



Artículo de Investigación

## Efectos de la enfermedad de Parkinson en la percepción de aspectos temporales del habla

Effects of Parkinson's Disease in the Perception of Temporal Aspects of Speech

**Recibido:** Octubre 2019 **Aceptado:** Diciembre 2019 **Publicado:** Junio 2020

**Alejandra Andrea Ramírez Quilape**

Universidad de Concepción, Chile  
Universidad Autónoma de Chile, Chile  
[aramirezqui@gmail.com](mailto:aramirezqui@gmail.com)

**Bernardo Riffo Ocares**

Universidad de Concepción, Chile  
[bernardo.riffo@udec.cl](mailto:bernardo.riffo@udec.cl)

**Resumen:** La disminución de dopamina en los ganglios basales (GB) es la principal causa de la enfermedad de Parkinson (EP). Además de las disfunciones motrices, los individuos con EP presentan alteraciones cognitivas que incluyen déficits de control atencional y temporal, de percepción del ritmo de la música y del habla, y de procesamiento del lenguaje. El circuito estriado-tálamo-cortical (CETC), participa en la comprensión musical y del habla. Personas con EP presentan problemas en distinguir las estructuras rítmicas por verse afectado el funcionamiento de los GB y, por lo tanto, el control de su pulso interno en el CETC. Sin embargo, se ha encontrado que personas con EP pueden mejorar su sincronización temporal interna mediante el acompañamiento de señales auditivas externas temporalmente predecibles. Estudios argumentan que señales de este tipo pueden compensar la vía disfuncional CETC mediante una interface con el circuito cerebelo-tálamo-cortical (CCTC) el cual es sensible a la codificación de eventos temporales.

**Palabras clave:** Enfermedad de Parkinson - ganglios basales - comprensión del lenguaje - ritmo

---

**Citación:** Ramírez Quilape, A.A. & Riffo Ocares, B. (2020). Efectos de la enfermedad de Parkinson en la percepción de aspectos temporales del habla. *Logos: Revista de Lingüística, Filosofía y Literatura*, 30(1), 29-39. DOI: 10.15443/RL3003

**Dirección Postal:** Cinco Pte N°1670, Talca, Maule, Chile

**DOI:** [doi.org/10.15443/RL3003](https://doi.org/10.15443/RL3003)



**Abstract:** The decrease in dopamine in the basal ganglia (BG) is the main cause of Parkinson's disease (PD). In addition to motor dysfunctions, individuals with PD have cognitive disorders that include deficits of attention and temporal control, perception of the rhythm of music and speech, and language processing. The striated-thalamus-cortical circuit (ETCC) participates in musical and language comprehension. People with PD have problems to distinguish rhythmic structures because the BG function is affected, and therefore, the control of their internal pulse in the ETCC. However, it has been found that people with PD can improve their internal temporal synchronization by accompanying temporarily predictable external auditory cue. Studies argue that kind of signals can compensate for the ETCC dysfunctional pathway through an interface with the cerebellum-thalamus-cortical circuit (CTCC) which is sensitive to the coding of temporary events.

**Keywords:** Parkinson's disease - basal ganglia - language comprehension - rhythm

## Introducción

La disminución de dopamina en la sustancia negra conduce a la disfunción y alteración de los ganglios basales (GB) (estructuras subcorticales del encéfalo), lo que se conoce como la causa primaria de la Enfermedad de Parkinson (EP). Durante la progresión de la enfermedad, los individuos con EP desarrollan síntomas que indican, en primer lugar, disfunción de la marcha (deambulación), así como alteraciones cognitivas que incluyen déficits del control atencional y temporal, alteraciones de la percepción del ritmo de la música y el habla, y trastornos en el procesamiento del lenguaje. En este artículo, intentaremos explicar la génesis de esta condición, así como sus alcances teóricos y proyecciones en el campo de la Lingüística Clínica para efectos de diagnóstico e intervención.

## Efectos de la enfermedad de Parkinson en la cognición y el lenguaje

En buena parte, los efectos antes señalados se pueden explicar, porque el declive de los niveles de dopamina ocasiona consecuencias en diversas funciones cognitivas, toda vez que dicho neurotransmisor actúa como un modulador del desempeño del córtex cerebral a través de los GB. Tanto las estructuras cerebrales afectadas por la EP como los procesos en los que se encuentra involucrada la dopamina constituyen factores transversales en la cognición y el lenguaje y, por lo mismo, los pacientes presentan un conjunto de trastornos en ambos dominios. Abundante evidencia empírica (Angwin, Chenery, Copland, Arnott, Grattan, Murdoch, & Silburn, 2006; Fischer & Goberman, 2010; Huber & Darling, 2011; Monetta, Grindrod & Pell, 2009) proveniente del ámbito clínico, de la Neurociencia y la Psicolingüística muestra que, en comparación con sus pares neurológicamente sanos, los individuos que padecen la EP tienen un desempeño significativamente alterado o disminuido en percepción, memoria y funciones ejecutivas, por una parte, y en la comprensión y producción del lenguaje en todos sus niveles (fonología, léxico, sintaxis, discurso), por otra (Grossman, Kalmanson, Bernhardt, Morris, Stern & Hurtig, 2000; Murray, 2008; Murray & Rutledge, 2014).

Aunque un considerable número de pacientes con EP presenta síntomas de demencia (Murray,

2008), también en individuos no dementes se ha hallado abundante evidencia de los efectos de la enfermedad en la percepción, memoria y funciones ejecutivas (Whitfield, Reif & Goberman, 2018). Si bien en las primeras investigaciones se obtuvieron estos resultados en pacientes con estado más avanzado de la patología, posteriormente se ha encontrado evidencia de efectos equivalentes en las funciones cognitivas en estadios tempranos, sin que ello conlleve necesariamente un diagnóstico de demencia. En algunos estudios se han recolectado pruebas de efectos en la memoria operativa, particularmente en funciones de planificación e integración de la información (Altgassen, Phillips, Kopp & Kliegel, 2007). Del mismo modo, en el trabajo de Gilbert, Belleville, Bherer y Chouinard (2005), los resultados mostraron diferencias entre pacientes de EP y grupo control en funciones de integración. En el mismo estudio, no se encontraron efectos en la capacidad de almacenamiento, pero sí en la velocidad de procesamiento.

Junto con los efectos observados en las funciones ejecutivas de la memoria, otros aspectos cognitivos se ven alterados por la EP, debido a que los GB cumplen importantes funciones en la elaboración de la representación del tiempo y del espacio. Estas estructuras subcorticales participan en la secuenciación de eventos (actuando como base para la elaboración de patrones), en la segmentación de secuencias, procesamiento secuencial, así como también en la sincronización (Graybiel, 1995). A consecuencia de ello, los pacientes de EP presentan dificultades para percibir claves temporales del habla, tales como velocidad y ritmo (Schirmer, 2004; Kotz, 2006; Schwartz & Kotz, 2016). Asimismo, se ha hallado evidencia de que los pacientes de la EP presentan dificultades en el procesamiento de información espacial, lo que afecta su desplazamiento (Lee & Harris, 1999; Almeida & Lebold, 2010).

En el lenguaje, a su vez, se observan efectos generales y transversales en todos los aspectos, aunque de forma no simétrica. Es decir, la EP no afecta igualmente la fonología, el léxico, la sintaxis y el discurso (Murray, 2008; Murray & Rutledge, 2014). La evidencia disponible muestra que la EP compromete tanto la comprensión como la producción del lenguaje en todos los niveles del sistema lingüístico. Entre los hallazgos más destacados, se cuentan efectos en la percepción del habla, así como en la producción fonética (Schirmer, 2004; Kotz, 2006; Fischer & Goberman, 2010; Schwartz & Kotz, 2016; Whitfield, Reif & Goberman, 2018). Estos efectos se encuentran asociados a los trastornos motores propios de la EP (que impactan en el control articulatorio), como también a la percepción del tiempo. El léxico, por su parte, muestra importantes evidencias de efectos de la EP, los que aparecen más bien en las fases tardías vinculadas al procesamiento semántico (que compromete aspectos estratégicos) antes que al nivel léxico (más relacionado con el procesamiento y activación automática temprana) (Copland, 2003; Longworth, Keenan, Barker, Marslen-Wilson & Tyler, 2005). Cómo la EP afecta la morfosintaxis, es algo que ha sido investigado mediante diversos estudios de comprensión y producción de oraciones. Utilizando métodos *off-line*, se han encontrado diferencias significativas entre pacientes de EP y grupo control en la comprensión de oraciones de distinta complejidad (oraciones simples vs. compuestas con cláusula relativa de incrustación central, voz pasiva vs. activa), hallazgos que en su conjunto muestran un desempeño disminuido en los pacientes (Angwin, Chenery, Copland, Murdoch & Silburn, 2006; Arnott, Chenery, Murdoch & Silburn, 2005; Colman, Koerts, van Beilen, Leenders & Bastiaanse, 2006; Hochstadt, Nakano, Lieberman & Friedman, 2006). Los estudios realizados con métodos *on-line*, a su vez, confirman esta tendencia, aunque parcialmente; evidencia conductual y neurofisiológica muestra que las diferencias entre individuos con EP y grupo control no parecen comprometer los procesos automáticos, sino más bien aquellos implicados en el procesamiento estratégico y en la integración sintáctico-semántica (Friederici, Kotz, Werheid, Hein & von Cramon, 2003; Longworth et al., 2005). En cuanto al discurso, varios estudios reportan efectos de la EP, tanto en la producción (elaboración, fluidez) (Huber & Darling, 2011) como en la comprensión auditiva y escrita (Berg, Bjornram, Hartelius, Laakso & Jonels, 2003; Copland, Chenery & Murdoch, 2001; Monetta & Pell, 2007; Monetta, Grindrod & Pell, 2009; Murray & Rutledge, 2014).

Esta considerable evidencia de déficits en el desempeño verbal en la EP así como en otras lesiones neurodegenerativas de los GB (p. e. Ullman, 2001; Ullman et al. 1997) puede ser explicada en términos neurolingüísticos. Investigaciones realizadas con técnicas de neuroimagen sugieren

que el circuito estriado-tálamo-cortical (CETC) estaría involucrado en la comprensión del habla y del lenguaje (Friederici, von Cramon & Kotz 1999; Friederici & Kotz, 2003; Frisch, Kotz, von Cramon & Friederici, 2003; Friederici et al. 2003; Grossman et al., 1993; Lieberman, Friedman & Feldman, 1990; Longworth et al. 2005; Moro et al., 2001). Más específicamente, el procesamiento de estructuras sintácticas simples y complejas, dependientes del control de la atención en la comprensión del lenguaje, parece estar afectado por cambios estructurales de los GB (Friederici et al. 1999; Friederici & Kotz, 2003; Frisch et al. 2003; Friederici, et al., 2003; Grossman et al. 1993; Lieberman et al. 1990; Longworth et al. 2005; Moro et al., 2001; Natsopoulos et al. 1991). Grossman y colaboradores (Grossman et al., 1993) cuestionan que los déficits de procesamiento sintáctico tengan un carácter primario, específico en pacientes subcorticales y sugieren, en cambio, que estas alteraciones podrían ser el resultado tanto de las funciones ejecutivas alteradas (control atencional) como de la afectación del procesamiento temporal general (Grossman et al. 2000). Por lo tanto, los déficits observados en el procesamiento sintáctico podrían ser considerados un efecto secundario de trastornos primarios de orden cognitivo o de déficits de procesamiento temporal.

### **La percepción del ritmo del habla en la EP**

Como se mencionó anteriormente, se ha propuesto que una red extendida sensoriomotora, que incluye a las áreas premotora y motora suplementaria, el cerebelo y los GB, se dedican a la generación y a la percepción del pulso o beat en el ritmo musical (Chen, Penhune & Zatorre, 2008; Grahn, 2009; Grahn & Brett, 2007; Grahn & Rowe, 2009; Leow & Grahn, 2014; Schubotz & von Cramon, 2001; Schubotz, Friederici & Von Cramon, 2000) y en el ritmo del habla (Geiser, Zaehle, Jancke & Meyer, 2008). Conforme a estos antecedentes, se destaca la influencia de una red neural en el procesamiento de la música y el ritmo (Zatorre, Chen & Penhune, 2007). Por ejemplo, Grahn y Brett (2007) reportaron que los ritmos de métrica simple llevan a incrementar la actividad en los GB y en las áreas premotora y motora suplementaria. Debido a esto, los pacientes con EP presentan problemas para distinguir entre estructuras métricas y pulsos simples (Geiser & Kaelin-Lang, 2011; Grahn & Brett, 2009). Del mismo modo, se han hallado evidencias de que la EP afecta la producción del habla en la duración de la sonoridad de ciertas consonantes (*voice onset time*, VOT), lo que ha sido interpretado como otro efecto más de un procesamiento temporal general afectado por la disfunción de los GB (Whitfield et al. 2018).

Considerando que los GB son parte del CETC, los cuales también se encuentran relacionados con distorsiones fisiopatológicas de la percepción del tiempo (para recientes revisiones ver Allman & Meck, 2011; Allman, Teki, Griffiths & Meck, 2014; Merchant, Harrington & Meck, 2013; Schwartz & Kotz, 2013), Kotz y Schmidt-Kassow (2015) propusieron que un déficit de procesamiento temporal generalizado puede afectar el procesamiento de señales lingüísticas (sintaxis) y no lingüísticas (patrones musicales y lingüísticos bajo el control de la atención (Kotz & Gunter, 2015; Kotz, Gunter & Wonneberger, 2005; Kotz & Schwartz, 2010; Kotz, Schwartz & Schmidt-Kassow, 2009). Estos déficits de procesamiento temporal descritos parecen afectar no solo el comportamiento perceptivo, sino también la conducta motora. En contraste, las personas con EP pueden mejorar la sincronización perceptiva y motora cuando el andar se sincroniza con una señal auditiva predecible, como el ritmo de la marcha (Benoit et al. 2014; Bella, Farrugia, Schwartz & Kotz, 2015). Señales de este tipo pueden compensar la vía disfuncional CETC al proporcionar una interfaz con el circuito cerebelo-tálamo-cortical (CCTC), un componente sensible a la codificación de eventos temporales (Kotz & Schwartz, 2010; Teki, Grube, Kumar & Griffiths, 2011).

Kotz y Schmidt-Kassow (2015) demostraron, además, que el acompañamiento directo de una señal temporalmente predecible, en paralelo a una señal temporalmente variable como el habla, puede producir una compensación similar a la sincronización disfuncional del CETC mediante el CCTC, incluso cuando esta forma de acompañamiento no se base en una sincronización sensoriomotora. Si las personas con daño en el CETC sufren de un déficit de sincronización generalizado (motor y no motor) en el que se pueden ver afectadas las predicciones internas acerca de cuándo puede ocurrir el siguiente pulso relevante (por ejemplo, una sílaba acentuada

en el habla), entonces, proveer al paciente de patrones de pulsos altamente regulares podría mejorar el procesamiento de información lingüística sintáctica inserta en el habla. De esta forma, se asume que el acompañamiento constante de eventos sensoriales externos temporales predecibles que estimulen el CCTC podría compensar la percepción disfuncional interna del pulso, no solamente en la música (Grahn & Rowe, 2009), sino también en el habla (Kotz et al. 2009). En este contexto, al escuchar un artículo (“el” o “un”), un receptor espera que el siguiente evento de habla sea un sintagma nominal (SN; gato), aunque este SN podría incluir elementos adicionales como adverbios o frases preposicionales. Por lo tanto, la regla “artículo + N” dirige la expectativa sintáctica del receptor. La estructura sintáctica permite formar predicciones de acuerdo con las regularidades gramaticales de la lengua (el “qué”) y prever así una secuencia de eventos (Chang, Dell & Bock, 2006). Es posible que estas predicciones sintácticas se comuniquen con las predicciones temporales, anticipando en qué momento del habla ocurrirá el siguiente evento (el “cuándo”; Large & Kolen, 1994), en cuyo caso los GB (p. ej., el putamen; Haruno & Kawato, 2006) podrían codificar anticipaciones internas de cuándo ocurrirán los eventos siguientes en una secuencia (ver Mink, 1996 para evidencia motora; Grahn & Rowe, 2009 para predicciones internas del pulso en la música). Si las predicciones del “cuándo” se alteran, la sincronización de los eventos relevantes en la señal del habla será inestable y puede afectar el procesamiento oportuno de la codificación de la información lingüística (por ejemplo, el procesamiento sintáctico).

Al compararla con la música, el habla es temporal y variable métricamente. Las distintas lenguas del mundo han sido agrupadas en diferentes clases de ritmo. Más allá de las regularidades derivadas del tiempo, el ritmo de habla o del patrón de acentuación del habla (p.ej., la distribución de pulsos inducidos por la sílaba débil o acentuada) puede influir en cómo percibimos (p.ej., determinar qué sonido es sobresaliente) segmentamos, ordenamos y cómo relacionamos los eventos del habla (Kotz & Schwartz, 2010). Las lenguas se dividen en diferentes clases: unas de *compás silábico* y otras de *compás acentual* (Abercrombie, 1967), a las que se agrega el *compás de mora*, propuesto como una categoría adicional (p.ej. Port et al. 1987; Ramus, Nespor & Mehler, 1999). Esta tipología está intrínsecamente relacionada con la noción de *timing*, término utilizado para referirse a todos los aspectos de variación de la duración en el habla (Arvaniti, 2009), en el contexto de clases de ritmo. Sobre la base de la tipología original de las clases de ritmo, el *timing* se refiere a la isocronía, la pretensión de que una unidad prosódica (el pie acentual en la lengua de compás acentual, la sílaba en la lengua de compás silábico y la mora en la lengua de compás de mora) de cada clase presenta una duración estable, siendo la repetición de intervalos regulares lo que crea el ritmo (Abercrombie, 1967). Más recientemente, un aspecto diferente de *timing* se ha visto como lo más destacable en las distinciones de clases de ritmo, a saber, la variabilidad relativa de intervalos de duración de vocales y consonantes. Específicamente, las lenguas de compás acentual muestran gran variabilidad en los intervalos consonánticos, porque ellos permiten grupos consonánticos complejos. A su vez, la presencia de estas agrupaciones reduce el porcentaje de habla retomada por intervalos vocálicos, mientras que la presencia de reducción vocálica resulta en una mayor variabilidad de intervalos vocálicos. Las lenguas de compás silábico (y de compás de mora), por el contrario, exhiben el patrón opuesto: menor variabilidad de la duración del intervalo vocálico y consonántico, y una mayor proporción de habla en intervalos vocálicos (Ramus et al. 1999; Grabe & Low, 2002). A pesar de las diferencias, ambas conceptualizaciones sustentan la idea de que el ritmo del habla está basado en intervalos temporales específicos, lo que es un aspecto del *timing*.

Extraer palabras de un estímulo lingüístico auditivo y detectar repeticiones de estas unidades en diferentes contextos se considera una herramienta básica para la construcción del vocabulario (Bosch et al. 2013). Investigaciones muy recientes han demostrado incluso una relación entre estas habilidades tempranas de adquisición y resultados de lenguaje posteriores (Newman, Ratner, Jusczyk, Jusczyk & Dow, 2006; Junge, Kooijman, Hagoort & Cutler, 2012; Singh, Steven Reznick & Xuehua, 2012). Debido a la importancia de la emergencia de la habilidad para segmentar palabras, esta se vuelve crucial en la construcción y adquisición del conocimiento léxico.

La detección de propiedades rítmicas específicas en la lengua materna podría ayudar a desarrollar estrategias de segmentación más pertinentes para extraer las palabras desde el habla fluente (en tiempo real). La distribución de los pulsos, aunque estos no se presenten regularmente espaciados, permite formar predicciones acerca de cuándo y qué tipo de sílaba (fuerte o débil) ocurrirá (Schmidt-Kassow & Kotz, 2009) en una lengua de compás acentual. De esta forma, la estructura temporal del habla no resulta impredecible. En efecto, la percepción de los patrones métricos del pulso en el habla se considera beneficioso (Cutler & Foss, 1977) y parece orientar la atención del receptor hacia la información relevante en la señal del habla (Pitt & Samuel, 1990), desempeñando un papel significativo en la adquisición del lenguaje (Jusczyk, Hohne & Bauman, 1999), la segmentación del habla (Cutler & Norris, 1988; Lee & Todd, 2004; Mattys & Samuel, 1997), y el procesamiento léxico (Dilley & McAuley, 2008).

### **Proyecciones hacia el campo clínico**

Kotz y Schmidt-Kassow (2015) han determinado que las personas con alteraciones estructurales en los ganglios basales, como es el caso de los pacientes con EP presentan dificultades en el procesamiento temporal de la señal del habla. Específicamente, tienen dificultades en reconocer variaciones en patrones rítmicos de una palabra u oración, lo que, en consecuencia, afecta la comprensión del lenguaje. Sólo se han realizado hasta el momento, como se han descrito, estudios en lenguas de compás acentual (alemán e inglés), en las cuales, tanto la estructura sintáctica, como la estructura rítmica difieren del español, que es una lengua de compás silábico. En el caso de la primera, la unidad rítmica es el acento, el cual presenta una periodicidad regular; en la segunda, en cambio, la unidad rítmica principal es la duración de la sílaba, mientras que el acento es irregular.

Cabe preguntarse, por lo tanto, si en una lengua de compás silábico ocurrirá el mismo fenómeno que se ha identificado en una lengua de ritmo acentual en pacientes con EP. ¿Qué ocurriría si se modificara la duración de la sílaba de las palabras? ¿será posible mejorar los tiempos de reacción de un sujeto con EP en la comprensión del lenguaje mediante la escucha previa de una señal musical auditiva predecible que actúa como facilitador o *prime*?, ¿Influirá la variación del tempo musical en la comprensión del lenguaje en estos pacientes?

Un hallazgo de esta magnitud podría abrir nuevos campos de investigación y tratamiento en el ámbito neurológico y fonoaudiológico. Hasta el momento, se han desarrollado terapias sobre la base del ritmo de la música con el propósito de aumentar y mejorar la producción del lenguaje, como es el caso de la *Terapia de Entonación Melódica* utilizada para intervenir personas con afasia severa, cuyo fundamento se basa en la observación clínica de que estos pacientes pueden cantar mucho mejor que producir palabras en el habla (Gerstman, 1964; Keith & Aronson, 1975; Kinsella, Prior & Murray 1988; Hebert, Racette, Gagnon & Peretz, 2003). Podría existir, no obstante, evidencia específica a favor de que estimular de forma rápida y simple la percepción temporal de la señal del habla mediante un estímulo musical externo predecible incrementa la comprensión del lenguaje. Esto permitiría diseñar señales musicales artificialmente acorde al ritmo interno de cada paciente, con el fin de impactar positivamente en la comprensión del lenguaje, así como en patrones motores involucrados en el habla y en la marcha.

### **Agradecimientos y financiamiento**

Este artículo forma parte del proyecto FONDECYT regular n° 1150336.

### **Referencias bibliográficas**

Abercrombie, D. (1967). *Elements of general phonetics* (Vol. 203). Edinburgh: Edinburgh University Press.

Allman, M. J., & Meck, W. H. (2011). Pathophysiological distortions in time perception and

- timed performance. *Brain*, 135(3), 656-677.
- Allman, M. J., Teki, S., Griffiths, T. D., & Meck, W. H. (2014). Properties of the internal clock: first-and second-order principles of subjective time. *Annual review of psychology*, 65, 743-771.
- Almeida, Q. J., & Lebold, C. A. (2010). Freezing of gait in Parkinson's disease: a perceptual cause for a motor impairment?. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 81(5), 513-518.
- Angwin, A. J., Chenery, H. J., Copland, D. A., Arnott, W. L., Grattan, R., Murdoch, B. E., & Silburn, P. A. (2006). Priming of semantic features in Parkinson's disease. *Brain and Language*, 99(1-2), 102-103.
- Arvaniti, A. (2009). Rhythm, timing and the timing of rhythm. *Phonetica*, 66(1-2), 46-63.
- Altgassen, M., Phillips, L., Kopp, U., & Kliegel, M. (2007). Role of working memory components in planning performance of individuals with Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 45(10), 2393-2397.
- Arnott, W. L., Chenery, H. J., Murdoch, B. E., & Silburn, P. A. (2005). Morphosyntactic and syntactic priming: An investigation of underlying processing mechanisms and the effects of Parkinson's disease. *Journal of Neurolinguistics*, 18(1), 1-28.
- Bella, S. D., Benoit, C. E., Farrugia, N., Schwartz, M., & Kotz, S. A. (2015). Effects of musically cued gait training in Parkinson's disease: beyond a motor benefit. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 77-85.
- Benoit, C. E., Dalla Bella, S., Farrugia, N., Obrig, H., Mainka, S., & Kotz, S. A. (2014). Musically cued gait-training improves both perceptual and motor timing in Parkinson's disease. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 494.
- Berg, E., Björnram, C., Hartelius, L., Laakso, K., & Johnels, B. O. (2003). High-level language difficulties in Parkinson's disease. *Clinical linguistics & phonetics*, 17(1), 63-80.
- Bosch, L., Figueras, M., Teixidó, M., & Ramon-Casas, M. (2013). Rapid gains in segmenting fluent speech when words match the rhythmic unit: evidence from infants acquiring syllable-timed languages. *Frontiers in Psychology*, 4, 106.
- Chang, F., Dell, G. S., & Bock, K. (2006). Becoming syntactic. *Psychological review*, 113(2), 234.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral cortex*, 18(12), 2844-2854.
- Colman, K., Koerts, J., Van Beilen, M., Leenders, K. L., & Bastiaanse, R. (2006). The role of cognitive mechanisms in sentence comprehension in Dutch speaking Parkinson's disease patients: Preliminary data. *Brain and Language*, 99(1-2), 120-121.
- Copland, D. (2003). The basal ganglia and semantic engagement: Potential insights from semantic priming in individuals with subcortical vascular lesions, Parkinson's disease, and cortical lesions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 9(7), 1041-1052.
- Copland, D. A., Chenery, H. J., & Murdoch, B. E. (2001). Discourse priming of homophones in individuals with dominant nonthalamic subcortical lesions, cortical lesions and Parkinson's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23(4), 538-556.
- Cutler, A., & Foss, D. J. (1977). On the role of sentence stress in sentence processing. *Language and Speech*, 20(1), 1-10.

- Cutler, A., & Norris, D. (1988). The role of strong syllables in segmentation for lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 14(1), 113.
- Dilley, L. C., & McAuley, J. D. (2008). Distal prosodic context affects word segmentation and lexical processing. *Journal of Memory and Language*, 59(3), 294-311.
- Fischer, E., & Goberman, A. M. (2010). Voice onset time in Parkinson disease. *Journal of Communication Disorders*, 43(1), 21-34.
- Friederici, A. D., & Kotz, S. A. (2003). The brain basis of syntactic processes: functional imaging and lesion studies. *Neuroimage*, 20, S8-S17.
- Friederici, A. D., Von Cramon, D. Y., & Kotz, S. A. (1999). Language related brain potentials in patients with cortical and subcortical left hemisphere lesions. *Brain*, 122(6), 1033-1047.
- Friederici, A. D., Kotz, S. A., Werheid, K., Hein, G., & von Cramon, D. Y. (2003). Syntactic comprehension in Parkinson's disease: Investigating early automatic and late integrational processes using event-related brain potentials. *Neuropsychology*, 17(1), 133.
- Frisch, S., Kotz, S. A., von Cramon, D. Y., & Friederici, A. D. (2003). Why the P600 is not just a P300: The role of the basal ganglia. *Clinical Neurophysiology*, 114(2), 336-340.
- Geiser, E., & Kaelin-Lang, A. (2011). The function of dopaminergic neural signal transmission in auditory pulse perception: Evidence from dopaminergic treatment in Parkinson's patients. *Behavioural brain research*, 225(1), 270-275.
- Geiser, E., Zaehle, T., Jancke, L., & Meyer, M. (2008). The neural correlate of speech rhythm as evidenced by metrical speech processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(3), 541-552.
- Gerstman, H. L. (1964). A case of aphasia. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 29(1), 89-91.
- Gilbert, B., Belleville, S., Bherer, L., & Chouinard, S. (2005). Study of verbal working memory in patients with Parkinson's disease. *Neuropsychology*, 19(1), 106.
- Grabe, E., & Low, E. L. (2002). Durational variability in speech and the rhythm class hypothesis. *Papers in laboratory phonology*, 7, 515-546.
- Grahn, J. (2009). The role of the basal ganglia in beat perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 35-45.
- Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(5), 893-906.
- Grahn, J. A., & Brett, M. (2009). Impairment of beat-based rhythm discrimination in Parkinson's disease. *Cortex*, 45(1), 54-61.
- Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2009). Feeling the beat: premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *Journal of Neuroscience*, 29(23), 7540-7548.
- Graybiel, A. M. (1995). Building action repertoires: memory and learning functions of the basal ganglia. *Current opinion in neurobiology*, 5(6), 733-741.
- Grossman, M., Carvell, S., Gollomp, S., Stern, M. B., Reivich, M., Morrison, D., ... & Hurtig, H. I. (1993). Cognitive and physiological substrates of impaired sentence processing in Parkinson's disease. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(4), 480-498.

- Grossman, M., Kalmanson, J., Bernhardt, N., Morris, J., Stern, M. B., & Hurtig, H. I. (2000). Cognitive resource limitations during sentence comprehension in Parkinson's disease. *Brain and Language*, 73(1), 1-16.
- Haruno, M., & Kawato, M. (2006). Different neural correlates of reward expectation and reward expectation error in the putamen and caudate nucleus during stimulus-action-reward association learning. *Journal of neurophysiology*, 95(2), 948-959.
- Hébert, S., Racette, A., Gagnon, L., & Peretz, I. (2003). Revisiting the dissociation between singing and speaking in expressive aphasia. *Brain*, 126(8), 1838-1850.
- Hochstadt, J., Nakano, H., Lieberman, P., & Friedman, J. (2006). The roles of sequencing and verbal working memory in sentence comprehension deficits in Parkinson's disease. *Brain and language*, 97(3), 243-257.
- Huber, J. E., & Darling, M. (2011). Effect of Parkinson's disease on the production of structured and unstructured speaking tasks: Respiratory physiologic and linguistic considerations. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.
- Junge, C., Kooijman, V., Hagoort, P., & Cutler, A. (2012). Rapid recognition at 10 months as a predictor of language development. *Developmental Science*, 15(4), 463-473.
- Jusczyk, P. W., Hohne, E. A., & Bauman, A. (1999). Infants' sensitivity to allophonic cues for word segmentation. *Perception & psychophysics*, 61(8), 1465-1476.
- Keith, R. L., & Aronson, A. E. (1975). Singing as therapy for apraxia of speech and aphasia: report of a case. *Brain and Language*, 2, 483-488.
- Kinsella, G., Prior, M. R., & Murray, G. (1988). Singing ability after right and left sided brain damage. A research note. *Cortex*, 24(1), 165-169.
- Kotz, S. A. (2006). *The role of the basal ganglia in auditory language processing: evidence from ERP lesion studies and functional neuroimaging* (Doctoral dissertation, Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences Leipzig).
- Kotz, S. A., & Gunter, T. C. (2015). Can rhythmic auditory cuing remediate language-related deficits in Parkinson's disease. *Ann. NY Acad. Sci*, 1337, 62-68.
- Kotz, S. A., Gunter, T. C., & Wonneberger, S. (2005). The basal ganglia are receptive to rhythmic compensation during auditory syntactic processing: ERP patient data. *Brain and Language*, 95(1), 70-71.
- Kotz, S. A., & Schmidt-Kassow, M. (2015). Basal ganglia contribution to rule expectancy and temporal predictability in speech. *Cortex*, 68, 48-60.
- Kotz, S. A., & Schwartz, M. (2010). Cortical speech processing unplugged: a timely subcortico-cortical framework. *Trends in cognitive sciences*, 14(9), 392-399.
- Kotz, S. A., Schwartz, M., & Schmidt-Kassow, M. (2009). Non-motor basal ganglia functions: A review and proposal for a model of sensory predictability in auditory language perception. *Cortex*, 45(8), 982-990.
- Large, E. W., & Kolen, J. F. (1994). Resonance and the perception of musical meter. *Connection science*, 6(2-3), 177-208.
- Lee, A., & Harris, J. (1999). Problems with perception of space in Parkinson's disease: a

- questionnaire study. *Neuro-ophthalmology*, 22(1), 1-15.
- Lee, C. S., & Todd, N. P. M. (2004). Towards an auditory account of speech rhythm: application of a model of the auditory 'primal sketch' to two multi-language corpora. *Cognition*, 93(3), 225-254.
- Leow, L. A., & Grahn, J. A. (2014). Neural mechanisms of rhythm perception: present findings and future directions. In *Neurobiology of Interval Timing* (pp. 325-338). Springer, New York, NY.
- Lieberman, P., Friedman, J., & Feldman, L. S. (1990). Syntax comprehension deficits in Parkinson's disease. *Journal of Nervous and Mental Disease*.
- Longworth, C. E., Keenan, S. E., Barker, R. A., Marslen-Wilson, W. D., & Tyler, L. K. (2005). The basal ganglia and rule-governed language use: evidence from vascular and degenerative conditions. *Brain*, 128(3), 584-596.
- Mattys, S. L., & Samuel, A. G. (1997). How lexical stress affects speech segmentation and interactivity: Evidence from the migration paradigm. *Journal of Memory and Language*, 36(1), 87-116.
- Merchant, H., Harrington, D. L., & Meck, W. H. (2013). Neural basis of the perception and estimation of time. *Annual review of neuroscience*, 36, 313-336.
- Mink, J. W. (1996). The basal ganglia: focused selection and inhibition of competing motor programs. *Progress in neurobiology*, 50(4), 381-425.
- Monetta, L., & Pell, M. D. (2007). Effects of verbal working memory deficits on metaphor comprehension in patients with Parkinson's disease. *Brain and Language*, 101(1), 80-89.
- Monetta, L., Grindrod, C. M., & Pell, M. D. (2009). Irony comprehension and theory of mind deficits in patients with Parkinson's disease. *Cortex*, 45(8), 972-981.
- Moro, A., Tettamanti, M., Perani, D., Donati, C., Cappa, S. F., & Fazio, F. (2001). Syntax and the brain: disentangling grammar by selective anomalies. *Neuroimage*, 13(1), 110-118.
- Murray, L. L., & Rutledge, S. (2014). Reading comprehension in Parkinson's disease. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 23(2), S246-S258.
- Murray, L. L. (2008). Language and Parkinson's disease. *Annual Review of Applied Linguistics*, 28, 113-127.
- Natsopoulos, D., Katsarou, Z., Bostantzopoulou, S., Grouios, G., Mentenopoulos, G., & Logothetis, J. (1991). Strategies in comprehension of relative clauses by parkinsonian patients. *Cortex*, 27(2), 255-268.
- Newman, R., Ratner, N. B., Jusczyk, A. M., Jusczyk, P. W., & Dow, K. A. (2006). Infants' early ability to segment the conversational speech signal predicts later language development: A retrospective analysis. *Developmental psychology*, 42(4), 643.
- Pitt, M. A., & Samuel, A. G. (1990). The use of rhythm in attending to speech. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 16(3), 564.
- Port, R. F., Dalby, J., & O'Dell, M. (1987). Evidence for mora timing in Japanese. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 81(5), 1574-1585.
- Ramus, F., Nespor, M., & Mehler, J. (1999). Correlates of linguistic rhythm in the speech signal.

*Cognition*, 73(3), 265-292.

Schirmer, A. (2004). Timing speech: a review of lesion and neuroimaging findings. *Cognitive Brain Research*, 21(2), 269-287.

Schmidt-Kassow, M., & Kotz, S. A. (2009). Attention and perceptual regularity in speech. *NeuroReport*, 20(18), 1643-1647.

Schubotz, R. I., & von Cramon, D. Y. (2001). Interval and ordinal properties of sequences are associated with distinct premotor areas. *Cerebral Cortex*, 11(3), 210-222.

Schubotz, R. I., Friederici, A. D., & Von Cramon, D. Y. (2000). Time perception and motor timing: a common cortical and subcortical basis revealed by fMRI. *Neuroimage*, 11(1), 1-12.

Schwartz, M., & Kotz, S. A. (2013). A dual-pathway neural architecture for specific temporal prediction. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(10), 2587-2596.

Schwartz, M., & Kotz, S. A. (2016). regional interplay for temporal Processing in Parkinson's Disease: Possibilities and challenges. *Frontiers in neurology*, 6, 270.

Schirmer, A. (2004). Timing speech: a review of lesion and neuroimaging findings. *Cognitive Brain Research*, 21(2), 269-287.

Singh, L., Steven Reznick, J., & Xuehua, L. (2012). Infant word segmentation and childhood vocabulary development: a longitudinal analysis. *Developmental science*, 15(4), 482-495.

Teki, S., Grube, M., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2011). Distinct neural substrates of duration-based and beat-based auditory timing. *Journal of Neuroscience*, 31(10), 3805-3812.

Ullman, M. T., Corkin, S., Coppola, M., Hickok, G., Growdon, J. H., Koroshetz, W. J., & Pinker, S. (1997). A neural dissociation within language: Evidence that the mental dictionary is part of declarative memory, and that grammatical rules are processed by the procedural system. *Journal of cognitive neuroscience*, 9(2), 266-276.

Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: The declarative/procedural model. *Nature reviews neuroscience*, 2(10), 717.

Whitfield, J. A., Reif, A., & Goberman, A. M. (2018). Voicing contrast of stop consonant production in the speech of individuals with Parkinson disease ON and OFF dopaminergic medication. *Clinical linguistics & phonetics*, 32(7), 587-594.

Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature reviews neuroscience*, 8(7), 547.