

---

*Eredeti közlemények*

---

## SZINTAKTIKAI SÉRTÉSEK ÉS A SÉRTÉS NYELVTANI ELEMEL KÖZÖTTI TÁVOLSÁG HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A MAGYAR NYELVBEN

KOCSIS ZSUZSANNA<sup>1,2</sup> – HAJDU BOTOND<sup>1</sup> – OROSZ GÁBOR<sup>1,3</sup> –  
WINKLER ISTVÁN<sup>1,4</sup> – HONBOLYGÓ FERENC<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup> MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet

<sup>2</sup> BME TTK Kognitív Tudományi Tanszék

<sup>3</sup> ELTE PPK Pszichológiai Intézet

<sup>4</sup> SZTE Pszichológiai Intézet

<sup>5</sup> MTA TTK Agyi Képző Központ

E-mail: kocsis.zsuzsanna@ttk.mta.hu

*Berkeztett:* 2016. március 4. – *Elfogadva:* 2016. július 12.

**Háttér és célok:** A szövegek megértéséhez elengedhetetlen a nyelvtani szerkezet feldolgozása. Kísérletünkben a helytelen nyelvtani szerkezet (szintaktika) feldolgozása során megjelenő eseményhez kötött agyi potenciálok (EAP) vizsgáltuk, mely általában két komponensben jelenik meg: a bal anterior negativitás (LAN) és a P600. A LAN-t a morfoszintaktikai szabálysértés váltja ki. A P600-at a nyelvtani szerkezeti újrarendeléséhez kötik, azaz nyelvtanilag helytelen, bonyolult vagy többértelmű információ feldolgozásakor jelenik meg. A többet vizsgált nyelvekkel ellentétben a magyar nyelvben az alany-állítvány egyeztetés sértése mellett a tárgy-állítvány egyeztetés sértése is megvalósítható. Az alany-állítvány egyeztetési sértés mellett két olyan sértést hoztunk létre, melyek az alany és a tárgy reorganizációját vonják maguk után: a „-t” tárgyrag elhagyásával a tárgyról, illetve annak az alanyhoz toldásával. Kutatásunkban arra kerestük a választ, hogy az alany-tárgy reorganizációs sértések eseteiben is megjelennek-e a tipikus EAP-komponensek, illetve az alany-állítvány sértéshez hasonló mintázatot mutatnak-e. Emellett arra is választ szeretnénk volna kapni, hogy az egyeztetést meghatározó szavak közötti távolság befolyásolja-e ezeket komponenseket.

**Módszer:** 20 egészséges felnőtt elektroencefalográfiás vizsgálata során egy képernyőn szavanként jelentek meg a mondatok, melyeknek fele nyelvtanilag helyes, fele pedig helytelen volt. Háromféle sértést alkalmaztunk, és sértéseket meghatározó szavak közötti távolság 1–11 szó lehetett.

**Eredmények:** A három típusú sértés eltérő LAN-P600 mintázatot eredményezett, emellett a kétféle reorganizációs sértés sem mutatott egyforma EAP-mintázatot. Továbbá a nyelvtani elemzőrendszer érzékeny a sértést meghatározó két szó közötti távolságra.

**Kulcsszavak:** szintaktikai feldolgozás; alany-állítvány egyeztetés sértése; tárgy-állítvány egyeztetés sértése; nyelvtani elemek közötti távolság; bal anterior negativitás (LAN); P600

## BEVEZETÉS

A szövegek megértésének alapvető részfolyamata a nyelvtani szerkezet, más néven a szintaxis feldolgozása. Ennek révén vagyunk képesek megtalálni egy szövegben az elemek közötti kapcsolatokat és kombinálni a lexikai szintű reprezentációkat (Kaan és Swaab, 2002; Hagoort, 2003). A normál feldolgozást kísérő agyi folyamatokat előnyös a sértések révén vizsgálni, mivel a sértések viszonylag rövid időn belül nagyobb idegsejt-populációk szinkron aktivitását váltják ki, ami megfelelő eljárásokkal detektálható. Ezért kutatásunkban sértések elemzésével próbáltuk a szintaktikai elemzés agyi mechanizmusait feltárni. A szintaktikai feldolgozáshoz két eseményhez kötött agyi potenciál (EAP) köthető, a bal anterior negativitás (angolul: left anterior negativity, továbbiakban LAN) és a P600 komponens (Friederici, Hahne és Mecklinger, 1996; Hagoort, Brown és Oosterhout, 1999). Mindkettő elsősorban szintaktikai sértések, illetve szintaktikailag bonyolult szövegek feldolgozása esetén jelenik meg. Jelen kutatásunkban arra kerestük a választ, hogy ezek az általában alany-állítmány egyeztetés megsértésével kiváltott agyi elektromos válaszok (Friederici, Pfeifer és Hahne, 1993; Jolsvai és mtsai, 2011) megjelennek-e magyar nyelvű szövegekbe illesztett egyéb egyeztetési sértések esetében is. Az alany-állítmány egyeztetés sértése mellett két másik típusú sértést hoztunk létre, melyben a) az alanyi szerepben álló szóhoz „-t” tárgyragot toldunk, illetve b) a tárgyi szerepben álló szóról elhagyjuk a „-t” tárgyragot. Mindkét esetben csak az állítmány bemutatásakor, mely a sértett szó után történt meg, derült ki a felesleges rag jelenléte, illetve a szükséges rag hiánya. Azaz, a kísérleti személy a szavankénti olvasás során a „-t” raggal ellátott főnevet először tárgyként, a rag nélküli főnevet pedig alanyként értelmezhetette. Az állítmány bemutatása során aztán rákényszerült, hogy ezt az eredeti értelmezést megváltoztassa. Ezért ezt a két nyelvtani sértésformát a jelen vizsgálatban „alany-tárgy reorganizációs sértéseknek” nevezzük. Amennyiben az alany-állítmány egyeztetés megsértése által kiváltott EAP-k az alany-tárgy reorganizációs sértések esetében is megjelennek, további kérdésünk az volt, hogy hasonló mintázatot mutatnak-e az alany-állítmány egyeztetés megsértésével kiváltottakkal. Végül arra is választ szeretnénk volna kapni, hogy a két, az egyeztetést meghatározó szó közötti távolság befolyásolja-e a szintaktikai feldolgozással kapcsolatos EAP-komponenseket.

Számos tanulmány foglalkozott a szintaktikai feldolgozás agyi folyamataival az elmúlt évtizedekben (pl. Hagoort, Brown és Groothusen, 1993; Oosterhout és Mobley, 1995; Münte, Matzke és Johannes 1997; Friederici, 2002 stb.). Az eredmények szerint az alany-állítmány egyeztetés megsértése kétfázisú agyi elektromos választ eredményez. Ez a baloldali anterior negativitás és a P600 EAP-komponensekből áll, függetlenül a nyelv morfoszintaktikai és tipológiai jellemzőitől. Ezek alapján a LAN-t többnyire a morfoszintaktikai feldolgozás jelzőmozzanatának írják le, mely akkor váltódik ki, amikor nyelvtanilag helytelen információt dolgozunk fel (Friederici, Pfeifer és Hahne, 1993; Münte, Heinze és Mangun, 1993; Friederici, 2002). Más kutatások azonban vitatják, hogy a LAN a szintaktikai feldolgozáshoz köthető komponens lenne; ezek szerint a LAN inkább a munkamemória terhelésének mértékét tükrözi (Kluender és Kutas, 1993; Coulson, King és Kutas, 1998; Kaan, 2007). Zawiszewski és Friederici (2009) azt állítják, hogy nemcsak a szintaktikai hibázások felismeréséhez köthető a LAN megjelenése, hanem olyan szintaktikai munkamemória-folyamatokhoz is, melyek akkor

vannak jelen, ha komplex mondatokat dolgozunk fel. Bár a LAN-komponenst bal oldali anterior negativitásnak nevezik, sok esetben nem kifejezetten a bal féltekére lateralizálódik, hanem inkább bilaterális eloszlású (Wassenaar, Brown és Haagoort, 2004; Kaan, 2002).

A P600 komponens a legtöbb elmélet szerint olyan pozitív komponens, ami szerkezeti újrafeldolgozási folyamatokhoz köthető, amennyiben komplex, nyelvtanilag helytelen vagy nyelvtanilag többféleképpen értelmezhető információt dolgozunk fel (pl. Osterhout és Holcomb, 1992; Friederici és mtsai, 1993). Leginkább centroparietális területeken jelenik meg, az ingerkezdet után nagyjából 500-600 ms-mal.

Bár a nyelvfeldolgozás neurális hátterét tárgyaló modellek (pl. Friederici, 2002; Haagoort, 2003; Bornkessel és Schlesewsky, 2006) eltérő módon értelmezik az EAP-jelek mögött álló feldolgozási folyamatokat, minden modell konzisztens kétfázisú LAN-P600 mintát jósol nemcsak az alany-állítmány egyeztetés, hanem általában az igei egyeztetés megsértése esetében is. Azonban az eredmények nem egyértelműek már az alany-állítmány egyeztetést illetően sem: egyes vizsgálatokban a LAN-P600 komponensek együttjárását (Friederici, 2002; Jolsvai és mtsai, 2011), más vizsgálatokban pedig vagy csak P600 komponenst (pl. Gouvea, Phillips, Kazanina és Poeppel, 2010), vagy csak LAN-komponenst találtak (Munte és mtsai, 1997). Míg az alany-állítmány egyeztetés a legtöbb nyelvben előfordul, és ezáltal többet is vizsgálták, a tárgy-állítmány egyeztetés jóval kevesebb nyelvben található meg; a magyar egy ezek közül (lásd É. Kiss, 2002). Zawiszevski és Friederici (2009) a baszk nyelvben vizsgálta az alany-állítmány és tárgy-állítmány egyeztetés sértését. A szerzők egyik esetben sem találtak LAN-P600 EAP-válaszszerkezetet, hanem az N400-P600 komponensek jelentek meg. Ezt azzal magyarázták, hogy a korábban bemutatott szavakat (az alanyt, illetve a tárgyat) a résztvevők nem tudták az egyeztetett szóhoz kötni, ezért nem szintaktikai, hanem szemantikai sértésként érzelték a hibás szavakat, ami az N400 komponensben tükröződött (Kutas és Hillyard, 1980; összefoglalót lásd Kutas és Federmeier, 2011).

A jelen kutatásban magyar nyelvű mondatok esetében kívánjuk összehasonlítani az alany-állítmány egyeztetés, illetve az alany-tárgy reorganizációs sértéssel kiváltott EAP-válaszokat. A korábbi eredmények alapján a LAN- és a P600 komponensek megjelenését vártuk. A különböző sértéstípusok vizsgálata eredményeképpen azt vártuk, hogy amennyiben a nyelvtani helyesség a meghatározó tényező az EAP-komponensek kiváltásában, akkor a szó mondatban betöltött szerepe (alany vagy tárgy) nincs hatással a további feldolgozásra. Azaz, a LAN és a P600 általános „eredmény” típusú komponensek, melyek összesítve mutatják a különböző szintaktikai sértések detektálását. Ezért a nyelvtani sértés típusától függetlenül, nagyobb amplitúdójú választ kapunk a nyelvtanilag helytelen mondatokra, mint a helyesekre, mind a LAN, mind a P600 esetében. Ha a sértés típusa alapján eltérő mintázatú válaszokat kapunk, akkor vagy arra következtethetünk, hogy *a)* a nagyobb sértési választ eredményező típus fontosabb szerepet tölt be mondatok nyelvtani feldolgozásában, mint a többi típus, vagy *b)* a LAN-P600 nem általános nyelvfeldolgozási komponensek, hanem specifikus nyelvtani szerkezetek feldolgozását tükrözik. Az alany-állítmány egyeztetés sértése, illetve az alany-tárgy reorganizációs sértés eltérő feldolgozást igényelhetnek. Az alany-állítmány egyeztetés sértése nem igényli a mondat átstrukturálását, mivel a mondatot alkotó szavak szerepe nem változik a szintaktikai hiba korrekciója után.

Ezzel szemben az alany-tárgy reorganizációs sértések esetében a hiba korrekcióját követően a mondat jelentős átstrukturálása szükséges, hiszen a mondatot alkotó szavak szerepe megváltozik.

Több elmélet is született azzal kapcsolatban, hogy a két, az egyeztetésben érintett szó közötti távolság hogyan befolyásolja a szintaktikai feldolgozást. Gibson (1998) függőségi lokalitási elmélete szerint (dependency locality theory) két elem integrálásának a képessége az elemek távolságától függ. Ha hosszabb távot kell áthidalni, több elemet kell a memóriából előhívni, ami nagyobb integrációs költséggel jár, vagyis nehezebb lesz a feldolgozás, lassul az olvasási idő. Gibson szerint korlátozott mennyiségű memóriakapacitás áll rendelkezésre a mondatfeldolgozás közben, ezért amikor két elem távolabb kerül egymástól, egyre nehezebb lesz újraaktiválni az első elemet az integrációhoz. Ezzel szemben Kozneczný (2000) úgy véli, hogy a közbeékelődő szöveg valójában csökkenti a feldolgozási időt (anti-locality effect). Kozneczný (2000) érvelése szerint a közbeékelődő szöveg elősegíti az ige előzetes meghatározását, így egyfajta anticipációs hatással bír.

A lokalitáselméletek alternatívájaként elképzelhető az is, hogy a távolság a sértést alkotó szavak közt rontja a pontosságot amikor egy mondat helyességét kell eldönteni, de ez nem csökkenti a feldolgozási sebességet (McElree, 2000; McElree, Foraker és Dyer, 2003). E szerzők szerint, a gibsoni elmélettel szemben, az első elem emlékezeti reprezentációja könnyedén hozzáférhetővé válik, amikor a második elem megjelenik a mondatban. Ezért nem elég a szavak közötti távolságot figyelembe venni, hanem a szavak közötti szöveg komplexitását is meg kell fontolni. Ezzel szemben Jolsvai, Sussman, Csuha és Csépe (2011) nem találtak bizonyítékot a magyar nyelvben arra, hogy a mondat nyelvtani komplexitásának hatása lenne az EAP-komponensekre akár a korai, akár a későbbi idői ablakban. Ez az eredmény konzisztens Gunther, Stowe és Mulder (1997), valamint Kaan (2002) megállapításaival, ellenben a nyelvtani helyességnek mindkét EAP-időablakban hatása volt: a nyelvtanilag hibás mondatok nagyobb amplitúdójú komponenseket eredményeztek, mint a nyelvtanilag helyesek.

Vizsgálatunkban arra kerestünk választ, hogy az alany-állítmány egyeztetés sértése és az alany-tárgy reorganizációs sértés eltérő EAP-mintázatot vált-e ki, és amennyiben igen, mennyiben térnek el egymástól. Emellett arra is szeretnénk volna választ kapni, hogy a két, az egyeztetésben érintett szó közötti távolságnak van-e hatása a szintaktikai feldolgozási folyamatokra. A fentiek szerint a különböző elméletek különböző eredményeket jósolnak. Ennek megfelelően eredményeink alkalmasak lesznek az elméletek közötti összehasonlításra.

## MÓDSZER

### *Résztvevők*

Húsz magyar anyanyelvű, egyetemi tanulmányokat folytató egészséges fiatal felnőtt (átlagéletkor: 22,85 év, szórás = 2,1, 8 férfi) vett részt a kutatásban. A részvételért pénzbeli juttatást kaptak. Egyik résztvevő sem szedett semmilyen a központi idegrendszerre ható gyógyszert. A résztvevők látása normális vagy normálisra korrigált volt. A kísérlet

előtt írásos beleegyező nyilatkozatot töltöttek ki, miután a kísérlet céljáról és az alkalmazott eljárásokról tájékoztatást kaptak. A kísérletet az Egyesített Pszichológiai Kutatásikai Bizottság hagyta jóvá. A kísérletet a Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Kutatóközpont Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézetében végeztük. A kísérlet során a résztvevők egy hang- és elektromosan szigetelt kamrában elhelyezett kényelmes széken ültek.

### *Eszközök és a kísérleti eljárás*

A mondatokat szavanként prezentáltuk, melyek egy számítógépes monitor közepén fehér kisbetűkkel, 60%-os szürke háttér előtt jelentek meg. A távolság a monitor és a résztvevő között 125 és 135 cm között volt; ezáltal a szavak körülbelül 3-4°-os látószögben jelentek meg. Minden szó 400 ms hosszan jelent meg a képernyőn, melyet egy üres képernyő követett 400 ms ideig.

A résztvevőket arra kértük, hogy a mondat egészleges megértésére koncentráljanak, és informáltuk őket arról, hogy némelyik mondatban lehetnek nyelvtani hibák, de arra nem kell figyelniük. Átlagosan minden 10. mondat után (összesen 41 kérdés, 5-20 mondatonként) egy eldöntendő kérdést mutattunk a képernyőn az azt megelőző mondat tartalmával kapcsolatban, melyre a kísérleti személy a két válaszgomb egyikének lenyomásával felelt. A kérdés mindaddig a képernyőn maradt, amíg a résztvevő nem válaszolt. A válaszok helyességét az elemzés során nem használtuk fel, csupán arra kellettek, hogy a résztvevők figyeljenek a mondatokra. Amennyiben nem jelent meg kérdés a képernyőn, egy üres képernyőt mutattunk be 2000 ms-ig.

Egy blokk 20 mondatból állt, a teljes kísérlet pedig 20 blokkot tartalmazott. Átlagosan egy blokk 270 másodpercig tartott. A kísérlet teljes hossza így kb. 90 perc volt. A résztvevők hosszabb szünetet tarthattak a tizedik blokk után.

### *Kísérleti feltételek*

Három különböző szintaktikai sértéstípust alkalmaztunk (lásd 1. táblázat). A három feltétel az alany-állítmány egyeztetés, az alany-tárgy reorganizációs sértés két fajtája volt. Az alany-állítmány egyeztetés sértésekor az alanyhoz a többes szám jelét toldottuk, miközben az állítmányhoz egyes számú alany illett. Az alany-tárgy reorganizációs sértés két alábbi változatát teszteltük: a „-t” tárgyragot elhagytuk a tárgyi szerepben álló szóról (alany-tárgy reorganizációs sértés elhagyással), illetve a tárgyragot hozzátoldottuk az alanyi szerepben álló szóhoz (alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással). Az összesen bemutatott 400 mondat fele nyelvtanilag helyes, másik fele helytelen volt. Minden mondatnak bemutattuk a helyes és a helytelen változatát is, a kísérlet során mindkettőt pontosan egyszer. Az alany-állítmány egyeztetés sértése és az alany-tárgy reorganizációs sértés egyenlő valószínűséggel fordult elő a kísérletben (100-100 mondat, a tárgyrag hozzátoldása és a tárgyrag elvétele 50-50 mondatban jelent meg). A helyes és helytelen mondatok, valamint a három típushoz tartozó mondatok véletlenszerű sorrendben követték egymást.

1. táblázat. A kísérletben használt nyelvtani sértéstípusok, dőlt betűvel jelölve az alany, illetve tárgy szót, aláhúzással az igét, amely a helyes vagy helytelen egyeztetést mutatja

Elnevezés	Alany-állítmány egyeztetés sértése	Alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással	Alany-tárgy reorganizációs sértés elhagyással
<b>Leírás</b>	az alany és az állítmány egyes számban szerepel a helyes mondatban, míg a sértés esetében többes számú alanyt használtunk	a sértett mondatban az alanyi szerepben álló szóhoz „-t” tárgyratot toldunk	a sértett mondatban a tárgyi szerepet betöltő szó végéről a „-t” tárgyra-got elhagyjuk
<b>Példa a helyes mondatra</b>	A világháló kiépítésének kezdete a huszadik század közepére <u>nyúlik</u> vissza.	Amerikai <i>kutatók</i> arra az érdekes eredményre <u>jutottak</u> , hogy egyetlen átaludt éjszaka nem pótolja az alváskiesést.	A statisztikák szerint másodpercenként hetven új <i>honlapot</i> <u>hoznak</u> létre világszerte.
<b>Példa a helytelen mondatra</b>	A világháló kiépítésének kezdete a huszadik század közepére <u>nyúlik</u> vissza.	Amerikai <i>kutatókat</i> arra az érdekes eredményre <u>jutottak</u> , hogy egyetlen átaludt éjszaka nem pótolja az alváskiesést.	A statisztikák szerint másodpercenként hetven új <i>honlap</i> <u>hoznak</u> létre világszerte.

A sértést meghatározó két szó változó távolságra volt egymástól, ez a távolság 1 és 11 szó között mozgott. A távolság hatásának ilyen finomságú vizsgálata sajnos nem volt lehetséges, mivel az egyes szótávolságok alacsony elemszáma elégtelen EAP jel-zaj viszonyt eredményezett volna. Ezért a távolság hatását két csoport elkülönítésével vizsgáltuk: a) egy és két szó távolság (kis távolság), b) több mint két szó távolság (nagy távolság). Így a két csoport kb. 50-50%-ot tett ki a mintában szereplő mondatokban, ami lehetővé teszi az eltérő elemszámból származó torzítások kiküszöbölését az összehasonlítás során.

Jelen kísérlet egy későbbi kutatás ingeranyagának előkészítését szolgálta azzal a céllal, hogy meghatározzuk, hogy e későbbi kísérletekben használandó ingeranyagba milyen nyelvtani sértéseket illesszünk be, amelyek a legnagyobb valószínűséggel váltanak ki EAP-válaszokat. Az ingeranyagot ezért a későbbi kutatás szempontjainak megfelelően megszerkesztett, ötperces, szóban elmondott összefüggő információközlő szövegekből emeltük ki. Emiatt a jelen kutatásban használt mondatok nagy változatosságot mutattak hosszban, szerkezetben, tartalomban stb. Továbbá a kísérlet előtt a résztvevők két további feladatot is végrehajtottak. Mivel ezek a feladatok egy másik vizsgálat részét képezik, itt nem számolunk be róluk.

### *Elektrofiziológiai mérés és elemzés*

Az elektroenkefalogram (EEG) felvétele a skalpra helyezett 13 Ag/AgCl elektródával készült, a nemzetközi kiterjesztett 10-20-as rendszernek megfelelően (Jasper, 1958; Chatrian, Lettich és Nelson, 1985). Az orr hegyére helyezett elektróda szolgált referenciaként. A későbbi analízis során az adatokat a masztoid elektródák átlagához vi-

szonyítottuk; ez lett az új referencia. A szemmozgásokat két bipolárisan kapcsolt elektródapárral regisztráltuk, amelyek a bal szem fölé és alá (vertikális elektrookulogram, VEOG), illetve két szem külső sarkánál voltak elhelyezve (horizontális elektrookulogram, HEOG). Az EEG- és EOG-jeleket SynAmps (Neuroscan Inc.) erősítővel erősítettük fel (0-40 Hz sávban), 500 Hz-es sűrűséggel mintavételeztük, majd az adatfeldolgozáshoz 250 Hz-re csökkentettük a mintavételezés sűrűségét. A jeleket felvételük után megszűrtük egy 0,1-30 Hz diszkrét idejű (FIR) sávszűrővel (Kaiser-ablak, Kaiser = 5,65, szűrőhossz 4530 pont).

Minden nyelvtani sértést tartalmazó szó, illetve a nyelvtanilag helyes pár bemutatásának kezdetéhez illesztve 1200 ms hosszúságú jelszakaszt emeltünk ki a folyamatos EEG-ből, amely 200 ms ingermegjelenés előtti időt is tartalmazott. Az ingerkezdet előtti szakaszon alapvonalí korrekciót végeztünk. Azokat a jelszakaszokat, melyekben az amplitúdó 100  $\mu$ V-nál nagyobb tartományban változott, kizártuk az analízisből. Így átlagosan a jelszakaszok 81,7%-át tartottuk meg.

A LAN és a P600 azonosítására és mérésére különbségi görbéket számoltunk a helyes és a sértett szó EAP-i között. Az átlagos LAN-amplitúdókat 52 ms hosszú ablakokban mértük, míg az átlagos P600 amplitúdókat 72 ms ablakokban, melyeket a csoportátlag bal frontális (F3; LAN), illetve parietális (Pz; P600) különbségi görbéről leolvasott csúcslatenciákra illesztettünk szimmetrikusan, külön-külön a három feltétel, illetve a rövid és a hosszú egyeztetendő szavak közötti távolság esetében (az idői ablakok pontos helyét lásd az 1. és 2. ábrán).

Az EAP-komponensek létrejöttét a különbségi amplitúdókon végzett egymintás t-próbával vizsgáltuk meg. A feltételek és az egyeztetendő szavak közötti távolság hatásának vizsgálatára négy szempontos, ismételt méréses varianciaanalízist végeztünk külön-külön a LAN- és a P600 komponensek amplitúdójára az alábbi faktorokkal: Kondíció (3 szint: alany-állítmány egyeztetés sértése, alany-tárgy reorganizációs sértése hozzátoldással, illetve elhagyással)  $\times$  Távolság (2 szint: 1-2 szó, illetve több mint két szó)  $\times$  Frontalitás (3 szint: frontális, centrális, parietális)  $\times$  Laterális (3 szint: bal, középső, jobb oldali elektródák).

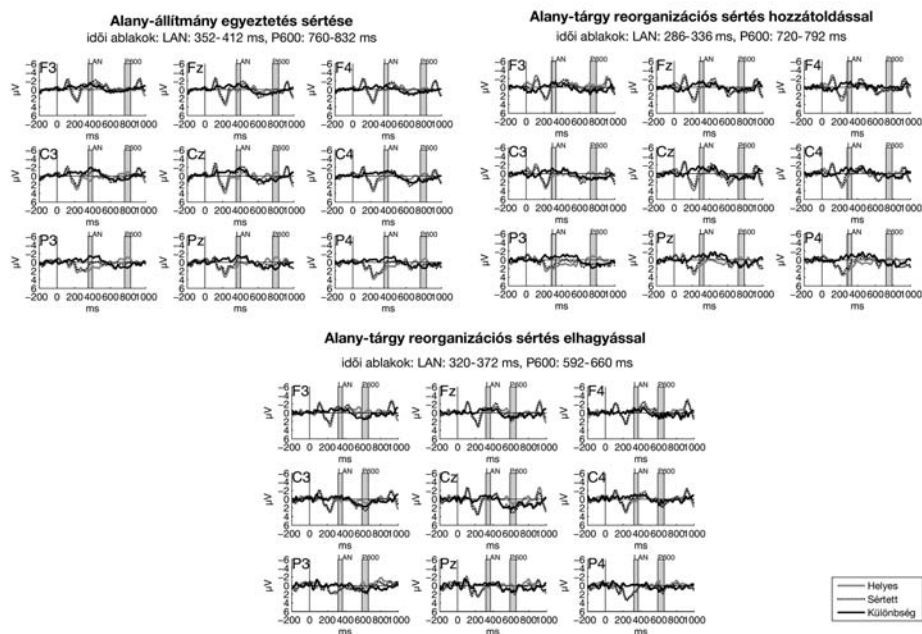
Minden szignifikáns statisztikai eredményről beszámolunk a cikkben a parciális  $\eta^2$  mutatókkal együtt. A Greenhouse–Geisser-korrekciót alkalmaztuk, amennyiben a szfericitás feltétel sérült; ahol szükséges, megadjuk az  $\epsilon$  korrekciós faktort. Az ismételt méréses varianciaanalízis post-hoc hipotézis vizsgálatát a konfidenciaszintek Bonferroni-korrekciójával végeztük el.

## EREDMÉNYEK

A három különböző sértés eltérő mintázatu EAP-válaszokat váltott ki (lásd 1. ábra). A LAN megjelenését az F3 elektródán vártuk, mivel korábbi kutatások a LAN eloszlásának maximumát bal oldali frontális elektródákon írták le. Az alany-állítmány egyeztetés és az alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással esetében a LAN-amplitúdó szignifikáns volt a bal frontális elektródán (F3), ( $t(19) = -2,91$ ,  $p = 0,01$ , illetve  $t(19) = -2,51$ ,  $p = 0,02$ ). Az alany-tárgy reorganizációs sértés elhagyással esetében, a bal oldali frontális elektródán az EAP nem érte el a szignifikancia szintjét; a jobb oldali cent-

rális (C4) elektródán viszont a komponens szignifikánsnak bizonyult ( $t(19) = -2,16$ ,  $p = 0,04$ ). A P600 megjelenésére centroparietális területeken számítottunk, amely beigazolódott az alany-tárgy reorganizációs sértés mindkét típusában (P3 elektróda;  $t(19) = 2,48$ ,  $p = 0,02$ , illetve  $t(19) = 2,39$ ,  $p = 0,03$ ). Az alany-álltmány egyeztetés sértésének esetében egy elektródán sem volt szignifikáns válasz a későbbi idői ablakban (Pz elektródán mérve:  $t(19) = 1,41$ ,  $p = 0,17$ ).

A két egyeztetendő szó közötti távolság szerint bontott csoportokra is eltérő EAP-mintázatot kaptunk (lásd 2. ábra). A LAN megjelent az F3 elektródán az alany-álltmány egyeztetés sértése 1-2 szó, illetve 3-11 szó távolság esetében is ( $t(19) = -2,65$ ,  $p = 0,02$ , illetve  $t(19) = -2,89$ ,  $p = 0,01$ ), azonban a P600 idői ablakában csak a rövidebb távolság esetében kaptunk szignifikáns eredményt (Pz elektróda nem volt szignifikáns egyik esetben sem, így a P4 elektróda a mérés helye,  $t(19) = 2,1$ ,  $p = 0,049$ , míg a 3-11 szó távolság esetében  $t(19) = -0,29$ ,  $p = 0,77$ ). Az alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással esetében a rövidebb távolság inkább a frontális elektródákon, de nem a bal oldalin (Fz elektródán:  $t(19) = -2,17$ ,  $p = 0,04$ ), míg a hosszabb távolság esetében nem váltott ki szignifikáns LAN-választ. A P600 idői ablakban a rövidebb és a hosszabb távolság esetén is szignifikáns volt a válasz a P3 elektródán ( $t(19) = 2,43$ ,  $p = 0,03$ , illetve  $t(19) = 2,54$ ,  $p = 0,02$ ). Az alany-tárgy reorganizációs sértés elhagyással esetében a rövidebb távolság szignifikáns amplitúdót mutatott a Cz elektródán a LAN idői ablakában ( $t(19) = -2,1$ ,  $p = 0,049$ ), míg a P600 idői ablakában a P3 elektródán

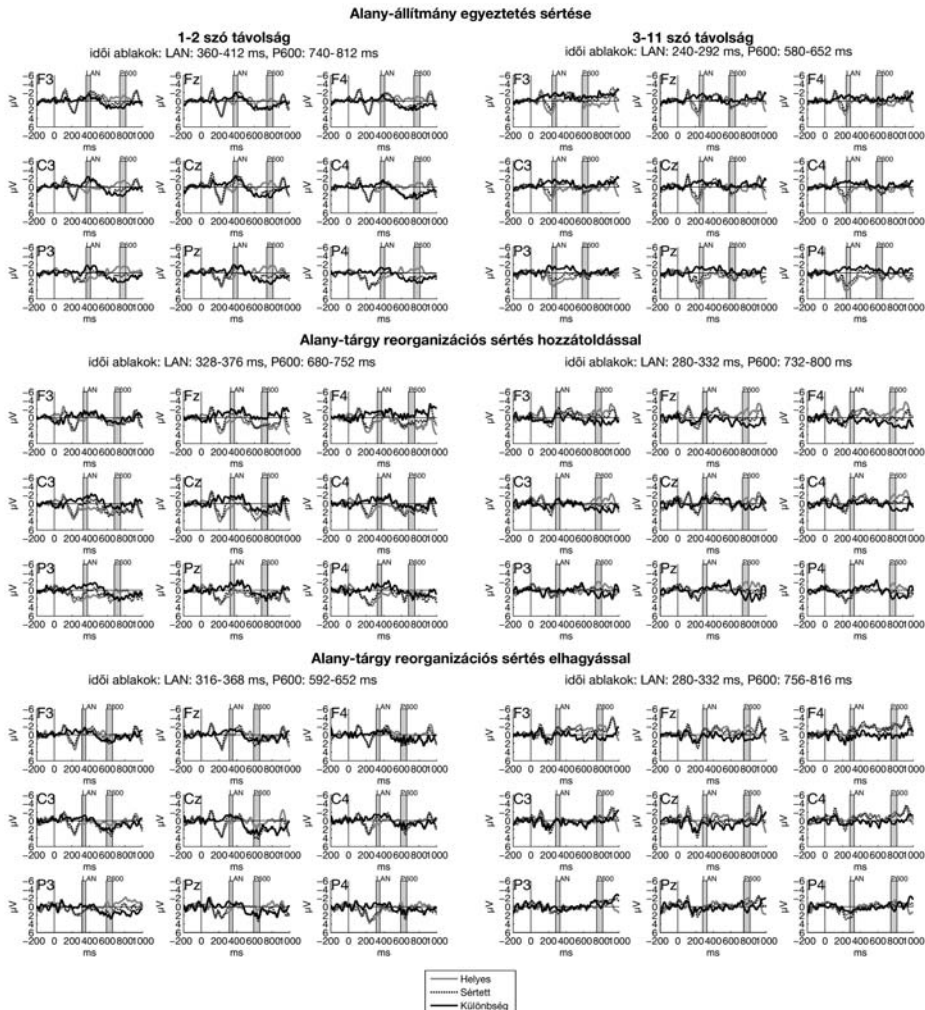


1. ábra. A különböző típusú egyeztetések megsértése által kiváltott EAP válaszok csoportátlaga ( $N = 20$ ) a frontális, centrális és parietális elektródákon mérve. Az ingerkezdet a tengelyek metszésénél van. A görbéken feltüntetett szürke sávok az egyes komponensek mérési ablakát jelölik



kaptunk szignifikáns választ ( $t(19) = 2,304$ ,  $p = 0,03$ ). A hosszabb távolság esetében semmilyen szignifikáns eredményt nem kaptunk.

Az ismételt mérések varianciaanalízis a három sértés esetében a LAN-időablakban nem mutatott szignifikáns eredményt. A P600 komponensnél a Laterális főhatás volt szignifikáns ( $F(2,38) = 7,97$ ,  $p = 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,95$ ), ami abból adódott, hogy a jobb oldali amplitúdók szignifikánsan kisebbek voltak, mint a középsők vagy bal oldaliak ( $p < 0,01$  mindkét esetben).



2. ábra. A különböző típusú egyeztetések megsértése által kiváltott EAP-válaszok csoportátlag (N = 20), külön az egyeztetendő szavak közötti rövid és a hosszú távolság esetén a frontális, centrális és parietális elektroódákon mérve. Az ingerkezdetet a tengelyek metszésénél van. A görbék feltüntetett szürke sávok az egyes komponensek mérési ablakát jelölik

A szavak közötti távolság szerint bontott csoportok esetében a LAN idői ablakában a Kondíció ( $F(2,38) = 3,8$ ,  $p = 0,03$ ,  $\eta^2 = 0,17$ ) szignifikáns főhatást mutatott, ami abból adódott, hogy az alany-tárgy reorganizációs sértés elhagyással szignifikánsan kisebb amplitúdókat váltott ki, mint az alany-állítmány egyeztetés megsértése ( $p = 0,03$ ). Emellett a Frontalitás ( $F(2,38) = 3,98$ ,  $p = 0,02$ ,  $\eta^2 = 0,17$ ,  $\varepsilon = 0,68$ , itt nem mutatkozott szignifikáns különbség a páros összehasonlításokban,  $p > 0,052$ ) és a Lateralitás ( $F(2,38) = 4,76$ ,  $p = 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,2$ ,  $\varepsilon = 0,76$ ) is szignifikáns főhatást mutatott. Utóbbi azzal magyarázható, hogy a jobb oldali amplitúdók szignifikánsan kisebbek voltak, mint a középvonaliak ( $p = 0,01$ ). A P600 idői ablakban csak a Lateralitás ( $F(2,38) = 3,94$ ,  $p = 0,03$ ,  $\eta^2 = 0,17$ ) mutatott szignifikáns főhatást, mely annak tudható be, hogy a jobb oldali amplitúdók szignifikánsan kisebbek voltak, mint a középvonaliak ( $p = 0,02$ ).

## DISZKUSSZIÓ

Kutatásunkban arra kerestünk választ, hogy a magyar nyelvben az alany-állítmány egyeztetés sértése, illetve az alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással, illetve elhagyással mennyiben mutat eltérő mintázatot. Emellett azt is megvizsgáltuk, hogy a két egyeztetendő szó távolsága hogyan befolyásolja a sértések által kiváltott EAP-kat.

Az eredmények azt mutatják, hogy az alany-állítmány, illetve az alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással, illetve elhagyással nem egyforma EAP-mintázatot vált ki. Az alany-állítmány egyeztetés sértés esetében nem az irodalom alapján elvárt LAN-P600 komponens váltódott ki, ugyanis a P600 komponens nem volt szignifikáns. Az alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással, illetve elhagyással azonban kiváltott LAN-t és P600-at. Amikor a tárgyratagot hozzátoldottuk a szó végéhez, a LAN az elvárt bal oldali frontális elektródán, a tárgyrag elhagyása esetében azonban a jobb oldali centrális elektródán jelent meg. A P600 mindkét esetben a bal parietális elektródán volt szignifikáns. Az eredmények ellentétben állnak Zawiszewski és Friederici (2009) tanulmányában leírtakkal, ahol a N400 komponens jelent meg az alany-állítmány egyeztetés megsértése esetében. Ezzel szemben, a jelen kísérletben, mind az alany-állítmány egyeztetés sértése, mind pedig az alany-tárgy reorganizációs sértés mindkét típusa LAN-t váltott ki. Zawiszewski és Friederici (2009) hasonló mintázatot találtak az alanyi, illetve tárgyas sértés esetében (N400-P600); az utóbbiban azonban alacsonyabb amplitúdójú kiváltott válaszokat kaptak. Ezt avval magyarázták, hogy a korábbi idői ablakban hasonló folyamatok mehetnek végbe mindkét sértés esetében, azonban az elemző rendszer magasabb küszöbvel rendelkezik a tárgy-állítmány egyeztetés sértésére, mint az alany-állítmány egyeztetés megsértésére. A jelen eredmények alapján elmondható, hogy mindhárom sértés megbízhatóan vált ki különbséget a korai idői ablakban, míg a későbbi időablakban az alany-állítmány egyeztetés sértése nem hozott megbízható eredményt. Ez egyrészt arra utal, hogy bár a LAN-válasz általános nyelvtani feldolgozási folyamatokat tükröz (legalábbis az alany- és tárgyegeztetés tekintetében), a feldolgozó folyamatok érzékenysége nem egyforma a különböző sértések esetében. Az, hogy a feldolgozó rendszer kevésbé érzékeny olyan sértésekre, amelyek egy elem elhagyásával keletkeznek, egy általános tendenciának felel meg. Például az Eltérési Negativitás (EN) komponens, amely mind akusztikus (Näätänen, Kujala és Winkler, 2011; Winkler, 2007), mind pedig nyelvtani

szabályok megsértésével kiváltható (Pettigrew, Murdoch, Chenery és Kei, 2004; Pulvermüller és Shtyrov, 2006) hasonlóképpen érzékenyebb olyan sértésekre, amelyek egy plusz elem hozzáadásával, mint amelyek egy elem elhagyásával járnak, mind akusztikus (Nordby, Hammerborg, Roth és Hugdahl, 1994; Winkler és Näätänen, 1993), mind pedig nyelvtani szabályok esetében (Hasting, Winkler és Kotz, 2008). Emellett a P600 hiánya arra utalhat, hogy az alany-állítmány sértés itt kevesebb újrafeldolgozást igényelt. Az is lehetséges azonban, hogy a P600 komponens nem váltódott ki megbízhatóan minden távolsági csoport esetében, ami befolyásolta az összegzett választ.

A távolsági bontás szempontjából elmondható, hogy a rövidebb távolságok általában nagyobb amplitúdójú eltérést váltottak ki, mint a hosszabb távolságok, azonban a különbség nem volt szignifikáns. Az eredmények a Gibson-féle függőségi lokalitási elméletet támasztják alá, mely szerint a több közbeékelődő szöveg, vagyis a sértést meghatározó két szó közötti nagyobb távolság nehezebb feldolgozáshoz vezet. Az alany-állítmány egyeztetés sértése a hosszabb távolságok esetén is részben konzisztens képet mutatott az elvárt válaszok tekintetében: rövidebb távolságnál bal frontális, illetve parietális területeken jelent meg a válasz a két idői ablakban, míg a hosszabb távolság szignifikáns LAN-t eredményezett a bal oldali frontális elektródán, de nem váltott ki szignifikáns P600-at. Az alany-tárgy reorganizációs sértés hozzátoldással rövidebb távolságon szintén frontális-centro-parietális komponenseket eredményezett, míg az alany-tárgy reorganizáció sértése elhagyással a rövidebb távolságnál is csak centrálisan és parietálisan váltott ki szignifikáns EAP-kat, míg a hosszabb távolságnál nem találtunk szignifikáns komponenseket. A LAN, illetve a P600 ezek alapján nem általános, összesített eredményt mutató EAP-komponensek, hanem, legalábbis részben, a sértések detektálását végző specifikus hálózatok működéséből származnak. Összefoglalásképpen elmondható, hogy az egyeztetési sértéseket meghatározó két szó közti távolság növekedésével csökken a nyelvtani sértések által kiváltott válaszok detektálásának megbízhatósága. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a különböző nyelvtani szabályokat részben más agyi hálózatok dolgozzák fel, valamint hogy a nyelvtani szabályok által előírt szavak közötti kapcsolatok erősebbek rövidebb szótávolságok esetén.

Vizsgálatunknak van néhány fontos limitációja. Lehetséges, hogy a résztvevők viszonylag kis száma (20) nem tette lehetővé a kisebb amplitúdójú komponensek szignifikáns detektálását, és megakadályozta, hogy a különböző hatásokra, illetve azok interakciójára szignifikáns eredményeket kapjunk. A kisszámú elektróda használata miatt a komponensek részletes topografikus feltérképezése nem lenne megbízható. Éppen ezért, ezek ellenőrzése és értelmezése további vizsgálatokat tesz szükségessé. A mondatok változatossága valószínűleg növelte a mérés zaját, ami szintén a kisebb amplitúdójú EAP-komponensek megbízható detektálása ellen hatott. Ugyanakkor azok a hatások, melyek ilyen körülmények között is megjelentek, robosztusnak tekinthetők. Végül, az egyes távolságok száma nem volt kiegyensúlyozott, tehát az 1-2 szó távolság összességében nagyjából az esetek felét, míg az összes többi távolság (3-11 szó) az esetek másik felét tette ki. Ez esetleg torzíthatta a feldolgozó rendszer beállítódását, miközben nem tette lehetővé, hogy a távolság hatását finomabb bontásban elemezzük. Mindezek mellett, a főbb eredmények, ti., hogy az alany-tárgy reorganizációs sértés elhagyással, illetve kisebb távolság az egyeztetendő szavak között megbízható nyelvtani sértéshez köthető EAP-válaszokat vált ki, hasznosíthatók a további kutatásokban.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Magyar Tudományos Akadémia Lendület programja (LP2012-36) támogatta, és köszönettel tartozunk D'Albini Zsuzsának az adatfelvételben nyújtott segítségéért.

## IRODALOM

- Bornkessel, I., & Schlesewsky, M. (2006). The extended Argument Dependency Model: A neurocognitive approach to sentence comprehension across languages. *Psychological Review*, 113, 787–821.
- Chatrian, G. E., Lettich, E., & Nelson, P. L. (1985). Ten percent electrode system for topographic studies of spontaneous and evoked EEG activity. *American Journal of EEG Technology*, 25, 83–92.
- Coulson, S., King, J. W., & Kutas, M. (1998). ERPs and Domain Specificity: Beating a Straw Horse. *Language and Cognitive Processes*, 13(6), 653–672.
- É. Kiss, K. (2002). *The Syntax of Hungarian*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Friederici, A. D., Pfeifer, E., & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Cognitive Brain Research*, 1, 183–192.
- Friederici, A. D., Hahne, A., & Mecklinger, A. (1996). Temporal structure of syntactic parsing: early and late event-related brain potential effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1219–1248.
- Friederici, A. D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(2), 78–84.
- Gibson, E. (1998). Linguistic complexity: locality of syntactic dependencies. *Cognition*, 68, 1–76.
- Gouvea, A. C., Phillips, C., Kazanina, N., & Poeppel, D. (2010). The linguistic processes underlying the P600. *Language and Cognitive Processes*, 25(2), 149–188.
- Gunter, T. C., Stowe, L. A., & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, 34(6), 660–676.
- Hagoort, P., Brown, C. M., & Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, 8, 439–483.
- Hagoort, P., Brown, C. M., Oosterhout, L. (1999). The neurocognition of syntactic processing. In Brown, C. M., & Hagoort, P. (szerk.) *The neurocognition of language* (pp. 273–316). Oxford UK: Oxford University Press.
- Hagoort, P. (2003). How the brain solves the binding problem for language: A neurocomputational model of syntactic processing. *NeuroImage*, 20(suppl. 1), S18–S29.
- Hasting, A. S., Winkler, I., & Kotz, S. A. (2008). Early differential processing of verbs and nouns in the human brain as indexed by the mismatch negativity event-related brain potential. *European Journal of Neuroscience*, 27, 1561–1565.
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 370–375.
- Jolsvai, H., Sussman, E., Csuhaj, R., & Csépe, V. (2011). Neurophysiology of Hungarian subject-verb dependencies with varying intervening complexity. *International Journal of Psychophysiology*, 82(3), 207–216.

- Kaan, E. (2002). Investigating the effects of distance and number interference in agreement processing: An ERP study. *Journal of Psycholinguistic Research*, 31(2), 165–193.
- Kaan, E. (2007). Event-related potentials and language processing. A brief introduction. *Language and Linguistics Compass*, 1(6), 572–591.
- Kaan, E., & Swaab, T. Y. (2002). The brain circuitry of syntactic comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(8), 350–356.
- Kluender, R., & Kutas, M. (1993). Bridging the Gap: Evidence from ERPs on the Processing of Unbounded Dependencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(2), 196–214.
- Konieczny, L. (2000). Locality and parsing complexity. *Journal of Psycholinguistic Research*, 29, 627–645.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, 11, 99–116.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, 62, 621–647.
- McElree, B. (2000). Sentence comprehension is mediated by content-addressable memory structures. *Journal of Psycholinguistic Research*, 29, 111–123.
- McElree, B., Foraker, S., & Dyer, L. (2003). Memory structures that subserve sentence comprehension. *Journal of Memory and Language*, 48, 67–91.
- Münte, T. F., Matzke, M., & Johannes, S. (1997). Brain activity associated with syntactic incongruencies in words and pseudo-words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(3), 318–329.
- Münte, T. F., Heinze, H. J., & Mangun, G. R. (1993). Dissociation of brain activity related to syntactic and semantic aspects of language. *Journal of Cognitive Neuroscience* 5(3), 335–344.
- Näätänen, R., Kujala, T., & Winkler, I. (2011). Auditory processing that leads to conscious perception: A unique window to central auditory processing opened by the mismatch negativity and related responses. *Psychophysiology*, 48, 4–22.
- Nordby, H., Hammerborg, D., Roth, W. T., & Hugdahl, K. (1994). ERPs for infrequent omissions and inclusions of stimulus elements. *Psychophysiology*, 31(6), 544–552.
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785–806.
- Osterhout, L., & Mobley, L. A. (1995). Event-related brain potentials elicited by failure to agree. *Journal of Memory and Language*, 34, 739–773.
- Pettigrew, C. M., Murdoch, B. E., Chenery, H. J., & Kei, J. (2004). The relationship between the mismatch negativity (MMN) and psycholinguistic models of spoken word processing. *Aphasiology*, 18, 3–28.
- Pulvermüller, F., & Shtyrov, Y. (2006). Language outside the focus of attention: the mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes. *Progress in Neurobiology*, 79, 49–71.
- Wassenaar, M., Brown, C. M., & Hagoort, P. (2004). ERP-effects of subject-verb agreement violations in patients with Broca's aphasia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(4), 553–576.
- Winkler, I. (2007). Interpreting the mismatch negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21(3–4), 147–163.
- Winkler, I., & Näätänen, R. (1993). Event related brain potentials to infrequent partial omissions in series of auditory stimuli. In Heinze, H. J., Münte, T. F., & Mangun, G. R. (Eds), *New Developments in Event Related Potentials* (pp. 219–226). Boston Basel Berlin: Birkhauser.
- Zawiszewski, A., & Friederici, A. D. (2009). Processing Object-Verb agreement in canonical and non-canonical word orders in Basque: Evidence from Event-related brain potentials. *Brain Research*, 1284, 161–179.

## EFFECTS OF SYNTACTIC VIOLATIONS AND THE DISTANCE BETWEEN THE VIOLATED GRAMMATICAL UNITS IN HUNGARIAN

KOCSIS, ZSUZSANNA – HAJDU, BOTOND – OROSZ, GÁBOR – WINKLER, ISTVÁN – HONBOLYGÓ, FERENC

Background and aims: *Syntax needs to be processed in order to understand a sentence. Here we studied the event-related brain potentials (ERPs) elicited by syntactic violations: the left anterior negativity (LAN) and the P600. LAN signals the morphosyntactic violations. P600 is assumed to reflect structural reanalysis when encountering grammatically incorrect, complex, or ambiguous information. In contrast to more often studied languages, in Hungarian, in addition to subject-verb agreement it is also possible to violate object-verb agreement. We created two other types of violation that resulted in the reorganization of the subject and the object while reading the sentence: by either adding the „-t” suffix to the subject or by omitting it from the object. The experiment aimed at studying whether subject-verb and object-verb agreement violations elicit the LAN and P600 potentials, and the ERP patterns are similar in all three cases. We also studied whether the distance between the words that define the violation affect the ERP components.*

Methods: *The electroencephalogram was recorded from 20 healthy adults while they read sentences word-by-word on a computer screen. Half of the sentences were grammatically correct, the other half incorrect. Three types of violations were used and the distance between the violation defining words spanned 1-11 words.*

Results and conclusions: *The different types of violations elicited different LAN-P600 pattern of responses, and the two types of reorganization violations elicited different patterns as well. Further, the grammar analysis system was sensitive to the distance variable.*

Key words: *subject-verb agreement violation, object-verb agreement violation, distance between syntactic units, left anterior negativity (LAN), P600*