

Validesa de la resposta electrodermal com a mesura fisiològica d'avaluació de la sinestèsia

Evidència d'un estudi d'entrenament intensiu d'associació sinestèsica amb no sinestèsics

Resum / Abstract

La sinestèsia és una condició neurològica sensorial que es caracteritza pel fet que l'atribut d'un estímul desencadena inevitablement l'experiència conscient d'un atribut addicional (p. ex., la lletra A és veu de color vermell). Vàries investigacions han demostrat que persones no sinestèsiques entrenades en associacions sinestèsiques poden imitar els resultats que obtenen sinestèsics a nivell comportamental (test d'Stroop sinestèsic), però no a nivell fisiològic (test de condicionament sinestèsic de la resposta electrodermal –RED). Amb l'objectiu de corroborar la validesa del test de condicionament sinestèsic RED com a mesura d'avaluació de la sinestèsia, s'ha realitzat un estudi d'entrenament intensiu d'associació sinestèsica (lletres->colors) amb persones no sinestèsiques. 10 subjectes (grup experimental) han realitzat un entrenament intensiu d'entre 60-70 minuts i posteriorment han estat avaluats amb els citats tests, i 9 subjectes (grup control) han realitzat únicament els tests d'avaluació. Els resultats obtinguts mostren que només els subjectes experimentals, sotmesos a l'entrenament, presenten un efecte Stroop sinestèsic. En canvi, tant els subjectes experimentals com els controls no han registrat un efecte de condicionament sinestèsic RED. Les dades presents aporten noves evidències que suggereixen que el test de condicionament sinestèsic RED podria ser una mesura fisiològica vàlida d'avaluació de la sinestèsia.

PARAULES CLAU: sinestèsia, mesura, avaluació, entrenament, resposta electrodermal, condicionament, Stroop

Synaesthesia is a sensory neurological condition characterised by the fact that the attribute of a stimulus triggers inevitably the conscious experience of an additional attribute (e.g., the letter A is seen as red). Several investigations have proven that non-synaesthete persons trained in synaesthetic associations can mimic the results obtained by synaesthetes behaviourally (Synaesthetic Stroop test), but not physiologically (Skin conductance response –SCR– synaesthetic conditioning test). The aim of the present study is to corroborate the validity of the SCR synaesthetic conditioning test as a physiological measure to evaluate synaesthesia. In order to do so, 10 non-synaesthetes (experimental group) performed an intensive synaesthetic association training (letters->colours) of 60-70 minutes and were evaluated with the previously mentioned tests, and 9 additional non-synaesthetes (control group) undertook only the evaluation tests. The results obtained indicate that only the experimental subjects, who performed the training, showed a synaesthetic Stroop effect. However, both the experimental and the control subjects did not show a SCR synaesthetic conditioning effect. Hence, the present data provide new evidence which suggests that the SCR synaesthetic conditioning test could be a valid physiologic measure to evaluate synaesthesia.

KEYWORDS: *synaesthesia, measure, evaluation, training, skin conductance response, conditioning, Stroop*

Introducció

La sinestèsia és una condició neurològica que es caracteritza pel fet que l'atribut d'un estímul (p. ex., el seu so, forma, o significat) desencadena inevitablement l'experiència conscient d'un atribut addicional, en la mateix modalitat (p. ex., la lletra A es veu de color vermell) o en diferents modalitats (p. ex., la paraula cadira té gust a caramel). Perquè es consideri sinestèsia, aquesta associació ha de ser automàtica (i.e., no es pot evitar veure la lletra A de color vermell cada vegada que es visualitza o pensa amb la lletra), no apresada (i.e., no es pot atribuir l'associació a cap aprenentatge explícit o implícit), constant en el temps i pel subjecte (i.e., si una persona veu la lletra A de color vermell, l'ha de veure sempre d'aquest color), i conscient (i.e., és un fenomen subjectiu narrable) (Ward, 2013).

No obstant, investigacions recents han posat en dubte algun d'aquests criteris. Simner (2012) ha fet una revisió de les característiques que defineixen la sinestèsia i n'ha qüestionat quatre aspectes tradicionalment assumits: 1) el fet que es catalogui la condició com a únicament sensorial/perceptiva, 2) la necessitat de consistència en el temps de les experiències sinestèsiques, 3) la necessitat que les associacions sinestèsiques s'estenguin espacialment, i 4) l'assumpció global de la sinestèsia com a fenomen homogeni. L'autora ha proposat que una aproximació interessant seria definir la condició a partir dels seus trets neurobiològics, evitant així les confusions i limitacions del punt de vista comportamental. En rèplica a l'article, Eagleman (2012) ha senyalat que trobar una definició unívoca de sinestèsia és potser una fita impossible, i que una concepció espectral de la condició podria ser una alternativa complementària més profitosa i acurada a la seva inherent heterogeneïtat. Així mateix, Cohen-Kadosh i Terhune (2012) mostren el seu acord amb els punts discutits per Simner, però són prudents a l'hora d'advocar actualment per una definició neurobiològica, donat l'estadi primerenc de coneixements en què es troba la sinestèsia en aquesta àrea (per veure un resum actualitzat consultar Ward, 2013).

Malgrat que aquest procés definitori resta com a necessari front obert, –i sense menystenir les limitacions que aquest fet comporta–, la cerca de mesures per avaluar la presència de sinestèsia s'ha anat desenvolupant en paral·lel. Aquesta cerca és important per dos aspectes principals: 1) fer avançar els coneixements sobre la sinestèsia, i 2) trobar eines de 'diagnòstic' vàlides i fiables, tant per als implicats com, sobretot, per a l'àmbit científic, que necessita disposar de criteris objectius no autoreferits.

Atès, com ja s'ha comentat, que els correlats neurals d'aquesta condició són encara força desconeguts i especulatius, moltes mesures s'han centrat en les variables comportamentals de la sinestèsia. Una de les més utilitzades és l'anomenat test d'Stroop sinestèsic, que deriva de la lògica de l'Stroop bàsic (Stroop, 1935). L'Stroop sinestèsic consisteix en la presentació de lletres o números de colors diferents, que poden coincidir amb el color sinestèsic personal de la persona qui realitza el test (condició congruent) o no (condició incongruent). La tasca del subjecte és dir de quin color és aquella lletra o número realment (segons la seva experiència sinestèsica), independentment del color en què es presenti la lletra o número. És a dir, per exemple, per a un sinestèsic pel qui la lletra A és vermella, tant se li presenta la A vermella (condició congruent) com si se li presenta la A verda (condició incongruent), ha de donar la resposta de vermell. Varis estudis (Wollen i Ruggiero, 1983; Mills, Boteler i Oliver, 1999;

Odgaard, Flowers i Bradman, 1999; Dixon, Smilek, Cudahy i Merikle, 2000; Mattingley, Rich, Yelland i Bradshaw, 2001; Dixon, Smilek i Merikle, 2004; Ward, Li, Salih i Sagiv, 2007) han demostrat que els sinestèsics són considerablement més lents en la condició incongruent que en la congruent per la interferència que suposa l'associació involuntària sinestèsica (efecte Stroop sinestèsic), i per això s'ha suggerit que aquest test podria ser usat com a eina de diagnòstic de la condició.

No obstant, estudis posteriors han vist que aquest efecte Stroop sinestèsic pot ser imitat per aprenentatges purament associatius. Elias, Saucer, Hardie i Sartry (2003) van comparar un sinestèsic per lletres->colors i un no sinestèsic que havia adquirit associacions arbitràries per números->colors gràcies a la pràctica de creu de punt al llarg d'un període de vuit anys. Ambdós subjectes van ser avaluats amb tres tasques comportamentals (entre elles, dues versions de l'Stroop sinestèsic), mesurant la diferència dels temps de resposta pels assaigs congruents i incongruents; i amb tres tasques de processament numèric, registrant l'activitat cerebral mitjançant fMRI. Els resultats van mostrar que tant el sinestèsic com el no sinestèsic van obtenir diferències destacables pels assaigs incongruents respecte als congruents pel que fa als temps de resposta, però només el sinestèsic va mostrar activació cerebral significativa davant les tasques de processament numèric. Així mateix, Hancock (2006) va estudiar el cas de dos bessons monozigòtics de 12 anys que mostraven una forta associació números->colors l'origen de la qual era coneguda: un puzzle de la seva infantesa. Tot i que els bessons no manifestaven cap experiència sinestèsica, l'avaluació de les seves associacions números->colors mitjançant el test d'Stroop sinestèsic va mostrar un temps de resposta major pels estímuls incongruents, revelant un efecte anàleg a la interferència experimentada pels sinestèsics.

Amb l'objectiu d'aprofundir en aquestes observacions i buscar una mesura alternativa, Nicolas Rothen i Beat Meier, entre d'altres, han realitzat varis estudis d'entrenament associatiu sinestèsic entre lletres o números i colors amb persones no sinestèsiques avaluant-ne la seva resposta comportamental i fisiològica. Per realitzar aquestes avaluacions han utilitzat, respectivament, l'Stroop sinestèsic i la conductància electrodermal (Meier i Rothen, 2007, 2009; Rothen, Nyffeler, von Wartburg, Müri i Meier, 2010; Rothen, Wantz i Meier, 2011; Rothen et al., 2013).

La conductància o resposta electrodermal (RED) és una tècnica que mesura els canvis en l'activitat elèctrica de la pell conseqüència de canvis en el sistema simpàtic nerviós autònom, mitjançant l'adhesió d'elèctrodes al teixit palmar o plantar (típicament, als dits tènar i hipotènar de la mà no dominant). Aquesta tècnica ha demostrat ser una bona eina per enregistrar fenòmens psicològics (inespecífics) concomitants a aquests canvis fisiològics (Boucsein et al., 2012). Concretament, Rothen i Meier han utilitzat el test de condicionament sinestèsic de la resposta electrodermal (test de condicionament sinestèsic RED). Aquest test consisteix en associar o condicionar un so de sobresalt (estímul incondicionat) amb un color (estímul condicionat). Aquest estímul condicionat té però una doble naturalesa en el context sinestèsic, atès que es manifesta tant amb el color en si (i que és el que s'anomena de manera pròpiament dita estímul condicionat color), com amb la lletra associada a aquest color, ja sigui de forma natural en sinestèsics o mitjançant un entrenament en no sinestèsics (i que s'anomena estímul condicionat lletra). En ambdós tipus de poblacions es registra un augment

significatiu de la resposta RED pels estímuls condicionats color, provocat per l'expectació generada pel subjecte d'aparició del so associat prèviament al color. D'altra banda, s'ha observat que, davant dels estímuls condicionats lletra, les persones sinestèsiques mostren també un augment significatiu de la RED (efecte condicionament RED sinestèsic), per l'experiència indirecta del color condicionat. Però que, en canvi, aquesta resposta no es produeix en persones no sinestèsiques, tant si han estat entrenades en associacions sinestèsiques com si no ho han estat (Meier i Rothen, 2007, 2009; Rothen et al., 2013).

Partint d'aquests referents, l'objectiu del present estudi ha estat contribuir a l'estudi de la validesa de la RED com a mesura fisiològica per a determinar la presència de sinestèsia.

Per dur a terme aquesta avaluació s'ha realitzat un entrenament d'associació sinestèsica lletres->colors en persones no sinestèsiques, i posteriorment s'han estudiat les seves respostes comportamental (test d'Stroop sinestèsic) i fisiològica (test de condicionament sinestèsic RED). La metodologia s'ha adoptat dels procediments experimentals de les investigacions de referència citades, introduint un canvi diferencial. Els estudis de referència que han realitzat un entrenament sinestèsic (Meier i Rothen, 2009; Rothen et al., 2011, 2013) ho han fet al llarg de diversos dies consecutius (7, 10 i 20 dies, respectivament), amb entrenaments d'uns 10 minuts de durada per sessió/dia (per tant: ± 70 , ± 100 i ± 200 minuts totals). La novetat presentada per aquesta investigació és la realització d'un entrenament intensiu en una sola sessió (sense descansos) d'una durada aproximada d'entre 60-70 minuts, i l'administració immediatament posterior dels tests d'avaluació. La durada de l'entrenament es va determinar aproximant la xifra al mínim de minuts realitzats pels estudis previs i tenint en compte l'afectació dels nivells d'atenció i cansament mental que la particularitat intensiva comportava.

Atesos els antecedents experimentals previs, es formula la següent hipòtesi sobre aquest estudi: La realització d'un entrenament intensiu d'associació sinestèsica lletres->colors d'uns 60-70 minuts en persones no sinestèsiques: 1) causa un efecte Stroop sinestèsic (i.e., s'obté un temps de resposta superior significatiu pels assaigs incongruents en comparació als assaigs congruents al test d'Stroop sinestèsic), però 2) *no* causa un efecte de condicionament RED sinestèsic (i.e., *no* s'obté un augment significatiu de la RED pels estímuls condicionats lletra al test de condicionament sinestèsic RED).

Mètode

PARTICIPANTS

19 persones no sinestèsiques amb perfil de població jove adulta universitària van participar a l'estudi (12 dones i 7 homes; $M = 26,21$ anys, $DE = 2,68$). 10 d'aquestes persones van formar part del grup experimental (7 dones i 3 homes; $M = 25,9$ anys, $DE = 3,28$), i 9 del grup control (5 dones i 4 homes; $M = 26,56$ anys, $DE = 1,94$).

El grup experimental va ser sotmès a la totalitat de les proves (entrenament intensiu d'associació sinestèsica, test de condicionament sinestèsic RED i test d'Stroop sinestèsic –en aquest ordre), mentre que el grup control només va realitzar els tests d'avaluació. La assignació dels subjectes a un grup o altre es va realitzar de forma aleatòria, només intentant

mantenir una certa equitat entre gèneres. El procediment experimental es va realitzar d'acord als criteris de consideracions ètiques de la Declaració de Hèlsinki (World Medical Association, 2013) i es va obtenir el consentiment informat dels participants. La participació va ser voluntària i no es va donar cap mena de retribució econòmica, material o acadèmica.

Tots els subjectes van realitzar un test previ de cribratge sinestèsic per descartar la presència de sinestèsia. El test utilitzat va ser la *Synesthesia Battery* (Eagleman, 2007), un qüestionari estandarditzat (disponible en línia: <http://synesthete.org/>) que mesura la consistència interna de l'experiència sinestèsica, criteri –ara per ara– considerat com un dels determinats de la genuïtat de sinestèsia. La *Synesthesia Battery* permet avaluar, entre d'altres, les associacions pel que fa lletres i/o números i colors, proporcionant una puntuació automàtica que estableix que un resultat per sota d'1.0 indica presència de sinestèsia, i un resultat per sobre d'1.0 absència. 14 dels participants no van obtenir cap puntuació perquè les seves associacions eren insuficients per ser avaluades, i els 5 restants van obtenir puntuacions per sobre d'1.0 ($M = 1,74$, $DE = 0,70$).

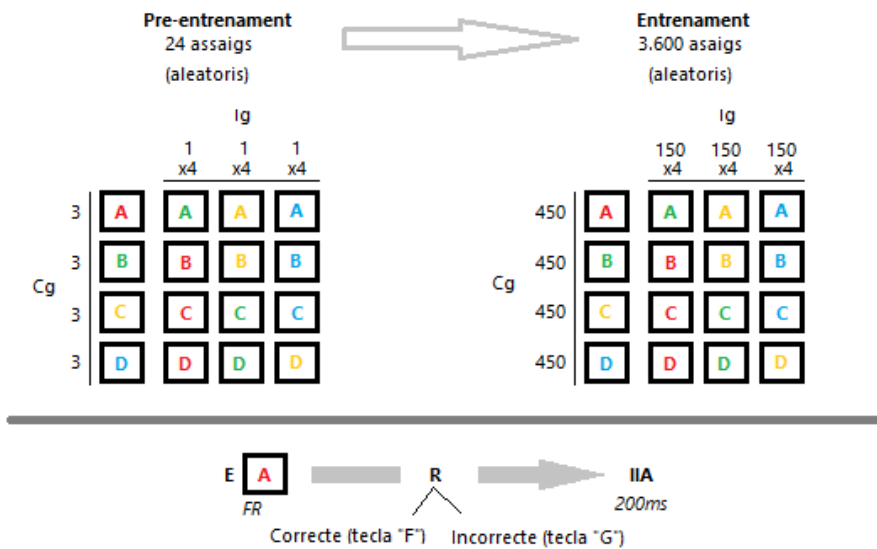
MATERIALS I DISSENY EXPERIMENTAL

Tot el procediment experimental es va realitzar en una aula laboratori de la Facultat de Psicologia de la Universitat Autònoma de Barcelona. L'aula, entre d'altres facilitats, compta amb petites sales-cabines isolades que estan especialment dissenyades per aquests tipus d'experiments, ja que ofereixen aïllament acústic i control tèrmic, dos factors importants per registrar la resposta electrodermal. Cada cabina (d'uns 9 metres quadrats) consta d'una butaca inclinable i un braç extensor per recolzar l'ordinador per la presentació d'estímuls, així com d'una taula i vàries cadires (Figura 1). Tots els participants van realitzar les diferents proves en la mateixa aula-cabina, amb la mateixa disposició del mobiliari i mateixa temperatura, intentant garantir així amb totes aquestes mesures el major control possible de l'entorn.

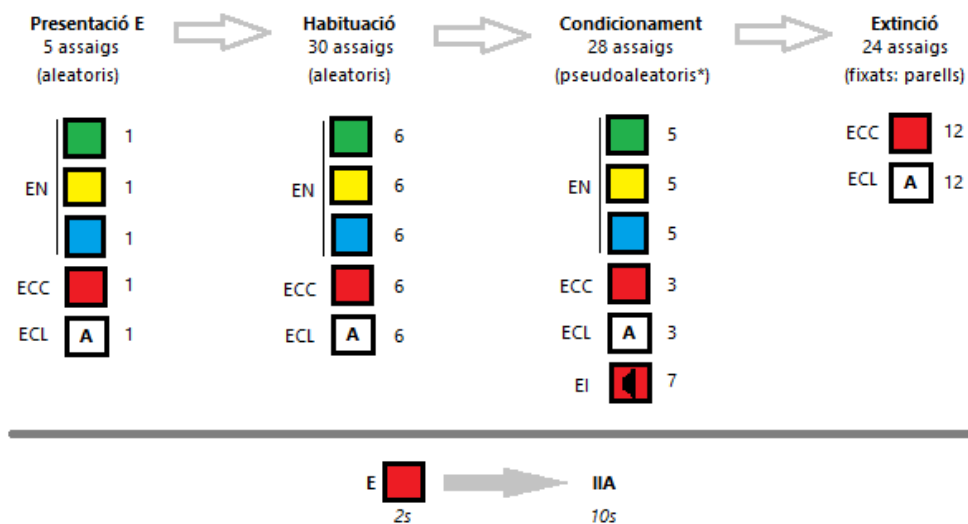


Figura 1. Fotografia de l'aula-cabina on es van realitzar els experiments.

a. Entrenament intensiu d'associació sinestèsica



b. Test de condicionament sinestèsic RED



c. *Test de condicionament sinestèsic RED: seqüència específica fase 'Condicionament'



d. Test d'Stroop sinestèsic

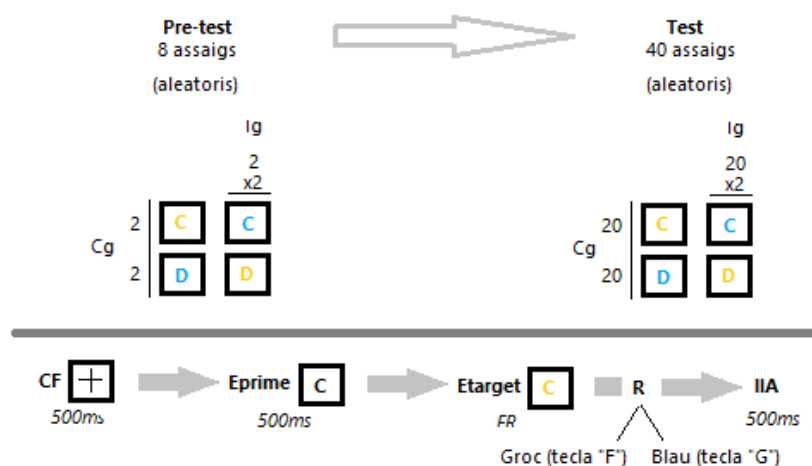


Figura 2a, b, c i d. Resum esquemàtic dels procediments experimentals de les diferents tasques de l'experiment (CF = Creu de fixació, E = Estímul, R = Resposta, IIA = Interval inter-assaig, FR = Fins resposta Cg = Congruent, Ig = Incongruent, EN = Estímul neutre, ECL = Estímul condicionat lletra, ECC = Estímul condicionat color, EI = Estímul incondicionat).

Entrenament intensiu d'associació sinestèsica (Figura 2a). Es va realitzar en un entrenament d'associació sinestèsica d'una sola sessió (sense descansos) d'uns 60-70 minuts de durada. La tasca es va realitzar a través del programari informàtic Inquisit 3.0.6.0 (Millisecond Software™, Estats Units d'Amèrica) amb sistema Windows 8 i monitor d'ordinador de 15 polzades.

L'entrenament va consistir en l'associació de 4 lletres amb 4 colors específics (A-vermella, B-verda, C-groga i D-blava) mitjançant un exercici de presentació d'estímuls visuals amb requeriment de resposta per part dels participants. Al començar l'entrenament s'informava als subjectes que l'objectiu era aprendre aquestes associacions i, que per tal d'assolir-ho, se'ls presentarien les lletres esmentades en un dels 4 colors definits i ells haurien de donar una resposta de 'correcte' (condició congruent; p. ex., A vermella) o 'incorrecte' (condició incongruent; p. ex., A verda), prement les tecles del teclat designades. Així mateix, van rebre la instrucció afegida de fer-ho tan ràpida i acuradament com els fos possible.

El procediment constava de dues fases: un pre-entrenament (24 assaigs) i, seguidament, l'entrenament pròpiament dit (3.600 assaigs¹). En ambdues fases cada lletra era presentada en un 25% dels assaigs i d'aquests, 50% eren congruents i 50% incongruents. Les lletres es mostraven en Arial negreta de 175 punts (ocupant el 40,72% de la pantalla), centrades, sobre fons blanc, i restaven en pantalla fins que el subjecte emetia una resposta (correcte – tecla "F" / incorrecte – tecla "J"). L'interval inter-assaig (IIA) era de 200 mil·lisegons. Al pre-entrenament es proporcionava el recordatori de les associacions lletres->colors i si el subjecte emetia una resposta errònia apareixia en pantalla una "X" com a feedback d'error; mentre que a l'entrenament pròpiament dit només es donava el feedback d'error.

Test de condicionament sinestèsic RED (Figura 2b). Es va realitzar un condicionament sinestèsic so-color de la resposta electrodermal (RED) d'uns 16 minuts de durada. Els subjectes van seure a una butaca confortable a uns 60 centímetres de la pantalla d'ordinador. Se'ls va demanar silenci, que es relaxessin i que únicament estiguessin atents als estímuls visuals que apareixerien en pantalla; que no es requeria cap resposta verbal o motora per part seva. La RED dels participants va ser mesurada de forma contínua durant tot el test amb dos elèctrodes sintonitzats a 35Hz als dits tènar i hipotènar de la seva mà no dominant, mitjançant l'eina Biopac (Biopac Systems, Inc., Estats Units d'Amèrica): unitat d'adquisició MP36 i programari Biopac Student Lab PRO 3.7.3 (a la Figura 3 es pot observar un exemple del registre RED proporcionat pel programa). La presentació d'estímuls es va realitzar a través del programari informàtic Inquisit 3.0.6.0 (Millisecond Software™, Estats Units d'Amèrica) amb sistema Windows 8 i un monitor d'ordinador de 15 polzades.

¹ Els 3.600 assaigs es van definir a partir del càlcul predictiu d'1 segon de mitjana per emissió de resposta per assaig.

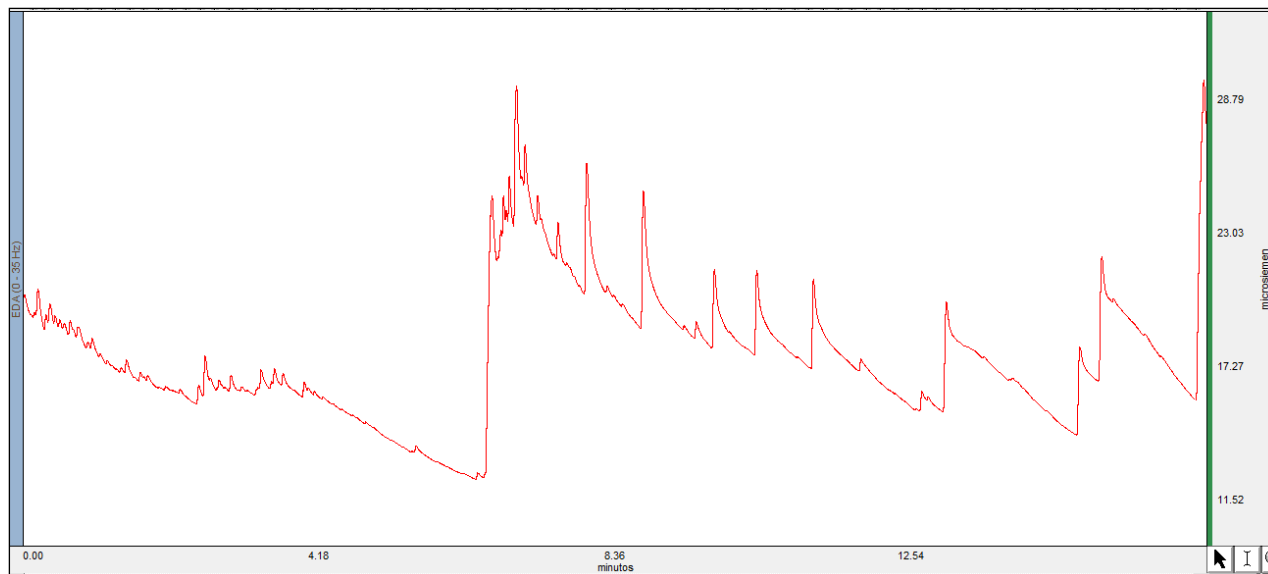


Figura 3. Captura d'un exemple de registre RED proporcionat pel programari Biopac.

El test va consistir en associar o condicionar un so de sobresalt (estímul incondicionat o EI) al color vermell (estímul condicionat o EC). Per tal d'aconseguir aquest objectiu, en una sèrie d'assaigs es presentava aquest so (EI) amb concurrència del color (EC), mentre que en d'altres es presentava només el color (en forma de color directe –estímul condicionat color o ECC– o indirectament amb la lletra associada al color –estímul condicionat lletra o ECL), alternant també amb assaigs amb colors neutrals sense so (estímuls neutres o EN). Amb aquest procediment s'esperava provocar que l'efecte d'activació de la RED produït pel so es mimetitzés als assaigs de color sense so per l'expectació del mateix.

L'EI es tractava d'un so de botzina d'uns 87dB. L'ECC consistia en un quadrat vermell de 775 x 110 píxels, centrat, sobre fons blanc. L'ECL en un quadrat blanc amb la lletra A (de color negre) en Arial negreta de 175 punts (ocupant el 40,72% de la pantalla), centrat, sobre fons blanc. I els EN eren tres quadrats diferents de color verd, groc i blau (resta de colors de l'entrenament previ) de 775 x 110 píxels, centrats, sobre fons blanc. Els estímuls restaven en pantalla durant 2 segons, i l'interval inter-assaig (IIA) era de 10 segons.

El procediment es dividia en quatre fases que es realitzaven una seguida de l'altra: presentació dels estímuls (5 assaigs), habituació (30 assaigs), condicionament (28 assaigs) i extinció (24 assaigs). La presentació dels assaigs consistia en mostrar els diferents estímuls per tal que els participants s'hi familiaritzessin. A la fase d'habituació es presentaven els cinc quadrats de forma aleatòria: 20% dels assaigs per cada quadrat. A la fase de condicionament es presentaven els cinc quadrats en un ordre pseudoaleatori (veure Figura 2c): 7 quadrats vermells amb concurrència de l'EI, 3 quadrats vermells sense l'EI (ECC), 3 quadrats blancs amb la lletra A sense l'EI (ECL), i 15 quadrats amb els tres colors restants sense l'EI (EN). Per últim, a la fase d'extinció es presentaven 12 parells de quadrats vermells i quadrats blancs.

Test d'Stroop sinestèsic (Figura 2d). Es va realitzar un test d'Stroop sinestèsic d'uns 2 minuts de durada, mitjançant el programari informàtic Inquisit 3.0.6.0 (Millisecond Software™, Estats Units d'Amèrica) amb sistema Windows 8 i un monitor d'ordinador de 15 polzades.

El test va consistir en la presentació de 2 lletres amb 2 colors diferents. Els subjectes havien de donar una resposta mitjançant les tecles designades del teclat sobre quin era el color real d'aquelles lletres (segons les associacions apreses prèviament pel grup experimental, i per instrucció pel grup control), independentment de què el color en què aquestes lletres apareixien fos el correcte (condició congruent) o incorrecte (condició incongruent). Per tal de contrabalançar amb el test anterior, es van utilitzar les lletres C-groga i D-blava. Al començar el test s'informava als participants de l'objectiu del mateix i rebien la instrucció afegida de fer-ho tan ràpida i acuradament com els fos possible.

El procediment constava de dues fases: un pre-test (8 assaigs) i, seguidament, el test pròpiament dit (40 assaigs). En ambdues fases cada lletra era presentada en un 50% dels assaigs i d'aquests, 50% eren congruents i 50% incongruents. Cada assaig comptava amb les següents diapositives: creu de fixació, estímul *prime* (lletra de color negre), estímul *target* (lletra de color congruent/incongruent) i interval inter-assaig (IIA). Totes tenies una durada de 500 mil·lisegons excepte l'estímul *target*, que es mantenia en pantalla fins a l'emissió d'una resposta (color groc – tecla "F" / color blau – tecla "J"). Les lletres es mostraven en Arial negreta de 175 punts (ocupant el 40,72% de la pantalla), i les creus de fixació en Arial de 165 punts (ocupant el 37,20% de la pantalla); ambdós tipus d'estímuls centrats, sobre fons blanc. Al pre-test es proporcionava el recordatori de les associacions lletres->colors i si el subjecte emetia una resposta errònia apareixia en pantalla una "X" com a feedback d'error, mentre que al test pròpiament no hi havia ni recordatori ni feedback d'error.

ANÀLISI DE DADES

Les anàlisis estadístiques es van realitzar mitjançant el programari informàtic SPSS Statistics 22.0.0.0 (IBM Corporation, Estats Units d'Amèrica).

De la prova d'entrenament es va realitzar una anàlisi estadística descriptiva de les dades observant les diferències entre els temps d'entrenament, els temps de resposta i els percentatges de respostes correctes dels diferents subjectes.

Pel que fa al test de condicionament sinestèsic RED, per tal d'explorar si s'havia produït un efecte de condicionament sinestèsic pels estímuls condicionats lletra (veure *Introducció*), es va realitzar una ANOVA (anàlisi de la variància) de tres factors mixta de mesures repetides i disseny 2x2x4. Els factors eren, respectivament: GRUP (grup experimental i grup control) com a variable independent entre-subjectes, i FASE (habitució i condicionament²) i ESTÍMUL (estímul neutre, estímul condicionat lletra, estímul condicionat color i estímul incondicionat) com a variables independents intra-subjectes; la RED (mesurada en microsiemens o μS) era la variable dependent.

Per últim, l'interès del test d'Stroop sinestèsic recau en la diferència entre els temps de resposta dels assaigs incongruents respecte als congruents (variable que s'ha anomenat TR-IG-CG), ja que aquest valor és el que determina l'efecte Stroop sinestèsic (veure *Introducció*). Per tal d'anitzar-lo, es va realitzar una ANOVA unifactorial amb factor GRUP (grup experimental i grup control) com a variable independent entre-subjectes, i amb TR-IG-CG (mesurada en mil·lisegons o ms) com a variable dependent.

² La fase d'extinció es va excloure de l'anàlisi perquè no aportava cap informació rellevant.

Resultats

Entrenament intensiu d'associació sinestèsica. A la Taula 1 es poden consultar les mitjanes i desviacions estàndards de l'entrenament intensiu realitzat per part del grup experimental:

Grup		TE	TR-CG	TR-IG	TR-g	C-CG	C-IG	C-g
N		(min)	(ms)	(ms)	(ms)	(%)	(%)	(%)
Experimental	M	64,50	772,84	880,86	826,85	92,72	93,095	92,91
	DE	7,215	109,22	160,13	133,45	2,48	2,69	2,35

Taula 1. Estadístics descriptius de l'entrenament intensiu d'associació sinestèsica (TE = Temps d'entrenament, TR = Temps de resposta, C = Respostes correctes, CG = Assaigs congruents, IG = Assaigs incongruents, g = Global (assaigs congruents i incongruents)).

S'observa que el temps de resposta global va ser ràpid, estant per sota d'1 segon de mitjana ($M = 826,85$ mil·lsegons o ms, $DE = 133,45$). Així mateix, també es va obtenir un percentatge de respostes correctes global molt elevat, per sobre del 90% ($M = 92,91\%$, $DE = 2,35$). D'altra banda, destaca el fet que els assaigs incongruents van registrar un temps de resposta visiblement superior al dels assaigs congruents (respectivament: $M = 880,86$ ms, $DE = 160,13$; $M = 772,84$ ms, $DE = 109,22$). La realització d'un *t*-test post-hoc va confirmar la significació d'aquesta diferència ($t(9) = 5,472$, $p < ,001$). En canvi, no es van observar diferències estadísticament significatives pel que fa al percentatge de respostes correctes entre els dos tipus d'assaigs ($t(9) = ,549$, $p = ,597$) (Figura 4).

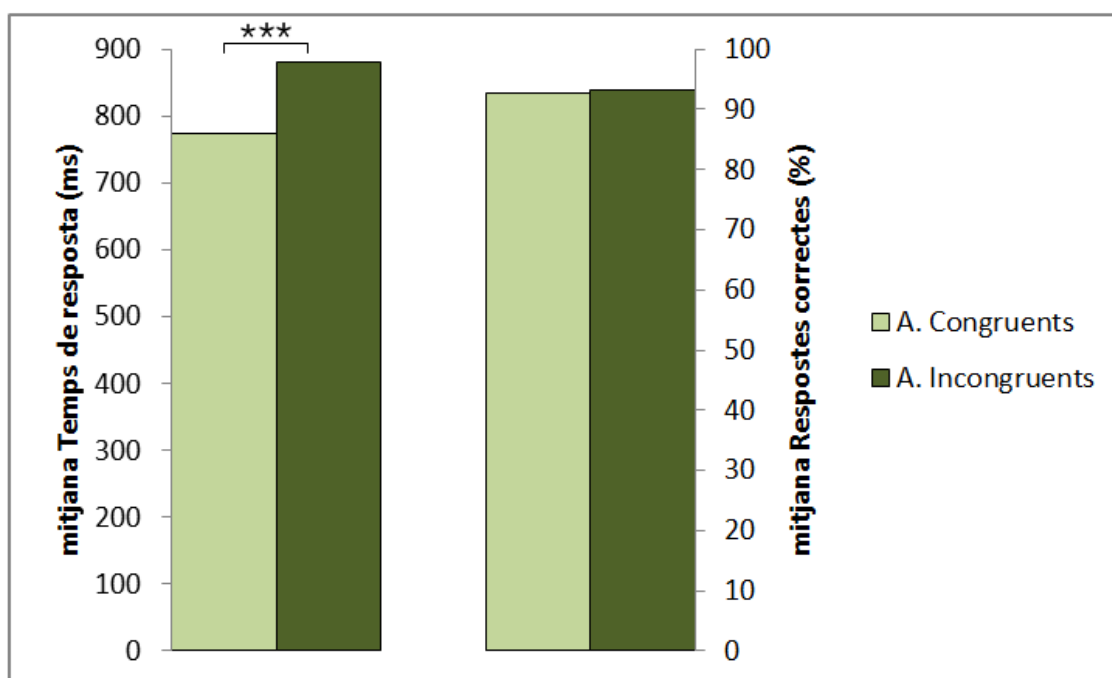


Figura 4. Gràfic dels estadístics descriptius de l'entrenament intensiu d'associació sinestèsica.

Test de condicionament sinestèsic RED. Degut a problemes tècnics durant el registre de dades, 2 subjectes del grup experimental van haver de ser exclosos de l'anàlisi, quedant d'aquesta manera els següents participants totals: grup experimental (8) i grup control (9).

A la Taula 2 es mostren les mitjanes i desviacions estàndards dels valors de la RED pels diferents estímuls per fase i per grup obtingudes durant el test de condicionament sinestèsic:

Grup N	Fase		Estímul (μ S RED)			
			EN	ECL	ECC	EI
Experimental 8	Habitució	M	,012	,013	,012	–
		DE	,002	,002	,002	–
	Condicionament	M	,013	,014	,319	,811
		DE	,001	,001	,149	,498
Control 9	Habitució	M	,018	,016	,017	–
		DE	,002	,001	,001	–
	Condicionament	M	,016	,016	,190	1,512
		DE	,001	,001	,141	,469

Taula 2. Estadístics descriptius de les dades RED del test de condicionament sinestèsic (EN = Estímuls neutrals, ECL = Estímul condicionat lletra, ECC = Estímul condicionat color, EI = Estímul incondicionat).

S'observa que, per als dos grups, a la fase d'habitució tots els estímuls tenen unes mitjanes RED similars, mentre que a la fase de condicionament els estímuls ECC i EI mostren una activació notablement superior en comparació als estímuls EN i ECL.

L'anàlisi³ va mostrar un efecte d'interacció estadísticament significatiu pels factors FASE x ESTÍMUL ($F(1,157, 17,358) = 9,946, p = ,004^4$), indicant diferències d'activació de la RED pels diferents estímuls dependents de les diferents fases. La realització de *t*-tests post-hoc va confirmar i especificar una activació major durant la fase d'habitució respecte a la fase de condicionament pels estímuls ECC ($t(16) = 2,346, p = ,032$) i pels estímuls EI ($t(16) = 3,416, p = ,004$) (Figura 5).

³ Cal mencionar que els supòsits del model [ANOVA] es violen parcialment: la distribució normal de les dades i l'homogeneïtat de les seves variàncies són parcials (es va realitzar una neteja de valors extrems sobre les dades directes i posteriorment es van provar diferents transformacions aritmètiques de dades, però aquestes accions tampoc van poder corregir les citades limitacions). Per tant, els resultats derivats de l'anàlisi s'han de prendre amb precaució. No obstant, es van explorar les anàlisis complementàries del model mixt lineal i el model mixt lineal generalitzat, proposats per varis autors com a mètodes alternatius vàlids per a casuístiques similars (Wolfinger i O'Connell, 1993; Werbeke i Lesaffre, 1996; McCulloch i Searle, 2000; Wallace i Green, 2002; Vangeneugden, Laenen, Geys, Renard i Molenberghs, 2004; Molenberghs, Verbeke, Demétrio i Vieira, 2010), i la determinació de significacions d'efectes va ser igual a la del model ANOVA.

⁴ El test de l'esfericitat de Mauchly va indicar que l'assumpció de l'esfericitat havia estat violada ($\chi^2(5) = 177,739, p < ,001$) (veure Nota al peu 3). Per tant, es va utilitzar la correcció de Greenhouse-Geisser ($\xi = ,386$) per analitzar el valor de les significacions (*p*).

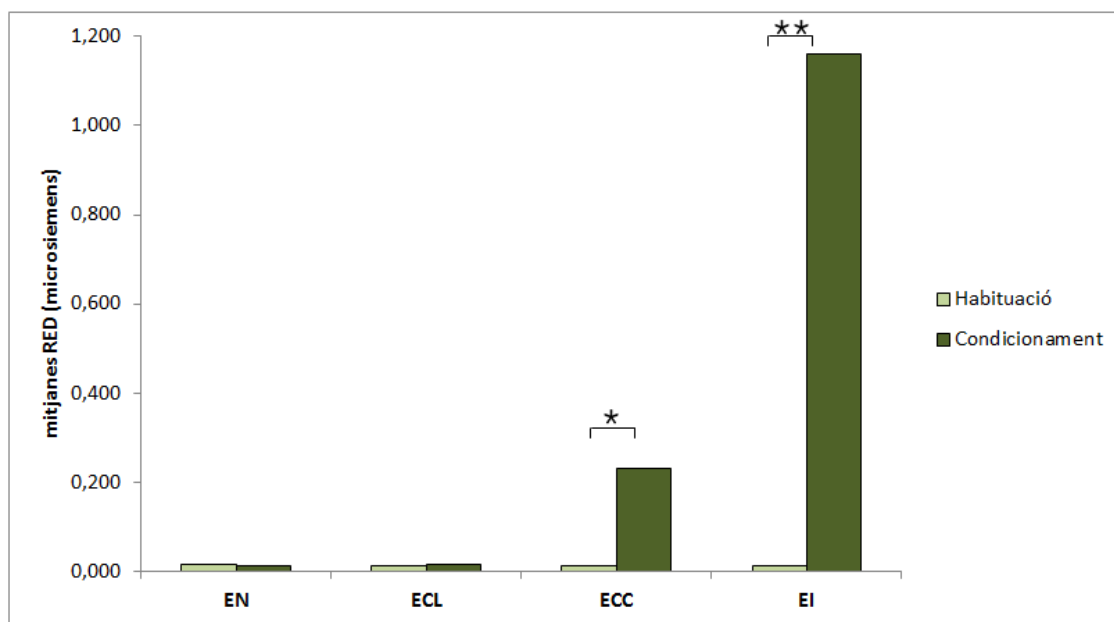


Figura 5. Gràfic dels estadístics descriptius del test de condicionament sinestèsic RED i de l'efecte d'interacció dels factors FASE x ESTÍMUL pels estímuls ECC i EI.

En canvi, no es van observar efectes estadísticament significatius per la resta d'interaccions: FASE x GRUP ($F(1, 15) = ,518, p = ,483$), ESTÍMUL x GRUP ($F(1,157, 17,349) = 1,183, p = ,301$) o FASE x ESTÍMUL x GRUP ($F(1,157, 17,358) = 1,183, p = ,301$). Aquests resultats indiquen globalment que el factor GRUP no va incidir en la resta de variables. És a dir, que no van haver-hi diferències entre grups. Aquesta afirmació queda corroborada per la prova d'efecte principal del factor entre-subjectes GRUP ($F(1, 15) = ,586, p = ,456$).

Les anàlisis dels efectes principals intra-subjectes confirmen i amplien els resultats de la interacció FASE x ESTÍMUL. Es va observar un efecte estadísticament significatiu pel factor FASE ($F(1, 15) = 12,729, p = ,003$), indicant que la RED dels subjectes era diferent al llarg de les diferents fases, independentment dels estímuls. La realització d'un *t*-test post-hoc va confirmar i especificar una activació major durant la fase de condicionament respecte a la fase d'habitució ($t(16) = 3,672, p = ,002$).

Així mateix, es va trobar un efecte principal estadísticament significatiu pel factor ESTÍMUL ($F(1,157, 17,349) = 9,948, p = ,004$), indicant diferències d'activació de la RED entre els diferents estímuls, independentment de la fase. La realització de *t*-tests post-hoc va confirmar i especificar activacions majors: pels estímuls ECC en comparació als estímuls EN ($t(16) = 2,346, p = ,032$) i als estímuls ECL ($t(16) = 2,343, p = ,032$); i pels estímuls EI en comparació als estímuls EN ($t(16) = 3,414, p = ,004$), als estímuls ECL ($t(16) = 3,415, p = ,004$) i als estímuls ECC ($t(16) = 2,841, p = ,012$).

Test d'Stroop sinestèsic. A la Taula 3 es poden observar les mitjanes i desviacions estàndards de la prova:

Grup N		TR-CG (ms)	TR-IG (ms)	TR-g (ms)	TR-IG-CG (ms)	C-CG (%)	C-IG (%)	C-g (%)
Experimental 10	M	348,40	407,73	378,065	59,33	92,50	86,00	89,25
	DE	108,86	153,98	127,16	80,27	13,59	31,07	18,86
Control 9	M	459,34	376,94	418,14	-82,40	100,00	97,78	98,89
	DE	154,30	92,57	105,60	141,95	0	3,63	1,82

Taula 3. Estadístics descriptius del test d'Stroop sinestèsic (TR = Temps de resposta, C = Respostes correctes, CG = Assaigs congruents, IG = Assaigs incongruents, TR-IG-CG = Diferència entre el temps de resposta dels assaigs incongruents i els congruents, g = Global (assaigs congruents i incongruents).

S'observa que el temps de resposta global va ser molt ràpid per als dos grups, estant per sota de 500 ms de mitjana (grup experimental $M = 378,065$ ms, $DE = 127,16$; grup control $M = 418,14$ ms, $DE = 105,60$). Així mateix, també es va obtenir un percentatge de respostes correctes global elevat pel grup experimental, al voltant del 90% ($M = 89,25\%$, $DE = 18,86$), i molt elevat pel grup control, quasi del 100% ($M = 98,89\%$, $DE = 1,82$). Els dos grups van mostrar un percentatge de respostes correctes lleugerament superior pels assaigs congruent respecte als congruents.

L'anàlisi estadística⁵ va determinar que el factor GRUP era estadísticament significatiu ($F(1, 17) = 7,380$, $p = ,015$), indicant, per tant, que hi havia diferències pels valors TR-IG-CG segons el grup. L'exploració de les mitjanes TR-IG-CG amplia i especifica aquestes diferències, mostrant que el grup experimental va obtenir una diferència positiva (i.e., el temps de resposta dels assaigs congruents era superior al dels assaigs incongruents) de + 59,33 ms, mentre que al grup control es va observar una diferència negativa o no diferència de - 82,40 ms (veure Figura 8).

⁵ Cal mencionar que els supòsits del model [ANOVA] es violen parcialment pel que fa a la distribució normal de les dades pel grup control ($D(9) = ,310$, $p = ,013$). Per tant, els resultats derivats de l'anàlisi s'han de prendre amb precaució.

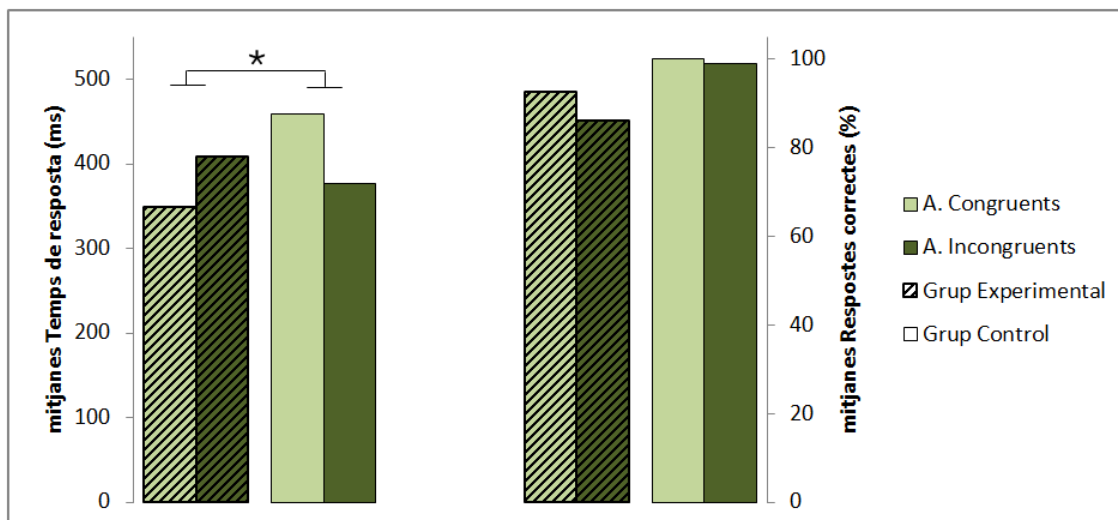


Figura 6. Gràfic dels estadístics descriptius del test d'Stroop i de l'efecte principal del factor GRUP pel que fa la diferència entre temps de resposta dels assaigs incongruents respecte als congruents (TR-IG-CG).

Discussió

L'objectiu d'aquest estudi ha estat contribuir a l'avaluació de la validesa de la RED com a mesura fisiològica per determinar la presència de sinestèsia. Amb aquesta intenció, s'ha efectuat un entrenament intensiu d'associació sinestèsica lletres->colors d'uns 60-70 minuts en persones no sinestèsiques (10 subjectes), estudiant posteriorment les seves respostes comportamental (test d'Stroop sinestèsic) i fisiològica (test de condicionament sinestèsic RED) i comparant-los amb un grup control anàleg (9 subjectes). La hipòtesi de l'estudi era que la realització d'aquest entrenament; 1) causaria un efecte Stroop sinestèsic (i.e., s'obté un temps de resposta superior significatiu pels assaigs incongruents en comparació als congruents al test d'Stroop sinestèsic), però 2) *no* causaria un efecte de condicionament sinestèsic (i.e., *no* s'obté un augment significatiu de la RED pels estímuls condicionats lletra al test de condicionament sinestèsic RED).

Pel que fa la primera subhipòtesi, els resultats han mostrat que s'ha produït aquest efecte Stroop sinestèsic. L'anàlisi de dades sobre la diferència dels temps de resposta pels assaigs incongruents en comparació als assaigs congruents al test d'Stroop sinestèsic ha revelat diferències estadísticament significatives entre els dos grups: mentre que el grup experimental ha obtingut una diferència positiva (i.e., temps de resposta superior pels assaigs incongruents superior que pels congruents), el grup control ha obtingut una diferència negativa o no diferència. Concretament, el grup experimental va registrar de mitjana 59,33 ms més pels assaigs incongruents que pels congruents. Investigacions prèvies han determinat que els sinestèsics projectors (aquells que experimenten els colors al món exterior) mostren un efecte Stroop més fort, d'entre 160 i 200 ms, mentre que pels sinestèsics associadors (aquells que experimenten els colors a la seva ment) l'efecte és més dèbil, d'entre 30 i 40 ms (Dixon et al, 2004; Ward et al., 2007). D'altra banda, els estudis de referència van obtenir els següents efectes Stroop: 38 ms (Elias et al., 2003), 25 ms (Hancock, 2006), 23 ms (Meier i Rothen, 2009)

(la resta d'estudis reporten diferències significatives però no especifiquen els temps concrets; Rothen et al., 2011, 2013). A Figura 7 es poden observar resumidament els diferents efectes Stroop comentats. Tenint en compte totes aquestes dades, es pot afirmar, per tant, que a l'estudi present s'ha produït visiblement un efecte Stroop sinestèsic. Afegir, a més, que aquest efecte ha estat d'una magnitud considerable, superant el llindar dels sinestèsics associadors i els resultats dels estudis de referència.

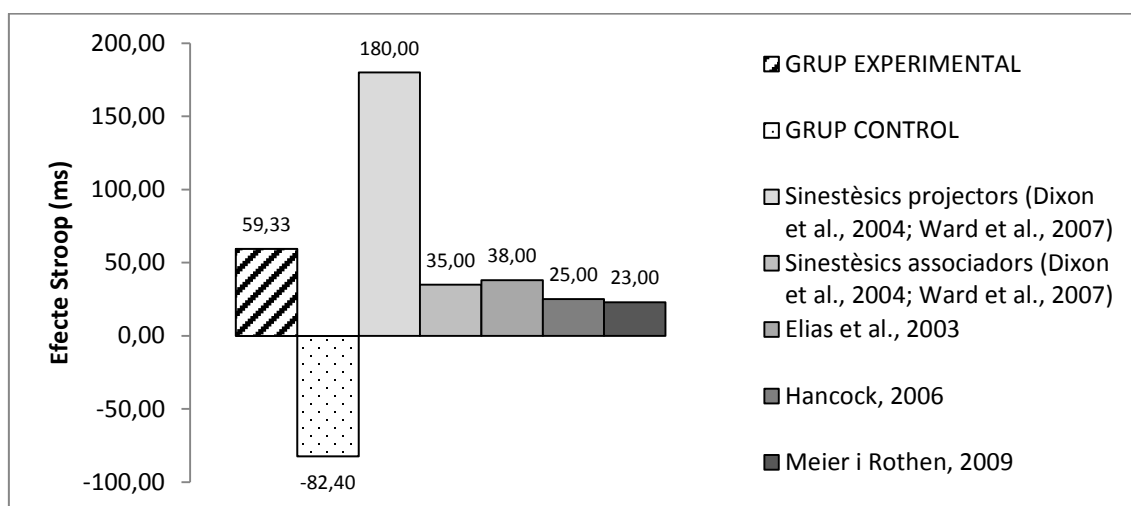


Figura 7. Comparació de l'efecte Stroop obtingut en aquest estudi amb els efectes Stroop registrats en investigacions prèvies.

En relació a la segona subhipòtesi, els resultats han confirmat que l'entrenament d'associacions sinestèsiques *no* ha comportat un efecte de condicionament sinestèsic de la RED. L'anàlisi de les dades de l'activitat de la RED durant el test de condicionament sinestèsic ha determinat que, a diferència dels estímuls condicionats colors o ECC (quadrats vermells), els estímuls condicionats lletra o ECL (lletra associada prèviament al mateix color pel grup experimental) *no* han registrat una activació major significativa durant la fase d'habitució respecte a la fase de condicionament, i, de fet, han mostrat uns valors comparables als estímuls neutrals (colors diferents). Aquestes dades indiquen, per tant, que s'ha produït un condicionament so-color (i.e., augment RED ECC) però *no* un condicionament so-color sinestèsic (i.e., *no* augment RED ECL). Cal destacar també, que l'anàlisi tampoc ha mostrat diferències significatives entre grups; és a dir, que l'entrenament realitzat pel grup experimental no ha incidit de cap manera en el rendiment d'aquest test. Aquests resultats són consistents amb allò observat a les investigacions prèvies (Elias et al., 2003; Hancock, 2006; Meier i Rothen, 2007, 2009; Rothen et al., 2013).

Diverses raons poden explicar perquè l'efecte Stroop sinestèsic s'ha produït i l'efecte de condicionament sinestèsic *no*. L'argument més potent –i en consonància amb les observacions efectuades–, és que l'entrenament realitzat ha produït un aprenentatge associatiu entre lletres i colors, però no ha aconseguit provocar una experiència perceptiva d'aquest color. O, dit d'una altra manera, no ha provocat una experiència sinestèsica del color, tret que distingeix la

genuïtat sinestèsica d'un mer aprenentatge associatiu semàntic. Aquesta afirmació aniria lligada, d'altra banda, a les evidències acumulades per les investigacions prèvies que el test de condicionament sinestèsic RED constitueix una mesura fisiològica sensible a aquesta experiència sinestèsica del color, mentre que el test d'Stroop és només una bona eina per avaluar la força d'associacions semàntiques que es basaria en processos eminentment memorístics (Elias et al., 2003; Hancock, 2006; Meier i Rothen, 2007, 2009; Rothen et al., 2010, 2011, 2013).

La sensibilitat sinestèsica del test de condicionament podria explicar-se pel fet que la RED registra indirectament fenòmens psicològics gràcies als canvis fisiològics al sistema simpàtic nerviós autònom que aquests fenòmens activen concomitantment. Si bé és cert que no pot haver-hi una fiabilitat absoluta de què l'obtenció d'un augment significatiu de la RED pels estímuls ECL en sinestèsics es degui específicament a l'experiència sinestèsica, els propis controls aportats pel disseny metodològic de la prova i els nombrosos resultats obtinguts semblen indicar que hi ha raons suficients com per establir aquesta connexió causal. Un argument addicional a favor és que la RED no és una mesura fàcilment manipulable o imitable, per això és una tècnica utilitzada freqüentment com a part de la detecció de mentides (Armel i Ramachandran, 2003; Ramachandran i Brang, 2008; Rothen et al., 2013). En contra, no obstant, s'observa una alta variabilitat de resposta entre individus. Sota les mateixes condicions, en aquest mateix estudi s'ha pogut observar que alguns subjectes han estat particularment sensibles a la conductància electrodermal, reflectint clarament l'impacte dels estímuls tant interns com externs al registre, mentre que d'altres han obtingut un registre pràcticament pla (fins al punt que alguns subjectes s'han hagut d'excloure de l'anàlisi). Tots aquests factors, independents del disseny concret del test en qüestió, conviden a ser cauts pel que fa el grau de fiabilitat de la tècnica, però no la invaliden. Recerca futura amb dissenys amb més control dels estímuls podrien augmentar la fiabilitat de la mesura.

Un segon argument complementari que podria explicar el perquè de la dissociació entre l'efecte Stroop sinestèsic i l'efecte de condicionament sinestèsic RED, és el temps d'entrenament. Partint de la base que l'efecte de condicionament requereix de l'assoliment d'una força d'associació superior a l'efecte Stroop, és possible que el temps d'entrenament no hagi sigut suficient i que, augmentant-lo, s'hagués pogut induir l'experiència sinestèsica. No obstant, és important senyalar que la inducció de l'experiència sinestèsica tampoc s'ha aconseguit generar en cap dels antecedents previs (Kelly, 1934; Howells, 1944; Elias et al., 2003; Hancock, 2006; Meier i Rothen, 2009; Rothen et al., 2011, 2013), malgrat s'han estudiat entrenaments de durades diverses (dels 70 a 200 minuts al llarg de diferents dies consecutius dels entrenaments intencionals de Meier i Rothen, 2009 i Rothen et al., 2011, 2013; als 8 anys del cas d'entrenament arbitrari analitzat per Elias et al., 2003). Per tant, no està clar que un entrenament prolongat pugui arribar a provocar l'experiència sinestèsica. En tot cas, és necessari que línies d'investigació futura continuïn investigant aquest factor temporal.

Per últim, cal considerar alguns factors metodològics que hagin pogut incidir en els presents resultats. Per començar, els subjectes del grup experimental van reportar un nivell de fatiga mental alta durant la realització de l'entrenament. Com a contrapartida, van manifestar que, cap al final de la prova, "ja no pensaven" quan donaven respostes, fet que indicaria que van assolir un component automàtic que hauria ajudat a consolidar l'associació. Pel que fa al test

de condicionament sinestèsic RED, el so de l'estímul incondicionat es va presentar en concurrència a l'estímul condicionat color. Malgrat els resultats han mostrat condicionament so-color, potser hauria sigut més convenient haver deixat un lapse d'un segon entre la presentació del color i del so, ja que l'experiència psicològica d'expectació del so hauria estat més potent. També caldria haver establert un temps d'interval inter-assaig superior a 10 segons, per tal de donar més espai d'observació per cada resposta. Quant al test d'Stroop sinestèsic, els participants van comentar que havien trobat la tasca molt fàcil al ser només amb dues lletres. Altre cop, tot i que els resultats han sigut contundents, potser es podria explorar la incorporació de més lletres al test i observar si l'increment de la dificultat modifica els resultats. També es podria haver sotmès addicionalment als subjectes del grup experimental al test d'Stroop abans de l'entrenament, registrant així canvis pre-post. Recerques futures haurien de tenir en compte la correcció de tots aquests elements.

En resum, després de tot el que s'ha exposat, es creu prudent concloure que la hipòtesi de l'estudi s'ha verificat i que, per tant, aquesta investigació dóna suport a la validesa de la RED com a mesura fisiològica per avaluar la presència de sinestèsia. Així mateix, en la línia d'opinió de Simner (2012), Eagleman (2012) i Cohen-Kadosh i Terhune (2012), es considera que aquests resultats aporten arguments a favor de potenciar la cerca de mesures fisiològiques en front a comportamentals, i a la necessitat paral·lela d'una definició neurobiològica de la sinestèsia.

Agraïments

Agrair a la Facultat de Psicologia de la UAB la facilitació de tots els materials i instal·lacions que han permès realitzar aquest experiment, així com el suport tècnic dels professors Antoni Sanz Ruiz i Jordi Méndez Ulrich. I donar especialment les gràcies a la meva tutora, Gemma Guillazo Blanch, per l'inestimable suport proporcionat al llarg de tot el procés i sense el qual aquest projecte no seria una realitat.

Referències

- Armell, K.C. i Ramachandran, V.S. (2003). Projecting sensations to external objects: Evidence from skin conductance response. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 270(1523), 1499-1506.
- Boucsein, W., Fowles, Don C., Grimnes, S., Ben-Shakar, G., Roth, W.T., Dawson, M.E. i Fillion, D.L. (2012). Public recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 49, 1017-1034.
- Cohen-Kadosh, R. i Terhune, D. (2012). Redefining synaesthesia? *British Journal of Psychology*, 103(1), 20-23.
- Dixon, M.J., Smilek, D., Cudahy, C. i Merikle, P.M. (2000). Five plus two equals yellow. *Nature*, 406, 365.
- Dixon, M.J., Smilek, D. i Merikle, P.M. (2004). Not all synaesthetes are created equal: Projector versus associator synaesthetes. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 4, 335-343.
- Eagleman, D.M. (2012). Synaesthesia in its protean guises. *British Journal of Psychology*, 103(1), 16-19.
- Eagleman, D.M., Kagan, A.D., Nelson, S.S., Sagaram, D. i Sarma, A.K. (2007). A standardized test battery for the study of synesthesia. *Journal of Neuroscience Methods*, 159(1), 139-145.
- Elias, L.J., Saucier, D.M., Hardie, C. i Sarty, G.E. (2003). Dissociating semantic and perceptual components of synaesthesia: Behavioural and functional neuroanatomical investigations. *Cognitive Brain Research*, 16, 232-237.
- Hancock, P. (2006). Monocytotic twins' colour-number associations: A case study. *Cortex*, 42, 147-150.
- Howells, T.H. (1944). The experimental development of color-tone synaesthesia. *Journal of Experimental Psychology*, 34, 87-103.
- Kelly, E.L. (1934). An experimental attempt to produce artificial chromaesthesia by the technique of the conditioned response. *Journal of Experimental Psychology*, 17, 315-341.
- Mattingley, J.B. (2009). Attention, automaticity, and awareness in synesthesia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156, 141-167.
- McCulloch, C.E. i Searle, S.R. (2000). *Generalized, Linear, and Mixed Models*. Hoboken, NJ, EUA: John Wiley and Sons.
- Meier, B. i Rothen, N. (2007). When conditioned responses fire back: Bidirectional cross-activation creates learning opportunities in synesthesia. *Neuroscience*, 147(3), 569-572.
- Meier, B. i Rothen, N. (2009). Training grapheme-colour associations produce a synaesthetic Stroop effect, but not a conditioned synaesthetic response. *Neuropsychologia*, 47(4), 1208-1211.
- Mills, C.B., Boteler, E.H. i Oliver, G.K. (1999). Digit synaesthesia: A case study using a Stroop-type test. *Cognitive Neuropsychology*, 16, 181-191.
- Molenberghs, G., Verbeke, G., Demétrio, C.G.B. i Vieira, A.M.C. (2010). A family of generalized linear models for repeated measures with normal and conjugate random effects. *Statistical Science*, 25(3), 275-428.
- Odgaard, E.C., Flowers, J.H. i Bradman, H.L. (1999). An investigation of the cognitive and perceptual dynamics of a colour-digit synaesthete. *Perception*, 28, 651-664.
- Ramachandran, V.S. i Brang, D. (2008). Tactile-emotion synaesthesia. *Neurocase: The Neural Basis of Cognition*, 14(4), 390.
- Rothen, N., Nikolic, D., Jürgens, U.-M., Mroczko-Wasowicz, A., Cock, J. i Meier, B. (2013). Psychophysiological evidence for the genuineness off swimming-style colour synaesthesia. *Consciousness and cognition*, 22(1), 35-46.

- Rothen, N., Nyffeler, T., von Wartburg, R., Müri, R. i Meier, B. (2010). Parieto-occipital suppression eliminates implicit bidirectionality in grapheme-colour synaesthesia. *Neuropsychologia*, 48(12), 3482-3487.
- Rothen, N., Wantz, A.-L. i Meier, B. (2011). Training synaesthesia. *Perception*, 40(10), 1248-1250.
- Simner, J. (2012). Defining synaesthesia. *British Journal of Psychology*, 103(1), 1-15.
- Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Vangeneugden, T., Laenen, A., Geys, H., Renard, D. i Molenberghs, G. (2004). Applying linear mixed models to estimate reliability in clinical trial data with repeated measurements. *Controlled Clinical Trials*, 25(1), 13-30.
- Verbeke, G. i Lesaffre, E. (1996). A linear mixed-effects model with heterogeneity in the random-effects population. *Journal of the American Statistical Association*, 91(433), 271-221.
- Wallace, D. i Green, S.B. (2002). Analysis of repeated measures designs with linear mixed models. A Moskowitz, D. S., i Hershberger, S.L. (Ed.). *Modeling itraindiviual variability with repeated measures data: Methods and Applications*. Mahwah, NJ, EUA: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Ward, J. (2013). Synesthesia. *Annual Review of Psychology*, 64, 49-75.
- Ward, J., Li, R., Salih, S. i Sagiv, N. (2007). Varieties of grapheme-colour synaesthesia: A new theory of phenomenological and behavioural differences. *Consciousness and Cognition*, 16, 913-931.
- Witthoft, N. i Winawer, J. (2006). Synesthetic colors determined by having colored refrigerator magnets in childhood. *Cortex*, 42, 175-183.
- Wolfinger, R. i O'Connell, M. (1993). Generalized linear mixed models: A pseudo-likelihood approach. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 48(3-4).
- Wollen, K.A. i Ruggiero, F.T. (1983). Coloured-letter synesthesia. *Journal of Mental Imagery*, 7, 83-86.
- World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for Medical research involving human subjects. *The Journal of American Medical Association*, 310(20), 2191-2194.

Resum executiu

A continuació es presenta el resum executiu d'una investigació experimental sobre una mesura concreta d'avaluació de sinestèsia, amb investigadors especialitzats en aquest àmbit d'estudi i professionals sanitaris tant psicològics com mèdics com a agents d'interès principals.

<u>Títol i autoria de l'estudi</u>	<u>2</u>
<u>Context i justificació teòrics</u>	<u>2</u>
<u>Conceptes teòrics bàsics</u>	<u>2</u>
<u>Objectiu i hipòtesi de l'estudi.....</u>	<u>3</u>
<u>Mètode.....</u>	<u>3</u>
<u>Resultats i conclusions</u>	<u>3</u>
<u>Reflexions i recomanacions futures</u>	<u>4</u>

Títol i autoria de l'estudi

**Validesa de la resposta electrodermal com a mesura fisiològica d'avaluació de la sinestèsia:
Evidència d'un estudi d'entrenament intensiu d'associació sinestèsica amb no sinestèsics**

Mas Casadesús, Anna

Context i justificació teòrics

La sinestèsia és una condició neurològica sensorial que es caracteritza pel fet que l'atribut d'un estímul desencadena inevitablement l'experiència conscient d'un atribut addicional (p. ex., la lletra A és veu sempre de color vermell). Malgrat encara no hi ha un acord consensuat respecte els trets únics que defineixen la condició i el coneixement del seus correlats neurobiològics es troba en un estadi primerenc, la necessitat –tant diagnòstica com d'investigació– de trobar mesures vàlides i fiables que discriminin objectivament la presència de sinestèsia ha estat un dels fronts importants desenvolupats per la comunitat científica durant els darrers anys. Dins d'aquesta àrea d'estudi, diverses investigacions han demostrat que persones no sinestèsiques entrenades en associacions sinestèsiques poden imitar els resultats que obtenen sinestèsics a nivell comportamental (test d'Stroop sinestèsic), però no a nivell fisiològic (test de condicionament sinestèsic de la resposta electrodermal).

Conceptes teòrics bàsics

El **test d'Stroop sinestèsic** consisteix en la presentació de lletres o números de colors diferents, que poden coincidir amb el color sinestèsic personal de la persona qui realitza el test (condició congruent) o no (condició incongruent). La tasca del subjecte és informar (motora o verbalment) de quin color és aquella lletra o número realment independent del color en què es presentin (segons l'experiència sinestèsica personal pels sinestèsics o per indicació en el cas dels no sinestèsics). Varis estudis han demostrat que els sinestèsics són considerablement més lents en la condició incongruent que en la congruent per la interferència que suposa l'associació involuntària sinestèsica (el que s'anomena efecte Stroop sinestèsic). Però també s'ha observat que els no sinestèsics entrenats en associacions sinestèsiques, si bé en un grau menor, també obtenen aquest efecte.

La conductància o resposta electrodermal (RED) és una tècnica que mesura els canvis en l'activitat elèctrica de la pell conseqüència de canvis en el sistema simpàtic nerviós autònom, enregistrant fenòmens psicològics (inespecífics) concomitants a aquests canvis fisiològics. El **test de condicionament sinestèsic RED** consisteix en associar o condicionar un so de sobresalt (estímul incondicionat o EI) amb un color (estímul condicionat o EC). Aquest estímul condicionat té però una doble naturalesa en el context sinestèsic, atès que es manifesta tant amb el color en si (i que és el que s'anomena de manera pròpiament dita estímul condicionat color o ECC), com amb la lletra associada a aquest color, ja sigui de forma natural en sinestèsics o mitjançant un entrenament en no sinestèsics (i que s'anomena estímul condicionat lletra o ECL). El procediment consisteix en la presentació de varis assaigs amb l'EI i l'ECC simultàniament, alternant amb assaigs presentant l'ECC sense l'EI i l'ECL sense l'EI, més assaigs addicionals amb estímuls neutres o EN sense l'EI. En ambdós tipus de poblacions es registra un augment significatiu de la resposta RED pels ECC, provocat per l'expectació generada pel subjecte d'aparició del so associat al color. Però davant dels ECL, només les persones sinestèsiques mostren també un augment significatiu de la RED (el que s'anomena efecte condicionament RED sinestèsic), per l'experiència indirecta del color condicionat.

Objectiu i hipòtesi de l'estudi

L'objectiu d'aquest estudi ha estat contribuir a l'avaluació de la validesa de la RED com a mesura fisiològica per determinar la presència de sinestèsia. Amb aquesta intenció, s'ha efectuat un entrenament intensiu d'associació sinestèsica lletres->colors d'uns 60-70 minuts en persones no sinestèsiques (grup experimental: 10 subjectes), estudiant posteriorment les seves respostes comportamental (test d'Stroop sinestèsic) i fisiològica (test de condicionament sinestèsic RED) i comparant aquestes respostes amb les d'un grup control anàleg (9 subjectes). La hipòtesi de l'estudi ha estat que la realització d'aquest entrenament: 1) causaria un efecte Stroop sinestèsic, però 2) *no* causaria un efecte de condicionament sinestèsic.

Mètode

PARTICIPANTS: 19 persones no sinestèsiques amb perfil de població jove adulta universitària van participar a l'estudi (12 dones i 7 homes; $M = 26,21$ anys, $DE = 2,68$). Tots els subjectes van realitzar un test previ de cribratge sinestèsic (*Synesthesia Battery*) per descartar la presència de sinestèsia.

MATERIALS I DISSENY EXPERIMENTAL

Entrenament intensiu d'associació sinestèsica: Es va realitzar un entrenament d'uns 60-70 minuts (3.624 assaigs: 24 assaigs pre-entrenament i 3.600 d'entrenament) que va consistir en l'associació de 4 lletres amb 4 colors específics (A-vermella, B-verda, C-groga i D-blava) mitjançant un exercici de presentació d'estímul visual (i.e., lletres de color congruent/incongruent) amb requeriment de resposta per part dels participants (correcte: color congruent; incorrecte: color incongruent).

Test de condicionament sinestèsic RED: Es va realitzar un test de condicionament sinestèsic de la RED so-color (vermell/lletra A –lletra associada a aquest color a la prova anterior) d'uns 16 minuts de durada (87 assaigs: 5 assaigs de presentació, 30 d'habitució, 28 de condicionament, 24 d'extinció), mitjançant un exercici de presentació d'estímul visual i auditiu sense requeriment de resposta per part dels subjectes.

Test d'Stroop sinestèsic: Es va realitzar un test d'Stroop sinestèsic d'uns 2 minuts de durada (48 assaigs: 8 assaigs pre-test i 40 de test) amb les lletres C-groga i D-blava (per tal de contrabalançar amb la prova anterior), mitjançant un exercici de presentació d'estímul visual (i.e., lletres C i D de color congruent/incongruent) amb requeriment de resposta per part dels participants (color groc; color blau).

Resultats i conclusions

L'anàlisi estadística de les dades va determinar que la hipòtesi de l'estudi s'havia verificat. És a dir, l'entrenament realitzat pel grup experimental: 1) va causar un efecte Stroop sinestèsic (i.e., el temps de resposta pels assaigs incongruents respecte als congruents va ser significativament superior), però 2) *no* va causar un efecte de condicionament sinestèsic (i.e., *no* es va obtenir un augment significatiu de la RED pels ECL al test de condicionament sinestèsic RED). Addicionalment, cal mencionar que el grup control no va obtenir ni un efecte Stroop sinestèsic ni un efecte de condicionament sinestèsic. Per tant, aquestes dades aporten noves evidències que suggereixen que el test de condicionament sinestèsic RED podria ser una mesura fisiològica vàlida d'avaluació de la sinestèsia.

Reflexions i recomanacions futures

Més enllà de la ratificació de la validesa del test de condicionament sinestèsic RED, aquest estudi posa de manifest una sèrie d'implicacions tant teòriques com pràctiques. D'una banda, els resultats presents han evidenciat de nou la dificultat de trobar mesures comportamentals que permetin avaluar fenòmens psicològics com la sinestèsia. Potser precisament perquè els correlats neurobiològics de la condició encara no estan clars, els esforços investigadors haurien de centrar-se encara amb més raó a l'esclariment dels mateixos, així com a l'obligada cerca paral·lela de mesures fisiològiques concordants. D'altra banda, aquest establiment de mesures vàlides i fiables és una necessitat creixent tant per a la comunitat científica, que necessita disposar de subjectes lícitament sinestèsics per poder continuar investigant sobre la condició, així com per als professionals sanitaris tant psicològics com mèdics, que requereixen d'eines i criteris de diagnòstic que els permetin discriminar característiques clíniques sinestèsiques d'altres manifestacions i patologies psicològiques que podrien donar lloc a diagnòstics erronis (p. ex., la presència de visions sinestèsiques es podria confondre amb les al·lucinacions típiques de l'esquizofrènia). En conclusió, tots els motius exposats senyalen la importància de fer créixer el corpus de coneixement científic sobre la sinestèsia i, en particular, sobre les mesures de diagnòstic i avaluació de la condició.

Nota de premsa

De la investigació Validesa de la resposta electrodermal com a mesura fisiològica d'avaluació de la sinestèsia: Evidència d'un estudi intensiu d'associació sinestèsica amb no sinestèsics, d'Anna Mas Casadesús

Més a prop d'una mesura de diagnòstic per a la sinestèsia

Una nova investigació aporta evidències a favor del test de condicionament sinestèsic de la resposta electrodermal com a eina per a avaluar la presència de sinestèsia.

La sinestèsia és l'anomenada condició neurològica de la 'mescla dels sentits', i es caracteritza pel fet que l'atribut d'un estímul, com ara el seu so, forma o significat, desencadena inevitablement l'experiència conscient d'un atribut addicional. Per exemple, un sinestèsic pot veure la lletra A de color vermell o, per a ell, la paraula cadira pot tenir gust a caramel. Aquesta associació de sentits, a més de no ser apresada, és automàtica (sempre que aquest sinestèsic veu la lletra A li apareix el color vermell) i constant en el temps i per la persona (sempre ha vist la A vermella –però per un altre sinestèsic l'A podria ser groga).

Els primers casos documentats de sinestèsia daten del segle XIX, però no ha sigut realment fins als últims deu anys quan la comunitat científica ha començat a investigar de forma rigorosa i exhaustiva aquest fenomen perceptual. Tant pels investigadors de l'àmbit com per als professionals sanitaris psicològics i mèdics, una de les qüestions importants i prioritàries és tenir eines o mesures de diagnòstic que permetin discriminar de forma fiable allò que és sinestèsia del que no ho és. Durant aquests últims anys s'han dut a terme diverses investigacions en aquesta línia que han permès crear eines que mesuren diversos aspectes de la sinestèsia. Una investigació recent realitzada per la Universitat Autònoma de Barcelona aporta noves evidències a favor d'una mesura concreta: el test de condicionament sinestèsic de la resposta electrodermal.

La resposta electrodermal és una mesura fisiològica que detecta els canvis elèctrics de la pell conseqüència de l'activació del sistema nerviós, registrant indirectament així fenòmens psicològics. El test en qüestió consisteix en mesurar aquesta variable fisiològica mentre es condiona o associa primer un so de sobresalt amb un color, i es presenta després la lletra relacionada sinestèsicament amb aquell color sense el so. Seguint amb l'exemple anterior, per a un sinestèsic amb la lletra A vermella, s'associarien primer el so i el color vermell, i a continuació es mostraria la lletra A. S'ha observat que quan es presenta la lletra, els sinestèsics mostren una activació de la resposta electrodermal degut a la relació involuntària que creen entre el color sinestèsic suscitat indirectament i el so associat al mateix color prèviament. De forma igual d'important, s'ha vist també que les persones no sinestèsiques no aconsegueixen aquesta activació. Aquest fenomen no ocorre fins i tot quan, com a l'experiment present, aquestes persones no sinestèsiques han estat entrenades prèviament en associacions sinestèsiques (és a dir, entre d'altres, han après i interioritzat que la "lletra A és vermella"). Cal mencionar, a més, que aquest aprenentatge d'associació sinestèsic que ha fallat a l'hora de provocar una resposta electrodermal, ha sigut, no obstant, prou sòlid com per imitar els resultats típics de sinestèsics en una altra mesura d'avaluació de la sinestèsia que avalua una variable de tipus comportamental com és el temps de resposta (test d'Stroop sinestèsic).

Concloent, els resultats obtinguts per la investigació de la Universitat Autònoma de Barcelona posen de manifest l'aparent validesa o utilitat del test de condicionament sinestèsic de la resposta electrodermal per detectar la presència de sinestèsia. Els coneixements aportats per aquest estudi ajuden així a donar un pas més en la necessària cerca de mesures de diagnòstic per a la sinestèsia.