

INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO POSTURAL NO CICLO PERCEPÇÃO-AÇÃO DURANTE ESTIMULAÇÃO VISUAL DINÂMICA

J. F. G. Costa*, P. J. G. Da_Silva** e A. F. C. Infantsi**

*Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

**Programa de Engenharia Biomédica / Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

e-mails: jf.costa@campus.fct.unl.pt; guima@peb.ufrj.br; afdci@peb.ufrj.br

Resumo: O potencial visual evocado relacionado ao movimento (M-VEP) foi utilizado para investigar a influência da posição postural (ortostática, *O* e sentada, *S*) no ciclo percepção – ação. Para tal, sinais EEG multicanal de 24 indivíduos saudáveis foram adquiridos durante estimulação visual dinâmica (ED) de afastamento (AF) e aproximação (AP) de um cenário virtual. O M-VEP foi estimado para as derivações occipitais, parietais, frontais e centrais, sincronizado com o início do movimento do cenário. Embora o M-VEP independa do sentido da estimulação (Wilcoxon, $p > 0,20$), o *running t-test* indicou haver diferença ($p < 0,10$) entre os padrões para as posições *O* e *S* entre 490 a 720 ms após o início da ED, em todas as derivações, exceto na occipital. Além disso, em especial para as derivações frontais e centrais durante AP e centrais durante AF, há um atraso significativo ($p < 0,06$) da componente P3 do M-VEP da posição *S* em relação àquele de *O*. Tais achados refletem a antecipação do processamento hierárquico relacionado à cognição, planejamento e ação motora, associadas às maiores exigências corticais da posição ortostática para manter o equilíbrio.

Palavras-chave: Controle Postural, EEG, Estimulação Visual Dinâmica, Média Coerente, M-VEP.

Abstract: *The motion-related visual evoked potential (M-VEP) was used to investigate the influence of postural position (orthostatic, O and sitting, S) on perception-action cycle. Therefore, the multi-channel EEG signals of 24 healthy subjects were acquired during dynamic visual stimulation (DS) with backward (B) and forward (F) motions of a virtual scenario. The M-VEP, synchronized with the onset of the motion, was estimated for occipital, parietal, frontal and central derivations. Although the M-VEP does not rely on direction of stimulation (Wilcoxon, $p > 0.20$), the running t-test pointed out a difference ($p < 0.10$), between the waveforms for the O and S positions, 490 to 720 ms after the onset of DS, in all leads except the occipital one. Moreover, especially for the frontal and central derivations during B motion and for the central one during F motion, there is a significant delay ($p < 0.06$) on M-VEP's P3 component, for the S position in relation to that of O. These findings reflect the earliness of the hierarchical processing related to*

cognition, planning and motor action, connected with larger brain supplies of the orthostatic position to sustain balance.

Key-words: EEG, M-VEP, Postural Control, Coherent Average, Dynamic Visual Stimulation.

Introdução

O potencial evocado visual relacionado ao movimento (M-VEP) tem sido utilizado na investigação das propriedades temporais do processamento cortical durante a estimulação visual dinâmica (ED) [1-4]. Esta resposta neuronal é tipicamente composta por três componentes, denominadas P1, N2 e P3, cujas latências ocorrem entre 110 e 500 ms após o início da ED [1-3].

No controle da postura ortostática, o processamento cortical cognitivo, do planejamento e resposta motora para manter o equilíbrio depende do sentido da ED [1]. Assim, o padrão M-VEP de resposta cortical pode ser útil na investigação da influência da posição postural no ciclo percepção-ação ao se utilizar um ambiente virtual que perturbe o sistema de controle postural, como reportado por Costa *et al.* [2].

O presente estudo visa investigar o M-VEP eliciado por cenários dinâmicos com sentidos distintos (movimento de afastamento ou aproximação) como estímulo visual ao sujeito em diferentes posições posturais: ortostática (*O*) e sentada (*S*). Logo, este trabalho investiga a influência da posição no ciclo percepção – ação. Para tal, os M-VEPs foram estatisticamente comparados e estimou-se o atraso temporal do componente P3 (o qual reflete a complexidade do cenário) para os padrões resultantes da estimulação em distintas posturas.

Materiais e métodos

Casística – Participaram deste estudo 24 sujeitos saudáveis (9 do gênero feminino), faixa etária de 18 a 40 anos, estatura de 170 ± 10 cm e massa corporal de $72 \pm 16,9$ kg (média±desvio). Como critério de exclusão, não participaram desse estudo indivíduos que apresentassem histórico de patologias neurológicas, doenças osteomioarticulares, cefaléia, indisposição, vertigem e/ou fadiga visual, transtorno do equilíbrio ou

que estivessem fazendo uso contínuo de medicamentos e/ou outros fármacos que possam comprometer o controle postural, conforme protocolo aprovado pelo CEP do IESC/UFRJ (100/2011).

Protocolo experimental – Os testes de ED virtual foram realizados na mesma sala, com condições ambientais controladas (luminosidade, 23°C de temperatura, atenuação sonora e aterramento). O EEG (espontâneo) foi previamente adquirido durante 5 min, com o sujeito de olhos fechados em repouso numa cadeira. Durante a estimulação visual, os sujeitos foram instruídos a posicionar os pés numa plataforma de força nas duas posições posturais: sentada (*S*) e ortostática (*O*). A posição dos pés (ângulo de 30°; distância de 2 cm entre os maléolos) foi previamente marcada para manter a mesma base de suporte durante os experimentos.

O cenário virtual (Figura 1), desenvolvido utilizando-se a ADI Delphi e OpenGL, consiste numa sala contendo piso quadriculado (similar à reversão de padrão) com uma mesa e cadeira posicionadas no centro, além de outros objetos na periferia do campo visual [1,2]. Para gerar a estimulação visual dinâmica, os móveis e utensílios do cenário virtual são expandidos (ou reduzidos) enquanto o piso, as paredes e o teto se deslocam linearmente no sentido anterior (ou posterior) com uma velocidade de 120 cm/s durante 1 s. Além disso, a luminância é modificada para cada posição do cenário, variando entre 31 a 39 cd/m². Tal efeito dinâmico proporciona a percepção de que o observador está se aproximando (evento AP) ou afastando (evento AF) do cenário, ou seja, percepção de automovimento (*vection*).

O EEG sem estimulação virtual foi adquirido durante 5 min, com o voluntário na posição *S* (e *O*) observando uma parede branca (*S*_{OA} e *O*_{OA}) posicionada a 2 m da plataforma. Em seguida, os experimentos com ED foram realizados com o sujeito observando o cenário virtual (1,72 × 1,16 m), projetado na parede branca e centrado com referência na linha de visão (ângulo visual de 46,5°). O voluntário foi instruído a fixar o olhar na cadeira.

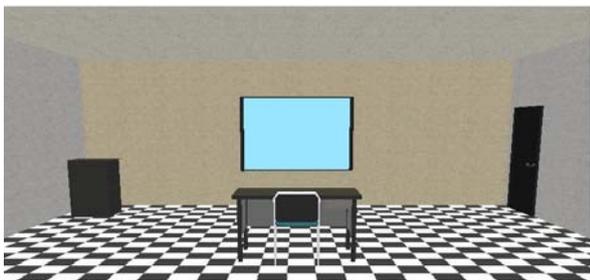


Figura 1: Cenário virtual com o piso quadriculado e restantes características descritas.

As aquisições durante a estimulação visual dinâmica foram realizadas nas duas posições posturais (*S* e *O*), alternadamente distribuídas em três blocos de cada posição, iguais entre estas e aleatórias entre blocos. Para cada bloco, foram aplicados

aleatoriamente 30 estímulos dinâmicos (15 de cada evento: AP e AF), cada um deles intercalados por 6 s de cenário estático (condição CE) na posição onde o ED termina (sendo esta a posição inicial da próxima ED). Foi aplicado um intervalo de 3 min entre blocos (sujeito sentado e relaxado) para evitar fadiga muscular, bem como um período de 30 s após a transição de *S* para *O*, proporcionando tempo para a estabilização do equilíbrio antes da próxima aquisição.

Montagem experimental – Os sinais EEG foram adquiridos de acordo com o Sistema Internacional 10-20 (derivações monopolares, referência biauricular média e aterramento em FPz) usando a touca ECI Electro-Cap Electrode Electrode (Electro-Cap International, Inc., EUA) e amplificador biológico BrainNet - BNT 36 (EMSA, Brasil). As impedâncias dos eletrodos foram mantidas abaixo de 3 kΩ. Os sinais EEG, digitalizados à taxa de 600 Hz (resolução: 16 bits) com filtro *notch* digital a 60 Hz e armazenados em disco rígido, foram analisados *offline* usando o *software* Matlab v.9 (The Mathworks, EUA).

Neste trabalho, foram analisados apenas os sinais EEG derivados do córtex visual (occipital), associativo (parietal), cognitivo (frontal) e motor (central). A Figura 2 ilustra 40 s do sinal EEG da derivação O1 do sujeito #1, adquirido durante estimulação virtual, mostrando uma sequência aleatória de seis ED (duração de 1 s, intercalados por 6 s de cenário estático). Os sentidos da ED foram codificados por pulsos com o valor de 1200 (AP) e -1200 (AF), sincronizados com o início da exibição de cada cena.

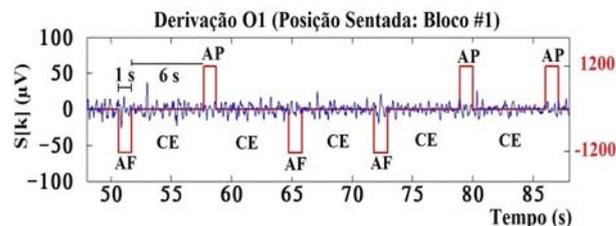


Figura 2: Segmento do sinal de *trigger* (vermelho) e EEG (derivação O1, azul) do sujeito #1 durante posição *S* com ED. O pulso do *trigger* indica o 1 s de AF (ou AP), seguido por 6 s de cenário estático (CE), sincronizado com o início da exibição da ED.

Pré-processamento do sinal EEG – Os sinais EEG foram filtrados aplicando-se um Butterworth passa-banda de 2ª ordem, fase nula, com frequências de corte em 1 e 10 Hz. Com base no pulso do *trigger*, os sinais EEG obtidos para as posições *S* e *O* foram segmentados em M_{AP} (ou M_{AF}) épocas com 2500 ms de duração (-500 a 2000 ms, sincronizadas pelo início da exibição de cada ED: $t = 0$). Um algoritmo de rejeição de artefatos foi aplicado a cada época de sinal, utilizando-se como referência o desvio-padrão do sinal EEG obtido durante a condição *S*_{OF} [1,2].

Processamento do sinal EEG – Para as posições *S* e *O*, o M-VEP foi estimado calculando-se a média coerente das M_{AP} épocas de EEG livres de artefatos (ou M_{AF}), sincronizadas com o início do movimento do

cenário. Para cada voluntário, o M-VEP resultante da estimulação AP e AF foi filtrado com passa-baixa em 3 Hz (Butterworth de 2ª ordem, fase nula) e as componentes P1, N2 e P3 foram identificadas pelo cruzamento com o zero da primeira derivada das formas de onda correspondente à janela temporal entre 0 e 50 ms, 50 e 300 ms e 300 e 550 ms, respectivamente. As componentes N2 (ou P3) do M-VEP (amplitude e latência), bem como a amplitude pico-a-pico (N2 – P3), eliciadas pelos estímulos AP e AF durante ambas as posições posturais foram estatisticamente comparadas utilizando-se o teste de Wilcoxon ($\alpha = 0,10$), sob a hipótese nula de igualdade entre as medianas das distribuições.

As curvas resultantes do *grand-averaged* foram obtidas considerando o conjunto dos voluntários. As diferenças entre padrões M-VEP obtidos para as condições de cenário AF e AP, bem como entre as posições *O* e *S*, foram analisadas aplicando-se o teste *t* ($\alpha = 0,10$) a cada instante de tempo entre 300 a 900 ms [5]. Este procedimento, denominado *running t-test*, baseia-se na comparação bicaudal, entre amostras e, ao se rejeitar a hipótese nula (H_0) de não haver diferença, pode-se assumir que o *grand-averaged* resultante para a condição de AP é estatisticamente diferente daquele para condição AF (similarmente, para as posições

posturais). Para se obter o atraso temporal do pico P3 do M-VEP entre as condições *S* e *O*, utilizou-se a correlação cruzada destes padrões.

Resultados

A Figura 3 exhibe o *grand-averaged* do conjunto de M-VEPs (dominância de N2 em relação à P1) para as derivações occipitais, parietais, frontais e centrais eliciado pela ED durante a posição *S* e *O*, sincronizadas pelo início do movimento do cenário ($t = 0$). Em ambas as condições de estimulação (AP e AF), nota-se que a amplitude da componente N2 e (N2 – P3) são maiores no córtex parietal. Observa-se também que as componentes do M-VEP com o sujeito sentado e estimulado com cenário se aproximando, mostram maior latência (atraso) do que nos demais M-VEPs, embora apresentem, em geral, morfologia similar.

Independentemente da derivação EEG, o teste de Wilcoxon indicou não haver diferença ($p > 0,20$) entre as componentes N2 (e P3) de AP e AF para a posição *O*, nem tão-pouco entre N2 – P3. Por outro lado, para a posição *S*, as diferenças entre a estimulação AP e AF são significativas ($p < 0,08$) somente para a amplitude de N2 das derivações do hemisfério cortical esquerdo (O1, P3, F3 e C3).

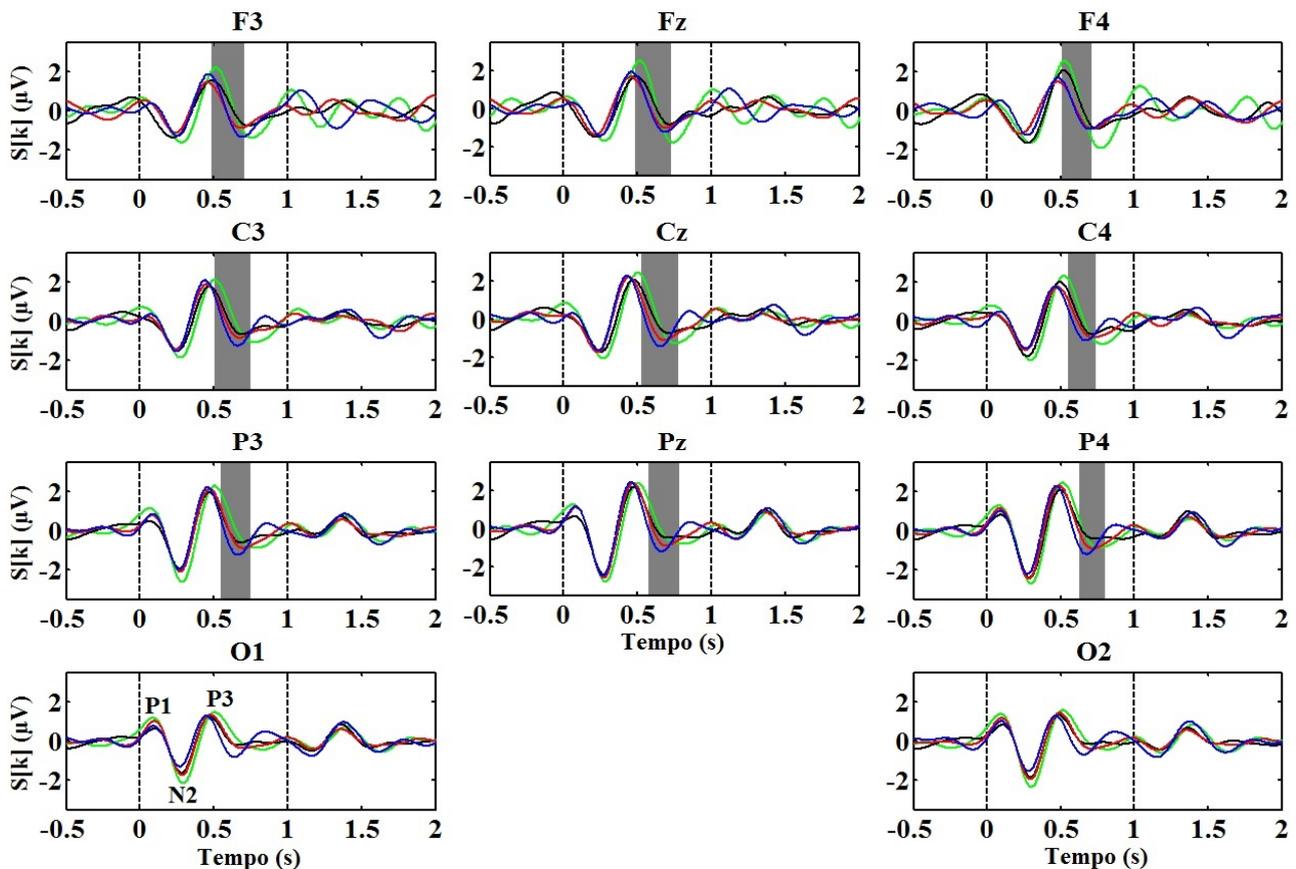


Figura 3: *Grand-averaged* para conjunto dos M-VEPs eliciados pelas ED durante as posições *S* (AP: verde; AF: preto) e *O* (AP: vermelho; AF: azul), estimado com M_{AP} e M_{AF} , respectivamente. O tracejado vertical indica a ED (1 s). A área cinzenta aponta o resultado do *running t-test*, onde o padrão da posição *S* difere da *O* ($p < 0,10$).

Tabela 1: Intervalo de tempo (Δt , em ms) onde M-VEP na posição O difere estatisticamente daquele de S (*running t-test*, $\alpha = 0,10$). Atraso temporal (τ , em ms) do pico P3 do M-VEP de S relativo aquele de O nas ED AP ou AF.

EEG	O1	O2	P3	Pz	P4	C3	Cz	C4	F3	Fz	F4
Δt	—	—	521-683	581-697	601-718	508-678	526-685	538-653	495-620	491-638	505-647
τ (AP)	13,3	10	21,7	18,3	16,7	46,7	50	38,3	48,3	50	48,3
τ (AF)	16,7	15	8,3	11,7	21,7	21,7	38,3	23,3	11,7	15	23,3

A componente N2 (e N2 – P3) obtida durante a posição O difere daquela de S ($p < 0,09$) somente para estimulação AP. Além disso, a distribuição da latência da componente P3 para a posição O é significativamente diferente ($p < 0,03$) daquela de S , nas derivações parietais, frontais e centrais, sendo esta componente mais atrasada para a posição S . Resultado similar foi observado para AF, porém com $p < 0,06$.

O *running t-test* indicou haver um intervalo temporal (Tabela 1) onde os padrões M-VEP estimados para O diferem estatisticamente daqueles para S ($p < 0,10$, área cinzenta na Figura 3). Este intervalo, entre cerca de 490 e 720 ms após o início da ED, é observável em todas as derivações, exceto nas occipitais.

A correlação cruzada entre os M-VEPs da derivação Fz, na condição de aproximação (Figura 4), evidencia um atraso da componente P3 de cerca de 50 ms (Tabela 1) quando da estimulação na posição sentada em relação à ortostática. A Tabela 1 indica o atraso da componente P3 entre S e O para uma mesma derivação e sentido da estimulação visual dinâmica. Os maiores atrasos ocorrem para as derivações centrais e frontais para o cenário AP.

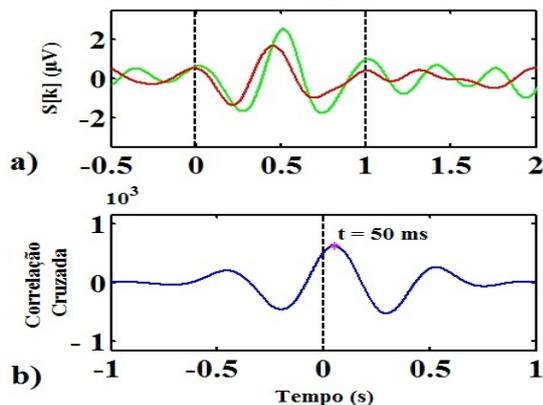


Figura 4: *Grand-averaged* dos M-VEPs na derivação Fz, (a) posição O (vermelho) e S (verde) eliciados por AP; (b) correlação cruzada entre os M-VEPs.

Discussão

Para todos os voluntários, as componentes P1, N2 e P3 do M-VEP resultante da estimulação visual dinâmica apresentam faixa de valores entre 110 e 500 ms, conforme reportado por diversos autores [1-4]. O M-VEP com dominância da componente N2 refletiu o tipo de estímulo de ED aqui aplicado [1,2]. Além disso, o

grand-averaged do conjunto de M-VEPs mostrou que os maiores valores de amplitude da componente N2, bem como da amplitude pico-a-pico (N2-P3), ocorrem para a derivação parietal, achados estes, também reportados por [1-3]. Segundo Kuba et al. [3], a resposta cortical na região parietal (área associativa) refletiria o processamento do movimento, por meio da ativação da via magno-celular.

Para a posição ortostática, as componentes do M-VEP independem do sentido do estímulo dinâmico. Este achado está em concordância com [1], embora estes autores tenham investigado apenas a posição ortostática para um cenário de ED semelhante ao aqui utilizado. Entretanto, para a posição sentada, a resposta ao início do movimento AP diferiu daquela de AF. Uma possível explicação para a diferença entre os hemisférios cerebrais estaria relacionada à lateralidade dos voluntários (83,3% de destros), embora tal diferença não tenha sido observada para a posição ortostática.

O *running t-test* aponta haver diferença dos padrões M-VEPs entre as posições O e S , 490 a 720 ms após o início da ED, com uma configuração fronto-centro-parietal de processamento cortical ($p < 0,10$). Segundo Leber et al. [5], este intervalo caracteriza a cognição e o planejamento motor que compõem o ciclo percepção-ação. Além disso, este achado sugere haver um processamento cerebral dos centros superiores relacionados à cognição, ação motora e realimentação do controle da postura.

A componente P3 evidenciou o atraso temporal do processamento cortical correspondente à posição sentada relativamente à ortostática em ambas as condições de estimulação. Esta componente reflete o processamento frontal, central e parietal de movimentos complexos do ambiente virtual [3,4]. Como a sequência de estimulação foi a mesma para as posições aqui investigadas, este atraso poderia estar relacionado com a condição postural. Além disso, segundo Horak et al [6], as exigências de controle cortical diminuem ao se aumentar a estabilidade postural, como ocorre, por exemplo, na posição sentada.

O atraso da componente P3 mais significativo ($p < 0,03$) para a condição de aproximação do cenário, em particular nas derivações frontais e centrais, sugere maior efeito desta estimulação no processamento cortical do ciclo percepção - ação. Segundo Kuba et al. [3] e Kremláček et al. [4], a aproximação do cenário provoca a ilusão de que algo se movimenta na direção do indivíduo. Esta expansão da imagem na retina aumenta o recrutamento de células ganglionares do tipo

magnocelular até o córtex visual. Estes achados parecem refletir as propriedades fisiológicas do sistema de controle postural: a antecipação do processamento hierárquico relacionado à cognição, planejamento e ação motora, associadas às maiores exigências da posição ortostática para manter o equilíbrio no ciclo percepção-ação.

Conclusão

O presente estudo evidenciou a influencia da posição postural no ciclo percepção – ação, por meio da resposta cortical (M-VEP) eliciada por diferentes estímulos visuais dinâmicos (movimento de afastamento ou aproximação) com o sujeito na posição ortostática e sentada. Tal resultado indica a potencialidade deste protocolo para a investigação do ciclo percepção – ação durante posições posturais distintas.

Agradecimentos

Às agências de fomento CAPES, CNPq e FAPERJ pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Da_Silva PJG, Rosa BP, Cagy M, Infantosi AFC. Motion-related VEPs Elicited by Dynamic Virtual Stimulation. In: Proceedings of the 13th Mediterranean Conference of the IFMBE on Medical and Biological Engineering and Computing; 2013 Sevilla, Spain. 2013, 1809–12.
- [2] Costa JFG, Da_Silva PJG, Infantosi AFC. Cortical evoked response during dynamic visual stimulation on sitting and orthostatic positions. 6th European Conference of the IMFBE on Biomedical Engineering (no prelo).
- [3] Kuba M, Kubová Z, Kremláček J, Langrová J. Motion-onset VEPs: Characteristics, methods, and diagnostic use. *Vision Research*. 2007, 47:189–202.
- [4] Kremláček J, Hulan M, Kuba M, Kubová Z, Langrová J, Vít F, Szanyi J. Role of latency jittering correction in motion-onset VEP amplitude decay during prolonged visual stimulation. *Doc Ophthalmol*. 2012, 124:211-223.
- [5] Leber AB, Lechak JR, Tower-Richard SM. What do fast response times tell us about attentional control? *Journal of Vision*. 2013, 13(3):31, 1-12.
- [6] Horak FB, Henry SM, Shumway-Cook A. Postural perturbations: new insights for treatment of balance disorders. *Phys Ther*. 1997, 77:517-533.