

JEZIKOVNO PROCESIRANJE MED NARAVNIM BRANJEM: KOREGISTRACIJA GIBANJA OČI IN NEVRONSKIH ODZIVOV

V psiho- in nevrolingvističnih raziskavah jezikovnega procesiranja med branjem se v zadnjem času vse bolj izrazito poudarja pomen, ki ga ima premik od obravnave procesiranja besed v izolaciji, ki je sicer izjemno pripomogla k našemu razumevanju vidne identifikacije besed, k proučevanju bralnega procesa v njegovi naravni obliki, torej med branjem celih stavkov ali daljših besedil. Vendar pa proučevanje nevronske korelate jezika med branjem ni enostavno. Trenutno najbolj priljubljena metoda za tovrstne raziskave, elektroencefalografija, vpogleda v korelate jezikovnega procesiranja med naravnim branjem namreč ne omogoča. V prispevku osvetljujemo to problematiko in predstavljamo način, kako lahko s sočasno aplikacijo dveh različnih metod, tako imenovano koregistracijo, preučujemo nevronske korelate jezikovnega procesiranja med naravnim branjem.

Ključne besede: jezikovno procesiranje, bralni proces, hkratno snemanje gibanja oči in elektroencefalografije (koregistracija), nevronske korelate, s fiksacijo izzvani potenciali (FRP)

1 Uvod

V zadnjih desetletjih se na področju psiho- in nevrolingvistike veliko pozornosti namenja raziskavam branja. Trenutno razumevanje bralnega procesa je razdeljeno med dve prevladujoči raziskovalni področji (Marjanovič 2019: 66): prvo se osredotoča na procesiranje individualnih besed, torej besed izven konteksta (npr. Marelli idr. 2015; Rastle idr. 2000), drugo pa na sledenje gibanja oči med branjem besedil (npr. Reichle idr. 1998; Engbert idr. 2005).

Čprav sta obe področji k napredovanju znanja pomembno prispevali, se danes zavedamo, da celotne kompleksnosti bralnega procesa ne moremo razumeti,

dokler ti področji ostajata ločeni. V prispevku obravnavamo to problematiko na primeru nevronske korelativnosti¹ jezikovnega procesiranja (angl. *language-related event-related potentials*) – področju, na katerem se v zadnjih nekaj letih pomen bolj integrativnih pristopov k študijam branja (npr. Rayner in Reichle 2010; Snell idr. 2018) vse bolj poudarja. V nadaljevanju bomo najprej predstavili raziskovalni metodi 1) sledenja gibanju oči, ki omogoča vedenjsko raziskovanje bralnega procesa v njegovi naravni obliki, 2) elektroencefalografije, ki omogoča vpogled v nevronske korelate jezikovnega procesiranja. Nato bomo pojasnili, kako lahko kombinacijo obeh metod uporabimo za raziskovanje nevronske korelativnosti jezikovnega procesiranja med naravnim branjem. Končno se bomo posvetili razlikam med nevronskimi korelati, o katerih poročajo študije, ki naravnega branja ne vključujejo, in tistimi, o katerih poročajo študije, ki takšno branje omogočajo.

2 Študije sledenja gibanju oči

Če želimo bralni proces proučevati v njegovi naravni obliki, je metodološko najbolj očitna izbira sledenje gibanju oči z napravo za sledenje očesnih gibov (angl. *eye tracker*). Ta tehnika omogoča predstavitev celotnih besedil ali stavkov/povedi na zaslonu, medtem ko udeleženci predstavljeno besedilo preprosto berejo. S to metodo tako lahko branje proučujemo v okolju, ki je kar najbližje dejanski, vsakodnevni bralni izkušnji, hkrati pa nam omogoča spremljanje in beleženje celotne kompleksnosti gibanja oči do milisekunde natančno. Osnova te metode je precej preprosta: če bralec med jezikovnim procesiranjem naleti na kakršnekoli težave, na primer na procesiranje dolge ali manj frekventne, redke besede (npr. Paterson idr. 2015; Rayner idr. 2011: 5), razrešuje začasno nejasnost ali nerazumevanje (npr. Rayner in Morris 1991) ali pa se morda sooča z individualnimi bralnimi težavami, kot je na primer disleksija (npr. Prado idr. 2007) ali kognitivni upad (npr. Groznik in Sadikov 2021), se te težave odražajo v odstopanju od običajnega okulomotornega vedenja med branjem (Marjanovič 2019: 11).

Tipično okulomotorno vedenje med branjem lahko s kombinacijo različnih karakterističnih očesnih gibov opišemo precej natančno. Navadno gre za kombinacijo sledečih gibov (Marjanovič 2019: 12): fiksacije (daljši pogledi v isto točko besede, brez premika; običajno trajajo 200–250 ms (Serenio in Rayner 2003: 490); refleksije (ponovne fiksacije na isto besedo, navadno ob daljših (Paterson idr. 2015: 1443) in manj pogostih besedah (Rayner idr. 2011: 2)), sakade (hitri premiki oči od ene točke fiksacije do druge, tipično v razponu 8–9 znakov (Rayner idr. 2001: 46)), preskok besed (pogosto preskakovanje visoko frekventnih ali zelo predvidljivih besed (Rayner idr. 2011: 2)), in regresije (vračanje na že prebrane dele besedila, pojavlja se približno 10–15 % bralnega časa (Rayner 1993: 81)).

¹ Nevronski korelat je možganska aktivnost, ki jo sproži določena izkušnja in ki je hkrati tudi nujno potrebna za ustvarjanje te izkušnje. Na primer nevronski korelat semantičnega jezikovnega procesiranja je možganska aktivnost, ki jo povzroči dostop do semantičnega pomena besede. Ta možganska aktivnost se mora zgoditi, da posameznik semantično procesiranje lahko uspešno izvede.

Čprav študije z napravo za sledenje očesnih gibov omogočajo proučevanje bralnega procesa v naravni obliki – in ne zgolj med procesiranjem besed v izolaciji – so ravno tovrstne študije potrdile, da so številni fenomeni, o katerih poročajo raziskave obdelave besed v izolaciji (tj. obdelava ene same besede), prisotni tudi pri branju besedil (Marjanovič 2019: 12). Tak primer je zgoraj omenjeni učinek besedne frekvence (angl. *word frequency effect*): dejstvo, da je dolžina fiksacije med branjem odvisna od frekvence, tj. pogostnosti, posamezne besede: besede z nizko frekvenco fiksacijo podaljšajo (npr. Staub 2011: 371; Rayner idr. 2011: 5). Hkrati pa so tovrstne študije naravnega branja razkrile tudi pojave, ki okvire obdelave besed v izolaciji presegajo (Marjanovič 2019: 12). Tak primer je učinek predvidljivosti, odvisne od konteksta (angl. *context-dependant predictability effect*): dejstvo, da besede, ki so v danem kontekstu nepredvidljive, fiksacijo podaljšajo (npr. Rayner idr. 2011: 5).

Druga vrsta učinkov, ki jih navajajo študije sledenja pogledu med naravnim branjem, zaobjema več zaporednih besed v besedilu. Tak primer je dejstvo, da se trajanje fiksacije na besedo $n + 1$ podaljša, kadar je bralcu med branjem besede n onemogočen predogled te besede v parafoveji² (angl. *parafoveal preview effect*) (npr. Veldre in Andrews 2018: 74). Podoben pojav, povezan z opisanim učinkom parafovealnega predogleda, je tudi, da kakršnekoli težave pri obdelavi trenutno fiksirane besede n (npr. nepoznana beseda), vplivajo na velikost učinka parafovealnega predogleda na besedo $n + 1$ – težja kot je obdelava besede n , manjši je učinek parafovealnega predogleda na besedo $n + 1$ (npr. Henderson 1990; Veldre in Andrews 2018). Ti učinki, ki presegajo okvire besede v izolaciji, potrjujejo, da naravni bralni proces še zdaleč ne vključuje zgolj identifikacije posamezne besede (kot se tradicionalno domneva v eksperimentalnih zasnovah z besedami v izolaciji) in govorijo v prid izvajanja čim bolj naravno zasnovanih raziskav branja (Marjanovič 2019: 13).

Študije z napravo za sledenje očesnih gibov so izjemno informativne in so pomembno prispevale k našemu razumevanju bralnega procesa. Kljub temu pa imajo s stališča nevrolingvistike tovrstne študije tudi šibko točko – ne omogočajo namreč vpogleda v nevronske korelate. Metodi, ki to omogoča, se bomo posvetili v naslednjem poglavju.

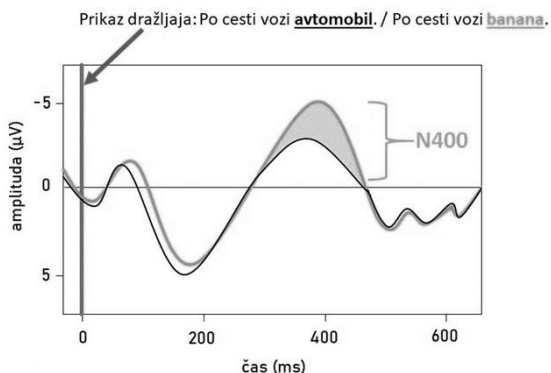
3 Nevronski korelati jezikovnega procesiranja

Med najpogosteje uporabljenimi metodami za raziskovanje nevronskih korelatov jezikovnega procesiranja je elektroencefalografija (EEG), snemanje intrinzične električne aktivnosti možganov z veliko časovno ločljivostjo. Tovrstno snemanje omogoča tudi beleženje majhnih sprememb v potencialu neprekinjenega EEG signala, ki se pojavijo kot odziv nevronov na specifične senzorične dražljaje, tako imenovane dogodke; v primeru branja je tak dogodek navadno predstavitev besede na zaslonu (Marjanovič

² Parafovea oziroma parafovealni vid obsega področje približno 5° levo in desno od točke fiksacije (Rayner 1995).

2019: 17). Nevronski korelati, ki se pojavijo kot odziv na dogodek, pa so t. i. z dogodkom izzvani potenciali (angl. *event-related potentials*, v nadaljevanju ERP).

Pri raziskovanju nevrnskih korelatov jezikovnega procesiranja se ta metoda navadno uporablja v kombinaciji s t. i. hitro serijsko vizualno predstavitvijo dražljajev (angl. *rapid serial visual presentation*, RSVP), pri čemer prikaz dražljaja služi kot ERP dogodek. Dražljaji (besede) so prikazani na sredini zaslona, in sicer z vnaprej določenim časom trajanja. V primeru branja stavkov ali povedi se tako vsaka beseda stavka/povedi za določen čas (navadno za 400–500 ms) prikaže na zaslonu – od prve besede do zadnje. Bralcu ob tem ni treba storiti ničesar, besedilo se naprej premika avtomatično, vendar pa zato nad prikazom dražljajev nima nobenega nadzora. Večina našega trenutnega razumevanja nevrnskih korelatov branja in – splošneje – jezikovnega procesiranja izhaja iz tovrstnih ERP/RSVP študij. Te so še posebej poglobile poznavanje jezikovnega procesiranja na področju semantičnega in sintaktičnega procesiranja (npr. Kutas in Hillyard 1984; Friederici idr. 1993). Ta pristop je osnovan na ideji, da možganski odziv na ciljni dražljaj v primerjavi s kontrolnim dražljajem odraža procese, ki so povezani s semantičnim pričakovanjem in/ali sintaktičnim pravilom (Marjanovič 2019: 20). To se najpogosteje doseže z uporabo t. i. kršitev (npr. Hagoort 2003; Schacht idr. 2014), kjer predstavljeni stavki kršijo bodisi pomensko pričakovanje (npr. *Po cesti vozi *banana*) ali pa slovnično pravilo (npr. *Po cesti vozijo *kolesar*). Nevronske korelate relevantnega jezikovnega procesiranja se nato s pomočjo stavka s kršitvijo pridobi tako, da se nevronske odzive primerja s tistim, ki ga sproži sicer identičen stavek, vendar brez tovrstne kršitve (npr. v primerjavi z zgornjima stavkoma s kršitvijo, sta stavka brez kršitve sledeča: *Po cesti vozi avtomobil* in *Po cesti vozi kolesar*; glej tudi sliko 1). To služi kot osnova, vsako odstopanje od te osnove pa je odraz jezikovnega procesiranja, ki ga proučujemo (Marjanovič 2019: 21).



Slika 1: Grafični prikaz semantične kršitve, ki privede do ERP korelata N400. Navpičnica prikazuje čas prikaza dražljaja (0 ms), tj. čas prikaza besede *avtomobil/banana*. Črna vijuga prikazuje nevronske odzive ob procesiranju stavka brez kršitve, ki služi kot osnova (tj. stavek *Po cesti vozi avtomobil*). Siva vijuga prikazuje nevronske odzive ob procesiranju stavka s kršitvijo (tj. stavek *Po cesti vozi banana*). Odstopanje sive vijuge od črne vijuge (osnove), obarvano s svetlo sivo, označuje nevronske korelate N400.

ERP korelati, ki se navadno povezujejo z jezikovnim procesiranjem, se razlikujejo glede na polariteto amplitude,³ čas po prikazu dražljaja, ko se pojavijo (t. i. latenca) in porazdelitev po površini glave.⁴ Ti korelati so (Marjanovič 2019: 21): (1) ELAN (angl. *early left anterior negativity*), zgodnji negativni odklon, ki doseže vrh okoli 200 ms po prikazu dražljaja, z levoanteriorno distribucijo (glej tudi sliko 2), in predstavlja odziv na samodejne zgodnje sintaktične procese (npr. Friederici idr. 1993: 185; Friederici 2002: 81; Steinhauer in Drury 2012: 135, 136); (2) LAN (angl. *left anterior negativity*), negativni odklon, ki doseže vrh okoli 400 ms po prikazu dražljaja, z levoanteriorno distribucijo (glej tudi sliko 2), in predstavlja odziv na oblikoskladenjske kršitve, kot so kršitve slovničnega ujemanja⁵ ter kršitve slovničnega časa⁶ in sklona⁷ (npr. Molinaro idr. 2011: 915; Friederici 2002: 81); (3) N400, negativni odklon, ki doseže vrh okoli 400 ms po prikazu dražljaja, s centralnosteriornim porazdelitvijo (glej tudi sliko 2), kot odziv na leksikalnosemantične kršitve in anomalije⁸ (npr. Kutas in Federmeier 2011: 13, 17; Federmeier 2007: 491; Hagoort 2003: 884; Perenič in Bon 2015: 143); in (4) P600, pozitivni odklon, ki doseže vrh okoli 600 ms po prikazu dražljaja, s centralnosteriornim porazdelitvijo (glej tudi sliko 2), kot odziv na različne kršitve sintaktičnih in morfoskladenjskih značilnosti,⁹ kršitve strukture tematskih pravil,¹⁰ začasne dvoumnosti¹¹ in pomenske anomalije¹² (npr. Friederici idr. 1993: 185; Molinaro idr. 2011: 916; Perenič in Bon 2015: 145). Kljub dejstvu, da vseh mehanizmov še ne razumemo popolnoma, so tovrstne ERP/RSVP študije pomembno prispevale k trenutnemu razumevanju nevronske korelativne semantičnega in sintaktičnega procesiranja, pa tudi k razumevanju jezikovnega procesiranja na splošno.

³ Gre lahko za pozitivni ali negativni odklon ERP korelata. Ta nam poda informacijo o sinhronizaciji nevronov: napetost je večja takrat, ko nevroni delujejo sinhrono, in manjša takrat, ko nevroni delujejo asinhrono (Perenič in Bon 2015: 140).

⁴ Pri tej porazdelitvi se navadno hkrati definira dva vidika: (1) sredinsko (centralno) ali stransko (levo ali desno) in (2) prednjo (anteriorno), sredinsko (centralno) ali bolj zadajšnjo (posteriorno) porazdelitev. Porazdelitev se tako opiše kot npr. centralno-posteriorna, kar nakazuje, da je opazovani korelat najbolj izrazit v sredinskem in zadajšnjem predelu glave, sega torej od sredine proti zadnjemu delu glave in ne proti predenjemu, čelnemu predelu. Glej tudi sliko 2.

⁵ Npr. *Otroci se pogosto *igra na dvorišču.*

⁶ Npr. *Včeraj očeta *ni doma.*

⁷ Npr. *Deklica rada je *banana.*

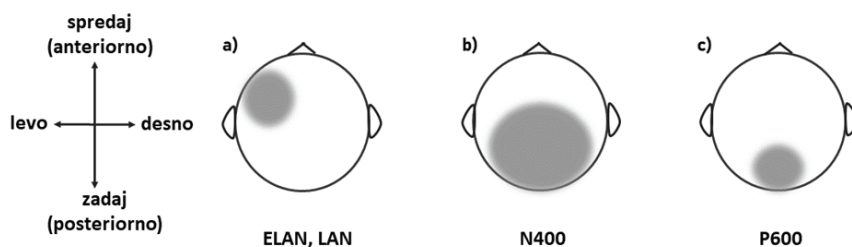
⁸ Npr. *Vsako jutro spijem skodelico *nogavic.*

⁹ Npr. *Janezu je všeč lepa *natakar.*

¹⁰ Npr. **Obilen obrok je pojedel otroke.*

¹¹ Npr. *Miha uživa v peki kruha pa ne mara jesti.*

¹² Npr. *Mačka je ušla miški.*



Slika 2: Grafični prikaz porazdelitve ERP korelatov po površini glave. Prikazani so korelati, ki se običajno povezujejo z jezikovnim procesiranjem in ki so navedeni v besedilu prispevka. Sivo označen predel na površini glave označuje predel porazdelitve posameznega ERP korelata: a) ERP korelata ELAN in LAN (korelata sta prikaza na isti shemi, ker imata podobno porazdelitev; razlikujeta pa se v latenci, tj. času po prikazu dražljaja, ko se pojavita); b) ERP korelat N400; c) ERP korelat P600. Opomba: Grafični prikaz je namenjen lažjemu razumevanju porazdelitve navedenih korelatov. Dejanska porazdelitev po površju glave se od grafičnega prikaza lahko nekoliko razlikuje, saj nanjo vplivajo različni dejavniki, kot je na primer vrsta prikazanega dražljaja.

Vendar pa se tovrstne dobro uveljavljene ERP/RSVP paradigme pomembno razlikujejo od človeške naravne bralne izkušnje (npr. Degno idr. 2018: 454; Dimigen idr. 2011: 553; Metzner idr. 2017: 1250). Prvič, posamezne besede so običajno predstavljene na sredini zaslona, udeleženci pa prejmejo navodila, naj nepremično gledajo v točko na zaslonu, kjer bodo te besede izpisane, in naj se izogibajo mežikanju. Takšno navodilo je ne le nenaravno, temveč predstavlja tudi dodatno kognitivno obremenitev, saj se udeleženci trudijo slediti danemu navodilu in se posledično zavedajo svojih sicer nezavednih očesnih gibov. To pa ima lahko nenadzorovane učinke na opazovane nevronske korelate (Marjanovič 2019: 69). Poleg tega je vsaka beseda prikazana na zaslonu za vnaprej določen čas (običajno okoli 400–500 ms), ki je znatno daljši od trajanja povprečne fiksacije na določeno besedo (običajno 200–250 ms) (npr. Sereno in Rayner 2003: 490). To hitrost branja opazno upočasnjuje, kar ima lahko nenadzorovane učinke na hitrost procesiranja (Dimigen idr. 2011: 568). Druga pomembna razlika je v tem, kako je med bralnim procesom vsaka posamezna beseda vizualno obdelana. V RSVP paradigmah je bralec prisiljen prebrati vsako besedo v zaporednem vrstnem redu, od prve besede stavka do zadnje. To je v nasprotju z običajnim branjem, pri katerem bralci svobodno določajo ne samo, koliko časa se bodo na posamezne besede fiksirali, ampak tudi, na katero besedo se bodo fiksirali kot naslednjo (Marjanovič 2019: 70). Kot je podrobneje opisano v prejšnjem poglavju, ne beremo nujno zaporedno: na nekatere besede se fiksiramo več kot enkrat, medtem ko druge preskočimo, precej pogoste pa so tudi regresivne sakade proti predhodno fiksiranim besedam (npr. Dimigen idr. 2011: 554). RSVP paradigme tudi ne dovoljujejo predprocesiranja prihajajočih besed v parafovealnem vidu, kar je pri naravnem branju seveda možno (npr. Degno idr. 2018: 454; Dimigen idr. 2011: 554). Zaradi vseh teh razlik so ERP/RSVP paradigme v najboljšem primeru zgolj približek naravnemu bralnemu procesu.

Prav zato je težko, če ne nemogoče, ugotoviti, v kolikšni meri dognanja tovrstnih študij veljajo za naravno branje (Marjanovič 2019: 70). Da bi lahko odgovorili na to vprašanje, bi morali nevronske korelate namreč proučevati med naravnim branjem, česar pa tradicionalna EEG metoda ne omogoča.

4 Hkratno beleženje očesnih gibov in nevronskih korelatov

Če želimo proučevati nevronske korelate med naravnim branjem, nam na pomoč ponovno priskoči naprava za sledenje očesnih gibov. Kot že omenjeno, ta metoda sama po sebi seveda ne ponuja nobenega vpogleda v nevronske aktivnosti, vendar njena visoka časovna ločljivost ponuja priložnost za dragoceno razširitev, ki omogoča povezavo opazovanih gibov oči z nevronskimi korelati – če hkrati snemamo očesne gibe in EEG (Marjanovič 2019: 16).

Morda presenetljivo, a hkratno snemanje očesnih gibov in EEG še zdaleč ni nova metoda – prvič je bila uporabljena že leta 1964, ko so Gaarder idr. (1964) preučevali, ali sakadno premikanje oči sproži specifičen nevronske odziv (Marjanovič 2019: 17). Pri tem je sicer treba upoštevati dejstvo, da so Gaarder idr. (1964) za spremljanje gibanja oči uporabili elektrookulografijo (EOG, tj. elektrode, nameščene pod oko ter levo/desno od očesa), s katerimi so spremljali mežike in sakadične gibe, in ne naprave za sledenje očesnih gibov (Marjanovič 2019: 17). Kljub temu pa so na ta način že pred več kot 50 leti uspešno opisali možganski odziv na sakadni očesni gib in zabeležili, da so značilnosti opazovanih nevronskih korelatov odvisne od svetilnosti predstavljenega dražljaja (Gaarder idr. 1964: 146).

A čeprav povezovanje okulomotornega vedenja z možganskimi odzivi ni nova ideja, se je povezovanje nevronskih korelatov jezikovnega procesiranja z okulomotornim vedenjem med naravnim branjem, ki mu ne sledimo le z elektrodami EOG, temveč z napravo za sledenje očesnih gibov,¹³ pojavilo šele v zadnjih letih (Marjanovič 2019: 17, glej tudi pregledni članek Degno in Liversedge 2020). V teh študijah naravnega branja se signal EEG in gibanje oči snemata istočasno (v nadaljevanju koregistracija), udeleženci pa lahko med izvajanjem naloge – tj. med branjem – oči premikajo svobodno in spontano. S tem koregistracija omogoča, da dogodek v signalu EEG ni zgolj vnaprej določen čas prikaza dražljaja na zaslonu, temveč specifičen gib oči kot na primer fiksacija na ciljno besedo predstavljenega besedila (angl. *fixation-related potentials*, FRPs). Koregistracija obeh metod tako nudi izjemno priložnost za raziskovanje nevronskih korelatov v bolj naravnih bralnih pogojih (Marjanovič 2019: 16).

¹³ Le tako namreč lahko beležimo njihovo celotno kompleksnost.

4.1 Izzivi hkratnega beleženja

Vendar je doslej tovrstnih študij izjemno malo, kar gre med drugim verjetno pripisati dejstvu, da hkratno snemanje gibanja oči in signala EEG prinaša vrsto izzivov. Ti se še dodatno poglobijo, ko tovrstno snemanje vključuje naravno branje. Kot omenjeno zgoraj, je branje v svoji naravni obliki namreč kompleksna kombinacija različnih očesnih premikov. Najbolj očiten izziv, ki ga prinaša paradigma naravnega branja, so zato motnje (artefakti) v signalu EEG, ki so posledica gibanja oči, zlasti sakad (Marjanovič 2019: 18). V tipičnih ERP študijah se težavam z okulomotornimi artefakti lahko izognemo z uporabo RSVP paradigme (npr. Duffy idr. 1989; Morris in Folk 1998). Kot že omenjeno, so v tem primeru posamezne besede večje lingvistične enote (navadno stavka), predstavljene ena za drugo – s konstantnim in vnaprej določenim časom prikaza na zaslonu, ki bralcu prepreči, da bi se na posamezni besedi zadržal toliko časa, kot je potrebno, da brano besedo prosto razišče – tako se preprečijo večja premikanja oči, kot so na primer sakade. Poleg tega so besede navadno prikazane natanko na sredini zaslona, udeleženci pa ob tem prejmejo ne le navodilo, naj svoj pogled fiksirajo na mesto, kjer se bo prikazala beseda, temveč tudi, naj med branjem besede ne mežikajo (Marjanovič 2019: 18).

Jasno je, da se te paradigme pomembno razlikujejo od naše naravne, vsakdanje bralne izkušnje, pri kateri imamo možnost, da se na vsako besedo fiksiramo toliko časa, kolikor potrebujemo, da nekatere besede preskočimo, se v besedilu vrnemo nazaj k začetku ali da določene dele besedila preberemo ponovno – da torej lahko uporabimo, karkoli potrebujemo, da bomo dobro in pravilno razumeli prebrano (Marjanovič 2019: 70). Je torej mogoče hkrati doseči oboje: omogočiti naravno branje in hkrati pridobiti signal EEG, ki je razmeroma brez motečih okulomotor- nih artefaktov?

Zgodnejše študije s koregistracijo (npr. Kretzschmar idr. 2009) so se tega problema lotile tako, da so analizo podatkov omejile le na tiste elektrode, ki pri beleženju nevronske aktivnosti niso zajele okulomotor- nih artefaktov, oziroma na tiste, kjer je bil tovrsten šum najmanj izražen. A čeprav ta pristop uspešno odpravi težave, ki jih povzročajo okulomotor- ni artefakti, hkrati prinaša izgubo precejšnjega dela zbranih podatkov (Marjanovič 2019: 18).

4.2 Metode razločevanja očesnih artefaktov in signala EEG

Na srečo smo bili v zadnjem desetletju priča razvoju več novih metod, ki tovrstnega žrtvovanja podatkov ne zahtevajo. Ena izmed teh metod je z napravo za sledenje očesnih gibov podprta analiza neodvisnih komponent (angl. *independent component analysis*, ICA) (Plöchl idr. 2012). ICA – brez podpore naprave za sledenje očesnih gibov – je algoritem za razdelitev signala iz statistično neodvisnih virov v večkanalnih podatkih (npr. Plöchl idr. 2012: 4). Je učinkovita metoda za

razločevanje očesnih artefaktov in signala EEG, ki izvira iz nevronskega virov (npr. Plöchl idr. 2012: 4; Jung idr. 2000: 164), zato ni presenetljivo, da se v študijah ERP uporablja zelo pogosto (Marjanovič 2019: 19). Kljub temu pa imajo pri analizi ICA pomembno vlogo tudi izkušnje uporabnika, ki po lastni presoji določi, katere ICA komponente, ki so bile med analizo definirane, so pravzaprav očesni artefakti. Uspešna odstranitev oziroma zmanjšanje prisotnosti okulomotornih artefaktov je tako odvisna predvsem od izkušenj raziskovalca. Pri z napravo za sledenje očesnih gibov podprti ICA pa so ICA komponente, ki izvirajo iz očesnih artefaktov, določene na podlagi informacij, ki jih posreduje ta naprava, kar vodi k bolj zanesljivemu, objektivnemu in samodejnemu načinu identifikacije teh komponent (Marjanovič 2019: 19).

Vendar pa okulomotorni artefakti niso edina težava simultane snemanja signala EEG in gibanja oči. Precejšen izziv namreč predstavljajo tudi prekrivajoči se nevronske odzivi iz zaporednih dogodkov, kot je na primer prekrivanje EEG potencialov, ki jih povzročijo zaporedne fiksacije – te pa so neizogiben del naravnega branja. Tudi v tem primeru se RSVP paradigma tej težavi izogne (čeprav ne popolnoma uspešno), saj vključuje fiksno in vnaprej določeno trajanje tako predstavitve posamezne besede na zaslonu kot tudi časovnega intervala med zaporednimi besedami, ki je običajno dovolj dolg, da prepreči morebitno prekrivanje potencialov (Marjanovič 2019: 19). Pri naravnem branju pa so besede navadno fiksirane v zelo hitrem zaporedju: časovni intervali med posameznimi fiksacijami obsegajo približno 250 ms (Dimigen idr. 2011: 555), kar je bistveno hitreje od intervala, tipično uporabljenega v RSVP paradigmah (navadno 400–500 ms). Zato se pozni potenciali iz prejšnje fiksacije $n - 1$ prekrivajo z zgodnjimi potenciali iz trenutne fiksacije n ¹⁴ (Marjanovič 2019: 19).

4.3 Metode razločevanja prekrivajočih se nevronskega odzivov

Te težave so bile v zgodnejših FRP študijah običajno prezrte,¹⁵ v zadnjih letih pa smo priča razvoju drugačnih pristopov k analizi EEG podatkov, ki se z izzivom prekrivajočih se nevronskega odzivov spopadajo bolj uspešno (Ehinger in Dimigen 2019: 2). Ti pristopi namreč ne vključujejo le preprostega povprečenja signala,¹⁶

¹⁴ Ob vsaki fiksaciji oziroma ob vsakem dogodku se s fiksacijo ali z dogodkom izzvani potenciali lahko glede na časovni potek delijo na: 1) zgodnje potenciale, ki so posledica senzorične zaznave dražljaja, pojavijo se okrog 100 ms po prikazu dražljaja, 2) pozne potenciale, ki odražajo kognitivno procesiranje (Perenič in Bon 2015: 140), kot je na primer prej omenjeni potencial N400, ki se pojavi okrog 400 ms po prikazu dražljaja.

¹⁵ S to problematiko se prav tako ne ukvarjajo niti tradicionalne ERP/RSVP študije, čeprav tudi tu pride do tovrstnega prekrivanja nevronskega odzivov, na primer zaradi motoričnega odziva na prikazan dražljaj, kot je pritisk na gumb ali na tipko računalniške tipkovnice (Marjanovič 2019).

¹⁶ Bistvo povprečenja signala je izboljšanje razmerja med signalom in šumom. To dosežemo s povprečenjem pridobljenega signala iz večjega števila ponovitev istega dogodka (npr. isti dražljaj v eksperimentu pokažemo večkrat in večjemu številu udeležencev, nato pa vse pridobljene signale povprečimo; za več podrobnosti glej npr. Perenič in Bon 2015).

temveč temeljijo na regresijski analizi¹⁷ (npr. Frömer idr. 2018; Smith in Kutas 2015), ki omogoča razločitev prekrivajočih se potencialov (Ehinger in Dimigen 2019). Te tako imenovane metode dekonvolucije (angl. *deconvolution techniques*) obravnavajo EEG signal kot linearno mešanico nevronskega odziva na različne eksperimentalne dogodke, ki se pojavijo ob različnih časovnih latencah (Marjanovič 2019: 20). Slednje se nato uporabijo za izolacijo nevronskega odziva tako, da se na njihovi podlagi določi posamezne dogodke (Ehinger in Dimigen 2019).

Čprav je uporaba teh tehnik na podatkih EEG vse prej kot enostavna, imamo danes na voljo programska orodja, ki uspešno združujejo več različnih metod, ki so potrebne za uspešno dekonvolucijo (Marjanovič 2019: 20). Tak primer je orodje za programsko okolje MATLAB *unfold* (Ehinger in Dimigen 2019), ki te sicer zahtevne metode dekonvolucije precej približa splošnemu uporabniku.

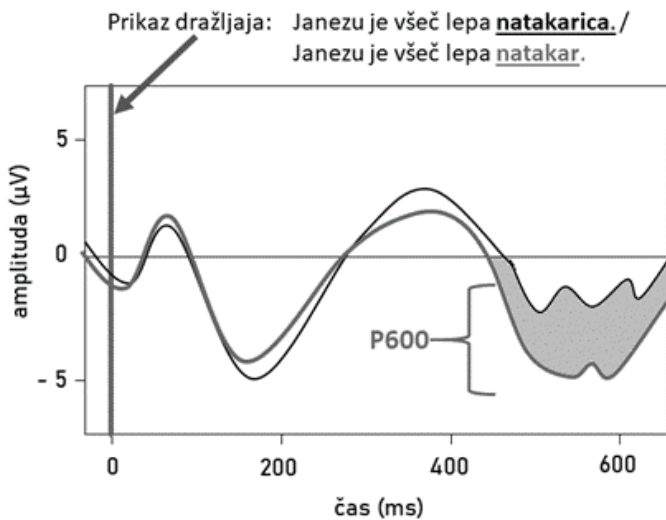
4.4 Primerjava ERP in FRP korelatov

Tehnološki napredek je tako prinesel več orodij, ki omogočajo raziskovanje nevronske mehanizmov med naravnim branjem (npr. Frömer idr. 2018; Smith in Kutas 2015; Ehinger in Dimigen 2019; Dimigen idr. 2011). Kljub temu pa trenutno obstaja le manjše število študij, ki jih proučujejo (Dimigen idr. 2011; Kretzschmar idr. 2009, 2015; Metzner idr. 2017; Henderson idr. 2013; Degno idr. 2018; Marjanovič idr. 2022; Bianchi idr. 2020; Antúnez idr. 2022; Himmelstoss idr. 2020; Frank in Aumeistere 2022). Zato morda ni presenetljivo, da se na tem področju trenutno veliko pozornosti namenja predvsem primerjavi med ERP korelati, ki jih navajajo ERP/RSVP študije, in FRP korelati, ki jih navajajo študije naravnega branja.

Študije s koregistracijo, ki omogočajo naravno branje, navadno poročajo o FRP korelatih, katerih topografije in distribucije so podobni ERP korelatom (Dimigen idr. 2011: 568; Kretzschmar idr. 2015: 1652) – kar kaže, da lahko trenutno razpoložljiva metodologija zgoraj omenjene težave uspešno premaguje. Kljub temu pa te študije hkrati razkrivajo tudi, da se opaženi nevronske korelati jezikovnega procesiranja v nekaterih vidikih pomembno razlikujejo od tistih, opaženih v ERP/RSVP študijah (Marjanovič 2019: 22). Takšna razlika je na primer opazna pri njihovi latenci – pri paradigmah, ki dovoljujejo naravno branje, se zdi, da se specifični korelati pojavijo prej kot pri RSVP paradigmah (Dimigen idr. 2011: 564, 568; Kretzschmar idr. 2015: 1652; Metzner idr. 2017: 1248). Na primer za N400 velja, da se pojavi okrog 200–250 ms in doseže vrh okrog 400 ms po prikazu dražljaja. Slednje je sicer značilno tudi za FRP korelat (npr. Dimigen idr. 2011: 568; Kretzschmar idr. 2009: 1653), ki prav tako doseže vrh okrog 400 ms po začetku

¹⁷ Statistična metoda, s katero ocenjujemo vpliv ene ali več neodvisnih spremenljivk (npr. premik oči) na odvisno spremenljivko (npr. nevronskega odziva). Obstaja več vrst regresijske analize, najbolj osnovna je linearna regresijska analiza, pri kateri so povezave med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami podane linearno (za več podrobnosti glej npr. Su idr. 2012).

fiksacije¹⁸ (glej tudi sliko 1, ki prikazuje ERP korelat N400). Vendar pa so študije s koregistracijo hkrati razkrile tudi, da se paralelno s tradicionalnim N400¹⁹ pojavi tudi šibkejši korelat, podoben N400, ki se pojavi že 120 ms po začetku fiksacije²⁰ (Metzner idr. 2017: 1248; Dimigen idr. 2011: 564). To nakazuje na dejstvo, da se časovnica prepoznavanja besed pri običajnem branju zelo verjetno razlikuje od tiste, ki jo tipično opazimo pri ERP/RSVP paradigmah (Marjanovič 2019: 22). Pomembne razlike izhajajo tudi iz paradigem semantičnih in sintaktičnih kršitev pri naravnem branju (Marjanovič 2019: 71). Kot omenjeno zgoraj, so tovrstne kršitve med najbolj uveljavljenimi ERP paradigmami, pri čemer so semantične kršitve povezane z modulacijo amplitude N400 (glej tudi sliko 1) (npr. Kutas in Federmeier 2011: 13, 17; Federmeier 2007: 491; Hagoort 2003: 884), medtem ko so sintaktične kršitve običajno povezane z modulacijo komponente P600 (glej tudi sliko 3) (npr. Friederici idr. 1993: 185; Molinaro idr. 2011: 916).



Slika 3: Grafični prikaz sintaktične kršitve, ki privede do modulacije komponente P600. Navpičnica prikazuje čas prikaza dražljaja (0 ms), tj. čas prikaza besede *natakarica/natakar*. Črna vijuga prikazuje nevronske odziv ob procesiranju stavka brez kršitve, ki služi kot osnova (tj. stavek *Janezu je vseh lepa natakarica*). Siva vijuga prikazuje nevronske odziv ob procesiranju stavka s kršitvijo (tj. stavek *Janezu je vseh lepa natakar*). Odstopanje sive vijuge od črne vijuge (osnove), obarvano s svetlo sivo, označuje nevronske korelat P600.

¹⁸ Torej približno 400 ms po tem, ko so udeleženci z očmi prvič pristali na dani besedi.

¹⁹ Negativni odsklon, ki doseže vrh okoli 400 ms po prikazu dražljaja. Zanj je značilna centralno-posteriorna porazdelitev, kar pomeni, da se na površini glave obsega področje od sredine do zadajšnjega predela glave (glej tudi sliko 2).

²⁰ Šibkejši korelat ima v primerjavi s tradicionalnim N400 manjši negativni odsklon in obsega manjše področje na površini glave.

Nasprotno pa je študija s koregistracijo, ki so jo izvedli Metzner idr. (2017), pokazala, da lahko pri naravnem branju modulacijo komponente P600 povzročijo tudi semantične kršitve, medtem ko lahko sintaktične kršitve (ko se pojavijo na koncu stavka) povzročijo modulacijo komponente N400 (Marjanovič 2019: 71). Poleg tega je študija pokazala tudi, da imajo pri obdelavi stavkov pomembno vlogo regresije, torej vračanje nazaj na že prebrane dele besedila. Namreč, ko so bralci zaznali semantične kršitve, je to sprožilo bodisi dvofazno komponento N400/P600,²¹ ki jo je spremljala regresija (pogled nazaj, na že prebran del besedila), bodisi komponento N400, ki ji je sledila trajna negativnost.²² Avtorji študije zato navajajo, da pri naravnem branju sistem za obdelavo jezika najverjetneje uporablja vsaj dve različni strategiji za obravnavo nejasnosti: lahko se vrne na že obdelan del besedila, da pridobi dodatne informacije (kar se odrazi v modulaciji komponente P600 in s prisotnostjo regresije), ali pa dopušča nedoslednost (kar se odrazi v komponenti N400 in trajni negativnosti v odsotnosti regresij) (Metzner idr. 2017).

5 Zaključek

Glede na rezultate zgoraj navedenih študij je tako jasno, da ERP/RSVP²³ študije, ki ne omogočajo naravnega branja, sicer nudijo začetni vpogled v nevronske korelate jezikovnega procesiranja,²⁴ vendar ne omogočajo poglobljenega razumevanja bralnih procesov. V prispevku smo podrobno osvetlili to problematiko. V uvodnem delu smo spoznali, da so študije naravnega branja možne z napravo za sledenje očesnim gibom, ki omogoča vedenjsko raziskovanje bralnega procesa. V nadaljevanju smo se posvetili nevronskim korelatom jezikovnega procesiranja. Navedli smo najbolj pogost pristop k tovrstnim študijam in pojasnili, kako in zakaj v tem primeru ne moremo govoriti o študijah naravnega branja. Končno smo osvetlili, kako lahko s hkratnim spremljanjem gibanja oči in možganske aktivnosti izkoristimo prednosti obeh metod za natančen vpogled v nevronske korelate jezikovnega procesiranja med naravnim branjem.

²¹ Komponenti N400 in P600 se običajno zaznata ločeno, saj komponento N400 povežujemo s semantičnim procesiranjem, komponento P600 pa s sintaktičnim. ERP/RSVP študije so zato navadno zasnovane tako, da zaznajo le eno ali drugo komponento (glej tudi poglavje 3). Pričujoča študija (Metzner idr. 2017) je pri naravnem branju hkrati zaznala obe komponenti, N400 in P600.

²² Tudi za ERP komponento N400 je sicer značilen negativen odklon, ki navadno doseže vrh okrog 400 ms in traja približno 250–500 ms (glej tudi poglavje 3). V navedeni študiji je negativen odklon trajal dlje, do 774 ms (Metzner idr. 2017).

²³ Eksperimentalna zasnova s hitro serijsko vizualno predstavitevjo dražljajev. Pri tem so posamezni dražljaji (npr. posamezne besede danega stavka, od prve do zadnje) prikazani na sredini zaslona z vnaprej določenim časom trajanja (gl. tudi poglavje 3).

²⁴ Možganska aktivnost, ki jo sproži jezikovno procesiranje in ki je nujno potrebna za uspešno jezikovno obdelavo.

Literatura

- Antúnez, Martín, Milligan, Sara, Hernández-Cabrera, Juan A., Horacio A. Barber in Schotter, Elizabeth R., 2022: Semantic parafoveal processing in natural reading: Insight from fixation-related potentials & eye movements. *Psychophysiology* 59/4 . e13986.
- Bianchi, Bruno, Loredó, Rodrigo, Carden, Julia, Jaichenco, Virginia, von der Malsburg, Titus, Shalom, Diego in Kamienkowski, Juan, 2020: Different sources of predictions during natural reading: an eeg and eye-tracking co-registration study. *Journal of Vision* 20. 1308–1308.
- Degno, Federica in Liversedge, Simon P., 2020: Eye movements and fixation-related potentials in reading: A review. *Vision* 4/1. 11.
- Degno, Federica, Loberg, Otto, Zang, Chunali, Zhang, Manman, Donnelly, Nick in Liversedge, Simon P., 2018: Parafoveal previews and lexical frequency in natural reading: Evidence from eye movements and fixation-related potentials. *Journal of Experimental Psychology: General* 148/3. 453–474.
- Dimigen, Olaf, Sommer, Werner, Hohlfeld, Annette, Jacobs, Arthur M. in Kliegl, Reinhold, 2011: Coregistration of eye movements and EEG in natural reading: Analyses and review. *Journal of experimental psychology: General* 140/4. 552–572.
- Duffy, Susan A., Henderson, John M., Morris in Robin K., 1989: Semantic facilitation of lexical access during sentence processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 15/5. 791–801.
- Ehinger, Benedikt V. in Dimigen, Olaf, 2019: Unfold: an integrated toolbox for overlap correction, non-linear modeling, and regression-based eeg analysis. *PeerJ* 7. e7838.
- Engbert, Ralf, Nuthmann, Antje, Richter, Eike M. in Kliegl, Reinhold, 2005: SWIFT: a dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological review* 112/4. 777–813.
- Federmeier, Kara D., 2007: Thinking ahead: the role and roots of prediction in language comprehension. *Psychophysiology* 44/4. 491–505.
- Frank, Stefan L. in Aumeistere, Anna, 2022: An eye-tracking-with-eeg coregistration corpus of narrative sentences. *PsyArXiv*.
- Friederici, Angela D., 2002: Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in cognitive sciences* 6/2. 78–84.
- Friederici, Angela D., Pfeifer, Erdmut in Hahne, Anja, 1993: Event-related brain potentials during natural speech processing: effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Cognitive Brain Research* 1/3. 183–192.
- Frömer, Romy, Maier, Martin in Abdel, Rahman, 2018: Group-level eeg-processing pipeline for flexible single trial-based analyses including linear mixed models. *Frontiers in neuroscience* 12. 12–48.
- Gaarder, Kenneth, Krauskopf, John., Graf, Virgil, Kropfl, Walter in Armington, John C., 1964: Averaged brain activity following saccadic eye movement. *Science* 146/3650. 1481–1483.
- Groznik, Vida in Sadikov, Aleksander, 2021: Analiza gibanja oči med branjem pri bolnikih z različnimi stopnjami kognitivnega upada. *Uporabna informatika* 29/3. 155–162.

- Hagoort, Peter, 2003: Interplay between syntax and semantics during sentence comprehension: ERP effects of combining syntactic and semantic violations. *Journal of cognitive neuroscience* 15/6. 883–899.
- Henderson, John M. in Ferreira, Fernanda, 1990: Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 16. 417–429.
- Henderson, John M., Luke, Steven G., Schmidt, Joseph in Richards, John E., 2013: Co-registration of eye movements and event-related potentials in connected-text paragraph reading. *Frontiers in systems neuroscience* 7. 28.
- Himmelstoss, N. A., Schuster, S., Hutzler, F., Moran, R. in Hawelka, S., 2020: Co-registration of eye movements and neuroimaging for studying contextual predictions in natural reading. *Language, Cognition and Neuroscience* 35/5. 595–612.
- Jung, Tzyy P., Makeig, Scott, Humphries, Colin, Lee, Te W., McKeown, Martin J., Iragui, Vicente in Sejnowski, Terrence J., 2000: Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology* 37/2. 163–78.
- Kretzschmar, Franziska, Bornkessel-Schlesewsky, Ina in Schlewsky, Matthias, 2009: Parafoveal versus foveal n400s dissociate spreading activation from contextual fit. *NeuroReport* 20/18. 1613–1618.
- Kretzschmar, Franziska, Schlewsky, Matthias in Staub, Adrian, 2015: Dissociating word frequency and predictability effects in reading: Evidence from coregistration of eye movements and EEG. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 41/6. 1648–1662.
- Kutas, Marta in Federmeier, Kara 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.
- Kutas, Marta in Hillyard, Steven A., 1984: Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature* 307/5947. 161–163.
- Marelli, Marco, Amenta, Simona in Crepaldi, Davide, 2015: Semantic transparency in free stems: The effect of Orthography-Semantics consistency on word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 68/8. 1571–1583.
- Marjanovič, Katarina, 2019: *Towards a comprehensive understanding of reading*. Ph.D. thesis. Trieste: International School for Advanced Studies.
- Marjanovič, Katarina, Vidal, Yamil in Crepaldi, Davide, 2022: Oculomotor and neural correlates of semantic and morphological priming in natural sentence reading. *bioRxiv*.
- Metzner, Paul, von der Malsburg, Titus, Vasishth, Shraavan in Rösler, Frank, 2017: The importance of reading naturally: Evidence from combined recordings of eye movements and electric brain potentials. *Cognitive Science* 41/6. 1232–1263.
- Molinaro, Nicola, Barber, Horacio A. in Carreiras, Manuel, 2011: Grammatical agreement processing in reading: ERP findings and future directions. *Cortex* 47/8. 908–930.
- Morris, Robin K. in Folk, Jocelyn R., 1998: Focus as a contextual priming mechanism in reading. *Memory & Cognition* 26/6. 1313–1322.
- Paterson, Kevin B., Almabruk, Almabruk A. A., McGowan, Victoria A., White, Sarah J. in Jordan, Timothy R., 2015: Effects of word length on eye movement control: The evidence from Arabic. *Psychonomic bulletin & review* 22. 1443–1450.

- Perenič, Urška in Bon, Jurij, 2015: Eksperimentalna uporaba kvantitativne elektroencefalografije pri analizi (literarnega) branja: z dogodkom povezani ERP valovi (Event-Related-Potentials). *Slavistična revija* 63/2. 135–153.
- Plöchl, Michael, Ossandón, Jose P. in König, Peter 2012: Combining eeg and eye tracking: identification, characterization, and correction of eye movement artifacts in electroencephalographic data. *Frontiers in Human Neuroscience* 6. 278.
- Prado, Chloe, Dubois, Matthieu in Valdois, Sylviane, 2007: The eye movements of dyslexic children during reading and visual search: impact of the visual attention span. *Vision research* 47/19. 2521–2530.
- Rastle, Kathleen, Davis, Matt H., Marslen-Wilson, William D. in Tyler, Lorraine K., 2000: Morphological and semantic effects in visual word recognition: A time-course study. *Language and cognitive processes* 15/4–5. 507–537.
- Rayner, Keith, 1993: Eye movements in reading: Recent developments. *Current directions in psychological science* 2/3. 81–86.
- Rayner, Keith, 1995: Eye movements and cognitive processes in reading, visual search, and scene perception. Findlay, J. M., Walker, R. in Kentridge, R. W. (ur.): *Eye Movement Research. Volume 6 of Studies in Visual Information Processing*. North-Holland: Elsevier. 3–22.
- Rayner, Keith, Foorman, Barbara R., Perfetti, Charles A., Pesetsky, David., Seidenberg in Mark S., 2001: How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological science in the public interest* 2/2. 31–74.
- Rayner, Keith in Morris, Robin K., 1991: Comprehension processes in reading ambiguous sentences: Reflections from eye movements. *Advances in Psychology* 77. 175–198.
- Rayner, Keith in Reichle, Erik D., 2010: Models of the reading process. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* 1/6. 787–799.
- Rayner, Keith, Slattery, Timothy J., Drieghe, Denis in Liversedge, Simon P., 2011: Eye movements and word skipping during reading: effects of word length and predictability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 37/2. 514–528.
- Reichle, Erik D., Pollatsek, Alexander, Fisher, Donald L. in Rayner, Keith, 1998: Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological review* 105/1. 125–157.
- Schacht, Annkathrin, Sommer, Werner, Shmuilovich, Olga, Martienz, Pilar C. in Martín-Loeches, Manuel, 2014: Differential task effects on n400 and p600 elicited by semantic and syntactic violations. *PLOS ONE* 9/3. 1–7.
- Sereno, Sara C. in Rayner, Keith, 2003: Measuring word recognition in reading: eye movements and event-related potentials. *Trends in cognitive sciences* 7/11. 489–493.
- Smith, Nathaniel in Kutas, Marta, 2015: Regression-based estimation of erp waveforms: I. the erp framework. *Psychophysiology* 52/2. 157–168.
- Snell, Joshua, van Leipsig, Sam, Grainger, Jonathan in Meeter, Martijn, 2018: Ob1-reader: A model of word recognition and eye movements in text reading. *Psychological Review* 125/6. 969–984.
- Staub, Adrian, 2011: The effect of lexical predictability on distributions of eye fixation durations. *Psychonomic bulletin & review* 18. 371–376.
- Steinhauer, Karsten in Drury, John E., 2012: On the early left-anterior negativity (ELAN) in syntax studies. *Brain and language* 120/2. 135–162.

Su, Xiaogang, Yan, Xin in Tsai, Chih-Ling, 2012: Linear regression. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 4/3. 275–294.

Veldre, Aaron in Andrews, Sally, 2018: How does foveal processing difficulty affect parafoveal processing during reading? *Journal of Memory and Language* 103. 74–90.

Language processing during natural reading: coregistration of eye movements and EEG

While psycho- and neurolinguistic research on the processing of words in isolation has greatly contributed to our understanding of visual word identification, more and more emphasis has recently been given to the importance of studying the reading process in its more natural form, i.e., while reading complete sentences or paragraphs. However, this is not trivial to achieve when we focus on research into the neural correlates of language processing during reading. Specifically, the most popular method for this type of research, electroencephalography, does not make it possible to study the neural correlates of language processing during natural reading. In the paper, we address this issue, and present the ways in which the neural correlates of language processing during natural reading can be studied with simultaneous application of two different methods, what is known as coregistration.

Keywords: language processing, reading processing, coregistration of eye tracking and electroencephalography, neural correlates, fixation-related potentials (FRP)