

# Mesterséges nyelvtan vizsgálata eyetracker és EEG segítségével

## A szemmozgásban talált különbségek elemzése

Készítette: Pajkossy Péter (BME Kognitív Tudományi Tanszék)

Dátum: 2014.07.21.

### 1. Elemzés módszertana

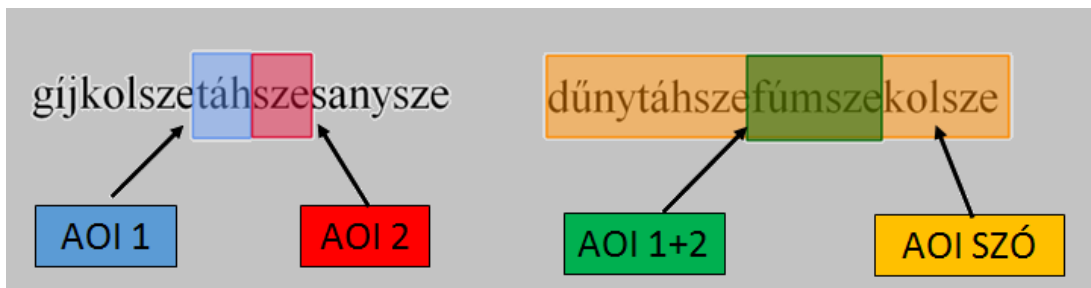
#### 1.1. A kísérleti kondíciók

A statisztikai elemzés során három kondícióba eső álszavakat hasonlítottunk össze. Az 1. és a 2. kondícióba hibás, míg a 3. kondícióba a helyes mesterséges nyelvtan szerint képzett álszavak kerültek. Az 1. táblázatban láthatóak az egyes kondícióhoz tartozó álszavak példái (1-2. kondícióban pirossal kiemelve a hibás részt).

1. kondíció	nrvr <b>N</b> vr	gíjtáhszefűm <b>vel</b> pursze	zsömfűmszekol <b>vel</b> pursze
2. kondíció	nvr <b>N</b> vr	veltáhsze <b>gíj</b> szepursze	velsanysze <b>zsöm</b> szepursze
3 kondíció	nrvrvvr	velfűmszetáhszekolsze	zsömsanyszekolszetáhsze

#### 1.2. Szemmozgás elemzések

A szemmozgás mérése során minden k.sz. esetében a bal szemet mértük. Az eye-tracker adatokat az ún. AOI-elemzés segítségével elemeztük (AOI: Area of Interest). Ennek az elemzésnek az a lényege, hogy a k.sz. által látott inger bizonyos részeit kijelöljük, és ezekre a kiemelt figyelmet igénylő területekre számolunk ki különböző mutatókat. A jelen elemzéshez kijelölt AOI-ok az 1. ábrán láthatóak. Az **AOI1** a kritikus rész első szótagját fedi le (ez a szótag a 2. kondícióban hibás, V helyett N), míg az **AOI2** a kritikus rész második szótagját fedi le (ami az 1. kondícióban hibás, R helyett N). Az **AOI1+2** a teljes kritikus részt lefedi, míg az **AOI SZÓ** a teljes, ábrán lévő szót fedi le. Fontos megjegyezni, hogy a betűk eltérő nagysága, illetve a szótagok eltérő betűszáma miatt ezen AOI-ok nagysága minden inger esetében eltérő volt – de ezek a nagy elemszám miatt feltehetőleg kiegyenlítődnek a kondíciók között.



1. ábra. A k.sz.-ek által olvasott szavakra helyezett, és a statisztikai analízisekben használt AOI-ok.

Három mutatót számoltunk ki ezekhez az AOI-okhoz, a három kondícióra külön-külön:

**Az első fixáció hossza (first fixation duration):** Az adott AOI-ba eső első fixáció hosszúsága msec-ben, gyakran használt mutató a feldolgozási mélységgel kapcsolatban (mértékegység: msec; az összes trialban mérve, majd kondíciónként átlagolva).

**Mutató: visszatérések száma (revisits):** Az adott AOI-ba való első belépés és kilépés UTÁN hányszor tért még vissza a tekintet az adott AOI-ba (mértékegység: visszatérések száma/trial; az összes trialban mérve, majd kondíciónként átlagolva).

**Arányosított nézési idő:** Első lépésben kinyerjük az AOI-okra jutó százalékos nézési időt minden trial esetében (azaz az adott trial alatt az idő hány százalékában nézett arra az AOI-ra a k.sz.). Ezután a szabályszerűség szempontjából kritikus AOI-ok (AOI1, AOI2, AOI1+2) százalékos nézési idejét elosztjuk a teljes szóra eső százalékos nézési idővel (AOI SZÓ). Így megkapjuk, hogy a szó feldolgozása során az idő hány %-ban van a tekintet az adott AOI-on (mértékegység: %, az összes trialra kiszámolva, majd kondíciónként átlagolva).

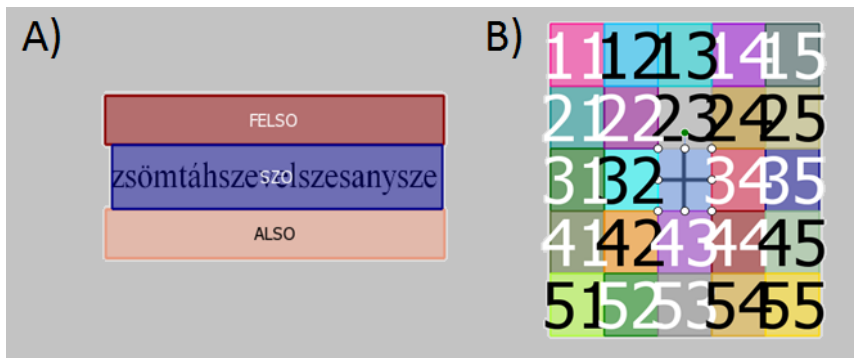
A statisztikai elemzés során párosított mintás t-próbával hasonlítottuk össze a szabálysértéses kondíciókba (1.-2.) tartozó szavak olvasása alatt mért szemmozgás-mutatók értékeit a kontroll-kondíció (3.) szavainak olvasása alatt mért értékekkel. Három különböző összehasonlítást végeztünk: (1) összes választ figyelembe véve, (2) csak a helyes válaszokat figyelembe véve, végül pedig (3) az 1.-2. kondícióban adott helytelen válaszokat összehasonlítva a 3. kondícióban adott helyes válaszokkal. Szintén elvégeztük az ún. 'transition matrix' elemzést is, melyben az egyik AOI-ból a másikba történő átmeneteket (transitions) vizsgáltuk. Az alábbiakban csak a szignifikáns eredményeket mutató összehasonlításokat mutatjuk be. Az összes releváns adat és összehasonlítás megtalálható a results.xlsx fájlban.

Az elemzések során az egyes kondíciókban külön megnéztük a helyes és a helytelen válaszokra kiszámított szemmozgás-mutatókat. Amennyiben a helyes vagy helytelen válaszok aránya egy adott k.sz.-nél 10%-nál kevesebb volt, akkor azt a k.sz.-t kizártuk az elemzésből (lásd results.xlsx fájl eredményeket bemutató munkalapjain az „A” oszlopot a kizárások indoklásáért).

### 1.3. Szemmozgás adatok szűrése

A szemmozgás-adatok elemzése előtt minden ksz.-nél megvizsgáltuk, hogy a szemmozgás-adatai valóban ott jelennek-e meg, ahol az instrukció alapján elvárható. A vertikális pontosság ellenőrzése végett megvizsgáltuk, hogy a szó megjelenése során a szó felett és alatt kijelölt AOI-on mennyi ideg volt a tekintet (lásd 2A. ábra, FELSŐ és ALSÓ elnevezésű AOI). Két k.sz.-nél ez 90% alatt volt, ezért őket kizártuk a további elemzésből. B.G esetében az ok az volt, hogy nem sikerült jó minőségű adatfelvételt elérni. F.Á. esetében jó volt az adatminőség: a trial-ek kezdetén mindig a fixációs keresztre nézett, az olvasás során azonban a tekintete nagyon magasra került, elcsúszott. Ennek az okát nem lehet utólag megállapítani: talán a két szem használatának olvasás közbeni specifikus különbségéről lehet szó, ami erre az egy k.sz.-re volt jellemző.

A horizontális pontosság ellenőrzését a fixációs kereszt során mért nézési mintázatok segítségével ellenőriztük. A fixációs keresztet lefedték egy 5x5-s AOI mátrixszal (lásd 2B. ábra). A mátrix minden négyzetének a szélessége megegyezik az 'o' betű szélességével. Ha jó az adatminőség, akkor a fixációs kereszt megjelenése során a nézési idő legnagyobb százalékának a mátrix közepére kell esnie. A nézési idők eloszlása egyik k.sz.-nél sem utalt egy betű szélességnél nagyobb eltérésre, ezért horizontális eltérés miatt senkit nem kellett kizárni (lásd az eloszlásokat a results.xlsx táblázatban).

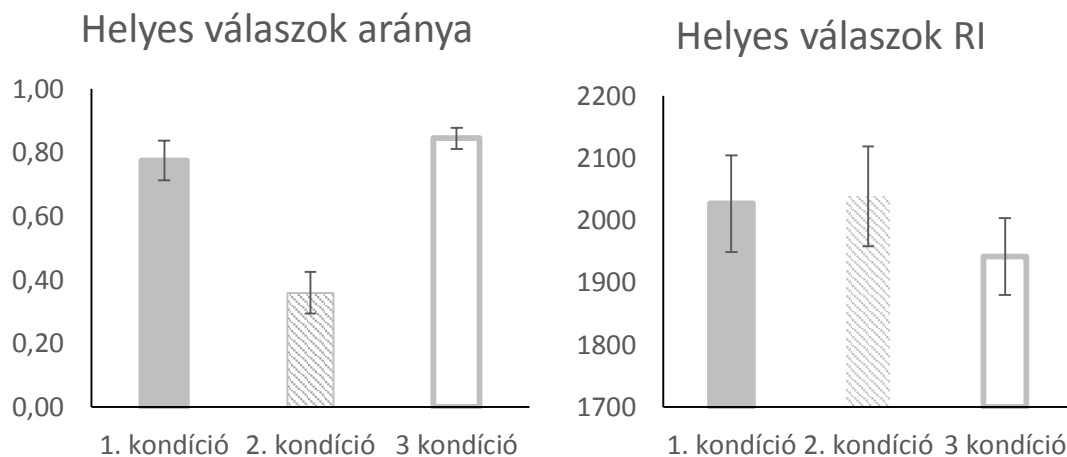


2. ábra. Az adatminőség megállapításához használt AOI-ok.

## 2. Eredmények

### 2.1. Viselkedéses eredmények

A helyes válaszok arányát ábrázolja a 3. ábra (itt szerepel a szemmozgás-elemzésből kizárt két ember adata is). Látható, hogy a szabályszerű elemeket sikeresen tudták azonosítani a k.sz.-ek (3. kondíció), és azt is könnyen észrevették, ha az ismétlődő R elem ('sze') nem szerepelt a szóban (1. kondíció). A 2. kondícióban azonban a találati arány jóval alulmúlja a véletlen találgatás szintjét is. Ennek az oka minden valószínűség szerint az, hogy a k.sz.-ek egy jelentős része csak az 1. kondícióban lévő szaliens hibára fókuszált, és azokat a szavakat, amelyekben az R elemek stimmeltek, automatikusan jónak vették. Így a 2. kondícióban nem tűnt fel nekik, hogy a V helyett N elem található (3 ksz-nél is 5% alatti volt a 2. kondíció találati aránya). A helyes válaszok reakcióideje alacsonyabb a 3. kondícióban, de ez nem szignifikáns eltérés ( $p=.06$ , illetve  $p=.19$ ).

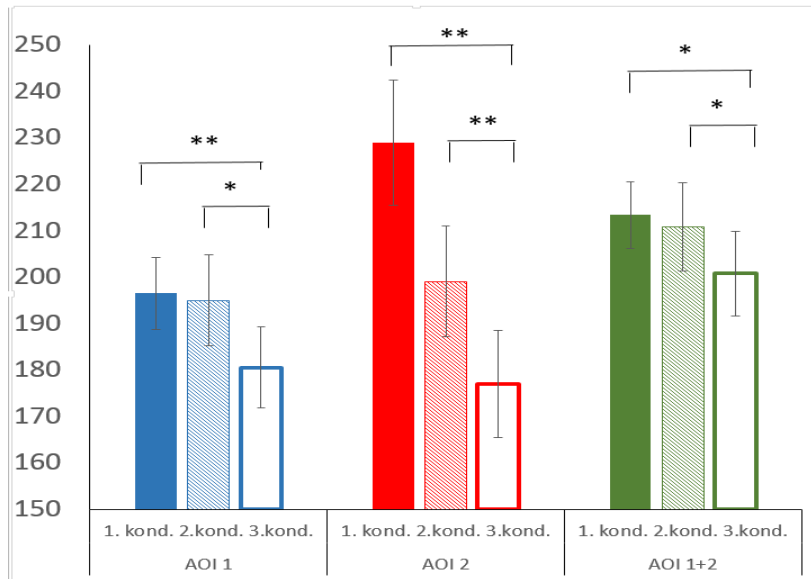


3. ábra. Viselkedéses eredmények: helyes válaszok aránya és reakcióidő. A hibásávok a standard hibát ábrázolják.

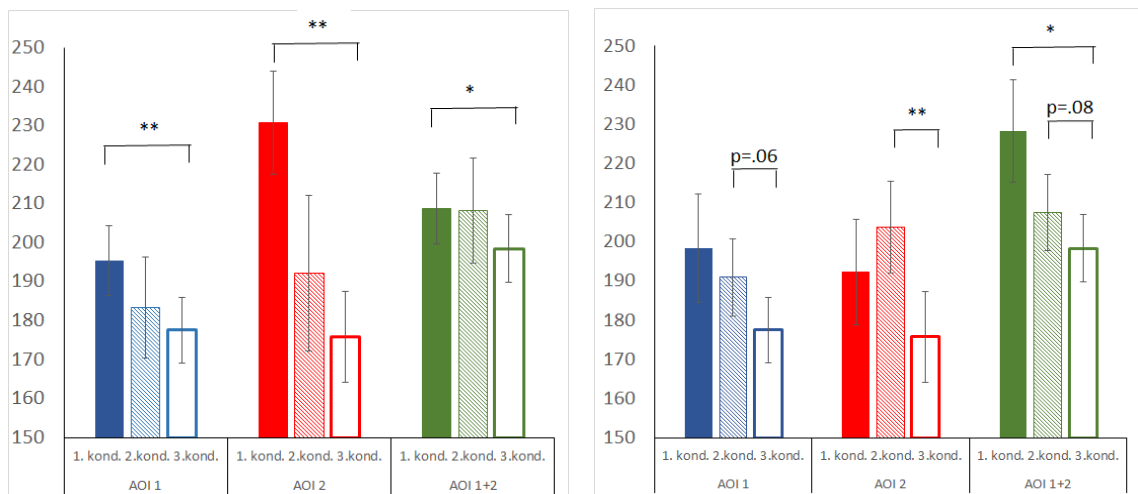
### 2.2. Szemmozgás adatok – első fixáció hossza

A 4. ábrán láthatóak az egyes kondíciókban az egyes AOI-okon regisztrált első fixációk hosszainak átlaga. Egyértelműen kimutatható, hogy a szabályt nem követő szavaknál (1-2. kondíció) hosszabb az első fixáció - akár az első, akár a második szótagról van szó. Amennyiben az adatokat szétbontjuk helyes és helytelen válaszokra (5. ábra), akkor némileg bonyolultabb kép alakul ki. A helyes válaszok összehasonlítása esetén az 1. kondíció szavainál megmarad a különbség, a 2. kondíció esetében

azonban elveszti a szignifikanciáját. Ennek az lehet az oka, hogy átlagosan csak 36%-ban válaszoltak jól a k.sz.-ek ebben a kondícióban. Ezáltal kevesebb próbát és k.sz.-t lehetett bevonni az elemzésbe, és a statisztikai erő csökkent. Ezt támasztja alá, hogy a különbség nominálisan továbbra is megvan, de a 2. kondíció helyes válaszaira számolt mutatónak megnő a standard hibája, és emiatt nem lesz szignifikáns a t-próba (lásd 5. ábra bal oldalán). Az 1.-2. kondíció helytelen válaszainak a 3. kondíció helyes válaszaival való összehasonlítása is érdekes mintázatot mutat: mind a két kondíció esetében található olyan AOI, amelynél a fixáció-hossz nagyobb a szabálytalan szóra, mint a szabályosra. Mivel itt végül rossz választ adnak a k.sz.-ek, ez az implicit tanulás jelenlétét bizonyíthatja. Itt a tisztább kép kimutatásához szinten több k.sz.-re lenne szükség (lásd a két jelzett tendencia-szintű eredményt az 5. ábra jobb oldalán).



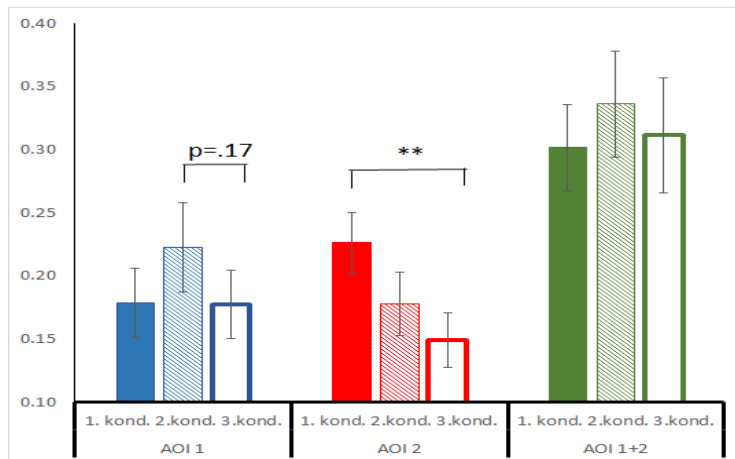
**4. ábra.** Az első fixáció hossza a három kondícióban, a különböző releváns AOI-ok esetében. A hibásávok a standard hibát ábrázolják; \*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .01$



**5. ábra.** Az első fixáció hossza a három kondícióban, a különböző releváns AOI-ok esetében. Bal oldal: csak a helyes válaszokat figyelembe véve. Jobb oldal: az 1.-2. kondíció helytelen válaszait összehasonlítva a 3. kondíció helyes válaszaival. A hibásávok a standard hibát ábrázolják; \*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .01$

### 2.3. Szemmozgás adatok – visszatérések

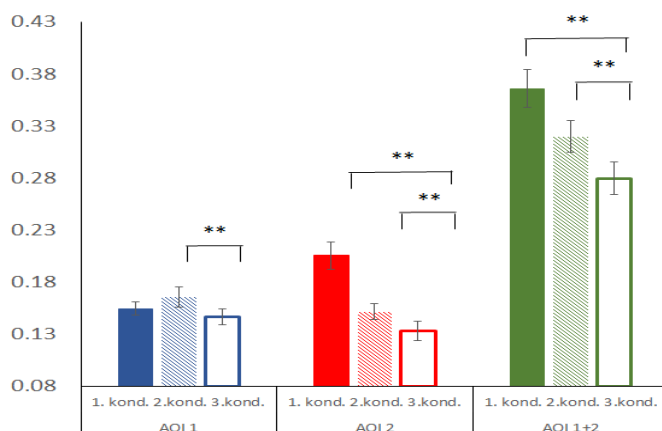
A 6. ábra mutatja a visszatérések átlagos számát kondíció és AOI szerint bontva. Látható, hogy csak az AOI2-re való visszatérésben van különbség, és csak az 1. kondícióban. Ez várható, hiszen ebben a kondícióban pont ezen a területen található a nagyon szaliens hibás elem (az ismétlődő R helyett egy N). Ez a hatás szignifikáns marad akkor is, ha csak a helyes válaszokat hasonlítjuk össze. Semmilyen más összehasonlítás nem hoz szignifikáns eltérést. Érdekes talán még megjegyezni, hogy a 2. kondíció kritikus területe az AOI1 volt, és itt is van egy 7%-os eltérés a kontrollkondícióhoz képest - ez az eltérés nem szignifikáns ( $p = .17$ ), de itt a kis mintaméret elfedhet egy valós hatást.



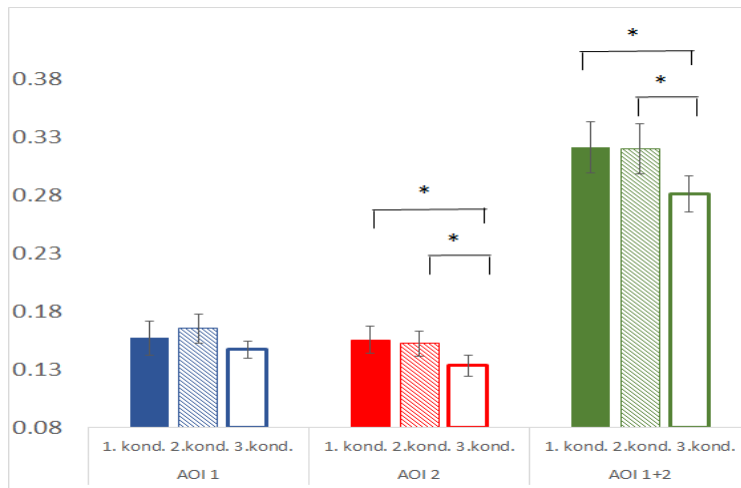
**6. ábra.** Visszatérések átlagos száma a három kondícióban, a különböző releváns AOI-ok esetében. A hibásávok a standard hibát ábrázolják; \*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .01$

### 2.4. Szemmozgás adatok – arányosított nézési idő

A 7. ábra mutatja be az arányosított nézési időket kondíció és AOI szerint bontva. Látható, hogy mind a két nem szabályszerű kondíció esetén (1-2.) többet néznek a k.sz.-ek a szavak kritikus, hibát rejtő részeire. Ugyanezt a mintázatot kapjuk akkor is, ha csak a helyes válaszokat hasonlítjuk össze. Érdekes eredményt kapunk, ha a nem szabályszerű kondíciók helytelen válaszait hasonlítjuk össze a kontroll-kondíció helyes válaszaival (8 ábra): azt láthatjuk, hogy még helytelen válasz esetén is hajlamosak a k.sz.-ek többet időzni a szabályt nem követő szótagokon, mint a szabályt követő szavak esetében. Mivel itt végül rossz választ adnak, ez az implicit tanulás jelenlétét bizonyíthatja.



**7. ábra.** Az arányosított nézési idő a három kondícióban, a különböző releváns AOI-ok esetében. A hibásávok a standard hibát ábrázolják; \*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .01$



**8. ábra.** Az arányosított nézési idő a három kondícióban, a különböző releváns AOI-ok esetében- Az 1-2. kondíció helytelen válaszait hasonlítjuk össze a 3. kondíció helyes válaszaival. A hibásávok a standard hibát ábrázolják; \*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .01$

### 2.5. Transition matrix elemzés

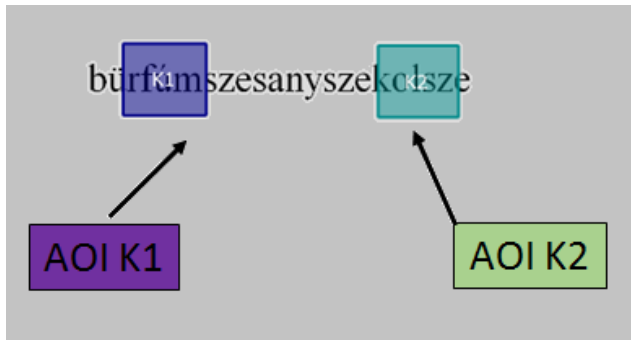
Ezen elemzés során összeszámoltuk, hogy az egyes kondícióba tartozó trialok alatt átlagosan hány átmenet történt az AOI1-ből az AOI2-be illetve fordítva, illetve az AOI SZÓ-ból hány átmenet történt az AOI2-be vagy az AOI1-be. Az eredmények a 2. táblázatban láthatóak. Látható, hogy egy kivétellel (AOI2→AOI1) minden esetben több átmenet történt az egyes AOI-ok között, amennyiben hibás volt a szó, mint amikor szabályos.

ÁTLAGOS ÁTLÉPÉSEK SZÁMA (TRANSITIONS)			Melyikbe					
			AOI1			AOI2		
			1. kond.	2. kond.	3. kond.	1. kond.	2. kond.	3. kond.
Melyikből	AOI1	M(SE)				0,83	0,76	0,69
		T proba (1/2 vs 3)				0,00	0,02	
	AOI2	M(SE)	0,15	0,07	0,05			
		T proba (1/2 vs 3)	0,00	0,10				
	AOI SZÓ	M(SE)	1,62	1,41	1,21	1,51	1,16	1,03
		T proba (1/2 vs 3)	0,00	0,00		0,00	0,03	

**8. ábra.** Átmenetek száma az egyes AOI-ok között. A T-próba oszlopban a párosított t-próbákhoz tartozó p-értékek láthatóak.

### 2.6. Kontroll AOI-ok vizsgálata

Annak bizonyítására, hogy a fent feltárt szignifikáns eltérések valóban a szavak kritikus részeihez kapcsolódnak, kijelöltünk további két AOI-t, melyek a kritikus részek előtt, illetve mögött helyezkednek el (9. ábra). Ezen AOI-ok esetében egy esetben sem találtunk szignifikáns különbséget, mely a szabálytalan szavak gyorsabb/alaposabb feldolgozására utalt volna (lásd results.xlsx fájl kontroll munkalapja). Ez bizonyítja, hogy a talált eltérések tényleg az implicit/explicit módon elsajátított/reprezentált mesterséges nyelvtan megsértéséhez kapcsolódnak.



9. ábra. A kritikus részeket nem lefedő, kontrollként használt AOI-ok.

### 3. Összegzés

A szemmozgás-mintázatok vizsgálata alapján elmondhatjuk, hogy a kísérleti manipuláció megjelent a szemmozgás-mutatók eltéréseiben. A szabálytól eltérő szavak esetében a kritikus szótagokon hosszabb volt az első fixáció, illetve arányaiban többet nézték őket. Ez igaz volt mind az összes trialra számolt mutatókra, mind pedig a csak a helyes válaszokra számolt mutatók esetében. Érdekes, hogy eltérés található a szemmozgás-mutatókban a nem szabályszerű elemekre adott rossz válaszok illetve a kontroll kondícióra adott jó válaszok összehasonlításakor is. Azaz szemmozgás-mutatókban kimutatható különbség van aközött, ha a k.sz. egy szabályszerű elemre mondja azt, hogy szabályszerű, illetve aközött, ha a k.sz. egy NEM szabályszerű elemre mondja azt, hogy szabályszerű. Az átmenetek száma is azt bizonyítja, hogy a nem szabályos szavaknál alaposabban vették szemügyre a k.sz.-ek a kritikus AOI-okat. A visszatérések számában nem volt jelentős különbség – ezt talán az okozhatta, hogy a rövid döntési idő miatt ez a legkevésbé érzékeny mutató (hiszen az 2 mp-es átlagos döntési idő maximum 1-2 visszatérést tesz lehetővé).

Összegezve tehát elmondhatjuk, hogy a mesterséges nyelvtan elsajátítására utaló különbségek megjelentek a szemmozgás-mutatókban. Mivel az első kondícióban a hiba nagyon szaliens volt, ezért itt ez az eredmény viszonylag triviálisnak tekinthető. Jóval érdekesebb azonban a második kondíció, ahol k.sz.-ek találati aránya jóval 50% alatt volt, tehát az explicit viselkedés szintjén nem mutatták nyomát, hogy felismerték a hibát- a mesterséges nyelvtan elsajátításának nyomai mégis megjelentek a szemmozgások szintjén.