

Flicker illúzió, mint a binding probléma vizsgálhatóságának lehetséges eszköze

Csibri Péter

PhD. Tézisfüzet



**Szegedi Tudományegyetem
Általános Orvostudományi Kar
Élettani Intézet
Szeged, Dóm tér 10.**

2014.

A párhuzamosan feldolgozott információ integrációjának fogalma alatt egy igen sokrétű problémát értünk. Akkor beszélünk multiszenzoros integrációról, amikor megpróbálunk párhuzamosan feldolgozott információkat egymással kapcsolatba hozni az egységes észlelet megalkotásának érdekében. Az információbindingra van szükség akkor is, amikor például el szeretnénk különíteni egy tárgyat a háttértől, vagy amikor ennek a tárgynak számos vonásának kapcsolatát vizsgáljuk, mint amilyenek a szín, a forma és ezek egymásra gyakorolt hatása. Ezek a tulajdonságok hatást gyakorolhatnak egymásra még akkor is, ha azok két különböző modalitáson keresztül kerülnek feldolgozásra. Ez a jelenség figyelhető meg például auditorikus és vizuális ingerek (Wilson, 1987), vagy vizuális és haptikus ingerek (Ernst *et al.*, 2000; Wozny *et al.*, 2008) esetén. Egy magas frekvenciájú vizuális villogás képes megváltoztatni például a mellette érkező hang észlelt magasságát (Welch *et al.*, 1986; Gebhard & Mowbray, 1959). A probléma tehát igen változatos és éppen ezért rengeteg módszerrel próbálták már vizsgálni a különböző csatornák egymásra gyakorolt hatását. A különböző kísérleti módszerek és az ezekben használt különböző ingeranyagok miatt ezeket azonban nehéz egymással összehasonlítani. Munkám első lépéseként áttekintettem a szakirodalmat egy olyan eszközt keresve, amely könnyen használható, jól operacionalizálható és széles körben alkalmas lehet a binding probléma vizsgálatára, mindig csupán egyetlen paraméter megváltoztatásával. Így választottam az úgynevezett “flicker” illúziót.

A továbbiakban leírom, milyen vizsgálatok voltak szükségesek, hogy megtudjuk, valóban használhatók lehetnek-e ezek az illúziók a tervezett tanulmányokhoz. Az illúzió unimodális típusában az illúziót kiváltó “inducer” is vizuálisan jelen van, nem messze a célingertől “target”. Ebben a kísérleti elrendezésben az inducer képes módosítani a target észlelt felvillanásainak számát (Chatterjee *et al.*, 2011). Az illúzióknak létezik multimodális fajtája is, ahol különböző modalitások egymásra gyakorolt hatását vizsgálják. Erre példa a “double-flash illúzió”, aminek esetében a vizuálisan bemutatott target felvillanásainak a számát auditorikus inducer sípolássorozatok hatására nem a valóságnak megfelelően érzékeljük (Shams *et al.*, 2001). Az ilyen típusú illúziók különösen alkalmasak a binding probléma idői paramétereinek tanulmányozására. A flicker illúzió során az inducer által kiváltott illuzórikus felvillanások pszichofizikai és neuroélettani háttere még nem tisztázott. Ez felveti a jogos kérdést: nem lehetséges-e, hogy egyszerűen az “igen” (többször láttam a felvillanást) válaszadási hajlandóság emelkedik meg az inducer többszöri felvillanásakor és az észleletben meg sem jelenik a leírt többszörös felvillanás (Green, 1966)? A tanulmányban ezért megvizsgáltuk az illúzió kilakulásának lehetséges mechanizmusát. Ehhez először tisztáztuk,

vajon az inducer valóban a valódi felvillanáshoz hasonló célingerfelvillanást vált ki.

I. Kísérlet

Az első kísérlet tehát annak a kérdésnek az eldöntésére készült, hogy a módszerünk valóban képes-e kiváltani egy illuzórikus felvillanást, és valóban több-e a kritériumszint megváltozásánál.

Metodika

Résztevők

Tizenegy egyetemi hallgató vett részt az első kísérletben (átlagéletkor: 23,7 év, hat férfi) normális vagy korrigált látással. A vizsgálati személyek minden választát értékeltük.

Eszközök

Minden vizsgálat sötét szobában történt, a stimulusok kivetítését egy Apple MacBook Pro laptop vezérelte (Apple, Cupertino) egy ViewSonic CRT monitoron (21-inch, 800 × 600 pixel felbontás, 60-Hz képfrissítési frekvencia; ViewSonic, Walnut). A vizsgálati személyek 57 cm-re ültek a monitortól, így az általunk használt stimulusok a retinára 1°-ban estek. A fejüket a vizsgálat során egy, a szemészetben használatos álltámaszon rögzítették. A kísérletet MATLAB (MathWorks, Natick, M) programon futtattuk, Psychophysics Toolbox kiegészítőt használva (Brainard, 1997; Pelli, 1997).

Stimulus

Stimulusként magas kontrasztú világos korongokat használtunk (átmérő 1°) egy 33 cd/m² luminanciájú szürke háttéren. A vizsgálati személyeket arra kértük, hogy fixáljanak a képernyő közepén megjelenő stimulusra (target stimulus). Az inducer egy másik korong volt a targettól horizontálisan jobbra 7°-ra elhelyezve (2. Ábra). Fixációs pontot nem használtunk a vizsgálat során (Shams *et al.*, 2000; Chatterjee *et al.*, 2011). Először a target stimulus jelent meg és vele egyidőben az első inducer is felvillant egy frame erejéig (~16 ms). Az illuzórikus helyzetben lévő inducer ezt követően még egyszer, kétszer, vagy háromszor is felvillanhatott pszeudorandom sorrendben. A felvillanások között csak a szürke háttér volt látható négy frame erejéig (interstimulus intervallum, ~64ms). Az inducer felvillanásainak számától függően (1-4) tehát négy stimulustípust alkalmaztunk, mindegyiket 30-szor, így összesen 120

trial került bemutatásra egy kísérlet során. Az alapillúzióban a következő stimulusok kerültek prezentálásra: az első típusban a target és az inducer is egyaránt egyszer jelent meg; a második típusban a target egyszer villant fel, míg az inducer kétszer; a harmadik típusban a target ismét egyszer villant fel, míg az inducer háromszor. A negyedikben a target egyszer, az inducer négyszer villant fel. A következő ingersor csak a vizsgálati személy billentyűzeten adott válasza után indult el. Az adott válasz helyességéről az alanyok semmilyen visszajelzést nem kaptak.

A vizsgálati kérdésünknek megfelelően ebből az alapfelállásból alakítottuk ki a 2. és a 3. kísérletet (bővebben az adott kísérlet metodikájában). Ebben a tanulmányban tehát az illúzió miatt a vizsgálati személy egy nem létező stimulus jelenlétét észleli, ami a szignáldetekciós elméletben fals pozitív válasznak (FA) felel meg. Kiszámoltuk az FA-k átlagértékét minden vizsgálati személy minden vizsgálati kondíciójában (FA1–4). A téves pozitív riasztások eredhetnek a feldolgozórendszer diszfunkciójából vagy “zajából”, de eredhet a target illuzórikus felvillanásaiból is. Ezek alapján két csoportra osztottuk a FA-kat. Az első csoportba kerültek azok az esetek, amelyekben a target és az inducer is csupán egyszer villant fel, tehát ahol nem volt illúzió (FA1). A második csoport tartalmazta azokat az eseteket, ahol a target egyszer, az inducer pedig kétszer, háromszor, vagy négyszer villant fel. Ebben a csoportban feltételezhetjük az illúzió megjelenését (FA2, FA3, és FA4). Az első csoportot így a baseline beállítására használtuk, ezért ezeket kivontuk azokból a csoportokból, ahol illuzórikus felvillanás megjelenését feltételeztük. Az így kapott értékkel (fantom delta) megbecsülhettük a fantom felvillanások számát az illuzórikus kondíciókban, mint például: $\Delta 2 = FA2 - FA1$.

A vizsgálati személyek közötti különbségekből eredően egyes vizsgálati személyek jobban vagy kevésbé jól láthatták a többszörös felvillanásokat (d'). A d' elnevezést egyébként a szignáldetekciós teóriából vettük, ahol az a rendszernek az adott ingerrel kapcsolatos érzékenységet írja le (Green, 1966). Hogy követhessük a szignáldetekciós logikát, mi is a szenzitivitás fogalmát használjuk a tanulmányunkban annak ellenére, hogy jelen esetben az érzékenység megfelelőbb lett volna, mivel az “érezelt inger” ott sem volt. Szignáldetekciós analízist használtunk, hogy kiszámolhassuk a szenzitivitást (d') és a kritériumszintet. A kritériumszint kiszámítása a találatok és a fals pozitív válaszok alapján történt (Gardner, 1984). A d' a találati arányból (H) és az FA-k eloszlásából származtatható a $d' = z(F) - z(H)$ egyenleten keresztül, ahol a z a z score-t jelöli. A szignálra érzékenyebb rendszer magasabb

d' -vel jellemezhető. A hajlam arra, hogy a vizsgálati személy pozitív választ adjon egy nem létező stimulus esetében, a c értéken keresztül került kiszámításra, mely a fals pozitív válaszok eloszlásából származik. A tanulmány során, *one-way repeated measurement ANOVA*-t használtnk Greenhouse–Geisser korrekcióval (GeisserS, 1958) illetve Dunnett's *multiple comparisons* testet (Dunnett, 1955), melyben az inducer felvillanásainak a száma volt a fő faktor és az észlelt felvillanások átlaga volt a függő változó.

Eredmények és megvitatás

A módszerünk alkalmasnak bizonyult az illúzió kiváltására, melyben mind a c , mind a d' érték szerepet játszott. Az inducer egyszeres felvillanásakor is viszonylag magas FA-t mérhettünk a többszöri inducerfelvillanásokhoz viszonyítva; az inducer kétszeres felvillanása így relatíve alacsony fantomfelvillanás értéket eredményezett ($\Delta 2 = 0.187$), miközben háromszoros inducerfelvillanásakor jelentős növekedést tapasztalhattunk a fantomfelvillanások számában ($\Delta 3 = 0.627$). A statisztika szerint így két inducerfelvillanás esetén még nem, de három és négy felvillanás már képes volt az illúzió kiváltására az esetek legalább 62%-ban ANOVA $F(1.549, 13.94) = 40.44$ ($p < 0.0001$). Jelentős változás volt megfigyelhető a d' és c kritériumszint esetében is az inducerfelvillanások számának változtatásakor (az egyes típusú inducer esetében, d' 0.93 volt; a kettes típusú esetében, $d' -0.03$ volt, és a hármas típusú esetében, $d' -1.55$ volt), miközben a hozzá tartozó c értékek a következőképpen változtak: 0.47, 0, és -3.18 . Ez arra enged következtetni, hogy a kritériumszintben történő változások alapvető szerepet töltenek be az észlelt felvillanások számának emelkedésében. Ennek fényében módszerünk tehát képes kiváltani illuzórikus felvillanásokat. A tény, hogy a megemelkedett inducerfelvillanások megemelték mind a c , mind a d' értékét, arra enged következtetni, hogy a target ingerek illuzórikus felvillanása nem magyarázható csupán az egyik érték változásával, hanem csak a választendencia emelkedésével.

II. Kísérlet

Az első kísérletben bebizonyítottuk, hogy az illuzórikus felvillanások mögött valóban valós vizuális észlelet áll. A következőkben megvizsgáljuk, hogy vajon ez a vizuális illúzió ugyanabban, vagy ellentétes polarításban jelentkezik-e az észlelés során, mint az illúziót megelőző (target) stimulus. A polarítás alatt ebben az esetben a háttértől való világosságbeli különbséget értjük.

A szenzoros integráció során egy stimulus gyakran kerül dominánsabb szerepbe egy másik inger felett, ez a dominancia természetesen megjelenik kongruens ingerek esetén is, mégis legtöbbször inkongruens stimulusok kapcsolódása esetében foglalkoznak vele (Stein & Stanford, 2008). A stimulusainkat olyan módon változtattuk meg, hogy a target első felvillanása után alacsonyabb kontraszttal a target többször is felvillan az inducerrel egyidőben. Ha az illuzórikus felvillanásnak ugyanaz a polaritása, mint a targetnek, akkor az támogathatja egy második (alacsony kontrasztú) targetfelvillanás észlelését. Ezzel ellentétben egy olyan második (alacsony kontrasztú) target stimulus észlelését gátolhatja az illuzórikus felvillanás, melynek polaritása ellentétes az első felvillanással. Fontos megjegyezni ebben a vizsgálatban: a Δ nem csak a fantom felvillanásoktól függ, hanem az alacsony kontrasztú felvillanásoktól is. Jelentős különbség, hogy ebben a vizsgálatban az úgynevezett alacsony kontrasztú stimulusokat az észlelési küszöb közelébe állítottuk. Így a hipotézisünk szerint az illuzórikus felvillanás különböző mértékben gyakorolhat hatást az észlelt felvillanások számára.

Metodika

Résztevők

Tíz egyetemi hallgató vett részt ebben a vizsgálatban (átlag életkor: 23,9 év, négy férfi) normál, vagy normálhoz igazított látással. Minden vizsgálati személy minden eredménye bekerült a statisztikába.

Stimulus

Az első vizsgálat során használt stimulusokat módosítottuk: A target az első felvillanást követően alacsonyabb kontraszttal folytatta a felvillanást, a lokalizációját megtartva, szimultán az inducer felvillanásával. Két kondíciót hoztunk létre ilyen módon. Világos kondíciónak neveztük, amikor a target első felvillanása fizikailag világosabb volt mint a háttér, és amikor sötétebb volt a háttérnél, azt neveztük sötét kondíciónak. Weber törvénye szerint tehát az első kondíció pozitív a második kondíció negatív kontrasztú volt.

Mindegyik kondíció két szubkondíciót tartalmazott. Az első target felvillanásától függően a következő lehetett ugyanolyan polaritású (pl. a világos kondíció esetében a második felvillanás szintén a háttérnél világosabb volt) vagy nem. Így lehettek hasonló vagy ellentétes polaritású szubkondíciók. A "világos" kondícióban az első magaskontrasztú "target"

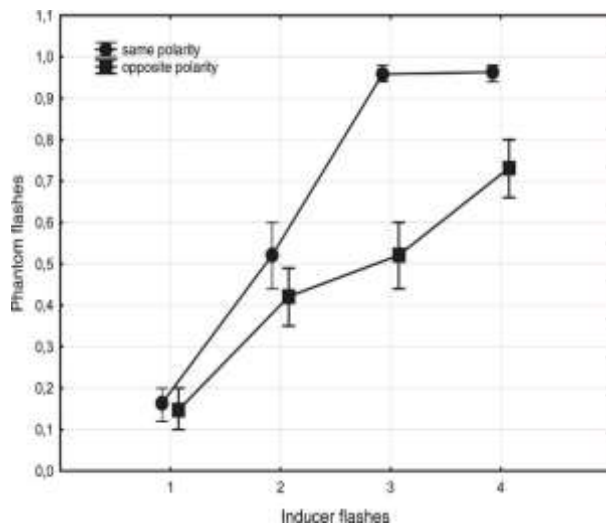
felvillanást (világosabb, mint a háttér) egy alacsony kontrasztú felvillanás követhette ugyanolyan polaritással (hasonló-polaritású szubkondíció) vagy ellentétes polaritással (ellentétes polaritású szubkondíció). A második kondícióban (sötét) az első magas kontrasztú (sötétebb a háttérnél) felvillanást egy alacsony kontrasztú felvillanás követhette, mely lehetett hasonló (hasonló polaritású szubkondíció) vagy ellentétes polaritású (ellentétes polaritású szubkondíció). Az inducer felvillanásának számától függően mindegyik szubkondíció négy stimulustípust tartalmazott, mint ahogy azok az első vizsgálatnál is pseudorandom sorrendben kerültek kivetítésre. A magas kontrasztú stimulusokat könnyű volt megkülönböztetni a háttértől (plafonhatás), miközben az alacsony kontrasztú ingerek csak 79.37%-ban voltak elkülöníthetők (Kingdom, 2009). Ehhez minden vizsgálati személy kontrasztküszöbét egy pilot kísérletben határoztuk meg a sötét és a világos kondíciókra egyaránt. A kontrasztküszöb meghatározása során a vizsgálati személyeknek akkor kellett jelezniük, amikor a targetstimulus egynél többször villant fel. Így a monitoron a magas kontrasztú stimulus és a periférián az inducer az esetek 50% -ban villant fel. Az inducer így mindig csak egyszer villanhatott fel és paraméterei nem változtak a vizsgálat során. A második stimulusfelvillanás pedig a target lokalizációjában került bemutatásra, melynek paraméterei a vizsgálati személy teljesítményének megfelelően változtak. Ezzel a módszerrel a második felvillanás kontrasztja mindkét kondícióra meg lett határozva.

Eredmények és megvitatás

Az eredmények értékelése során azt vizsgáljuk, hogy az alacsony kontrasztú felvillanások detektabilitása miként változik a hasonló és az ellentétes polaritású szubkondíciók esetében. A világos kondícióban, amikor az első felvillanás világosabb volt, mint a háttér, az eredmény a következő volt: a hasonló szubkondícióban egy inducer felvillanása $\Delta = 0.163$, két inducer felvillanása $\Delta = 0.521$, értéket eredményezett, három felvillanás esetében $\Delta = 0.957$, és négy felvillanás mellett $\Delta = 0.963$ volt a fantom felvillanás. A fantomfelvillanások száma szignifikáns különbséget mutatott az első kondícióhoz viszonyítva $F(1.544, 13.90) = 77.22, p < 0.0001$. Az ellentétes polaritású szubkondícióban az egy, kettő, három és négy inducer felvillanások mellett az alábbi értékeket kaptuk $\Delta = 0.147$, $\Delta = 0.421$, $\Delta = 0.521$, és $\Delta = 0.731$. Az utóbbi három eset szignifikáns különbséget mutatott az elsőhöz képest $F(2.554, 22.99) = 23.88, p < 0.0001$.

Eredményeink megerősítik a szakirodalomban találtakat (Chatterjee *et al.*, 2011), miszerint statisztikailag az illúzió megjelenése az inducer legalább háromszori felvillanásával váltható

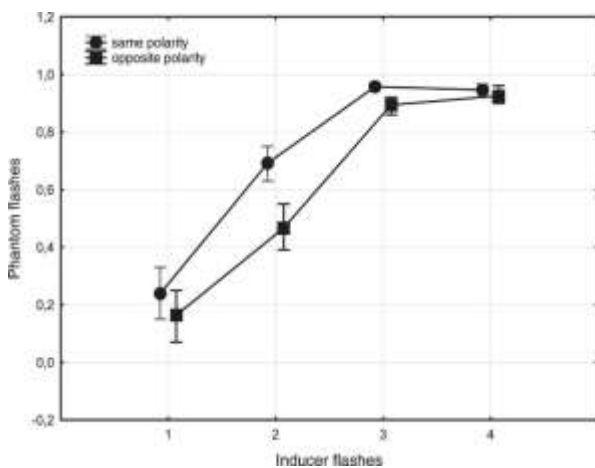
ki. Az 1. ábrán láthatjuk, hogy a két kondíciót leíró vonalak éppen a 3. típusú kondíciónál kezdenek szétválni.



1. **Ábra:** Az átlag fantom felvillanások száma az inducer felvillanásokhoz viszonyítva a világos kondícióban. A vonal a körökkel a hasonló polaritású szubkondíciók eredményeit mutatja. A vonal a négyzet jelölésekkel az ellentétes polaritású szubkondíciók eredményeit mutatja. Az adatok átlagokat jelölnek \pm SEM.

Az ellentétes polaritású szubkondícióban a target detektabilitása nem változott, amikor az inducer háromszor villant fel, csak enyhe, nem szignifikáns emelkedést mutatott, viszont erős emelkedést mutatott négy inducer felvillanása esetén $F(2.554, 22.99) = 23.88, p < 0.0001$. Másrészt a hasonló polaritású szubkondícióban az észlelt felvillanások száma három inducer esetében szignifikánsan emelkedett, mint amikor az inducer csupán kétszer villant fel, $F(1.544, 13.90) = 77.22, p < 0.0001$. Nem volt statisztikailag kimutatható különbség az egyes típusú stimulusok között az ellentétes polaritású és a hasonló polaritású szubkondíciójában (átlag különbség = 0.015). A 2. típusú stimulusok között sem találtunk szignifikáns különbséget ugyanezen szubkondíciók között (átlag különbség = 0.257). A hármas típusú ingerek között azonban már sikerült szignifikáns különbséget kimutatnunk (átlagos különbség = -0.357). Ezt is vártuk az előző vizsgálat alapján. A háromszoros inducerfelvillanás mellett jelennek meg az illuzórikus felvillanások, így a 4. típusú ingereknél ugyanezek között a szubkondíciók között szintén sikerült különbséget kimutatnunk (átlag különbség = -0.568), ANOVA $F(3,72) = 4.833, p=0.004$. Ebből az eredményből arra következtethetünk, hogy az illuzórikus felvillanások hasonló polaritásúak lehetnek, mint az őket megelőző target stimulusok.

A sötét kondíció esetében (2. Ábra), az inducer egy felvillanása a hasonló polaritású szubkondícióban $\Delta = 0.238$; két felvillanás $\Delta = 0.691$; három felvillanás $\Delta = 0.957$; és négy felvillanás $\Delta = 0.946$ észlelt felvillanást eredményezett. Ez utóbbi három szignifikáns különbséget mutatott az elsőtől, $F(1.714, 15.42) = 44.18, p < 0.0001$. A ellentétes polaritású kondícióban az inducer egy felvillanása $\Delta = 0.163$; két felvillanása $\Delta = 0.466$; három felvillanása $\Delta = 0.893$; és négy felvillanása $\Delta = 0.925$ észlelt felvillanást eredményezett. Ez utóbbi három szintén szignifikáns különbséget mutatott az elsőhöz képest $F(1.472, 13.25) = 42.63, p < 0.0001$. A két szubkondíció között szignifikáns különbséget nem találtunk, $F(3, 72) = 1.021, p = 0.3885$. Mivel a két szubkondíció egymástól szignifikáns különbséget nem mutatott, arra következtetünk, hogy ebben az esetben nem sikerült az illuzórikus felvillanások kiváltása, ezért további elemzéseket nem is végeztünk vele.



2. **Ábra:** A fantom felvillanások átlagértékei az inducer felvillanások függvényében. A vonal a körökkel a hasonló polaritású szubkondíciók eredményeit mutatja. A vonal a négyzet jelölésekkel az ellentétes polaritású szubkondíciók eredményeit mutatja. Az adatok átlagokat jelölnek \pm SEM.

III. Kísérlet

A kísérletet az illúzió mögött megbúvó egyik alapvető logika feltárására terveztük. Több lehetséges magyarázat is létezik arra, hogy a stimulus milyen módon fejtheti ki hatását egy másik stimulus észlelésére. Míg a modalitásmegfelelőség elmélete a receptorok oldaláról, addig az információmegbízhatóság hipotézis és a diszkontinuitás hipotézis a stimulus oldaláról közelíti a problémát (Hove *et al.*, 2013). Ahhoz, hogy elkülönítsük, milyen alapelvekkel magyarázható a jelenség, egy faktoriális vizsgálatot terveztünk, hogy tesztelhesük hipotéziseinket.

Modalitásmegfelelés

A vizuális területek karakterisztikája alapvető befolyással bír az információ feldolgozására (Schwartz, 2014). Jó példa erre a multimodális stimulusfeldolgozás, amikor például a jobb időbeni felbontóképességgel rendelkező rendszer, a hallás dominálja a vizuális rendszer működését idői paraméterek feldolgozásában. Ez történik például a double flash illúzióban. Egy másik példában pont az ellenkező eset áll fenn. A vizuális modalitás jobb térbeli felbontóképessége hatást gyakorol az auditorikus rendszer működésére pl. a ventriloquismus esetében. Ebben az esetben a modalitás, mely képes hatást gyakorolni a másik rendszer működésére, általában az a modalitás, amely az adott dimenzióban jobb felbontóképességgel rendelkezik. Eszerint a logika szerint, ha az illúzió kiváltható a foveán és a retina perifériáján egyaránt, az megkérdőjelezi ezt a típusú magyarázatot.

Információmegbízhatóság

Egy modalitás dominanciája megmagyarázható az általa feldolgozott stimulus minőségével, megbízhatóságával is (Welch & Warren, 1980). Ez természetesen közel áll az első magyarázathoz, mivel egy adott jelenségről általában az az érzékszerv tudja a legmegbízhatóbb információt nyújtani, amely az adott dimenzióban legprecízebb feldolgozásra specializálódott. A fentebb leírt módszerrel ezért az előzőleg meghatározott alacsony kontrasztú 79.37% - ban észlelhető küszöböt állapítottuk meg a perifériára is. Ez az elmélet azt feltételezi, hogy az alacsony kontrasztú inducer gyengébb illúzió kiváltására képes centrálisan. Másrészt az illúziót képesek lehetünk kiváltani a periférián, amikor alacsony kontrasztú felvillanást használunk, mivel a stimulus, amely az alacsony kontrasztú ingerből származik, kevésbé megbízható a centrumban használt magas kontrasztú stimulusal szemben.

Diszkontinuitás

Egy másik lehetséges magyarázat a diszkontinuitás elmélete (Bhattacharya *et al.*, 2002), melyben inkább a stimulusok idői paramétereire helyezik a hangsúlyt az inger erőssége helyett. Eszerint az elmélet szerint a diszkontinuus stimulus (egyéni villogások a mi kísérletünkben) válhat dominánssá. Más szóval a periodikus stimulus nagyobb hatással bír a szenzoros észleletre, mint a folytonos. Ez a hipotézis magyarázhatja az illúzió robusztusságát és ebben az esetben a periférián is kiválthatónak kell lennie az illúzióknak. Amennyiben az

illúzió kialakulása ezen az alapelven nyugszik, akkor azt várhatjuk, hogy az illúzió kialakul függetlenül a retinális elhelyezkedésétől és fúziót nem tudunk kiváltani.

Metodika

Vizsgálati személyek

Új csoport: 10 egyetemista hallgató (átlagéletkor: 24,1 év, négy férfi) normál vagy normálhoz korrigált látással vett részt ebben a tanulmányban. Ahogy az eddigi vizsgálatok során is, minden vizsgálati személy minden eredménye bekerült a statisztikába.

Stímulus

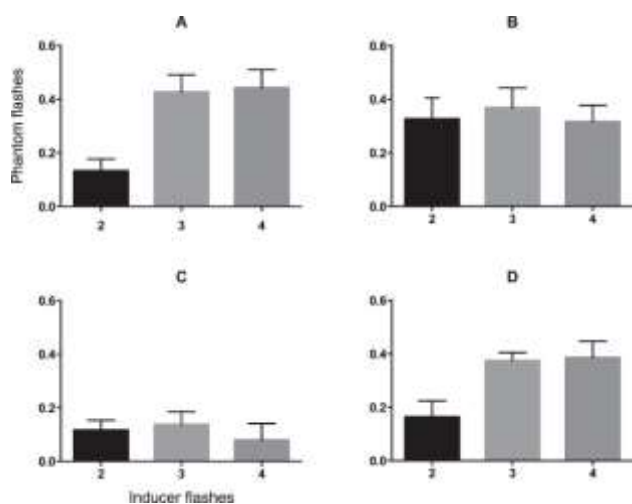
Az előző vizsgálathoz hasonlóan, most is arra kértük az alanyokat, hogy a target stimulus felvillanásait figyeljék és számolják, ne foglalkozzanak az inducer felvillanásaival. Egyik esetben a target a centrális másik esetben a perifériás stimulus volt. A vizsgálatban két kondíciót hoztunk létre: az elsőben a periférikus és a centrális stimulus is magas kontrasztú volt (magas kontrasztú kondíció), a másodikban a periférikus stimulus az előzőekben meghatározott kontrasztra lett beállítva (alacsony kontrasztú stimulus).

Eredmények és megvitatás

Az illuzórikus felvillanások számát az első vizsgálatban leírtak szerint határoztuk meg. Ahhoz, hogy megkapjuk a fantomfelvillanások számát (Δ), az egyes kondíciókhoz kiszámoltuk az FA-t és a nem illuzórikus kondíciót kivontuk az illuzórikus kondícióból. Az első kondícióban, amikor a klasszikus flicker illúziót váltottuk ki magas kontrasztú centrálisan elhelyezkedő targettel és magas kontrasztú periférián elhelyezett inducerrel, a 2. típusú ingernél $\Delta = 0.131$, a hármas típusúnál $\Delta = 0.426$, a négyes típusú $\Delta = 0.442$, $F(2.244, 20.19) = 25.34$, $p < 0.0001$. A statisztika szerint két felvillanásnál kiváltottuk a flicker illúziót (3A. Ábra). Mikor a target illúziót a perifériára helyeztük, az illúzió gyengült, de nem tűnt el. Két inducerfelvillanás mellett $\Delta = 0.326$, háromnál $\Delta = 0.368$, és négyenél $\Delta = 0.315$, $F(1.977, 17.79) = 12.09$, $p = 0.0005$ (3.B Ábra). A második kondícióban, ahol a target a központban helyezkedett el, az alacsony kontrasztú perifériás felvillanás nem indukált illuzórikus felvillanást $F(1.571, 14.14) = 2.562$, $p = 0.1207$ (3C. Ábra).

Magas kontrasztú centrális inducert és alacsony kontrasztú perifériás targetet használva (3.D Ábra) két felvillanás esetén $\Delta = 0.147$, három felvillanás esetén $\Delta = 0.336$, és négy felvillanás esetén $\Delta = 0.347$, $F(1.977, 17.79) = 12.09$, $p = 0.0005$.

Az illúziót sikerült kiváltanunk mindkét helyen, centrálisan és a periférián egyaránt, mely támogatja a diszkontinuitás hipotézisét, bár az illúzió nem jelentkezett, amikor az alacsony kontrasztú centrálisan bemutatott inducert használtuk. A diszkontinuitás hipotézisének tesztelésére létrehoztunk egy fúziós kondíciót is, melyben négy targetfelvillanás mellett 0-4 inducerfelvillanás volt látható. Korábbi eredményekhez hasonlóan (Andersen *et al.*, 2004), nekünk sem sikerült kimutatnunk az illúzióban fúziós hatást $F(1, 9) = 0.008876$, $p = 0.9270$.



3. **Ábra:** A fantom felvillanások átlag értékei az inducer felvillanások függvényében a 3. vizsgálatban. Az oszlopok az átlag \pm SEM értékeket mutatják. (A) Magas kontrasztú centrumban megjelenő target és magas kontrasztú, centrálisan megjelenő inducer. (B) Magas kontrasztú, centrálisan megjelenő inducer és magas kontrasztú periférikus target. (C) Magas kontrasztú, centrálisan megjelenő target és alacsony kontrasztú, periférián megjelenő inducer. (D) Magas kontrasztú, centrálisan megjelenő inducer és alacsony kontrasztú perifériás target.

Konklúzió

Különböző érzékszervekkel gyűjtünk információt a világ különböző dimenzióiból. A látásérzethez fény szükséges, ami egy egyenes vonalban gyorsan terjedő elektromágneses sugárzás. A halláshoz a légnyomásváltozásokon keresztül terjedő hangingereket használjuk. A szaglás levegőben terjedő molekulák jelenlétét érzékelő kemoreceptorok révén megy végbe és így tovább. Mindegyik szenzornak megvannak a maga előnyei és hátrányai, amelyek jellemzik egy tárgy tulajdonságainak leírásakor. A tárgyaknak vannak permanens vonásaik,

melyeket invariáns változóknak hívnak. Ezek olyan “általános tulajdonságok”, mint az intenzitás, térbeli pozíció, sebesség, ritmus, textura, méret, stb. Ezek az információk függetleníthetők a detektáló rendszertől és így interpretálhatók több rendszerben is (Lewkowicz, 2000). Ezek az invarianciák már a fejlődés korai szakaszában megjelennek (Lewkowicz, 1994). Léteznek viszont olyan információk is, amelyeknél nincs egyértelmű kapcsolat a különböző dimenziók között. Ezeknél ráadásul, ha megtanulunk egy kapcsolatot két változó között, az nem ad semmiféle információt más kapcsolatokra nézve. Így például a rózsa illata nem hordoz információt a virág vizuális megjelenéséről (Lewkowicz, 2000). Ezekből a különböző dimenziókból származó információdarabkákból rakjuk össze az egész képet. Ez úgy történhet, hogy ezek az információk nem csupán egymás hibáit javítják ki, de képesek megalkotni egy jobb észleletminőséget, amelyben elmosódnak a határok az érzékek között. Ez természetesen nem teszi szükségtelenné az uniszenzoros területek elkülönítését, csak arra késztet, hogy újragondoljuk a szerepüket. A feldolgozás alapját ugyanis még mindig a területhez kapcsolt érzékszervek biztosítják és a többi modalitás csak modulálni képes azt.

Az előbbiekből nyilvánvaló, hogy a multiszenzoros stimulusfeldolgozást rengeteg faktor képes modulálni. Így, ha nem tudjuk a kulcsváltozókat megfelelően kontroll alatt tartani, vagy legalább számításba venni, akkor könnyen eredményezhetnek műterméket vagy mások eredményeinek félreértelmezését, mivel egyáltalán nem tűnik elhanyagolhatónak a vizsgálatok során alkalmazott ingerek különbsége vagy a vizsgálat során végrehajtott feladatok komplexitása. Minél komplexebb választ kell adniuk a vizsgálati személyeknek, annál magasabb a várható latencia, és a multiszenzoros integrációs ablak is megnő (Karns *et al.*, 2012). Így annak ellenére, hogy az ingerintegrációval kapcsolatban egyre több eredmény születik, ezeket nehéz egy egészleges eredményként kezelni.

A munkám során egy eszközt kerestem, amivel ezeket a hipotéziseket képesek vagyunk lépésenként tesztelni, csupán egy-egy paraméter megváltoztatásával. Arra számítok, hogy így a végén egy átláthatóbb, holisztikusan könnyebben kezelhető eredményrendszerhez juthatunk. A szakirodalom áttekintése után a választás a flicker illúzióra esett (lásd fent). A használhatóságának eldöntéséhez azonban szükség volt egy-két alaptulajdonságának megvizsgálásához. A stimulus unimodális fajtájánál az elvárásainknak és a szakirodalomnak megfelelően azt találtuk, hogy az inducer képes szignifikánsan módosítani az észlelt targetfelvillanásokat (McCormick & Mamassian, 2008). Ezen felül az eredményeink arra

engednek következtetni, hogy az észlelt felvillanásoknak legalább egy része valós perceptuális észlelet (vizuális alapon meghozott döntés), ahogy azt láthatjuk a multimodális audiovizuális típusnál is (Shams *et al.*, 2002) és a haptikus vizuális illúzióban is (Violentyev *et al.*, 2005). Abból, hogy a hasonló polaritású szubkondícióban szignifikánsan magasabb észlelt felvillanásokról érkezett visszajelzés, mint az ellentétes polaritású szubkondícióban, arra a következtetésre jutottunk, hogy az illuzórikus felvillanás polaritása megegyezik az öt megelőző target felvillanásával. Emellett kizárhatjuk azt a feltételezést, hogy negatív utóképhatás állhat az illúzió hátterében. Ha ez lenne a helyzet, akkor az észlelt felvillanások száma az ellentétes polaritású szubkondícióban emelkedne meg.

Az illúzió mechanizmusa a legjobban a harmadik vizsgálattal magyarázható. A perifériáról centrálisan kiváltott illúzió kizárja a lehetséges magyarázatok közül a modalitásmegfelelőség magyarázatát és támogatja az információmegfelelőség magyarázatát, mivel összhangban van azzal az elmélettel, hogy az illúzió kialakulásában az inducer és a target inger megbízhatósága játszhatja a döntő szerepet. Az eredmények szintén támogatják a stimulus- és a diszkontinuitás elméletet is, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy méréseink során a fúzió illúzióját nem sikerült kiváltanunk. Így, úgy véljük, ez az inger folyamatosságát és megbízhatóságát helyezi előtérbe, nem pedig az ingert feldolgozó terület jobb időbeli felbontóképességét. Mindazonáltal meg kell jegyezni, hogy a kép korántsem teljes. Az sem kizárható, hogy arról van szó, hogy a figyelmünket a perifériára irányítani sokkal nehezebb. A vizsgálataink során használt módszerek nem voltak alkalmasak a figyelem kontrolljára vagy nyomon követésére.

Jól ismert, hogy a szimultán prezentált ingereket hajlamosabbak vagyunk egy forrásból eredőnek tekinteni (Watanabe & Shimojo, 2001), és hogy ezeknek az ingereknek az összekapcsolására egy párhuzamos információfeldolgozás során egy relatív hosszú idői ablakban van lehetőség (Stein & Meredith, 1990). A mi illuzióink talán abból erednek, hogy az idegrendszer egy forrásból eredőnek tekinti őket. Ez a hatás érthető is, ha azt tekintjük, hogy ha az észlelőrendszer nem egyértelmű, vagy egymással konfliktusba kerülő ingerekkel kerül szembe, akkor a legmegbízhatóbb ingerre alapozva építi majd fel az észleletet. Az eredmények karakterisztikája nem zárja ki a lehetséges magyarázatok közül a kéreg alatti területek, mint például a colliculus superior szerepét, de a primer szenzoros kéreg szerepe valószínűbbnek tűnik. Az eredmények és a mechanizmus pontosabb megértésének érdekében EEG és egysejt vizsgálatokat tervezünk végrehajtani.

Az illúzió multimodális formájában azt találtuk, hogy a robusztus double-flash illúzió kiváltható P és M pályára optimalizált ingerekkel. A fúziós illúziót sikerült kiváltani a P pályás ingereknél, de az M pályánál nem jártunk ilyen sikerrel. Habár ez a különbség csak a perifériás kondícióknál figyelhető meg, úgy tűnik, hogy pályaspecifikus tulajdonságról lehet szó, mely az adott pálya idői felbontóképességéből fakad. Legutóbbi MRI eredményeink szerint a flicker illúzióban használt P és M pálya optimalizált ingereink fiziológiailag is jól elkülönülő csoportot alkotnak (kiadás alatt). Kutatás a témában ebben a pillanatban is folyik az intézetben. Eredményeink szerint a flicker illúziók jól használhatók lesznek az információ binding területének kutatásakor.

Referencia Lista

Bhattacharya J, Shams L, & Shimojo S (2002). Sound-induced illusory flash perception: role of gamma band responses. *Neuroreport* **13**, 1727-1730.

Brainard DH (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spat Vis* **10**, 433-436.

Chatterjee G, Wu DA, & Sheth BR (2011). Phantom flashes caused by interactions across visual space. *J Vis* **11**, 14.

Dunnett C.W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. 50, 1096-1121. 1955. *Journal of the American Statistical Association*.

Ref Type: Generic

Ernst MO, Banks MS, & Bulthoff HH (2000). Touch can change visual slant perception. *Nat Neurosci* **3**, 69-73.

Gardner R.M. Table of criterion values ($\hat{\alpha}$) used in signal detection theory. Dalsing S., Reyes B., and Brake S. 16, 425-436. 1984. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*.

Ref Type: Generic

GEBHARD JW & MOWBRAY GH (1959). On discriminating the rate of visual flicker and auditory flutter. *Am J Psychol* **72:521-9.**, 521-529.

Geisser S. An extension of Box's results on the use of the F distribution in multivariate analysis. Greenhouse S.W. 29, 885-891. 1958. *The Annals of Mathematical Statistics*.

Ref Type: Generic

Green DM. Signal detection theory and psychophysics. 1966. New York, Wiley.

Ref Type: Generic

Hove MJ, Fairhurst MT, Kotz SA, & Keller PE (2013). Synchronizing with auditory and visual rhythms: an fMRI assessment of modality differences and modality appropriateness. *Neuroimage* 67:313-21. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.11.032. Epub@2012 Nov 30., 313-321.

Karns CM, Dow MW, & Neville HJ (2012). Altered cross-modal processing in the primary auditory cortex of congenitally deaf adults: a visual-somatosensory fMRI study with a double-flash illusion. *J Neurosci* **32**, 9626-9638.

Kingdom A.A.F. *Psychophysics: A practical introduction*. Prins N. 2009. Amsterdam, Academic Press.

Ref Type: Generic

Lewkowicz DJ. The development of intersensory perception: Comparative perspectives. Lickliter, R. 1994. Hillsdale, NJ. Erlbaum.

Ref Type: Generic

Lewkowicz DJ (2000). The development of intersensory temporal perception: an epigenetic systems/limitations view. *Psychol Bull* **126**, 281-308.

McCormick D & Mamassian P (2008). What does the illusory-flash look like? *Vision Res* **48**, 63-69.

- Pelli DG (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies. *Spat Vis* **10**, 437-442.
- Schwartz J.L. Ten years after Summerfield: A taxonomy of models for audio-visual fusion in speech perception. Robert-Ribes J. and Escudier P. *Hearing by eye: The psychology of lipreading*, 85-108. 2014. UK, Lawrence Erlbaum Associates.
- Ref Type: Generic
- Shams L, Kamitani Y, & Shimojo S (2000). Illusions. What you see is what you hear. *Nature* **408**, 788.
- Shams L, Kamitani Y, & Shimojo S (2002). Visual illusion induced by sound. *Brain Res Cogn Brain Res* **14**, 147-152.
- Shams L, Kamitani Y, Thompson S, & Shimojo S (2001). Sound alters visual evoked potentials in humans. *Neuroreport* **12**, 3849-3852.
- Stein BE & Meredith MA (1990). Multisensory integration. Neural and behavioral solutions for dealing with stimuli from different sensory modalities. *Ann N Y Acad Sci* **608:51-65; discussion 65-70.**, 51-65.
- Stein BE & Stanford TR (2008). Multisensory integration: current issues from the perspective of the single neuron. *Nat Rev Neurosci* **9**, 255-266.
- Violyentev A, Shimojo S, & Shams L (2005). Touch-induced visual illusion. *Neuroreport* **16**, 1107-1110.
- Watanabe K & Shimojo S (2001). When sound affects vision: effects of auditory grouping on visual motion perception. *Psychol Sci* **12**, 109-116.
- Welch RB, DuttonHurt LD, & Warren DH (1986). Contributions of audition and vision to temporal rate perception. *Percept Psychophys* **39**, 294-300.
- Welch RB & Warren DH (1980). Immediate perceptual response to intersensory discrepancy. *Psychol Bull* **88**, 638-667.
- Wilson JT (1987). Interaction of simultaneous visual events. *Perception* **16**, 375-383.
- Wozny DR, Beierholm UR, & Shams L (2008). Human trimodal perception follows optimal statistical inference. *J Vis* **8**, 24-11.

Köszönet nyilvánítás

Köszönetet mondok dr. Sály Gyulának témavezetőmnek, hogy lehetőséget biztosított munkám sikeres elvégzéséhez és dolgozatom megírásához. Köszönöm mind szakmai, mind emberi támogatását.

Szeretném kifejezni köszönetemet prof. dr. Jancsó Gábor-nak, hogy lehetővé tette számomra, hogy részt vegyek a PhD. programban.

Hálás vagyok Liszli Péternek, aki nélkülözhetetlen szakmai tanácsaival, önzetlen támogatásával alapvetően hozzájárult szakmai fejlődésemhez és sikeres munkámhoz.

Köszönettel tartozom dr.Kaposvári Péter-nek, Bognár Annának és Utassy Györgyi-nek a munkájukért és segítségükért és mindig nagyon inspiráló társaságukért a laborban.

Köszönetet mondok az intézetben dolgozó valamennyi munkatársnak a kísérleti munka során felvetődött gyakorlati problémák megoldásában nyújtott segítségükért és a sok nélkülözhetetlen kísérleti tartozék elkészítéséért.

Hálával tartozom továbbá szüleimnek dr. Csibri József-nek és Keresztes Erikának, valamint testvéremnek, Csibri Melindának, akik nélkül ez a szakdolgozat nem jöhetett volna létre. Köszönöm nekik, hogy tanulmányaim során türelemmel és megértéssel támogattak, és minden helyzetben mellettem álltak.

Végül, de nem utolsósorban köszönöm dr.Kiss Alexandrának, hogy segítségével túljuthattam a nehéz pillanatokon és hogy értelmet adott a munkámnak.

Ez a kutatás az OTKA 83671 (S. Gy.) és TAMOP 4.2.4. A/2-11/1-2012-0001 (Cs. P.). támogatásával valósult meg. “A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

I. A tézis témakörébe v g  publikációk

Csibri P, Kaposvari P, Sary Gy
Illusory flashes and perception.
Journal of Vision (2014) 14:(3) 6-11.
IF: 2.479

Kaposv ri P, Bogn r A, Csibri P, Utassy Gy, S ry Gy.
Fusion and fission in the visual pathways.
Physiological Research. (2014) 63(5): 625-635.
IF: 1.555

Kaposv ri P, Csibri P, Csete G, Tompa T, S ry Gy
Auditory modulation of the inferior temporal cortex neurons in rhesus monkey
Physiological Research (2011) 60:(Suppl. 1) S93-S99.
IF: 1.555

II. A t zis t mak r t l f ggetlen publik ci k

Nemeth D, Sefcsik T, Németh K, Turi Z, Dye CD, Csibri P, Janacsek K, V r s E,
Vecsei L, Sztraha LK
Impaired language production in asymptomatic carotid stenosis
Journal of neurolinguistics (2013) 26:(4) 462-469.
IF: 1.115