

Hizkuntzaren prozesamendua garun-eremu motorrean

Urteaga, M.

Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU/UPV)

Kontakturako e-posta: mirenurteaga@gmail.com

Laburpena

Hizkuntzaren Teoria Motorraren arabera, hizkuntzaren prozesamenduak prozesamendu motorrean du bere jatorria. Teoria hau frogatu nahian, mugimenduen prozesamenduari lotutako hainbat ezaugarri hizkuntzaren prozesamenduan ere ari dira aurkitzen. Esaterako, orain arte mu uhinen (8-13 Hz) portaera mugimenduen prozesamenduari lotuta soilik ikertu da. Hemen aurkezten den EEG esperimentu honek sintaxiak eta semantikak mu uhinengan duen eragina aztertzen du. 2x2 diseinua du eta bere emaitzen arabera, sintaktikoki konplexuagoak diren esaldiek (ezezkoek) sinpleagoek baino (adierazpenekoek) mu uhinen desinkronizazio handiagoa sortzen dute garun-eremu motorrean (garun-area aurre-zentrala). Emaitza hauek Hizkuntzaren Teoria Motorra babesten dute, hizkuntzak mu uhinengan prozesamendu motorrak bezalako eragina duela erakusten baitute.

Hitz gakoak: ispilu-neuronak, hizkuntz-prozesamendua, mu uhina, Hizkuntzaren Teoria Motorra

Abstract

According to the Motor Theory of Language, language processing has its origin on the motor cortex. In an attempt to prove this theory, features that have been related to cortical processing of movements are being studied related to language processing. Until very recently mu waves (8-13 Hz) have been studied just in relation to motor processing. This is EEG experiment analyses the impact of syntactic and semantic processing on the mu waves. This 2x2 design experiment indicated that syntactically more complex sentences (negatives) induce a greater mu desynchronization than simpler ones (declaratives). These results back the Theory of Motor Processing since they show that language processing modulates mu waves the same way motor processing does.

Keywords: mirror-neurons, language processing, mu waves, Motor Theory of Language

1. Sarrera eta motibazioa

Mu uhinak garuneko aktibitate elektrikoaren frekuentzia zati bati deritzo, 8Hz eta 13Hz bitarteko frekuentzia zatiari hain zuzen. Mu uhinak filtratuz, frekuentzia horietan ematen diren gertaerak iker daitezke. Prozesamendu ezberdinek (erlaxazioak, mugitzeak, mugimenduak ikusteak, etab.) frekuentzia horien anplitudean gorakadak edo beherakadak eragin ditzakete. Frekuentzien dezibelioen beherakadari deritzo hain zuzen ERDa (*Event Related Desynchronization*) edota desinkronizazioa. Mu uhinak, eta beren desinkronizazioa, historikoki prozesamendu motorra aztertzeko erabili dira (Gastaut eta Bert, 1954), mugimenduen prozesamenduak sortzen baititu mu ERD handienak garun-eremu zentral eta aurre-zentraletan.

Hizkuntzaren Teoria Motorra aurkeztu zenetik (Lieberman eta Mattingly, 1985) hizkuntzaren prozesamenduaren ikerketan prozesamendu motorrean ikertzen diren hainbat ezaugarri ikertzen hasi dira, horien artean, mu uhinak. Teoria honek hizkuntzaren prozesamendua eta prozesamendu motorra hainbat mailatan erlazionatzen ditu: maila fonetikoan, semantikoan, etab. Hala ere, maila sintaktikoan gutxi dira bi prozesamenduak erlazionatzen dituzten esperimentuak, metodologia nahiz diseinu on baten konplexutasuna dela eta.

EEG (elektroentzefalografia) esperimentu honetan hizkuntzaren prozesamendua aztertzen da funtzio motorrei dagozkien garun eremuetan. Honetarako, garunak sortzen dituen mu uhinen

desinkronizazioa aztertzen dugu perpausak prozesatzean. Helburu nagusia sintaxia eta semantikaren prozesamenduak mu uhinengan duten eragina ikustea da.

Gure hipotesia honakoa da: prozesamendu motorrak eta hizkuntzazkoak oinarri kortikal berbera badute, perpausen prozesamenduak mu uhinen desinkronizazioa sortu beharko luke, mugimenduen prozesamenduak eragiten duen moduan. Sintaxiaren mailan, sintaktikoki zailagoak diren esaldiek esaldi sinpleagoek baino desinkronizazio handiagoa sortu beharko lukete, errekurso kortikal gehiago beharko bait lukete beren prozesamendurako. Semantika mailan, aditz aktiboak dituzten esaldiek aditz abstraktuak dituztenak baino desinkronizazio handiagoa sortu beharko lukete, gorputz atalei dagozkien garun-zatiak zuzenean piztuko bailirateke.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Lieberman eta bere kideek Hizketaren Hautematearen Teoria Motorra aurkeztu zutenean (Lieberman et al., 1967; Lieberman eta Mattingly, 1985), hizkuntza-prozesamendua eta prozesamendu motorra fonetika mailatik lotu zituzten. Teoriak dio hizkuntza hautematerakoan jasotzen ditugun objektuak fonemak ahoskatzerakoan kateatzen ditugun mugimendu edota keinuak direla. Teoria hau ordea, ezin frogatuta gelditu zen 1996an ispilu-neuronak aurkitu arte (Gallese et al., 1996; Rizzolatti et al., 1996). Makakoetan prozesamendu motorra aztertzen ari zirela, honakoaz konturatu ziren: neurona berberak pizten ziren animaliak mugimendu jakin bat egitean eta mugimendu hori bera ikertzaileak egiten ikustean. Aurkikuntza hau egiteko SNR teknika (*Single Neuron Recording*) erabili zuten. Nahiz eta etikoki ezinezkoa den teknika hau gizakietan erabiltzea (eta hala, ispilu-neuronak ditugula frogatzea), hainbat dira gizakiok ere ispilu-neuronak ditugula sinestera garamatzaten ikerketak. Ikerketa hauen artean TMS (Fadiga et al., 1999), PET (Arbib et al., 2000), fMRI (Iacoboni et al., 1999; Pulvermüller, 2005) eta ikerketa fisiologikoak (Fabbri-Destro eta Rizzolatti, 2008) aurki ditzakegu. Ispilu-neuronak, gainera, mu uhinen sorburutzat hatzen dira (Altschuler et al., 1997; Altschuler et al. 2000).

Ispilu neuronen aurkikuntzak hautemate eta exekuzio prozesuak hurbildu zituen, mugimendu jakin bat ulertzeko norbere buruaren identifikazioa beharrezkoa baita. Batzuek hau komunikazioaren -eta hizkuntzaren- oinarri ebolutibo bezala ikusi zuten (Gallese, 2003; Oberman et al., 2008; Rizzolatti eta Arbib, 1998), besteena ulertzea baita komunikatzeko lehen pausoetako bat.

Denborarekin prozesamendu motorra eta hizkuntz-prozesamendua prozesamendu hierarkiko bezala identifikatu dira (Pastra eta Aloimonos, 2012; Pulvermüller, 2010; Pulvermüller eta Fadiga, 2010). Hala, antzeko prozesu diren unetik, antzeko errekursoak erabil ditzaketela pentsatzen da. Teoria hau baiesteko asmotan, azken urteotan ikerketa dezente ari dira egiten prozesamendu motorra eta hizkuntzaren inguruan. Fonetikari lotuta, fonemak entzun edota ahoskatzeak garun-eremu motorrean zati berberak pizten dituela ikusi da (Pulvermüller et al., 2006). (Berent et al., 2015)-ek hitzak osatzen dituzten fonemek sistema motorreko zatiak pizten direla ikusi dute, baina eremu horiek ez dira pizten fonemek hitzak ez dituztenean sortzen. Semantikari deritzenez, ikerketa somatotopikoek erakutsi dute hizkuntzak gorputz-atalen mugimendua prozesatzeko erabiltzen ditugun garun-eremuak piz ditzakeela (Fadiga et al., 2002; Pulvermüller eta Fadiga, 2010; Tettamanti et al., 2005).

Sintaxia eta sistema motorra ordea teorian soilik lotu dira orain gutxi arte (Fitch and Martins, 2014). (Alemanno et al., 2012)ek prozesamendu semantikoaz gain, sintaxiaren prozesamenduak guno-motorretan izan dezakeen eragina ikusi nahi izan zuten. Honetarako, EEG esperimendu bat diseinatu zuten mu uhinen ERDa neurtuz. Esperimendu honetan sintaktikoki zailagoak eta sinpleagoak ziren esaldien prozesamendua eta akziozko esaldien eta esaldi abstraktuen prozesamendua aztertu zituzten. Beren emaitzetan, akziozko esaldien interakzio bat aurkitu zuten: hizkuntzak sortutako desinkronizazioa handiagoa zen esaldi konplexuetan beti ere

akziozko aditzen bat bazegoen. Ikerketa berritzaile hau oinarri hartuz, guk materialak gaztelaniara pasa (originalak italieraz ziren) eta esperimendu horren ihardespren bat egin dugu.

3. Ikerketaren muina

3.1 Esperimentua eta analisiak

Esperimentu hau Alemano et al. (2012) artikuluan aurkeztutako esperimentuaren ihardespren bat denez, diseinua, materiala eta prozesu berberak erabili dira: 2x2 diseinu faktoriala du, aldaketa sintaktiko eta semantikoak dizuten esaldiekin (ik. 1. taula). Diseinu honek aldaketa semantikoek nahiz sintaktikoek izan ditzaketen ezberdintasunak aztertzen uzteaz gain, euren artean egon litezkeen elkarreraginak ere aztertzen uzten digu.

1. taula. Esperimentuko materialak 2x2 diseinuaren arabera banatuta.

		SEMANTIKA	
		Mugimenduzko aditzdunak	Aditz abstraktodunak
SINTAXIA	Esaldi adierazleak	“Yo escribo” 40 esaldi	“Yo pienso” 40 esaldi
	Ezezko esaldiak	“No escribo” 40 esaldi	“No pienso” 40 esaldi

Sintaxiak garun-prozesamenduan izan dezakeen eragina aztertzeko bi esaldi mota osatu ziren: adierazleak (80 esaldi) eta ezezkoak (80 esaldi). Prozesamendu semantikoa aztertzeko mugimenduzko aditzak zituzten esaldiak (80 esaldi: 40 adierazle, 40 ezezko) eta aditz abstraktodun esaldiak (80 esaldi: 40 adierazle, 40 ezezko) osatu ziren.

19 subjektuk (10 emakume) hartu zuten parte esperimentuan (batezbesteko adina: $=22\pm3.23$). Guztiak ziren gaztelaniazko elebakarrak, eskuinak ziren *Edinburgh Handedness Inventory* galderen arabera, eta ikusmen ona zuten. Esperimentua egin aurretik subjektu guztiek esperimentua egin eta beren datuak erabiltzeko EHUKo nahiz LOPD legea betetzen dituen onarpena sinatu zuten.

Subjektuak elektromagnetikoki isolatutako gela batean eseri ziren, 24 hazbeteko pantaila batetik metro batera. 32 elektrodoko EEG makina bat jarri zitzairen garunaren uhin elektromagnetikoak gordetzeko. Ikertzaileak saio guztiak web-kamera bidez jarraitu zituen zuzenean alboko kontrol gelatik; saio guztiak bideoz grabatu ziren esperimentuan zehar subjektuak ez zirela mugitzen ziurtatzeko.

Subjektuek pantailan agertzen ziren esaldiak isilean irakurri behar zituzten esperimenturako. Ahalik eta gutxien mugitzeko eskatu zitzairen. Esaldi batetik bestera 10 segundoko tartea zegoen pantaila beltza agertuz. Esaldi bakoitzaren aurretik 300 milisegundoz gurutze bat agertzen zitzairen pantailan esaldia agertuko zen leku berean. Ondoren, 1,5 segundoz esaldiak agertzen ziren eta subjektuek isilean irakurri behar zituzten. Esaldi bakoitzaren ostean, subjektu bakoitzak ahoz erantzun behar zuen esaldi hori oso erabilia zen edo ez esanez. Honetarako, “*frecuencia alta*”, “*media*” edo “*baja*” soilik esan behar zuten ahoz, gorputzeko beste atalak ahalik eta gutxien mugituz. Erantzun hauen helburua subjektuak esperimentuan zehar arreta mantentzea zen, esperimentuaren helburuarekin ez zuen zer ikusirik.

Jasotako EEG datuak Matlab eta EEGLAB programekin garbitu eta aztertu ziren. Datuak garbitzeko, lehenik eta behin eskuz esperimentua gelditu zireneko guneak ezabatu eta estimulu zatiak soilik jaso ziren: estimulu aurretik 3 segundotatik estimulu ondorengo 1,5. segundoraino. Estimuluaren ondoren beren maiztasuna ahoz esaten zuten, datuetan aurpegiko muskuluek sortutako interferentzia

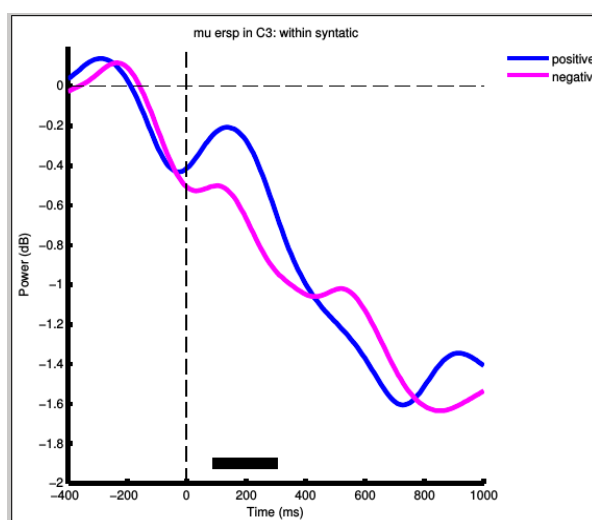
asko aurkitu ziren; hala, tarte horiek ezabatzea erabaki zen. Ondoren, ICA (*Independent Component Analysis*) analisi bat egin zitzaion seinaleko osagai zaratzatuak identifikatu eta ezabatzeko. Osagai guztiak eskuz erreparatu ziren, eta beren seinalea nahiz espektra kontuan hartuz zaratzatsuenak ezabatu ziren.

ERD analisia burutzeko, estimulu bakoitzaren aurreko mu uhinaren jokaera estimulu ondorengoarekin konparatu zen. Honetarako, estimulu aurreko -1500. milisegundotik -500. milisegundorako zatia hartu zen erreferentzia bezala.

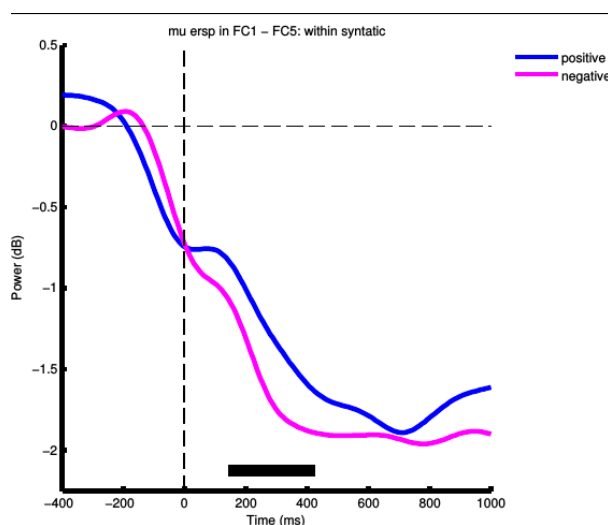
3.1 Emaizak

Esperimentuen emaitzek ezberdintasun esanguratsuak agertu zituzten ezezko esaldi eta esaldi adierazleen artean. Hala, mu uhinen desinkronizazioan ezberdintasun esanguratsuak ($p < 0.05$) daude C3, FC5 eta FC1 elektrodoetan. Elektrodo hauek garun-eremu zentral eta aurre-zentralei dagozkie.

1. irudia. C3 elektrodoan mu uhinen anplitudearen bilakaera esaldi adierazle eta ezezkoetan. Ezberdintasun esanguratsuen gunea ($p < 0.05$) lerro beltzez marraztuta.



2. irudia. FC1 eta FC5 elektrodoan mu uhinen anplitudearen bilakaera esaldi adierazle eta ezezkoetan. Ezberdintasun esanguratsuen gunea ($p < 0.05$) lerro beltzez marraztuta.



Ezberdintasun semantikoak zituzten esaldiek, nahiz eta mu desinkronizazioa sortu elektrodo zentraletan, ez zuten beren arteko ezberdintasun esanguratsurik erakutsi.

Horrez gain, ez zen bi faktoreen artean (sintaxia eta semantika) elkarreraginik aurkitu. Honek zera erakusten du: sintaxi konplexu eta sinpleen arteko ezberdintasuna kategorikoa dela eta ez dela semantikaren eraginik ikusten.

4. Ondorioak

Esperimentu honen ondorio nagusia zera da, hizkuntzak mu uhinak prozesamendu motorraren antzera modulatu ditzakeela. Hemendik ondoriozta daiteke bi prozesamenduek badutela erlazioa forma, oinarri edota errekurtso kortikaletan. Emaiza hauek Hizkuntzaren Teoria Motorra babesten dute, eta aurretiaz fonetika eta semantika lotu diren bezala, sintaxia ere prozesamendu motorrarekin lotzen du. Garrantzitsua da azpimarratzea mu uhinen desinkronizazioa esaldi mota guztietan gertatzen dela; hau da, hizkuntza prozesatzean, oro har, beti agertzen dira prozesamendu motorrean agertzen diren antzeko desinkronizazioak.

Sintaxiaren konplexutasunari lotuta, gure emaitzetan sintaxi konplexuak sintaxi sinpleagoak baino desinkronizazio gehiago sortzen du. Mu desinkronizazio handiagoak errekurtso kortikal gehiagoren erabilera adierazten dela uste denez (Altschuler et al., 1997; Altschuler et al. 2000), zera ondorioztatzen dugu: sintaxi konplexuak errekurtso kortikal gehiago erabiltzen ditu sintaxi sinpleagoak baino.

Semantikari dagozkion emaitzetan, esaldi abstraktu nahiz mugimenduzkoek mu uhinen desinkronizazioa sortzen duten arren, gure datuek ez dute agertzen bien arteko ezberdintasun esanguratsurik. Kontuan izan behar dugu aldaera semantikoak zituzten itemak guztiak esaldiak zirela; hala, guztiek hierarkia sintaktiko bat zuten beren baitan aldaera semantikoaz gain. Bi esaldi motek desinkronizazio handia erakusteak zera adierazi ahalko luke: kontzeptu semantiko ezberdinak baino desinkronizazioa eragiten duena hizkuntzaren hierarkiaren prozesamendua dela.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Esperimentu honen emaitzek etorkizunera epe mozterako nahiz epe luzerako erronkak irudikatzen garamatza.

Epe motzera, helburu nagusia prozesamendu motorraren eta hizkuntz-prozesamenduaren arteko elkarreraginak hobeto ulertzea da. Esperimentu honen ondoren, hurrengo pausoa elebidunetan esperimentuaren erreplika bat egitea da. Elebiduna izateak errekurtso kortikalen erabilera handiagoa dakar. Hala, esperimentu hau bera elebidunetan eginez gero, oraindik eta mu desinkronizazio handiagoa aurkeztu beharko lukete. Gainera, 64 elektrodoko sistema eta analisi mota ezberdinak erabiliz, EEG seinalearen jatorria oraindik eta gehiago zehaztu ahal izango genuke.

Epe luzera, hizkuntza eta sistema motorraren elkarreraginak sakonago aztertzea bultzatzen gaitu. Ikerketa-bide honek, hizkuntzaren prozesamendua ulertzen laguntzeaz gain, burmuinaren funtzionamendua osoki hobeto ulertzen lagun diezaguke. Etorkizunera, burmuina ulertzea dugu gaixotasun neurologoikoei aurre egiteko modu bakarra, eta ikerketa-alor honek sistema motor nahiz hizkuntzazkoan eragiten duten gaixotasunak aztertzen beren eraginak samurtu ahal izateko. Esaterako, autismoaren ikerketan mu uhinak eta ispilu-neuronen funtzionamendua aztertzen dihardute zenbait ikerlarik (Oberman et al., 2008, 2007; Pineda, 2005). Hala, hizkuntzaren inguruko datuek ere beren emaitzak aztertzen lagun dezakete gaixotasunen jatorria nahiz egoera ulertu eta sendabidea aurkitzen saiatzeko.

6. Erreferentziak

- Alemanno, F., Houdayer, E., Cursi, M., Velikova, S., Tettamanti, M., Comi, G., Cappa, S.F., Leocani, L., 2012. Action-related semantic content and negation polarity modulate motor areas during sentence reading: An event-related desynchronization study. *Brain Res.*
- Altschuler E.L., Vankov A., Wang V., Ramachandran V.S., and Pineda J.A. (1997) Person see, person do: human cortical electrophysiological correlates of monkey see monkey do cell. *Society of Neuroscience Abstracts*, 719.17.
- Altschuler E.L., Vankov A., Hubbard E.M., Roberts E., Ramachandran V.S., and Pineda J.A. (2000) Mu wave blocking by observation of movement and its possible use as a tool to study theory of other minds. *Society of Neuroscience Abstracts*, 68.1.
- Arbib, M.A., Billard, A., Iacoboni, M., Oztog, E., 2000. Synthetic brain imaging: grasping, mirror neurons and imitation. *Neural Netw. Off. J. Int. Neural Netw. Soc.* 13, 975–997.
- Berent, I., Brem, A.-K., Zhao, X., Seligson, E., Pan, H., Epstein, J., Stern, E., Galaburda, A.M., Pascual-Leone, A., 2015. Role of the motor system in language knowledge. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 1983–1988. doi:10.1073/pnas.1416851112
- Fabbri-Destro, M., Rizzolatti, G., 2008. Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans. *Physiol. Bethesda Md* 23, 171–179. doi:10.1152/physiol.00004.2008
- Fadiga, L., Buccino, G., Craighero, L., Fogassi, L., Gallese, V., Pavesi, G., 1999. Corticospinal excitability is specifically modulated by motor imagery: a magnetic stimulation study. *Neuropsychologia* 37, 147–158.
- Fadiga, L., Craighero, L., Buccino, G., Rizzolatti, G., 2002. Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study. *Eur. J. Neurosci.* 15, 399–402.
- Fitch, W.T., Martins, M.D., 2014. Hierarchical processing in music, language, and action: Lashley revisited: Music, language, and action hierarchical processing. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* n/a–n/a. doi:10.1111/nyas.12406
- Gallese, V., 2003. The roots of empathy: the shared manifold hypothesis and the neural basis of intersubjectivity. *Psychopathology* 36, 171–180. doi:72786
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G., 1996. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119, 593–609. doi:10.1093/brain/119.2.593
- Gastaut, H.J., Bert, J., 1954. EEG changes during cinematographic presentation; moving picture activation of the EEG. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 6, 433–444.
- Iacoboni, M., Woods, R.P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J.C., Rizzolatti, G., 1999. Cortical mechanisms of human imitation. *Science* 286, 2526–2528.
- Liberman, A.M., Cooper, F.S., Shankweiler, D.F., Studdert-Kennedy, M., 1967. Perception of the speech code. *Psychol. Rev.* 74, 431–461. doi:10.1037/h0020279
- Liberman, A.M., Mattingly, I.G., 1985. The motor theory of speech perception revised. *Cognition* 21, 1–36.
- Oberman, L.M., Pineda, J.A., Ramachandran, V.S., 2007. The human mirror neuron system: a link between action observation and social skills. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2, 62–66. doi:10.1093/scan/nsi022
- Oberman, L.M., Ramachandran, V.S., Pineda, J.A., 2008. Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or unfamiliar stimuli: the mirror neuron hypothesis. *Neuropsychologia* 46, 1558–1565. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.01.010
- Pastra, K., Aloimonos, Y., 2012. The minimalist grammar of action. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 367, 103–117.
- Pineda, J.A., 2005. The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing.” *Brain Res. Rev.* 50, 57–68. doi:10.1016/j.brainresrev.2005.04.005
- Pulvermüller, F., 2005. Brain mechanisms linking language and action. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 576–582.
- Pulvermüller, F., 2010. Brain embodiment of syntax and grammar: Discrete combinatorial mechanisms spelt out in neuronal circuits. *Brain Lang.* 112, 167–179. doi:10.1016/j.bandl.2009.08.002
- Pulvermüller, F., Fadiga, L., 2010. Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nat. Rev. Neurosci.* 11, 351–360. doi:10.1038/nrn2811
- Pulvermüller, F., Huss, M., Kherif, F., Martin, F.M. del P., Hauk, O., Shtyrov, Y., 2006. Motor cortex maps articulatory features of speech sounds. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103, 7865–7870. doi:10.1073/pnas.0509989103
- Rizzolatti, G., Arbib, M.A., 1998. Language within our grasp. *Trends Neurosci.* 21, 188–194.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., Fogassi, L., 1996. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cogn. Brain Res.* 3, 131–141.

Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M.C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., Fazio, F., Rizzolatti, G., Cappa, S.F., Perani, D., 2005. Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *J. Cogn. Neurosci.* 17, 273–281. doi:10.1162/0898929053124965