

Бранимир Станковић
Филозофски факултет, Ниш

МЕТОД ERP (ЕВОЦИРАНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА) У НЕУРОЛИНГВИСТИЦИ

Неуроллингвистика, дисциплина у корпусу когнитивних наука, за предмет има откривање и објашњење везе између неуролошких активности и језичких перформанси, уз покушај кохерентног повезивања неурофизиолошких и лингвистичких модела. У раду је представљен најзначајнији експериментални метод савремене неуроллингвистике, метод евоцираног потенцијала (Event-Related Potential), којим се мере промене електричног потенцијала неуронске активности наменски изазване контролисаним лингвистичким стимулусима. Дат је опис детектованих уобичајених облика активности: N100, P200, N200, P300, N400 и P600. Затим су приказане студије из домена *очекивања током рецеиције говора*, које потврђују везу између различитих елемената језичког устројства и церебралних реакција током процесуирања језика. Наиме, семантичко процесуирање речи креће и пре него што је она целовито идентификована, јер је у когнитивној сфери на снази непрекидно мапирање лингвистичког инпута на семантичке репрезентације, па су фонолошка обележја буквално неодвојива од семантичких инстанци приликом очекивања у суженим контекстима. Такође, очекиване семантичке јединице у менталним процесима праћене су и одговарајућим синтаксичким обележјима. Још значајнијим чине се радови који показују да је претпостављена организација менталног лексикона на семантичка поља окупљена око извесних критеријума – неуроллингвистичка стварност. Закључује се да неуроллингвистика, као млада дисциплина, још нема јединствене радне теорије и модела који ће понудити релевантну интерпретацију неуроллингвистичке стварности, налик претфонолошкој фази лингвистичке повести. Тек са креирањем оваквог модела неуроллингвистика ће бити у стању да поуздано вреднује заснованост лингвистичких модела.

Кључне речи: неуроллингвистика, метод евоцираног потенцијала, N400, P600, језичко процесуирање, семантика, синтакса, фонологија

1. УВОД. Неуроллингвистика у корпусу неуронауке

Когнитивна неуронаука (Cognitive neuroscience) представља дисциплину неуронауке чији је предмет истраживања неуролошка позадина перцепције, пажње, памћења, разумевања језика, продукције говора, планирања и других мисаоних активности. Крајњи

истраживачки циљ когнитивне неуронауке је дефинисање и експликација везе између можданих активности и појединих когнитивних функција. **Неуроллингвистика** (Neurolinguistics), као поддисциплина когнитивне неуронауке, пажњу усмерава на проблеме језичких перформанси и комуникације. Ово подразумева покушаје да се успоставе конкретне релације између неурофизиолошких и лингвистичких теорија, при чему су од великог значаја и сазнања из других граничних научних области – психологије, психијатрије, патологије говора, информатике, креирања вештачке интелигенције, неуробиологије, антропологије, хемије итд.¹ (Ahlsén 2006: 3)

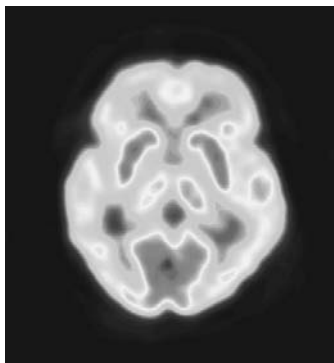
Савремена неуроллингвистика у свом легату има неколико базичних теоријских приступа у расветљавању везе између церебралних функција и језичке активности: локализам са асоцијационизмом, динамичка локализација функција, холизам и еволутивни приступ. Већ превазиђени **локализам**, петрефакт френолошке ере у неуронауци, покушавао је лоцирати претпостављене центре у мозгу одговорне за различите језичке функције. Најзначајнијим представницима локализма сматрају се Гал и Брока. **Поборници асоцијационизма** (Вернике-Лихтхајм, Гешвинд) језичке функције истражују у везама различитих области у мозгу – између регија „одговорних“ за перцепцију чулних стимулуса и области за перцепцију речи и/или „концепата“. **Динамичка локализација функција** претпоставља да се више језичке функције састоје од већег броја нижих потфункција које се могу тачно лоцирати у кортексу, али су начини њиховог алтернативног комбиновања многобројни и динамични. Овакав је приступ Виготског и Лурије. **Холистичке** теорије (Мари, Хед, Голдстајн) крећу од идеје да је највећи број језичких функција руковођено истовременом активношћу већих делова људског мозга. Коначно, **еволутивно** засноване теорије (Џексон, Браун) усредсређене су на везу сукцесивних стадијума еволуције језика и мозга, те везе између усвајања језика код деце и језичких перформанси код одраслих (Ahlsén 2006: 9–33).

¹ Јасно је да неуроллингвистика својим испитивањима задире не само у области хуманистичких наука и медицине, већ подразумева истинску интердисциплинарност, јер њен даљи прогрес зависи и од развоја друштвених, природних и техничких наука.

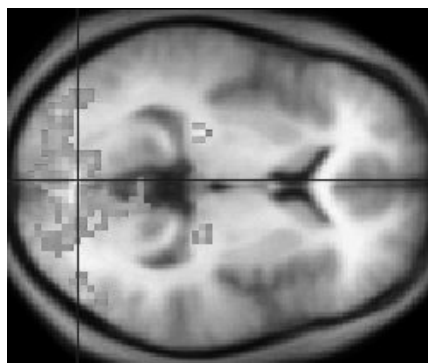
2. Хемодинамичке и електрофизиолошке методе за праћење неуролошке активности

Сасвим је јасно да за неуролингвисте најзначајнији почетни извор сазнања представља примена што поузданијих метода за праћење и мерење церебралних активности. Убрзани технолошки развој допринео је појави већег броја техничких уређаја који омогућавају оваква истраживања мозга, а чији је рад базиран на хемодинамичкој или електрофизиолошкој основи (Ahlsén 2006: 163).

Хемодинамички уређаји јако прецизно лоцирају и визуелно презентују различите нивое прокрвљености мозга, тачније, указују на ниво кисеоника који се крвљу допрема до појединих možданих регија. Разуме се да је хемодинамички ниво директни показатељ извесне možдане активности. Најзаступљеније су две методе: функционална магнетна резонанца (functional Magnetic Resonance Imaging, скраћено fMRI (сл. 1)) и позитронска емисиона томографија (Positron Emission Tomography, PET (сл. 2)). Предност ових техника је изразито висока спацијална резолуција, односно веома детаљна информација о хемодинамичкој дистрибуцији по кортексу. Велики њихов недостатак представља сиромашна темпорална резолуција, узрокована чињеницом да је процесуирање језика далеко брже од реакције апарата на промене нивоа кисеоника у појединим деловима мозга (Shaul 2008: 52).



сл. 1: Снимак начињен методом PET



сл. 2: Изглед fMRI запис

Електрофизиолошке методе možдану активност прате посредством електроенцефалографа, уређаја који детектује промене електромагнетног поља које се ствара док група неурона преноси информацију. При том, неопходни физички контакт са теменом

испитаника омогућен је ношењем специјалне капе (сл. 3). Насупрот хемодинамици, ове технике имају високу темпоралну резолуцију, јер дају прецизан увид у електромагнетне промене на скалпу готове сваке четири милисекунде (Shaul 2008: 53). На жалост, велики њихов недостатак је ниска спацијална резолуција, па науци и даље предстоје напори на решавању проблема двају комплементарних метода, чија је истовремена примена за сада, нешто налик Хајзенберговом принципу неодређености, технички неостварива.

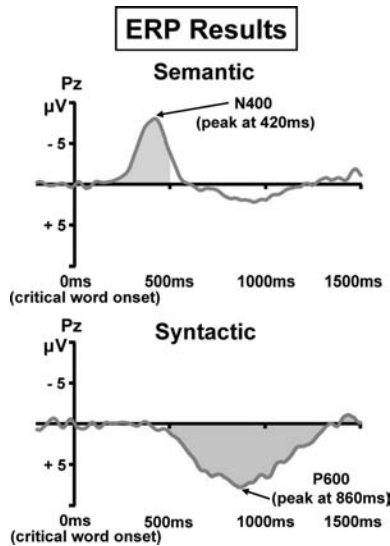


сл. 3: Електроенцефалографска испитивања

3. *Метод ERP-а (евоцираног пошенијала)*

Најзначајнији приступ у оквиру електрофизиолошких неуролингвистичких испитивања представља метод евоцираног потенцијала (Event Related Potential, скраћено ERP). Сам назив истраживачке технике открива њене карактеристике – наиме, ERP-ем се минуциозно мере промене електричног потенцијала наменски изазване одређеним контролисаним лингвистичким стимулусима. Ове се промене детектују на електроенцефалографском запису као позитивни или негативни напон, а ERP вредности представљају екстракцију просечно добијених вредности при реакцији на истоветне језичке задатке (сл. 4). Своје име детектована уобичајена мождана активност најчешће добија управо на основу напона (N – негативни, P – позитивни напон) и просечног времена протеклог између излагању стимулусу и одговарајуће реакције², исказаног у милисекундама (мс). Неуронаука је до сада успешно детектовала десетак таквих карактеристичних, уобичајених можданих реакција на поједине језичке перформансе попут читања или перцепције говора: N100, P100, N200, P200, N400, P600, MMN (Bentin 1989: 211).

2 Ради се о просечном времену које дели наддражај од максималне амплитуде на EEG графикону.



сл. 4: Електроенцефалографски запис евоцираног пошеницијала

N100 се, тако, по резултатима неуролошких испитивања, повезује са иницирањем пажње или покретањем селективне пажње. Типично се јавља у фронталном режњу 80-180 мс, односно, у задњем делу главе 150-200 мс по излагању написаној или изговореној речи. Има и аутора који тврде да је N100 можда реакција на било какве перцептабилне промене у окружењу, било то визуелне или аудио промене, као што је, на пример, модулација фреквенце емитованог тона.

P200 је у једном броју студија назначен као облик активности мозга који се јавља при процесима смештања јединица попут речи у краткорочно памћење или, пак, њиховог враћања из дугорочне меморије у радну меморију. У извесној мери је потврђена и спацијална разлика у њиховој дистрибуцији – фронтални, нешто ранији P200 знак је енкодирања у краткорочно памћење, док се каснији централно-задњи P200 сматра одговорним за преусмеравање јединица из дугорочне у радну меморију.

N200 је типична компонента електроенцефалографског графикана чија амплитуда изразито расте са детектовањем некаквог проблема при процесуирању (на пример, задатка са парадигмама речи). Измерена је и услед појаве било каквог неуобичајеног физичког стимулуса. N200 у антериорној регији јавља се током читања реченице у којој је мењањем реда речи прекршено строго синтаксичко правило (*браћу шетике од*). N280, каснија верзија ове компо-

ненте, повезује се са лексичком категоризацијом на концептуалне и процедуралне јединице.

P300 је мождана активност карактеристична за процесуирање централних информација током доношења одлука или динамично „ажурирање“ информације којом се барата у радној меморији. Јавља се у две варијанте: P300a, која има фронтално-централну дистрибуцију и одраз је ангажовања пажње, и P300b, компоненте са централно-паријеталном дистрибуцијом која указује на процесе категоризације.

N400 је карактеристичан облик мождане активности који заокупља велику пажњу неуролингвиста. Распон брзине реакције ове компоненте варира, од 300 до 600 мс, широко се распростирући по читавом скалпу, при чему је дистрибуција незнатно израженија на десној страни. У студијама се показује веза N400 са излагањем било каквом стимулусу са некаквим значењем, попут слике објеката или псеудообјеката, те речи или псеудоречи које крше неко ортографско правило или фонолошко ограничење. При том је измерена амплитуда пропорционална контекстуалној семантичкој повезаности – мања семантичка веза међу речима евоцира мању, а већа семантичка веза већу амплитуду детектованог N400. Такође је доказана и корелација амплитуде са категоријом којој припада реч којој се испитаник излаже: концептуалне речи имају већу, а процедуралне мању просечну амплитуду. Нешто ранији N400 повезује се са препознавањем речи у краткорочној меморији, док се постериорна компонента сматра одразом процеса семантичких обрада у дугорочном памћењу.

P600 компоненту на EEG-у неуролингвисти најчешће доводе у везу са когнитивним процесуирањем синтаксички неадекватних речи у реченици. У појединим студијама ова је компонента детектована при излагању било каквој новини у стимулусу, и изговореној и прочитаној речи. Рађене на корпусу енглеског, холандског, немачког и италијанског језика, студије потврђују P600 реакцију на огрешење о синтаксичка правила или синтаксичку двозначност. Тако, синтаксичка депласираност последње речи у реченици редовито евоцира P600. Слична мождана реакција јавља се и при појави неконгруенције субјекта и реченичног предикта (Shaul 2008: 53–80).

4. Примена метода евоцираног потенцијала у неуролингвистици

Области језичких испитивања у којима се метода евоцираног потенцијала у неуролингвистици данас примењује веома су разнолике: читање, писање, перцепција и продукција говора, усвајање

и учење језика итд. При том се упоређују резултати детектованих можданих активности различитих група испитаника – деце, одраслих, афазичара, дислексичара, испитаника који спавају и сл. Ми ћемо овом приликом обратити пажњу на оне студије у којима се покушава успоставити директна веза између различитих елементарних језичког устројства и церебралних реакција током процесуирања језика. Оваквим се истраживањима, дакле, посредно покушавају верификовати модерне лингвистичке теорије и њихове претпоставке о хијерархијској организацији језика.

Веома подесан терен за оваква испитивања представља домен очекивања током рецепције говора. Наиме, упркос ранијем убеђењу психолингвиста да је језик сувише непредвидив (в. на пример, рад Stanowich-West 1979) поједине студије крећу управо од идеје да се предвиђање током рецепције језика рутински јавља. Контексти којима су испитаници излагани у овим истраживањима креирани су тако да се могућности свршетка дискурса сведу на јединствену реч.

У раду Van Petten et al. (1999) истраживаче је интересовало да ли се реакција на неочекивани свршетак дискурса јавља одмах након рецепције гласова који не припадају очекиваној речи или тек након што је читава реч перципирана. Претходни контекст презентован испитаницима гласио је: *It was a pleasant surprise to find that the car repair bill was only seventeen... (dollars)* Мерна реакција на три различита типа завршетка: на реч која започиње истим слогом као очекивана (*dolphins*), на реч која се римује са контекстуално претпостављеном речи (*scolars*) и на реч која се већ од иницијалних гласова разликује од очекиване (*bureaus*). Утврђена је потпуно истоветна мождана активност током перципирања првог слога очекиване речи (*dollars*) и речи *dolphins*, али се одмах по чувењу неадекватних гласова другог слога јавља снажна N400 реакција. С друге стране, преостале две речи су одмах по перцепцији иницијалног гласа биле праћене истоветном компонентом. Ово наводи на закључак да семантичко процесуирање речи креће и пре него што је она целовито идентификована, те да је у когнитивној сфери на снази непрекидно мапирање лингвистичког инпута на семантичке репрезентације (Van Petten et al. 1999: 415). Разуме се, студија недвосмислено показује да су фонолошка обележја буквално неодојива од семантичких инстанци приликом очекивања у суженим контекстима.

Студија Federmeier-Kutas (1999) испитивала је величину реакције при перципирању мање или веће грешке семантичке природе. Наиме, испитаник је био изложен следећем исказу: *He caught the*

pass and scored another touchdown. There was nothing he enjoyed more than a good game of... Помињањем термина из америчког фудбала испитаникова очекивања сведена су на једну реч, *football*. Мерена је реакција на ову и још две речи, *baseball* и *monopoly*. При том се претпоставило да је организација менталног лексикона таква да јединицу *baseball* сврстава у исту категорију као и очекивану јединицу *football*, за разлику од речи *monopoly*. Занимљиво је да се ова претпоставка показала тачном, јер је амплитуда при перцепцији речи из исте категорије нешто мања него код речи које тој категорији не припадају.

У раду Wicha, Moreno & Kutas (2003) недвосмислено су доказане и синтаксичке импликације очекивања у суженим контекстима. Ова ERP истраживања говорника шпанског језика базирана су на намерној промени преноминалног члана, који уједно мармира и род. Код испитаника је забележена снажна можда реакција одмах по рецепцији члана који не конгруира у роду са претпостављеном, очекиваном речи.

На основу резултата поменутих студија јасно је да су, у суженим контекстима, очекиване семантичке јединице у менталним процесима праћене одговарајућим синтаксичким и фонолошким обележјима. Још значајнијим чини се закључак да је претпостављена организација менталног лексикона на семантичка поља окупљена око извесних критеријума – неуролингвистичка стварност.

5. Закључак. Будућности методе евоцираног потенцијала и неуролингвистике

Метода евоцираног потенцијала релативно је млада истраживачка техника, опречних резултата презентованих у различитим студијама и опречних интерпретација добијених резултата. Овој методи мањка, пре свега, адекватног теоријског оквира. Неусмерена или теоријски погрешно усмерена истраживања, разуме се, лако доведу до непоузданих резултата, јер се под чињеницом у науци врло често сматрају и ставови који интерпретирају оно што нам је дато у чулном искуству. Поред кохерентне неуролингвистичке теорије, која би експликативно повезала лингвистичка и неурофизиолошка сазнања, развој ERP-а подразумевао би и неопходно повећање спацијалне резолуције ове методе, детектовање још већег броја типичних EEG активности током процесуирања језика, њихово што прецизније повезивање са појединим језичким перформансама, а што све подразумева и реализовање што већег броја појединачних истраживања, како би корпус акумулираних сазнања био што обимнији.

Ипак, чини се да је основни проблем са којим се истраживачи суочавају управо недостатак једног истинског неуролингвистичког модела, који би био у стању да успостави смисленију корелацију између лингвистичких стимулуса и евидентираних потенцијала. За почетак би, чини се, од користи био било какав теоријски оквир, па макар се он у потоњој историји неуролингвистике испоставио и погрешним!

За илустрацију стања у данашњој неуролингвистици послужићу се поређењем са претфонолошком фазом лингвистичке повести. Наиме, нагли развој метода експерименталне фонетике омогућио је почетком 20. века далеко прецизнију слику о артикулационој, акустичкој и перцептивној страни људског језика. Мноштво података и детаља о фонетској страни говора сакупљено је на корпусу великог броја језика. Међутим, сва та маса пуких фонетских записа и транскрипција није имала никаквог нарочитог лингвистичког значаја јер се у њима није могло да разлучи релевантно од небитног, инваријантно од променљивог, функционално од произвољног. Тек стварањем фонолошког модела, структуралистички базираног на контрастивним опозицијама, експерименталне фонетске чињенице подлегле су апстраховању у дискретне јединице. Тиме је задати теоријски оквир јасно исцртао границе у непрегледној маси фонетског материјала и дао научног основа за његову ваљану интерпретацију.

Неуролингвистици и методи евоцираног потенцијала, према томе, тек предстоје изазови формулисања свеобухватног теоријског модела који ће понудити недвосмислене смернице за разумевање и експликацију добијених EEG резултата. Таква би теоријска окосница омогућила не само поуздану класификацију и интерпретацију резултата ових експерименталних истраживања, већ би коначно и верификовала исправност „чисто“ лингвистичких теорија о моделу језичке структуре.

Литература

- Алсен 2006: E. Ahlsén, *Introduction to Neurolinguistics*, John Benjamins Pub Co, 212.
- Бентин 1989: S. Bentin, Electrophysiological studies of visual word perception, lexical organization, and semantic processing: A tutorial review, *Language and Speech*, 32, 205–220.
- Фидермајер, Кутас 1999: K. D. Federmeier, M. Kutas, A rose by any other name: Long-term memory structure and sentence processing, *Journal of Memory and Language*, 41, 469–495.

Коен, Нејгел 1977: М. Коен, Е. Нејгел, *Увод у логику и научни метод*, Београд: ЗУНС.

Кутас, Делонг 2008: М. Kutas, К. DeLong, A Sampler of Event-Related Brain Potential (ERP) Analyses of Language Processing, *Brain Research in: Language*, ed. Zvia Breznitz, Springer Science+Business Media, LLC, 153–187.

Шаул 2008: S. Shaul, Event-Related Potentials (ERPs) in the Study of Dyslexia, *Brain Research in: Language*, ed. Zvia Breznitz, Springer Science+Business Media, LLC, 51–93.

Становић, Вест 1979: К. Е. Stanovich, R. F. West, Mechanisms of sentence context effects in reading: *Automatic activation and conscious attention. Memory & Cognition*, 7, 77–85.

Питен, Кулсон, Рубин, Планте, Паркс 1999 : С. Van Petten, S. Coulson, S. Rubin, E. Plante, M. Parks, Time course of word identification and semantic integration in spoken language. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 394–417.

Вич, Морено, Кутас 2003: N. Y. Y Wicha, E. M. Moreno, M. Kutas, Expecting gender: An event related brain potential study on the role of grammatical gender in comprehending a line drawing within a written sentence in Spanish. *Cortex*, 39, 483–508.

Branimir Stanković

THE EVENT-RELATED POTENTIAL METHOD IN NEUROLINGUISTICS

Summary

The study introduces the Event-Related Potential method in neurolinguistics, an electrophysiological method based on Electroencephalogram (EEG) data, used to assess on-line processing of cognitive activity focusing on the measurement of Event-Related Potentials (ERP). ERPs can be utilized when a comprehender's only task is to understand a word, phrase or sentence or to produce names or more elaborate utterances. Recording electrical brain activity in response to written and spoken words (as well as smaller and larger linguistic units) thus provides a means of tracking the brain's sensitivity to various linguistic inputs, revealing which factors are important to processing and the time course of their influence. Different types of neural activity are introduced: N100, P200, N200, P300, N400, P600. Then, findings from various studies are presented; that semantic processing of a word begins even before it is uniquely identified and that there is a continuous mapping from linguistic input onto semantic representations, specifying words' semantic, phonological and syntactic properties.

Прихваћено за штампу јануара 2010.