

Ilusão da mão de borracha induzida por estímulos controlados por equipamento eletrônico

Marília Lira

Patricia Aparecida Dall'Agnol

Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP – Brasil

Sérgio Américo Boggio

Colégio Bandeirantes, São Paulo – SP – Brasil

Paulo Sérgio Boggio¹

Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP – Brasil

Resumo: A indução da ilusão da mão de borracha (IMB) é tipicamente realizada por pincéis de forma manual. Nesse sentido, elaboramos um equipamento eletrônico com intuito de aumentar a precisão dos estímulos táteis na IMB. Objetivo: verificar a eficácia de um equipamento eletrônico para indução da IMB. Método: participaram do estudo 51 participantes, com idades entre 11 e 59 anos divididos em quatro grupos. Para coleta de dados utilizamos próteses de mãos e o equipamento eletrônico desenvolvido. A intensidade da IMB foi avaliada por um questionário subjetivo contendo 13 perguntas classificadas entre concordância ou discordância sobre as sensações percebidas do paradigma. Resultados: encontramos efeitos significativos em todas as perguntas de incorporação da mão de borracha. Conclusão: o equipamento eletrônico mostrou-se eficaz na velocidade, sincronia e precisão da movimentação dos pincéis, com indução robusta do paradigma da IMB. Sugere-se a utilização desse equipamento em experimentação científica do paradigma da IMB.

Palavras-chave: percepção sensorial; integração multissensorial; ilusão da mão de borracha; propriedade corpórea; autoconsciência corporal.

RUBBER HAND ILLUSION INDUCED BY ELECTRONIC EQUIPMENT-CONTROLLED STIMULI

Abstract: The induction of rubber hand illusion (RHI) is typically manually performed by brushes. In this direction, we developed an electronic device in order to increase the accuracy of tactile stimuli in RHI. Objective: To determine the effectiveness of an electronic and programmable apparatus developed for induction of RHI. Method: The study included 51 participants, age (11 and 59 years) distributed in four groups. For data collection we used the prosthetic hands and the personally developed electronic equipment. The intensity of RHI was assessed using a subjective questionnaire containing 13 questions ranked in agreement or disagreement on the sensations perceived paradigm. Results: We found significant effects on all questions about incorporation of the rubber hand. Conclusion: The electronic equipment was effective in speed, timing and accuracy of movement of brushes and displayed the robust induction of RHI. Hence, we propose the use of such electronic equipment in the RHI paradigm in scientific studies.

Keywords: sensory perception; multisensory integration; rubber hand illusion; body ownership; bodily self-consciousness.

¹ **Endereço para correspondência:** Paulo Sérgio Boggio, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua Piauí, 181, 10º andar, Consolação. São Paulo – SP – Brasil. CEP: 01302-000. E-mail: psboggio@gmail.com.

ILUSIÓN DE LA MANO DE GOMA INDUCIDA POR ESTÍMULOS CONTROLADOS POR LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS

Resumen: La inducción de la ilusión de la mano de goma (IMG) se realiza normalmente mediante cepillos. De este modo, hemos elaborado un dispositivo electrónico con el fin de aumentar la precisión de los estímulos táctiles en IMG. Objetivo: determinar la eficacia de un aparato electrónico y programable desarrollado para la inducción de IMG. Método: el estudio incluyó a 51 participantes, entre 11 y 59 años, divididos en cuatro grupos. Para la obtención de datos se utilizaron prótesis de mano y equipos electrónicos desarrollados. Para evaluar la intensidad de la inducción la IMG, se utilizó un cuestionario subjetivo que contiene 13 preguntas sobre la sensación ilusoria de incorporación de la mano. Resultados: un efecto significativo de las preguntas sobre la sensación ilusoria de incorporación de la mano de goma fue observado. Conclusión: el equipo electrónico fue eficaz en la velocidad, el tiempo y la precisión de movimiento de los cepillos con la inducción robusta de la IMG. Sugerimos el uso de estos equipos en el paradigma de la IMG experimentación científica.

Palabras clave: percepción sensorial; integración multisensorial; ilusión de la mano de goma; propiedad del cuerpo; autoconciencia del cuerpo.

A ilusão perceptiva, chamada ilusão da mão de borracha (IMB), é considerada por muitos pesquisadores como um paradigma experimental para geração da sensação de apropriação de uma parte do corpo que não te pertence (Botvinick & Cohen, 1998). Por meio da experiência perceptiva que envolve mecanismos sensoriais, os estudos buscam o entendimento da autoconsciência do corpo (percepção do corpo e do espaço, propriedade corpórea e agência) e da sua relação com a integração multisensorial no córtex pré-motor e córtex parietal posterior (Ehrsson, Spence, & Passingham, 2004; Ehrsson, Wiech, Weiskopf, Dolan, & Passingham, 2007; Brozzoli, Cardinali, Pavani, & Farnè, 2010; Tsakiris, 2010). Nesse contexto, estudos têm mostrado que o paradigma da IMB é um importante método para a compreensão da relação do eu e do outro, e das suas sobreposições, promovendo um amplo campo de experimentos que envolve a neurociência social e a reabilitação motora como o preconceito racial (Farmer, Tajadura-Jiménez, & Tsakiris, 2012; Maister, Sebanz, Knoblich, & Tsakiris, 2013), empatia (Casco, Foss-Feig, Burnette, Heacock, & Cosby, 2012), distúrbios de percepção corporal (Mussap & Salton, 2006; Germine, Benson, Cohen, & Hooker, 2013; Paton, Howy, & Enticott, 2012), imagem corporal (Ehrsson *et al.*, 2008) e dor (Mohan *et al.*, 2012; Reinersmann *et al.*, 2013).

Para que ocorra a IMB, a mão do indivíduo, ocluída da visão, é estimulada por pincéis de forma sincrônica e simultânea ao estímulo realizado em uma mão de borracha que está sendo observada pelo indivíduo (Botvinick & Cohen, 1998). Nessa ilusão, ocorre um conflito no processamento das informações dos dois estímulos sensoriais: o tátil, gerado pelos pincéis nas mãos de forma simultânea; e o visual, observação da mão de borracha sendo estimulada, fazendo que o indivíduo sinta a mão de borracha como sua própria mão (Maravita, Spence, & Driver, 2003; Cardinale, Brozzoli, & Farnè, 2009). Para que essa percepção ocorra são necessários alguns cuidados metodológicos como a sincronia dos pincéis para realização do estímulo tátil (Botvinick & Cohen,

1998; Shimada, Fukuda, & Hiraki, 2009), semelhança das características entre a mão do indivíduo e a mão de borracha (Farmer, Tajadura-Jiménez, & Tsakiris, 2012), e congruência do posicionamento das mãos (Guterstam, Petkova, & Ehrsson, 2011). Entretanto, alguns estudos realizam as estimulações táteis com pincéis de forma manual o que torna o estímulo pesquisador-dependente (Botvinick & Cohen, 1998; Ehrsson *et al.*, 2007; Guterstam, Petkova, & Ehrsson, 2011) e subjetivo para a experimentação com muitos sujeitos de pesquisa.

Estudos mostram que o tempo de estímulo entre os pincéis que tocam a mão de borracha e a mão do indivíduo pode alterar a intensidade da sensação da ilusão e, conseqüentemente, da propriedade corpórea. Armel e Ramachandran (2003) mostraram que o tempo de 1 segundo de atraso entre os estímulos dos pincéis nas mãos é incapaz de gerar a ilusão perceptiva. Em estudo mais recente, Tsakiris, Hesse, Boy, Haggard, & Fink (2007) demonstraram que 500 minutos de atraso no tempo do estímulo entre os pincéis seria suficiente para não gerar a IMB, enquanto Shimada, Fukuda e Hiraki (2009), além de confirmarem os resultados encontrados por Tsakiris *et al.* (2007), mostraram que a intensidade da ilusão é mais forte quando o tempo de atraso entre os pincéis é menor que 300 minutos, aumentando a congruência do estímulo visotátil.

Assim, considerando a importância de aumentar a precisão dos estímulos visotáteis para garantir a IMB desejada em estudos experimentais, este trabalho teve como objetivo verificar a eficácia de um equipamento eletrônico e programável desenvolvido para indução do paradigma da IMB.

Método

Participantes

A amostra foi composta por 51 voluntários com desenvolvimento típico, sendo 18 participantes do sexo masculino e 33 do sexo feminino, com idades entre 11 e 59 (média = 24.71 ± 13.479) anos, com nível de escolaridade em curso ou completo (para crianças e adolescentes considerar o nível do ensino fundamental e adultos considerar o ensino superior), visão normal ou corrigida, lateralidade da mão à direita por meio do inventário de lateralidade de Edinburg (*Edinburgh Handedness Inventory*) (Oldfield, 1971). Como critérios de exclusão foram considerados: dependência química; comprometimento visoespacial como heminegligência; e portadores de doenças neurológicas ou psiquiátricas.

O presente estudo encontra-se dentro das normas estabelecidas pela Resolução n. 196/1996 do Conselho Nacional de Saúde e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Presbiteriana Mackenzie (n. 784.039/2014). Todos os voluntários foram informados sobre os procedimentos da pesquisa e seus possíveis riscos, e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, em duas cópias, sendo uma para o participante e a outra para o experimentador.

Instrumentos

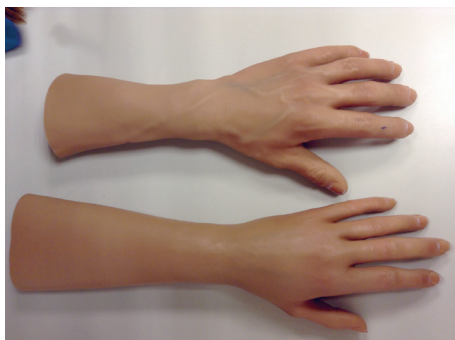
Caracterização da amostra

1. Ficha sociodemográfica: ficha composta de itens como nome, idade, sexo, endereço, nível de escolaridade, profissão, estado civil.
2. Inventário de Lateralidade de Edinburgh – versão reduzida: escala de mensuração da lateralidade da mão, composta por dez itens, relacionados ao uso da mão para realização de atividades do cotidiano como pentear os cabelos, escovar os dentes, escrever e desenhar. Depois da resposta das perguntas, foi calculado o coeficiente de lateralidade para cada participante (Oldfield, 1971).

Indução e mensuração da ilusão da mão de borracha

1. Mão de borracha: foram utilizadas próteses de mão (masculina e feminina) feita com material de silicone de alta resistência desenvolvida pela empresa Próteses PGM & PGP em parceria com a equipe do Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social da Universidade Presbiteriana Mackenzie. O equipamento contém articulações e dedos flexíveis com características similares às da mão humana, como cor, textura da pele e unhas como podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1. Próteses da mão masculina e feminina



Fonte: Arquivo dos autores.

2. Equipamento para indução da ilusão da mão de borracha: foi desenvolvido pelo Engenheiro Eletrônico Sérgio Américo Boggio (CREA SP 117120), em parceria com a equipe do Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social da Universidade Presbiteriana Mackenzie com o intuito de induzir o paradigma da IMB de forma sistemática, fidedigna e com possibilidade de controle preciso de velocidade, amplitude dos movimentos nos eixos perpendiculares e paralelos às mãos. O equipamento, como pode ser visto na Figura 2, é constituído por uma estrutura de madeira (103 cm de largura por 51 cm de altura) que contém na sua parte interna dois

sistemas de polias motorizadas – um fixo e um móvel – os quais são os braços de movimento dos pincéis. O sistema móvel permite o ajuste para os diversos tamanhos das mãos. A tensão de alimentação do equipamento é 110 volts. Possui três painéis de controle que permitem assumir diferentes valores uma vez que são comandados por microprocessador que se encontra embutido na estrutura de madeira. Pelos controles nos painéis, são possíveis diversas combinações de velocidade e angulação, bem como a possibilidade de inversão no sentido do movimento dos pincéis para gerar uma estimulação assíncrona ou síncrona em ambas as mãos (mão de borracha e do participante). Além disso, existe a possibilidade de deslocamento lateral (manual ou automático) permitindo que o estímulo dos pincéis percorra a mão. Dessa forma, esse aparelho promove estímulos controlados e precisos para gerar a ilusão da mão de borracha, otimizando sua avaliação.

Figura 2. Equipamento eletrônico para indução da IMB



Fonte: Arquivo dos autores.

3. Avaliação da intensidade da indução da ilusão da MB: a avaliação foi realizada por meio de questionário subjetivo semiestruturado composta por 13 perguntas (extraídas do questionário utilizado por Longo *et al.*, 2008) divididas em quatro blocos (incorporação da mão de borracha, perda da própria mão, sensação de três mãos e movimento da mão) relacionadas às sensações percebidas durante a experiência do participante durante a ilusão. Para graduação da intensidade foi utilizada a escala analógica likert com sete itens, onde 7 corresponde à resposta “concordo plenamente”, 1 corresponde a “discordo plenamente”, e 4, a “nem concordo e nem discordo”, sendo considerado esse o valor de neutralidade da escala.
4. Avaliação da localização proprioceptiva da mão real: a percepção do posicionamento da mão do participante foi avaliada por meio da mensuração da localização da mão antes e depois do procedimento de indução da ilusão da MB. O participan-

te foi vendado e solicitado a localizar com a mão direita o dedo índice da sua mão esquerda. Para realizar o cálculo de deslocamento da localização percebida da posição da mão, foi realizada a subtração da medida encontrada antes do procedimento da medida e posteriormente ao procedimento, por meio de uma régua colocada paralelamente às mãos. O valor positivo indica a percepção de localização da mão em direção à MB (Schütz-Bosbach, Tausche, & Weiss, 2009).

Procedimentos para a coleta

A pesquisa foi realizada no Colégio Bandeirante em parceria com o laboratório de Neurociência Cognitiva e Social da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Inicialmente, foi realizada a caracterização da amostra dos participantes, com o preenchimento da ficha sociodemográfica, e o inventário de lateralidade de Endinburgh. Em seguida, o participante foi posicionado em uma cadeira, de forma confortável, com os braços flexionados a 90 graus e apoiados sobre uma mesa (medidas 90 x 50 x 35).

O participante realizou o pré-teste por meio da medida de localização proprioceptiva da mão do voluntário. Posteriormente, a mão esquerda do voluntário foi apoiada sobre a mesa, atrás de uma divisória de madeira que impede a sua visualização. A mão de borracha, por sua vez, foi posicionada, visivelmente, do lado esquerdo na mesa, tendo como referência a linha média corporal do voluntário (a uma distância de 15 cm do dedo indicador da mão de borracha para o dedo indicador da mão esquerda dele, de forma congruente) (Davies & White, 2013).

O voluntário foi vendado para ajuste dos pincéis nos dedos indicadores da mão de borracha e da mão esquerda do voluntário. Os movimentos dos pincéis foram unidirecionais e sincrônicos, iniciados na porção distal para proximal dos dedos indicadores das mãos. Depois do ajuste, foi retirada a venda dos olhos do participante, e iniciada a estimulação tátil sincrônica dos pincéis na mão esquerda do participante e na mão de borracha. O participante foi instruído a olhar apenas para a mão de borracha durante todo o experimento. A duração da estimulação foi de 5 minutos (Guterstam, Petkova, & Ehrsson, 2011).

Depois do experimento, foram realizados os pós-testes com o teste de medida de localização proprioceptiva da mão real e a aplicação do questionário subjetivo para mensuração da intensidade da indução da IMB.

Para análise estatística, foi utilizado o *software* SPSS 20.0. Inicialmente, foi realizada a análise de variância simples (ANOVA One-Way) para comparação do efeito da IMB entre os grupos etários (criança - 11-14 anos; adolescente - 15-17 anos; adulto jovem - 20-34; adultos - 35-59 anos). Posteriormente, foi realizada a análise para verificar a intensidade da ilusão dos participantes, por meio do teste-t de amostra única para testar a hipótese de que os escores do questionário da IMB e as medidas de localização proprioceptiva (antes e depois do experimento) seguem uma distribuição com média populacional de 4. Foi considerado o 4 como valor de neutralidade da escala likert (1-7 itens). Para o nível de significância foi considerado $p < 0,05$.

Resultados

Na análise de comparação do efeito da IMB entre os grupos etários, criança (11-14 anos), $n = 16$ (média = 11.81 ± 1.109); adolescente (15-17 anos), $n = 9$ (média = 15.89 ± 0.782); adulto jovem (20-34 anos), $n = 13$ (média = 27.69 ± 4.697); e adultos (35-59 anos), $n = 13$ (média = 43.69 ± 7.273) foi verificado que não houve diferença significativa entre os grupos nas respostas do questionário da ilusão envolvendo a incorporação da mão de borracha, perda da própria mão, sensação de três mãos e movimentação da mão. Porém, houve uma diferença significativa ($F_{3,47} = 3.16$, $p = 0.033$) da intensidade sentida entre crianças (6.38 ± 0.96) e adultos jovens (4.54 ± 2.33) para a questão P4 (*Parecia que a mão de borracha era parte do meu corpo*). Entretanto, de acordo com esses resultados não é possível afirmar que a diferença de intensidade nesta questão (P4) do item incorporação da mão de borracha seja por causa dos grupos etários. Existe a possibilidade de ser apenas por uma variabilidade amostral, conforme estudo prévio realizado por Cowie, Makin e Bremner (2013) que mostra que depois dos 4 anos, a percepção visotátil da criança está amadurecida e a sensação de incorporação da mão de borracha é semelhante à dos adultos.

Tabela 1. Intensidade da ilusão da mão de borracha dos voluntários por meio do questionário

Incorporação da mão de borracha	Média	DP	Sig.
P1-Parecia que eu estava olhando diretamente para minha própria mão, em vez de uma MB	5.47	1.93	$p < 0,001$
P2-Parecia que a MB começava a assemelhar-se a minha mão real	5.53	1.81	$p < 0,001$
P3-Parecia que a MB era minha mão	5.5	1.88	$p < 0,001$
P4-Parecia que a MB era parte do meu corpo	5.69	1.75	$p < 0,001$
P5-Parecia que a minha mão estava localizada onde a MB estava	5.57	1.9	$p < 0,001$
P6-Parecia que a MB estava localizada onde minha mão estava	5.36	1.81	$p < 0,001$
P7-Parecia que o toque que eu senti foi causado pelo toque do pincel na MB	5.92	1.67	$p < 0,001$
Perda da própria mão	Média	DP	Sig.
D1-Parecia que eu não poderia realmente dizer onde minha mão estava	5.26	1.68	$p < 0,001$
D2-Parecia que minha mão tinha desaparecido	4.22	2.13	$p = 0,473$
D3-Parecia que minha mão estava fora do meu controle	4.54	2.16	$p = 0,080$
Sensação de três mãos	Média	DP	Sig.
S1-Parecia que eu tinha três mãos	3.37	2.01	$p = 0,030$

(continua)

Tabela 1. Intensidade da ilusão da mão de borracha dos voluntários por meio do questionário (conclusão)

Movimento da mão	Média	DP	Sig.
M1-Parecia que minha mão estava movendo em direção à MB	4.84	2.05	$p = 0,005$
M2-Parecia que a MB foi movendo-se em direção a minha mão	4.5	1.91	$p = 0,067$

MB = Mão de borracha.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Dessa forma, depois desses resultados, optamos por conduzir análises dos dados considerando um único grupo de participantes. Nesse sentido, foi observado na análise do questionário que os participantes apresentaram indução da IMB nos domínios de incorporação da mão de borracha (P1-P7), perda da própria mão (D1-D3), assim como para a sensação de movimento da mão (M1-M2). Entretanto, o efeito foi significativo para a totalidade das perguntas sobre a incorporação da mão de borracha e para a pergunta D1 ($t_{(50)} = 5.36$; $p < 0.001$) que se refere à perda/diminuição da sensação da localização da mão do participante, assim como para a pergunta M1 ($t_{(50)} = 2.93$; $p = 0.005$) que se refere à sensação de movimento da mão do participante em direção à mão de borracha. Porém, para o domínio da sensação de três mãos (S1), não foi apresentada pelos participantes a sensação de adicionar a mão de borracha como a terceira mão ao corpo (Tabela 1).

No que se refere à medida de localização proprioceptiva da mão do participante, foi observada uma diferença significativa ($t_{(50)} = 7.63$; $p < 0.001$) entre as medidas iniciais (55.46 ± 4.218) e as finais (50.11 ± 5.029), mostrando que a IMB alterou a sensação proprioceptiva da mão do participante.

Discussão

Os resultados demonstraram que o equipamento eletrônico desenvolvido nesse estudo é eficaz para induzir a IMB e modificar a percepção proprioceptiva da mão do participante durante a ilusão. A precisão do toque dos pincéis nas mãos, assim como a velocidade e o ritmo estabelecidos pelo equipamento proporcionaram aos participantes a sensação robusta da IMB. As sensações reportadas com maior intensidade, de acordo com os itens de apropriação da mão de borracha, foram a percepção de incorporação da mão de borracha, onde os participantes relataram sentir a mão de borracha como sendo sua, e a sensação do toque do pincel foi atribuída pelos participantes como a sensação de sentir o toque do pincel na mão de borracha. Para os demais itens, os participantes relataram que não poderiam realmente dizer onde a sua mão estava (item-perda da própria mão), assim como tiveram a sensação de a sua mão estar se movendo em direção à mão de borracha (item-movimento da mão). Entretanto, durante a IMB os voluntários não relataram a sensação de três mãos. Esses achados de

percepção ilusória são comumente encontrados nos estudos que utilizam a IMB como paradigma (Ehrsson, Spence, & Passingham, 2004; Ehrsson *et al.*, 2007; Tsakiris, 2010; Farmer, Tajadura-Jiménez, & Tsakiris, 2012). Segundo Guterstam, Petkova e Ehrsson (2011), a experiência com a IMB tradicional promove a sensação de propriedade corpórea e desapropriação da mão do participante.

Dentro desse contexto, a congruência temporal e espacial na IMB, que combina os estímulos sensoriais visual, tátil e proprioceptivo, promove a modificação da percepção corporal momentaneamente, mostrando o quanto a representação do corpo é inerentemente maleável e dinâmica (Naito, Roland, & Ehrsson, 2002; Guterstam, Petkova, & Ehrsson, 2011). Armel e Ramachandran (2003) relatam que a imagem corporal é uma construção interna transitória e temporária que pode ser alterada por congruência de estímulos sensoriais capazes de modificar a integração multimodal, apesar de toda a sua aparência de durabilidade e permanência da imagem corporal por toda uma vida.

Além da incorporação da mão de borracha na representação do corpo, o presente estudo demonstrou que a IMB alterou proprioceptivamente a percepção da mão do participante, direcionando a percepção de localização da sua mão a uma média de 5,35 cm, ou seja, 33% mais próximo da mão de borracha. Estudos mostram que a magnitude desse desvio para a mão de borracha é em torno de 15% a 30% da distância total entre a mão do participante e da mão de borracha (Makin, Holmes, & Ehrsson, 2008; Davies, & White, 2013). Segundo Kammers *et al.* (2009), a alteração proprioceptiva promovida pela ilusão é resultado de uma recalibração do sistema de coordenadas do corpo, devido à integração multissensorial, com o espaço peripessoal. Esse desvio está correlacionado positivamente com a duração da indução (Botvinick & Cohen, 1998; Bekrater-Bodmann, Foell, Diers, & Flor, 2012), bem como a intensidade da percepção ilusória (Longo *et al.*, 2008).

Apesar de muitos estudos ainda utilizarem o método tradicional para indução da IMB (Ehrsson, Holmes, & Passingham, 2005; White, Davies, & Davies, 2011; Haans, Kaiser, Bouwhuis, & Ijsselstein, 2012), atualmente, novas formas de experimentar a ilusão estão sendo apresentadas, seja pela tentativa de tornar a ilusão mais precisa e diminuir a variabilidade para percepção da IMB, seja simplesmente para atender uma necessidade metodológica do experimento. Segundo Bekrater-Bodmann *et al.* (2012), na última década, foram desenvolvidas diversas variações da configuração original da IMB, como a utilização de recursos tecnológicos e manipulação postural da mão de borracha. Uma vez que a relação temporal entre a estimulação tátil na mão real e a de borracha fornece informações importantes para a integração visotátil, a sensação perceptual da ilusão parece ser diminuída à medida que a estimulação tátil entre os pincéis apresenta incongruência temporal (Armel & Ramachandran, 2003; Shimada, Fukuda, & Hiraki, 2009; Guterstam, Petkova, & Ehrsson, 2011). Esses achados sugerem que a integração das informações sensoriais multimodais depende da congruência de temporalidade da estimulação visotátil para indução da IMB.

Nesse sentido, Armel e Ramachandran (2003) mostraram em seu experimento que a sincronia do toque na mão de borracha e na mão do participante deve ser precisa para que ocorra a vivacidade em que o toque visto e sentido seja no mesmo local, modificando assim a imagem corporal temporariamente do participante. Shimada, Fukuda e Hiraki (2009) mostraram que a discrepância temporal menor que 300 minutos entre o estímulo visual da mão de borracha e a estimulação tátil da mão do participante induz uma forte sensação de IMB, sendo crítico para o processamento da integração multissensorial e constituição da autoimagem corporal. Dessa forma, a precisão na congruência temporal durante um estudo experimental é importante para diminuir a variabilidade da estimulação experimentador-dependente dos pincéis e aumentar a confiabilidade dos resultados do estudo.

Como limitação, o estudo apresentou uma preocupação principal com a indução da IMB e com a precisão de uma única velocidade e angulação dos pincéis para estimulação tátil. Para estudos futuros sugerimos a exploração de diferentes velocidades e angulações dos pincéis para verificar a influência na intensidade da indução da IMB.

Conclusão

O presente estudo mostrou que a precisão da velocidade e angulação dos pincéis do equipamento eletrônico desenvolvido e testado foi eficaz na indução de maneira consistente a IMB, além de promover a sensação de incorporação da mão de borracha e modificar temporariamente a localização proprioceptiva da mão do participante. Dessa forma, o equipamento eletrônico testado neste estudo mostra-se como um recurso adicional para auxiliar em estudos experimentais que envolvam o paradigma da IMB.

Referências

- Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1523), 1499-1506.
- Bekrater-Bodmann, R., Foell, J., Diers, M., & Flor, H. (2012). The perceptual and neuronal stability of the rubber hand illusion across contexts and over time. *Brain research*, 1452, 130-139.
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands' feel'touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756.
- Brozzoli, C., Cardinali, L., Pavani, F., & Farnè, A. (2010). Action-specific remapping of peripersonal space. *Neuropsychologia*, 48(3), 796-802.
- Cardinali, L., Brozzoli, C., & Farnè, A. (2009). Peripersonal space and body schema: two labels for the same concept?. *Brain topography*, 21(3-4), 252-260.

- Cascio, C. J., Foss-Feig, J. H., Burnette, C. P., Heacock, J. L., & Cosby, A. A. (2012). The rubber hand illusion in children with autism spectrum disorders: delayed influence of combined tactile and visual input on proprioception. *Autism, 16*(4), 406-419.
- Cowie, D., Makin, T. R., & Bremner, A. J. (2013). Children's responses to the rubber-hand illusion reveal dissociable pathways in body representation. *Psychological Science, 24*(5), 762-769.
- Davies, A. M. A., & White, R. C. (2013). A sensational illusion: vision-touch synaesthesia and the rubber hand paradigm. *Cortex, 49*(3), 806-818.
- Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *The Journal of Neuroscience, 25*(45), 10564-10573.
- Ehrsson, H. H., Rosén, B., Stocksélius, A., Ragnö, C., Köhler, P., & Lundborg, G. (2008). Upper limb amputees can be induced to experience a rubber hand as their own. *Brain, 131*(12), 3443-3452.
- Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in pre-motor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science, 305*(5685), 875-877.
- Ehrsson, H. H., Wiech, K., Weiskopf, N., Dolan, R. J., & Passingham, R. E. (2007). Threatening a rubber hand that you feel is yours elicits a cortical anxiety response. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 104*(23), 9828-9833.
- Farmer, H., Tajadura-Jiménez, A., & Tsakiris, M. (2012). Beyond the colour of my skin: How skin colour affects the sense of body-ownership. *Consciousness and cognition, 21*(3), 1242-1256.
- Germine, L., Benson, T. L., Cohen, F., & Hooker, C. I. L. (2013). Psychosis-proneness and the rubber hand illusion of body ownership. *Psychiatry research, 207*(1), 45-52.
- Guterstam, A., Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2011). The illusion of owning a third arm. *PloS one, 6*(2), e17208.
- Haans, A., Kaiser, F. G., Bouwhuis, D. G., & IJsselsteijn, W. A. (2012). Individual differences in the rubber-hand illusion: predicting self-reports of people's personal experiences. *Acta psychologica, 141*(2), 169-177.
- Kammers, M. P., Verhagen, L., Dijkerman, H. C., Hogendoorn, H., De Vignemont, F., & Schutter, D. J. (2009). Is this hand for real? Attenuation of the rubber hand illusion by transcranial magnetic stimulation over the inferior parietal lobule. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(7), 1311-1320.
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P., Tsakiris, M., & Haggard, P. (2008). What is embodiment? A psychometric approach. *Cognition, 107*(3), 978-998.
- Maister, L., Sebanz, N., Knoblich, G., & Tsakiris, M. (2013). Experiencing ownership over a dark-skinned body reduces implicit racial bias. *Cognition, 128*(2), 170-178.

- Makin, T. R., Holmes, N. P., & Ehrsson, H. H. (2008). On the other hand: dummy hands and peripersonal space. *Behavioural brain research*, *191*(1), 1-10.
- Maravita, A., Spence, C., & Driver, J. (2003). Multisensory integration and the body schema: close to hand and within reach. *Current biology*, *13*(13), R531-R539.
- Mohan, R., Jensen, K. B., Petkova, V. I., Dey, A., Barnsley, N., Ingvar, M., & Ehrsson, H. H. (2012). No pain relief with the rubber hand illusion. *PLoS ONE*, *7*(12). DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0052400>.
- Mussap, A. J., & Salton, N. (2006). A 'rubber-hand' illusion reveals a relationship between perceptual body image and unhealthy body change. *Journal of Health Psychology*, *11*(4), 627-639.
- Naito, E., Roland, P. E., & Ehrsson, H. H. (2002). I feel my hand moving: a new role of the primary motor cortex in somatic perception of limb movement. *Neuron*, *36*(5), 979-988.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97-113.
- Paton, B., Hohwy, J., & Enticott, P. G. (2012). The rubber hand illusion reveals proprioceptive and sensorimotor differences in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *42*(9), 1870-1883.
- Reinersmann, A., Landwehrt, J., Krumova, E. K., Peterburs, J., Ocklenburg, S., Güntürkün, O., & Maier, C. (2013). The rubber hand illusion in complex regional pain syndrome: Preserved ability to integrate a rubber hand indicates intact multisensory integration. *Pain*, *154*(9), 1519-1527.
- Schütz-Bosbach, S., Tausche, P., & Weiss, C. (2009). Roughness perception during the rubber hand illusion. *Brain and Cognition*, *70*(1), 136-144.
- Shimada, S., Fukuda, K., & Hiraki, K. (2009). Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PLoS ONE*, *4*(7). DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0006185>.
- Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: a neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia*, *48*(3), 703-712.
- Tsakiris, M., Hesse, M. D., Boy, C., Haggard, P., & Fink, G. R. (2007). Neural signatures of body ownership: a sensory network for bodily self-consciousness. *Cerebral Cortex*, *17*(10), 2235-2244.
- White, R. C., Davies, A. M. A., & Davies, M. (2011). Two hands are better than one: a new assessment method and a new interpretation of the non-visual illusion of self-touch. *Consciousness and cognition*, *20*(3), 956-964.

Submissão: 12.9.2014

Aceitação: 19.11.2015