idosos*. Bauru: UNESP, 2018. Relatório final técnico-científico encaminhado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Rodrigues, S. T., Aguiar, S. A., Polastri, P. F., Godoi, D., Moraes, R., Barela, J. A. (2013). Effects of saccadic eye movements on postural control stabilization. *Motriz: Revista de Educação Física*, 19, 614 – 619.

Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. *Motor Learning and Performance: a situation-based learning approach*. Fourth Edition. Human Kinetics, 2008.

- Sirois, S., & Brisson, J. (2014). Pupillometry. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(6), 679–692. doi:10.1002/wcs.1323.
- Stoffregen, T. A., Bardy, B. G., Bonnet, C. T., Pagulayan, R. J. (2006). Postural stabilization of visually guided eye movements. *Ecological Psychology*, 18, 191-222.
- Strupp, M., Glasauer, S., Jahn, K., Schneider, E., Krafczyk, S., Brandt, T. (2003). Eye movements and balance. *Annual New York Academy of Science*, 1004, 352-358.
- Takeuchi, T., Puntous, T., Tuladhar, A., Yoshimoto, S., & Shirama, A. (2011). Estimation of Mental Effort in Learning Visual Search by Measuring Pupil Response. *PLoS ONE*, 6(7), e21973. doi:10.1371/journal.pone.0021973.
- Tsukahara, J. S., Harrison, T. L., & Engle, R. W. (2016). The relationship between baseline pupil size and intelligence. *Cognitive Psychology*, 91, 109–123. doi:10.1016/j.cogpsych.2016.10.001.
- Wade, M. G., Lindquist, R., Taylor, J. R., & Treat-Jacobson, D. (1995). Optical Flow, Spatial Orientation, and the Control of Posture in the Elderly. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 50B(1), P51–P54.
- Warren, W. H., Blackwell, A. W., & Morris, M. W. (1989). Age Differences in Perceiving the Direction of Self-Motion From Optical Flow. *Journal of Gerontology*, 44(5), P147–P153.
- Winn, M. B., Wendt, D., Koelewijn, T., & Kuchinsky, S. E. (2018). Best Practices and Advice for Using Pupillometry to Measure Listening Effort: An Introduction for Those Who Want to Get Started. *Trends in Hearing*, 22, 233121651880086. doi:10.1177/2331216518800869.
- Winter, D. A., Patla, A. E., Prince, F., Ishac, M., & Gielo-Perczak, K. (1998). Stiffness Control of Balance in Quiet Standing. *Journal of Neurophysiology*, 80(3), 1211–1221. doi:10.1152/jn.1998.80.3.1211.
- White, K. D., Post, R. B., Leibowitz, H. W. (1980). Saccadic eye movements and body sway. *Science*, 208, 621-623.
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16(1), 1–14. doi:10.1016/s0966-6362(01)00156-4.

Zekveld, A. A., Kramer, S. E., & Festen, J. M. (2010). Pupil Response as an Indication of Effortful Listening: The Influence of Sentence Intelligibility. *Ear and Hearing*, 31(4), 480–490. doi:10.1097/aud.0b013e3181d4f251.

Gabriel Palmeira Paschoalino

Orientando

Sérgio Tosi Rodrigues

Orientador

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto de Pesquisa: **Controle da postura e movimentos sacádicos dos olhos a alvos imaginários**

Aluno Responsável: Gabriel Palmeira Paschoalino

Orientador: Sérgio Tosi Rodrigues

Este formulário de consentimento, uma cópia do qual lhe foi dada, é apenas parte do processo de consentimento informado. Ele deve proporcionar-lhe uma ideia básica do assunto da pesquisa e o que sua participação envolve. Se desejar mais detalhes sobre alguma coisa mencionada, ou informação não contida aqui, sinta-se à vontade para pedir-nos. Por favor, leia este formulário cuidadosamente.

A presente pesquisa estuda os efeitos de movimentos dos olhos sobre o controle postural. No dia de sua participação, você realizará uma tarefa experimental que requer que você fixe o olhar em um alvo ou movimente os olhos entre dois alvos (reais ou imaginários), permanecendo sobre uma plataforma de força. Estamos estudando a relação entre o controle da postura em pé, parada, e o movimento do olhar. Deste modo, este estudo vai requerer que você execute a tarefa 30 vezes, mantendo-se em pé durante 70s a cada tentativa, de acordo com as instruções que lhe serão dadas pelo pesquisador que aplicará o teste. O teste será realizado em um único dia e a duração total será de aproximadamente 45 minutos. Suas tentativas serão gravadas; estes dados serão posteriormente analisados. As informações coletadas, juntamente com as de outros 14 participantes do estudo, serão usadas para aprimorarmos nosso conhecimento sobre o tema.

Sua participação será voluntária, sem o recebimento de qualquer quantia em dinheiro. Você tem a liberdade de desistir de participar desta investigação a qualquer momento durante a coleta de dados. Como forma de agradecimento pela sua participação, ficaríamos satisfeitos em enviar-lhe um sumário dos resultados deste estudo, assim que ele estiver concluído (provavelmente, em seis meses). Este sumário apresentará sua média pessoal e a média do grupo de participantes, assim como as principais conclusões do estudo. Caso deseje receber este sumário, informe-nos o endereço no qual gostaria de recebê-lo:

Toda informação coletada será armazenada de modo que seu nome não seja associado com ela, através da identificação dos participantes por meio de um número arbitrário. As imagens e os outros dados poderão ser publicados e/ou apresentados desde que não permitam sua identificação. Quando os resultados forem escritos, em forma de relatórios, artigos, entre outros, não será incluída qualquer informação que possa ser ligada diretamente a você. Os materiais desta pesquisa serão armazenados com segurança completa durante toda a investigação. Você tem qualquer dúvida sobre este aspecto do estudo?

A sua assinatura neste formulário indica que você entendeu satisfatoriamente as informações relativas à participação neste projeto de pesquisa, e concorda em participar. Este documento em nenhum modo restringe seus direitos legais, nem altera as responsabilidades legais e profissionais dos pesquisadores, patrocinadores ou instituições envolvidas. Você é livre para não responder a qualquer um dos itens ou

questões específicas em entrevistas ou questionários. Você é livre para desistir do estudo a qualquer momento sem nenhuma penalidade. A continuidade de sua participação deve ser tão informada quanto o seu consentimento inicial, de modo que você se sinta livre para pedir explicações ou informações novas durante toda sua participação. Caso possua questões adicionais sobre assuntos relacionados a esta pesquisa, por favor, entre em contato com:

Gabriel Palmeira Paschoalino, Estudante do Departamento de Educação Física UNESP-Campus de Bauru, Laboratório de Informação, Visão e Ação - (14)3103-6082 – Ramal 7611, *gpaschoalino@hotmail.com*

Dr. Sérgio Tosi Rodrigues, Professor do Departamento de Educação Física UNESP-Campus de Bauru, Laboratório de Informação, Visão e Ação - (14)3103-6082 – Ramal 7617, *srodrigu@fc.unesp.br*