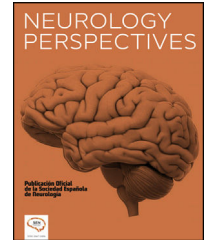




# NEUROLOGY PERSPECTIVES

[www.journals.elsevier.com/neurology-perspectives](http://www.journals.elsevier.com/neurology-perspectives)



ORIGINAL

## Cambios en el *voice onset time* en hablantes franceses de entre 40 y 80 años de edad



## Changes in voice onset time in French-speaking individuals between 40 and 80 years of age

C. Verhaegen<sup>a,\*</sup>, V. Delvaux<sup>a,b</sup>, K. Huet<sup>a</sup>, M. Piccaluga<sup>a</sup> y B. Harmegnies<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Unidad de Metrología y Ciencias del Lenguaje, Instituto de Investigación de Ciencias del Lenguaje y Tecnología, Universidad de Mons, Mons, Bélgica*

<sup>b</sup> *Fondo Nacional de Investigación Científica (FNRS), Bruselas, Bélgica*

Recibido el 22 de enero de 2021; aceptado el 2 de marzo de 2021

Disponible en Internet el 5 de marzo de 2021

### PALABRAS CLAVE

*Voice onset time*;  
Francés;  
Oclusivas sonoras;  
Envejecimiento;  
Ciclo vital

### Resumen

**Introducción:** En este estudio se explora la forma en que el envejecimiento afecta a la producción del habla. Indudablemente, son muchos los cambios que se producen a edades avanzadas en los procesos de control motor, así como en la integridad de los músculos laríngeos y supralaríngeos, y que pueden afectar a la producción del habla. Sin embargo, hay pocos trabajos que examinen estas capacidades en el marco del envejecimiento saludable, especialmente en personas de habla francesa.

**Material y métodos:** Nos hemos centrado en el *voice onset time* (VOT) o tiempo de inicio de la sonoridad, una pista del habla especialmente relevante para el estudio de la coordinación temporal y espacial entre los gestos laríngeos y supralaríngeos. Han participado cuatro grupos de personas francófonas de las siguientes franjas de edad: 40-49, 50-59, 60-69 y 70-79. Se les propuso una tarea de repetición de pseudopalabras, que incluía las seis oclusivas sonoras y sordas que existen en francés: /p, t, k, b, d, g/.

**Resultados:** Los resultados arrojan una mayor duración de las pseudopalabras, a partir de los 70 años,  $F(3,847) = 3,52$ ,  $p = 0,02$ , probablemente debido a la ralentización de los movimientos del habla. En la franja etaria 70-79, se detectaron problemas adicionales al iniciar y mantener la sonoridad durante la oclusión. Esto tuvo como consecuencia un VOT más breve (presonoridad retrasada),  $F(3,848) = 5,23$ ,  $p = 0,001$ , así como una sonoridad incompleta (interrupción de la sonoridad antes de la apertura) de una oclusiva sonora a inicio de palabra /b, d, g/,  $F(3,422) = 3,01$ ,  $p = 0,03$ , lo cual, a su vez, conlleva una diferencia menor en cuanto al VOT entre las categorías fonológicas sonora y sorda.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [clemence.verhaegen@umons.ac.be](mailto:clemence.verhaegen@umons.ac.be) (C. Verhaegen).

*Discusión:* Estos resultados apuntan a dificultades en la coordinación de los movimientos articulatorios que podrían indicar un declive en el control motor del habla asociado con la edad.  
 © 2021 Sociedad Española de Neurología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## KEYWORDS

Voice onset time;  
 French;  
 Voiced occlusives;  
 Ageing;  
 Life cycle

## Abstract

*Introduction:* This study explores the ways in which ageing affects speech production. Older individuals present many changes in processes of motor control, as well as in the integrity of laryngeal and supralaryngeal muscles, which may affect speech production. However, few studies have addressed these capacities in the context of healthy ageing, especially in French-speaking people.

*Methods:* The study focused on voice onset time (VOT), a feature of speech that is particularly relevant in the study of the temporal and spatial coordination of laryngeal and supralaryngeal gestures. We recruited French-speaking individuals, who were grouped according to age, as follows: 40-49, 50-59, 60-69, and 70-79 years. They were asked to perform a pseudoword repetition task including the 6 voiced and voiceless occlusives that exist in the French language: /p, t, k, b, d, g/.

*Results:* We observed a longer duration of pseudowords in participants older than 70 years ( $F[3,847] = 352$ ;  $p = .02$ ), probably due to slowing of speech movements. In the 70-79 years age group, further difficulties were detected with voice onset and maintenance during occlusion. This resulted in shorter VOT (delayed prevoicing) ( $F[3,848] = 5.23$ ;  $p = .001$ ), as well as incomplete voicing (interruption of voicing before opening) of voiced occlusives at the beginning of /b, d, g/ words ( $F[3,422] = 3.01$ ;  $p = .03$ ); this, in turn, led to a reduction in the difference in VOT between voiced and voiceless sounds.

*Discussion:* Our results indicate difficulties in the coordination of articulator movements, suggesting an age-related decline in the motor control of speech.

© 2021 Sociedad Española de Neurología. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

La capacidad de comunicarse por medio del lenguaje y el habla es, como muchos otros aspectos del comportamiento humano, vulnerable a la senescencia. Estos problemas ligados a la edad aumentan al mismo ritmo que el número de ancianos en la población mundial. Por consiguiente, hoy en día, la necesidad de comprender y analizar con precisión qué mecanismos están sujetos al envejecimiento representa un reto, tanto en la investigación como en la práctica clínica. Como consecuencia del envejecimiento, múltiples estudios han puesto de manifiesto un declive en la capacidad de producción oral de las palabras; por ejemplo, la dificultad para encontrar una palabra o el fenómeno que conocemos como «tener una palabra en la punta de la lengua»<sup>1-5</sup>. En cambio, los efectos del declive debido a la edad sobre la producción del habla se han estudiado menos, en especial en idiomas distintos del inglés. No obstante, la producción del habla requiere unos sofisticados procesos de control motor en los que están involucrados los mecanismos de proacción (*feed-forward*) y retroacción (*feedback*), los cuales rigen muchas unidades de acción del tracto vocal y los gestos articulatorios asociados, así como la integridad de los músculos, huesos, tejidos y estructuras cartilaginosas relacionados. A edades avanzadas, el declive en el control motor del habla y los cambios fisiológicos, tales como la osificación de los

cartílagos, la atrofia de la laringe, la boca y la musculatura facial, y la degradación de los tejidos, pueden provocar diversas alteraciones en la producción del habla<sup>6</sup>. Por ejemplo, algunos autores han observado una disminución en la velocidad del habla a la hora de producir oraciones y palabras sueltas o un aumento en los errores de producción del habla en las tareas repetitivas<sup>6-14</sup>. Asimismo, se observó una reducción de la coarticulación debida al envejecimiento<sup>15</sup>. Ciertamente, los efectos de la edad sobre el control motor del habla incluyen una ralentización de los movimientos articulatorios y un déficit de coordinación entre estos movimientos.

Una pista del habla propensa a exhibir alteraciones en el control motor del habla es el *voice onset time* (VOT). Concretamente, el VOT es la principal pista fonética asociada con la distinción fonológica entre las consonantes oclusivas sonoras y sordas en los diversos idiomas del mundo<sup>16</sup>. Hace referencia al intervalo de tiempo que transcurre desde la apertura de la oclusión de una consonante oclusiva hasta el comienzo de la vibración de las cuerdas vocales para la emisión de la siguiente vocal o consonante sonora<sup>17</sup>. El VOT se ha estudiado ampliamente en poblaciones con enfermedades neurológicas que presentan trastornos motores del habla como afasia, apraxia del habla, disartria o la enfermedad de Parkinson. De hecho, tiene la ventaja de proyectar en una única dimensión acústica un complejo articulatorio

multidimensional, expresando como un solo valor temporal la sincronización relativa entre los gestos laríngeos y supralaríngeos durante la producción de las oclusivas orales. Efectivamente, la realización del VOT requiere de un control preciso de la sincronización articulatoria entre dos gestos independientes, que son los gestos glotal y supraglotal. Por consiguiente, la señal del VOT nos ofrece una indicación sobre esta capacidad de control, y su análisis es especialmente apropiado para el estudio de la palabra en aquellas poblaciones que presentan dificultades relativas al control articulatorio. En estas poblaciones, los autores han encontrado una mayor variabilidad de los valores VOT o unos valores VOT inferiores que en los controles sanos<sup>18–26</sup>.

Dado el impacto de la senescencia en el control motor del habla, es pertinente explorar si el envejecimiento afecta al VOT y de qué forma. Sin embargo, los resultados de las investigaciones anteriores sobre el tema son poco claros y siguen siendo debatidos. En primer lugar, los resultados de los distintos estudios son contradictorios. En algunos, se encontraron en los participantes mayores unos valores VOT inferiores a los de grupos más jóvenes<sup>27–29</sup>, mientras que en otros no se detectó ninguna diferencia significativa entre los participantes mayores y los jóvenes, pero sí una mayor variabilidad de los valores VOT en relación con las consonantes oclusivas sonoras y sordas, algo que, en ocasiones, provocaba la superposición de estas dos categorías<sup>7,30–33</sup>. Esta mayor variabilidad se ha explicado por un deterioro de la coordinación temporal entre los articuladores de los participantes de más edad<sup>7,33</sup>.

En segundo lugar, casi todos los trabajos sobre los efectos de la edad en el VOT se han llevado a cabo con participantes angloparlantes. Los estudios con otros idiomas distintos del inglés son muy inusuales<sup>32,34</sup>. En inglés, todas las oclusivas a inicio de palabra suelen mostrar unos valores VOT positivos. En las oclusivas sonoras, los valores VOT típicos entran en el rango breve del VOT (en torno a 15 ms), mientras que las oclusivas sordas se caracterizan por unos valores VOT positivos superiores («VOT largo», en torno a 70 ms), asociados con la fase de «aspiración»<sup>16</sup>. En este caso, el contraste entre las oclusivas sonoras y sordas, según el VOT, radica principalmente, en una diferencia en términos de coordinación temporal entre los gestos laríngeos y supralaríngeos. Es decir, el gesto laríngeo se sincroniza con la apertura de la constricción laríngea o se retrasa. Como consecuencia, la mayoría de los valores VOT son positivos en inglés. En lenguas como el francés, la distinción entre las consonantes oclusivas sonoras y sordas se encuentra en el otro extremo de la dimensión VOT. Generalmente, las oclusivas sonoras tienen unos valores VOT negativos, la «presonoridad», ya que la sonoridad comienza mucho antes de la apertura oral de la consonante (alrededor de -100 ms), mientras que los valores VOT de las oclusivas sordas son positivos, aunque en un rango corto (alrededor de + 20 ms). Dicho de otro modo, el gesto laríngeo coincide con el comienzo de la constricción laríngea o su apertura. Las oclusivas totalmente sonoras presentan un desafío adicional entre los hablantes ancianos porque iniciar o mantener la vibración de las cuerdas vocales requiere una diferencia entre la presión subglotal y la supraglotal, que disminuye rápidamente con la oclusión oral prolongada. En el caso de las dificultades de control motor y la merma de la integridad de las estructuras laríngeas y orales debido al envejecimiento, se puede suponer que la

producción de las consonantes oclusivas totalmente sonoras se verá afectada.

En la bibliografía hemos encontrado que los participantes mayores tienen dificultad para mantener la sonoridad, pero solo en el caso de las vocales. Los autores han observado una mayor inestabilidad y variabilidad en la vibración de las cuerdas vocales durante la producción de las vocales sostenidas a medida que aumenta la edad<sup>6,35,36</sup>. Por lo que sabemos, esto aún no se ha demostrado con respecto a las consonantes oclusivas francesas. Por su parte, Ryalls et al. (1997)<sup>32</sup> han identificado una mayor variabilidad en los valores VOT de las oclusivas sonoras francesas en un grupo de participantes de más de 60 años, en comparación con un grupo de jóvenes de entre 20 y 30 años. Según los autores, el incremento en las desviaciones estándar (DE) de las oclusivas sonoras podría apuntar a una dificultad para iniciar la sonoridad de este tipo de consonantes en algunos de los 10 participantes del estudio. No obstante, y como argumentan estos autores, solo se obtuvieron resultados de 10 participantes y era necesario repetir las pruebas.

Por último, la presencia de un declive en las capacidades de producción del habla por el envejecimiento suele estudiarse en personas que superan los 60 años. En nuestra opinión, es interesante explorar los efectos que tiene el envejecimiento en la producción del habla en un abanico más amplio de etapas durante el ciclo vital, a fin de comprender mejor cómo surgen las consecuencias asociadas con la edad (¿de forma gradual o abrupta?) y en qué momento.

En este trabajo, analizamos los efectos del envejecimiento en la producción del VOT en participantes de habla francesa de entre 40 y 79 años, a partir de una tarea de repetición de pseudopalabras que contienen las seis oclusivas sonoras y sordas francesas: /p, t, k, b, d, g/. A grandes rasgos, prevemos que, a mayor edad, se ralenticen los movimientos del habla y, por tanto, aumente la duración de las pseudopalabras. Las dificultades ligadas con la edad en la coordinación de los movimientos articulatorios pueden ser: (1) falta de control sobre la sincronización interarticulatoria entre los gestos laríngeos y supralaríngeos, lo que da como resultado una variación mayor en el VOT dentro de una categoría, tanto para las oclusivas sonoras /b, d, g/ como para las sordas /p, t, k/; (2) otros problemas al iniciar o mantener la sonoridad durante la oclusión, lo que da como resultado un VOT más breve (presonoridad retrasada) o una sonoridad incompleta (interrupción de la sonoridad) de las oclusivas sonoras /b, d, g/; (3) consecuentemente, una diferencia menor en términos de distribuciones del VOT entre las categorías sorda y sonora.

## Material y métodos

### Participantes

En este estudio han participado cuatro grupos de personas: (1) 10 personas de entre 40 y 49 años; (2) 13 personas de entre 50 y 59 años; (3) 12 personas de entre 60 y 69 años; y (4) 12 personas de entre 70 y 79 años. Todos los participantes eran hablantes nativos de francés. Todos los participantes tienen un nivel de estudios que comprende entre 12 y 17 años, desde primero de primaria. Todos los participantes proceden de la Bélgica francófona, de la provincia

**Tabla 1** Características de los participantes

	40-49 a.	50-59 a.	60-69 a.	70-79 a.
Número de participantes (Relación H/M)	10 (4/6)	13 (4/9)	12 (3/9)	12 (4/8)
Edad promedio	44,41 (3,25)	53,85 (2,80)	63,25 (2,58)	74,50 (3,28)
<i>Lenguaje</i>				
Denominación de dibujos (%)	93,31 (6,75)	88,69 (3,89)	92,32 (4,35)	83,33 (9,08)
Emparejamiento de frases con dibujos (%)	100,00 (0)	100,00 (0)	99,56 (1,52)	99,34 (1,64)
<i>Memoria a corto plazo y funciones ejecutivas</i>				
Memoria a corto plazo (%)	50,69 (10,33)	53,21 (9,94)	54,17 (10,95)	34,03 (13,04)
Memoria de trabajo (%)	45,14 (12,54)	40,38 (10,11)	47,92 (12,87)	30,56 (8,94)
Flexibilidad (número de errores)	0,00 (0)	0,00 (0)	0,08 (0,29)	1,00 (1,59)
Actualización (%)	93,51 (7,43)	86,32 (8,67)	89,81 (9,12)	88,88 (6,70)
Inhibición (%)	97,76 (5,14)	98,73 (2,42)	99,52 (1,11)	97,38 (2,99)
Audiometría (Media de ambos oídos, dB HL)	21,56 (7,58)	11,99 (5,00)	19,14 (5,02)	28,80 (5,67)

a.: años; dB HL: nivel de audición.

de Hainaut (Henao). Ninguno de ellos habla ningún dialecto, como el valón, ya que lo contrario podría haber influido en los resultados. Respondieron a un cuestionario sobre salud y se descartaron antecedentes de trastornos neurológicos, cardiacos, neuropsicológicos y psiquiátricos. No tenían problemas de vista sin corregir. Asimismo, los seleccionamos minuciosamente respecto al uso de fármacos. Excluimos del estudio a los participantes que tomaban antidepresivos u otros medicamentos psicoactivos que pudieran incidir en la producción del habla. También empleamos la escala de demencia de Mattis: todos los participantes quedaron por encima del punto de corte de 130/144.

Realizamos evaluaciones lingüísticas estándar, así como evaluaciones a corto plazo y ejecutivas, con objeto de excluir a aquellos participantes con problemas lingüísticos y neuropsicológicos que sobrepasaran lo que cabría esperar en el marco del envejecimiento saludable. Los resultados se recogen en la [tabla 1](#). Pusimos a prueba las capacidades de producción de palabras con una tarea de denominación de dibujos (Lexis, Bilocq, De Partz, De Wilde, Pillon, & Seron, 2001)<sup>37</sup>. Un análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje medio de respuestas correctas dadas por los participantes indica un efecto de la edad,  $F(3,2257) = 317,68$ ,  $p < 0,001$ . Las comparaciones *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) revelan una caída en las puntuaciones de denominación en el grupo de 70-79 años, en comparación con los grupos más jóvenes. En relación con las capacidades de comprensión lingüística, el ANOVA de los porcentajes de respuestas correctas dadas en una tarea de emparejamiento de frases con dibujos (Montreal-Toulouse Test, Joannette, Nespoulous, & Roch Lecours, 1998)<sup>38</sup> pone de manifiesto una diferencia ligada a la edad,  $F(3,2257) = 52,33$ ,  $p < 0,001$ . Las comparaciones *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) señalan una disminución en las puntuaciones de emparejamiento, a partir de los 70 años. Evaluamos la memoria a corto plazo y las funciones ejecutivas con tareas que requerían un procesamiento lingüístico mínimo<sup>39</sup>: en las tareas de memoria a corto plazo y de trabajo propusimos a los participantes una secuencia oral de dígitos; a continuación, les presentamos unas tarjetas con los dígitos impresos que debían disponer en el orden correcto

(memoria a corto plazo) o en el orden inverso (memoria de trabajo); en la tarea de inhibición tenían que decir «sí» o «no» en función de si una imagen contenía líneas curvas o rectas, y siempre tenían que responder «no» cuando el dibujo fuera rojo; en la tarea de flexibilidad les pedimos que unieran círculos y cuadrados alternativamente; en la tarea de actualización presentamos a los participantes unas placas con figuras sin sentido (las placas contenían las mismas figuras en lugares distintos) y les pedimos que señalaran una figura nueva en cada una de ellas. Los resultados indican efectos significativos del grupo etario en el porcentaje de respuestas correctas dadas en las tareas de memoria a corto plazo,  $F(3,2257) = 436,85$ ,  $p < 0,001$ , memoria de trabajo,  $F(3,2257) = 301,73$ ,  $p < 0,001$ , actualización,  $F(3,2257) = 74,50$ ,  $p < 0,001$ , e inhibición  $F(3,2257) = 67,46$ ,  $p < 0,001$ , así como en el número de respuestas correctas en la tarea de flexibilidad,  $F(3,2257) = 220,47$ ,  $p < 0,001$ . Tanto en las tareas de memoria a corto plazo y de trabajo como en la tarea de flexibilidad, las comparaciones *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) indican que el grupo con edades comprendidas entre 70 y 79 años tiene menos respuestas correctas que los grupos más jóvenes. En la tarea de actualización, las comparaciones *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) arrojan unos resultados inferiores pasados los 60 años. En la tarea de inhibición, los resultados indican una leve disminución en las franjas de edad 40-49 y 70-79, en comparación con las franjas 50-59 y 60-69, que no difieren entre sí.

En resumen, los resultados de las evaluaciones lingüística, de memoria a corto plazo y ejecutiva demuestran desempeños más bajos, especialmente a partir de los 70 años. Sin embargo, estos resultados no difieren de lo que cabría esperar de una senescencia saludable en lo que atañe a la producción del lenguaje y las funciones ejecutivas. De hecho, varios estudios han indicado una caída de más del 25% después de los 70 años en la memoria a corto plazo y las funciones ejecutivas<sup>1,40-44</sup>.

Por último, los participantes también se sometieron a una prueba de audiometría de tonos puros, con frecuencias de 500, 1.000, 2.000 y 4.000 hercios (Hz) emitidos en los oídos izquierdo y derecho. Calculamos los umbrales medios

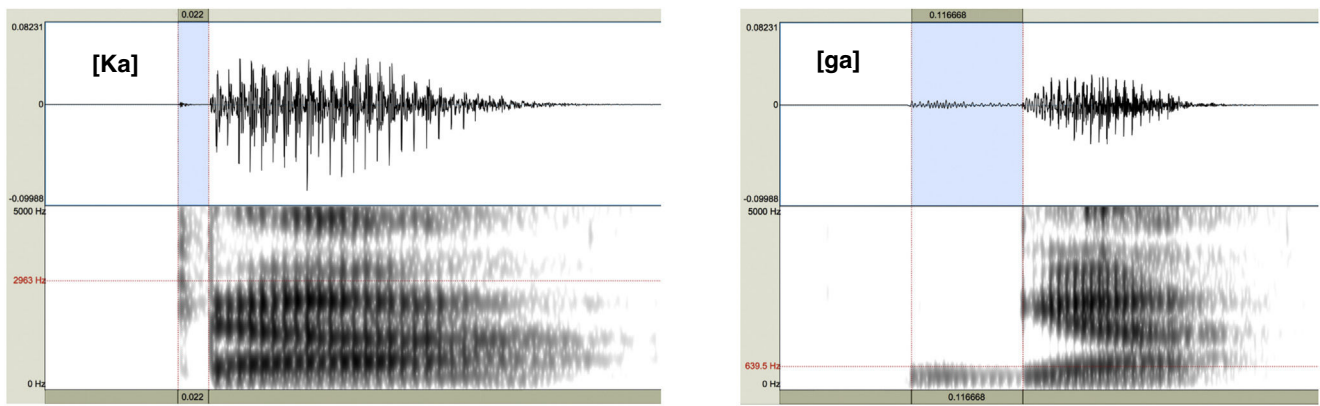


Figura 1 VOT en francés para una consonante sorda [ka] y otra sonora [ga] (El VOT aparece indicado en azul).

de cada oído en todos los participantes. Los resultados se muestran en la [tabla 1](#). Un ANOVA de los umbrales medios de los participantes evidencia un efecto significativo de la edad,  $F(3,2257) = 895,27$ ,  $p < 0,001$ . La prueba *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) indica que el grupo de edad 70-79 tiene un umbral auditivo más bajo que los grupos de edades inferiores y que el grupo de 50-59 muestra unas capacidades auditivas mejores que las observadas en los grupos de 40-49 y 60-69, que no difieren entre sí. De igual modo, los efectos de la edad sobre las capacidades auditivas en el grupo de 70-79 no difieren de lo que se observa normalmente en la bibliografía. Así, se ha demostrado que un tercio de los adultos que superan los 70 años de edad presenta algún grado de pérdida auditiva de importancia clínica, y casi el 100% tiene unos niveles de audición reducidos<sup>45,46</sup>.

### Tarea de habla y material

Pedimos a los participantes que repitieran 18 pseudopalabras  $C_1V_1C_2V_2$  que contenían las seis consonantes oclusivas francesas combinadas con las tres vocales cardinales: /a/, /i/, /u/, de modo que en todas las pseudopalabras  $C_1 = C_2 = /p, t, k, b, d, g/$  y  $V_1 = V_2 = /a, i, u/$  (por ejemplo, /tata/, /gigi/ y /bubu/). En el contexto de este estudio, hemos optado por emplear pseudopalabras, ya que estas nos permiten obtener elementos equilibrados que contengan las seis consonantes oclusivas del francés, así como las tres vocales cardinales /a/, /i/, /u/. Además, esto ha limitado la influencia del léxico en la producción de pseudopalabras. Previamente, estos ítems se habían grabado con la voz de una mujer en una sala con atenuación del sonido y se habían guardado en un disco informático. A continuación, todos los participantes los escucharon con unos auriculares circumaurales en el mismo orden de presentación. Las producciones de los sujetos se grabaron para su posterior análisis. Las producciones se han registrado mediante una grabadora digital de la marca Zoom H4, que cuenta con un micrófono integrado de tipo cardioide. Dicha grabadora se ha colocado sobre un soporte situado a una distancia de 50 cm del locutor. Los profesionales encargados de efectuar el conjunto de análisis acústicos han sido dos fonetistas expertos, primero de forma independiente y, después, conjuntamente.

### Mediciones del habla

En todas las mediciones, la presencia de sonoridad en la consonante se demostró por la observación de periodicidad en la forma de onda. Se midió el VOT (en ms) mediante Praat<sup>47</sup> por cada oclusiva como la distancia desde el comienzo de la barra de explosión (asociada con la apertura de la consonante) hasta bien el primer ciclo periódico de la vocal siguiente (VOT positivo), o bien, en su caso, el comienzo de la señal periódica que se da durante la oclusión consonántica (VOT negativo, esto es, la presonoridad). La proporción de sonoridad (en %) se calculó como el porcentaje de la consonante sonora analizada que se produjo con una sonoridad efectiva. Cabe destacar que en algunos casos de /b, d, g/, el VOT negativo podía arrojar un valor elevado (debido a la presonoridad iniciada al comienzo de la oclusión oral), pero la proporción de sonoridad fue considerablemente inferior al 100%, a consecuencia de la interrupción de la sonoridad en una fase posterior de la consonante. Por último, se calculó la duración total de cada pseudopalabra (en ms).

En la [fig. 1](#), se ilustra la producción de un VOT en francés en el caso de una consonante sonora y otra sorda. Por su parte, en la [fig. 2](#), se presenta una interrupción de la

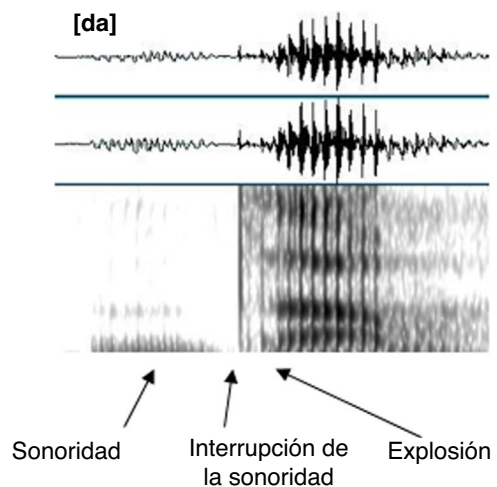
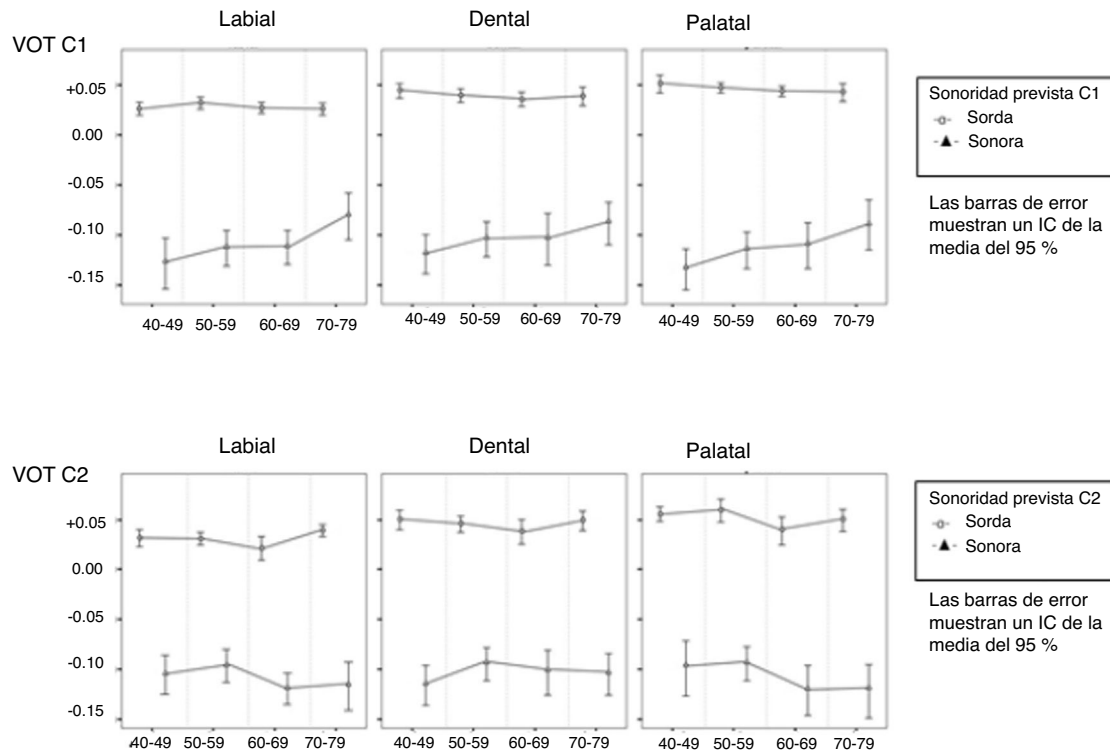


Figura 2 Ilustración de las interrupciones de la sonoridad en las consonantes sonoras.



**Figura 3** Valores VOT medios (en ms) para la primera y la segunda consonantes ( $C_1$  y  $C_2$ , respectivamente), en función de la consonante analizada (/b, d, g, p, t, k/) en los cuatro grupos de edad.

sonoridad en una consonante sonora, lo cual conlleva una disminución de la proporción de la sonoridad.

### Procedimiento general

Los participantes hicieron las pruebas individualmente en una sala silenciosa. Todo el estudio se llevó a cabo en francés. La evaluación se realizó a lo largo de tres días, con el fin de reducir al mínimo la fatigabilidad. Cada sesión de evaluación duró entre 30 y 45 min. El orden de las tareas fue el mismo para todos los participantes: día 1: (1) cuestionario de anamnesis, (2) tarea de denominación de dibujos (primeras 40 palabras), (3) VOT en la repetición de pseudo-palabras y (4) emparejamiento de frases con dibujos; día 2: tarea de denominación de dibujos (últimas 40 palabras). día 3: (1) evaluación de la memoria a corto plazo y las funciones ejecutivas, y (2) audiometría.

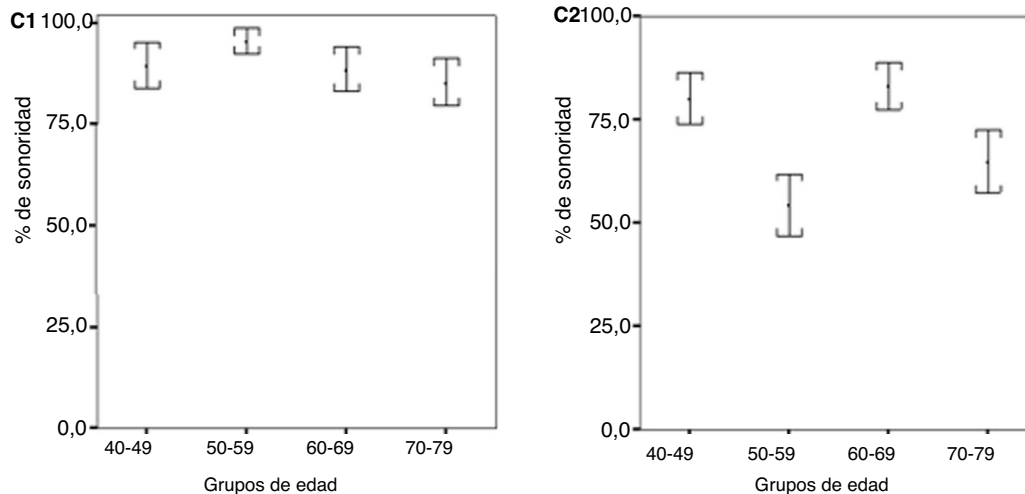
### Resultados

En lo que respecta a los análisis estadísticos, los resultados se han procesado con la ayuda de análisis de varianza (pruebas paramétricas). Dado que dichos resultados no respondían a la distribución normal, de acuerdo con la prueba de distribución de Kolmogórov-Smirnov, hemos llevado a cabo pruebas no paramétricas, las cuales han arrojado los mismos resultados. Así pues, los resultados de las pruebas paramétricas son los únicos incluidos.

La [fig. 3](#) muestra los valores VOT medios de los cuatro grupos de participantes, en función del punto de articulación

y el estado de sonoridad de la consonante oclusiva analizada, en relación con la primera consonante de la palabra ( $C_1$ ) y la segunda ( $C_2$ ). Realizamos ANOVAS mixtos por separado, siguiendo un diseño de 4 (grupos de edad: 40-49, 50-59, 60-69 y 70-79 años)  $\times$  2 (sonoridad: sonoras y sordas)  $\times$  3 (punto de articulación: labial, dental o palatal) de los valores VOT, uno para  $C_1$  y otro para  $C_2$ .

En el caso de  $C_1$ , los resultados mostraron una amplia diferencia entre las oclusivas sonoras y las sordas, como indica el significativo efecto principal de la sonoridad,  $F(1,848) = 2100,06$ ,  $p < 0,001$ . El efecto del punto de articulación alcanzó significación,  $F(2,848) = 2,56$ ,  $p = 0,07$ . En el caso de las oclusivas sordas, los valores VOT aumentan cuanto más posterior es la zona y en el de las oclusivas sonoras, los valores VOT de las oclusivas dentales son más prolongados que en las oclusivas labiales y palatales. El efecto principal de la edad también es significativo,  $F(3,848) = 5,23$ ,  $p = 0,001$ , así como la interacción edad  $\times$  sonoridad,  $F(2,848) = 8,33$ ,  $p = 0,03$ . De hecho, como se ilustra en la [figura 3](#), en las oclusivas sonoras se da una disminución gradual de los valores VOT con la edad, algo que conlleva unas diferencias menores entre las oclusivas sonoras y las sordas, según se envejece. Las comparaciones *post hoc* de Tukey confirman unos valores VOT significativamente inferiores en el grupo de edad 70-79. Por el contrario, los valores VOT de las oclusivas sordas no varían en función de la edad. Por otra parte, las interacciones edad  $\times$  punto de articulación y edad  $\times$  sonoridad  $\times$  punto de articulación no son significativas, lo cual apunta a que las diferencias de los valores VOT en función del punto de articulación son iguales en todos los grupos etarios.



**Figura 4** Porcentajes medios de sonoridad para la primera (C1) y segunda (C2) consonantes oclusivas de los cuatro grupos de edad. Las barras de error muestran un IC de la media del 95%.

En el caso de  $C_2$ , también observamos un efecto principal de la edad,  $F(3,848) = 4,31$ ,  $p = 0,02$ , el punto de articulación,  $F(3,848) = 3,81$ ,  $p = 0,02$ , y la sonoridad,  $F(1,848) = 2008,48$ ,  $p < 0,001$ . Las interacciones edad  $\times$  punto de articulación, edad  $\times$  sonoridad y edad  $\times$  punto de articulación  $\times$  sonoridad no son significativas. Aquí también se observa una clara distinción entre los valores VOT de las oclusivas sordas y sonoras en todos los grupos de edad, así como las diferencias esperadas en relación con los puntos en las oclusivas sordas ( $p < t < k$ ). En las oclusivas sonoras hemos hallado unos valores VOT más prolongados para /b/ que para /g/ y /d/. En contraposición con los resultados obtenidos para  $C_1$ , no observamos unos valores VOT significativamente más bajos en las oclusivas sonoras dentro del grupo de mayor edad. Según las comparaciones *post hoc* de Tukey, en  $C_2$ , los valores VOT de las oclusivas sonoras labiales y palatales son, de hecho, superiores en los dos grupos de participantes de más edad.

La *fig. 4* representa la proporción de sonoridad (en %) en las consonantes sonoras estudiadas de la  $C_1$ , por un lado, y de la  $C_2$ , por otro. Los ANOVAS de la proporción de sonoridad muestran efectos del grupo de edad tanto en  $C_1$ ,  $F(3,422) = 3,01$ ,  $p = 0,03$ , como en  $C_2$ ,  $F(3,422) = 15,44$ ,  $p < 0,001$ . Para  $C_1$ , las comparaciones *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) indican que la proporción de sonoridad disminuye de forma notable en el grupo de edad 70-79. Para  $C_2$ , dichas comparaciones ( $p < 0,05$ ) muestran que los grupos de edad 50-59 y 70-79 tienen una proporción de sonoridad menor que los grupos de edad 40-49 y 60-69, que no difieren entre sí. Un análisis más detallado de los datos individuales manifestó las consonantes sonoras realizadas con una proporción de sonoridad inferior en  $C_2$ . En la gran mayoría, eran casos de interrupción de la sonoridad durante la oclusión, es decir, antes de la apertura oral.

Por último, la *tabla 2* recoge la duración total de las pseudopalabras en los cuatro grupos de edad. El ANOVA de la duración de las pseudopalabras revela un efecto de grupo,  $F(3,847) = 3,52$ ,  $p = 0,02$ . Las comparaciones *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) evidencian que la duración de las pseudopalabras es significativamente superior a partir de los 70 años.

**Tabla 2** Duración media de las pseudopalabras (en milisegundos [ms]) en los cuatro grupos de edad

Grupos de edad	Media	DE
40-49 a.	477,93	124,35
50-59 a.	469,81	113,10
60-69 a.	461,35	119,33
70-79 a.	496,47	115,36

a.: años; DE: desviación estándar.

## Discusión

El objetivo de este estudio ha sido explorar los efectos del envejecimiento sobre la producción del habla en una población francófona (de edades comprendidas entre los 40 y los 79 años), donde estas investigaciones son poco habituales. Centramos el análisis acústico en el VOT, ya que este parámetro refleja el control sobre la coordinación temporal y espacial entre los gestos laríngeos y supralaríngeos durante la producción de las oclusivas orales. En conjunto, los resultados proporcionan más pruebas sobre el efecto perjudicial del envejecimiento en el VOT, como indican otras investigaciones llevadas a cabo con personas de habla inglesa<sup>7,9,10,30,31</sup>, pero, en este caso, en una población anciana de habla francesa.

El efecto principal del envejecimiento se ha observado en las oclusivas iniciales. En la  $C_1$ , todos los grupos de edad hacen una clara distinción entre las oclusivas sordas y las sonoras; los valores de las sonoras son negativos y los de las sordas, positivos. En las oclusivas sordas, los patrones VOT son iguales en todos los grupos etarios. Se produce un incremento en el VOT cuanto más posterior sea el punto de articulación en la cavidad oral, tal como cabía esperar a tenor de los trabajos anteriores<sup>16</sup>. En cambio, en las oclusivas sonoras, los valores VOT descienden progresivamente con la edad. Se observa una diferencia considerable después de los 70 años, lo que implica unas diferencias menores entre las oclusivas sordas y sonoras en términos del VOT. Estos resultados confirman el hallazgo de Ryalls et al. (1997)<sup>32</sup>,

que también observaron unos valores VOT más breves en las oclusivas sonoras entre los participantes de habla francesa de edades superiores a 60 años (en nuestro caso, superiores a 70). En consonancia con Ryalls et al., nosotros creemos que estos resultados indican dificultades a la hora de iniciar la sonoridad en las oclusivas sonoras francesas a inicio de palabra. Cabe subrayar que es improbable que los valores VOT reducidos observados en los participantes mayores estén relacionados con los efectos de la velocidad del habla, puesto que, en realidad, la duración total de las pseudopalabras aumenta, lo cual sugiere una velocidad del habla más lenta entre los participantes de más de 70 años. También hemos observado una disminución relacionada con la edad en la proporción de sonoridad en la C<sub>1</sub>. Durante la oclusión oral, los participantes mayores de 70 años no son capaces de mantener la sonoridad, con lo que esta cesa antes de la apertura de la oclusiva.

En cambio, en la C<sub>2</sub> se conserva relativamente. Con respecto al VOT, no existe una tendencia asociada con la edad hacia valores más breves en las consonantes sonoras, y la diferencia entre las oclusivas sordas y sonoras es igual en todos los grupos de edad. En cuanto a la proporción de sonoridad, esta puede reducirse considerablemente en algunas personas, pero el fenómeno parece afectar a participantes de todas las edades (en particular en los grupos de edad de 50-59 y 70-79). Esto refleja, fundamentalmente, una interrupción de la sonoridad antes de la apertura oral, no un retraso en la sonoridad respecto de la oclusión oral, probablemente porque la sonoridad ya se ha iniciado con la vocal anterior (V<sub>1</sub>).

En general, los resultados de este trabajo apuntan a que el control motor del habla se ve afectado por el envejecimiento, especialmente en el caso de las tan complejas oclusivas totalmente sonoras a inicio de palabra del francés. Por lo que sabemos, esto aún no se ha demostrado. Sin embargo, puede guardar relación con otros casos encontrados en la bibliografía de una mayor inestabilidad de la vibración de las cuerdas vocales a edades avanzadas, sobre todo durante la producción de vocales sostenidas<sup>7,9,10,35,36</sup>. Estos hallazgos se han relacionado con cambios fisiológicos ligados con la edad, como una degradación y atrofia de los músculos laríngeos que ocasionan más inestabilidad en el mecanismo laríngeo o una degradación del control motor del habla por el envejecimiento<sup>6,36</sup>.

De más, a la vista de los resultados obtenidos en este estudio, cabe mencionar otra degradación asociada con la edad. En efecto, hemos observado un declive en las capacidades auditivas de los participantes mayores de 70 años. En otros trabajos se indica un efecto perjudicial de la deficiencia auditiva sobre la producción del habla, incluido el VOT, por ejemplo en participantes que padecen sordera súbita: una discapacidad auditiva más grave que las encontradas en el presente estudio<sup>48</sup>. Según Liss et al. (1990)<sup>49</sup>, Perkell et al. (1992)<sup>48</sup>, Torre y Barlow (2009)<sup>7</sup> y Tremblay et al. (2013)<sup>50</sup>, el declive en la agudeza auditiva asociado con la edad conlleva una reducción de la retroacción sensorial que participa en el control motor del habla, lo que causa una disminución en la precisión y estabilidad de las producciones del habla. Otros autores, como Ryalls y Larouche (1992)<sup>51</sup>, no encontraron diferencias significativas en los valores VOT entre niños con discapacidad auditiva y participantes de la misma edad, en

relación con las seis consonantes oclusivas francesas. Quizá sea preciso seguir investigando para determinar cómo afecta exactamente la presbiacusia a la producción del habla en general y al VOT en particular.

Finalmente, cabe señalar que el tamaño relativamente pequeño de la muestra de nuestro estudio también permite explicar, en parte, la ausencia de diferencias entre ciertos grupos, por ejemplo, las diferencias entre los grupos de entre 60 y 69 años, y de entre 70 y 79 años, así como entre los grupos más jóvenes y los de mayor edad.

## Conclusiones

En conclusión, el presente estudio ha puesto de manifiesto los efectos de la edad en la producción del habla en una población francófona, un grupo con el que no se suelen realizar estas investigaciones. Los participantes de más de 70 años de edad mostraron un declive significativo en términos de dificultad para iniciar y mantener la vibración de las cuerdas vocales y, por tanto, de producir un VOT negativo prolongado en las oclusivas sonoras a inicio de palabra. Dado que el porcentaje de ancianos no deja de crecer en todo el mundo, la merma de las capacidades de comunicación se ha convertido en un gran reto para los sistemas de salud. El presente estudio tiene por objeto participar en la caracterización de las dificultades del habla a las que se enfrentan las personas mayores con la finalidad de dispensar los cuidados adecuados y, en última instancia, mejorar la calidad de vida de las personas en la vejez.

## Responsabilidades éticas

Se han seguido los protocolos de los centros de trabajo sobre tratamiento de la información de los pacientes.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Jérémy Pouliart y Amélie Visentini por su ayuda en la recopilación de los datos.

También queremos dar las gracias a la Dra. P. Quinette por habernos proporcionado una parte del material de examen.

## Bibliografía

- Baltes PB, Staudinger UM, Lindenberger U. Lifespan psychology: Theory and Application to Intellectual Functioning. *Annu Rev Psychol* 1999;50:471-507, <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.psych.50.1.471>.
- Burke DM, MacKay DG, Worthley JS, Wade E. On the tip of the tongue: What causes word finding failures in young and older adults? *J Mem Lang* 1991;30:542-79, [http://dx.doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90026-G](http://dx.doi.org/10.1016/0749-596X(91)90026-G).
- Burke DM, Shafto MA. Aging and Language Production. *Curr Dir Psychol Sci* 2004;13:21-4, <http://dx.doi.org/10.1111/j.0963-7214.2004.01301006.x>.



4. Verhaegen C, Poncet M. Changes in Naming and Semantic Abilities With Aging From 50 to 90 years. *J Int Neuropsychol Soc* 2013;19:119–26, <http://dx.doi.org/10.1017/S1355617712001178>.
5. Connor LT, Spiro A, Obler LK, Albert ML. Change in Object Naming Ability During Adulthood. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2004;59:P203–9, <http://dx.doi.org/10.1093/geronb/59.5.P203>.
6. Tremblay P, Sato M, Deschamps I. Age differences in the motor control of speech: An fMRI study of healthy aging. *Hum Brain Mapp* 2017;38:2751–71, <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.23558>.
7. Torre P, Barlow JA. Age-related changes in acoustic characteristics of adult speech. *J Commun Disord* 2009;42:324–33, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcomdis.2009.03.001>.
8. Bilodeau-Mercure M, Tremblay P. Age Differences in Sequential Speech Production: Articulatory and Physiological Factors. *J Am Geriatr Soc* 2016;64:e177–82, <http://dx.doi.org/10.1111/jgs.14491>.
9. Schötz S. Acoustic analysis of adult speaker age. En: Müller C, editor. *Speaker Classification I. Lecture Notes IN Computer Science*, 4343. Berlin, Heidelberg: Springer; 2007. p. 88–107, [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74200-5\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74200-5_5).
10. Linville SE. *The aging voice*. En: Kent RD, Ball MJ, editores. *Voice Quality Measurement*. San Diego, CA: Singular Publishing Group Inc.; 2000. p. 359–76.
11. Krampe RT, Mayr U, Kliegl R. Timing Sequencing, and Executive Control in Repetitive Movement Production. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2005;31:379–97, <http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.31.3.379>.
12. Auzou P, Ozsancak C, Morris RJ, Jan M, Eustache F, Hannequin D. Voice onset time in aphasia, apraxia of speech and dysarthria: a review. *Clin Linguist Phon* 2000;14:131–50, <http://dx.doi.org/10.1080/026992000298878>.
13. Martínez-Sánchez F, Meilán JJG, Carro J, Gómez-Íñiguez C, Millian-Morell L, Pujante-Valverde IM, et al. Estudio controlado del ritmo del habla en la enfermedad de Parkinson. *Neurología* 2016;31:466–72, <http://dx.doi.org/10.1016/J.NRL.201412002>.
14. Martínez-Sánchez F, Meilán JJG, García-Sevilla J, Carro J, Arana JM. Análisis de la fluencia lectora en pacientes con la enfermedad de Alzheimer y controles asintomáticos. *Neurología* 2013;28:325–31, <http://dx.doi.org/10.1016/J.NRL.201207012>.
15. Fougeron C, D’Alessandro D, Lancia L. Reduced coarticulation and aging. *J Acoust Soc Am* 2018;144:1905, <http://dx.doi.org/10.1121/1.5068348>.
16. Cho T, Ladefoged P. Variation and universals in VOT: evidence from 18 languages. *J Phon* 1999;27:207–29, <http://dx.doi.org/10.1006/jpho.1999.0094>.
17. Lisker L, Abramson S A. A cross-language study of voicing in initial stops: Acoustical measurements. *Word J Int Linguist Assoc* 1964;20:384–422, <http://dx.doi.org/10.1080/00437956.1964.11659830>.
18. Verhaegen C, Delvaux V, Fagniard S, Huet K, Piccaluga M, Harmegnies B. Phonological and phonetic impairment in aphasic speech: an acoustic study of the voice onset time of six French-speaking aphasic patients. *Clin Linguist Phon* 2020;34:201–21, <http://dx.doi.org/10.1080/02699206.2019.1619095>.
19. Baqué L, Marczyk A, Rosas A, Estrada M. Disability, repair strategies and communicative effectiveness at the phonic level: evidence from a multiple-case study. En: Astesano C, Jucla M, editores. *Neuropsycholinguistic Perspectives on Language Cognition*. Routledge; 2015. p. 144–65, <http://dx.doi.org/10.4324/9780203797365>.
20. Nespoulous JL, Baqué L, Rosas A, Marczyk A, Estrada M. Aphasia, phonological and phonetic voicing within the consonantal system: preservation of phonological oppositions and compensatory strategies. *Lang Sci* 2013;39:117–25, <http://dx.doi.org/10.1016/j.langsci.2013.02.015>.
21. Laganaro M. Paraphasies phonémiques et/ou phonétiques ? Des raisons et des difficultés de cette distinction. *Rev Neuropsychol* 2015;7:27, <http://dx.doi.org/10.3917/rne.071.0027>.
22. Galluzzi C, Bureca I, Guariglia C, Romani C. Phonological simplifications, apraxia of speech and the interaction between phonological and phonetic processing. *Neuropsychologia* 2015;71:64–83, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.03.007>.
23. Buchwald A, Miozzo M. Finding Levels of Abstraction in Speech Production: Evidence From Sound-Production Impairment. *Psychol Sci* 2011;22:1113–9, <http://dx.doi.org/10.1177/0956797611417723>.
24. Ryalls J, Provost H, Arsenault N. Voice onset time production in French-speaking aphasics. *J Commun Disord* 1995;28:205–15, [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9924\(94\)00009-0](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9924(94)00009-0).
25. Marczyk A, Machuca MJ. Temporal control in the voicing contrast: Evidence from surgery-related apraxia of speech. *Clin Linguist Phon* 2018;32:148–65, <http://dx.doi.org/10.1080/02699206.2017.1334091>.
26. Marczyk A, Baqué L, Rosas A, Nespoulous JL. On the nature of speech errors in aphasia: Acoustic analysis of the speech output of 8 native speakers of Spanish with aphasia. *Procedia Soc Behav Sci* 2011;23:84–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.181>.
27. Benjamin BJ. Phonological performance in gerontological speech. *J Psycholinguist Res* 1982;11:159–67, <http://dx.doi.org/10.1007/BF01068218>.
28. Morris RJ, Brown WS. Age-related voice measures among adult women. *J Voice* 1987;1:38–43, [http://dx.doi.org/10.1016/S0892-1997\(87\)80022-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0892-1997(87)80022-X).
29. Gates GA, Gibbons LE, McCurry SM, Crane PK, Feeney MP, Larson EB. Executive dysfunction and presbycusis in older persons with and without memory loss and dementia. *Cogn Behav Neurol* 2010;23:218–23, <http://dx.doi.org/10.1097/WNN.0b013e3181d748d7>.
30. Larson GW, Hayslip B, Thomas KW. Changes in Voice Onset Time in young and older men. *Educ Gerontol* 1992;18:285–97, <http://dx.doi.org/10.1080/0360127920180310>.
31. Liss JM, Weismer G, Rosenbek JC. Selected Acoustic Characteristics of Speech Production in Very Old Males. *J Gerontol* 1990;45:P35–45, <http://dx.doi.org/10.1093/geronj/45.2.P35>.
32. Ryalls J, Cliche A, Fortier-Blanc J, Coulombe I, Prud’hommeaux A. Voice-onset time in younger and older French-speaking Canadians. *Clin Linguist Phon* 1997;11:205–12, <http://dx.doi.org/10.3109/02699209708985191>.
33. Sweeting PM, Bakken RJ. Voice Onset Time in a Normal-Aged Population. *J Speech Lang Hear Res* 1982;25:129, <http://dx.doi.org/10.1044/jshr.2501.129>.
34. Bóna J. Voice onset time and speakers’ age: Data from Hungarian. *Clin Linguist Phon* 2014;28:366–72, <http://dx.doi.org/10.3109/02699206.2013.875593>.
35. Linville SE. *The aging voice*. *The ASHA Leader* 2004;12–21.
36. Ramig LA. Aging speech: Physiological and sociological aspects. *Lang Commun* 1986;6:25–34, [http://dx.doi.org/10.1016/0271-5309\(86\)90003-0](http://dx.doi.org/10.1016/0271-5309(86)90003-0).
37. Bilocq V, De Partz MP, De Wilde V, Pillon A, Seron X. *Lexis. Test Pour Le Diagnostic Des Troubles Lexicaux Chez Le Patient Aphasique*. Brussels (Belgium): De Boeck Solal; 2001.
38. Nespoulous J-L, Lecours AR, Lafond D, et al. Les Protocoles Montréal-Toulouse: Neurolinguistique et Neuropsychologie. (Nespoulous J-L, Joannette Y, Lecours AR, eds.). Isbergues (France): Ortho Editions; 1992.
39. Quinette P, Laisney M, Lambert J, Bocoynan S, Eustache F, Desgranges B. Working memory (WM) and executive functions (EF) in aphasic patients. *Ann Phys Rehabil Med* 2014;57:139, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2014.03.1573>.

40. Belleville S, Rouleau N, Caza N. Effect of normal aging on the manipulation of information in working memory. *Mem Cognit* 1998;26:572–83.
41. Maylor EA, Vousden JI, Brown GD. Adult age differences in short-term memory for serial order: data and a model. *Psychol Aging* 1999;14:572–94.
42. Oberauer K. Removing irrelevant information from working memory: a cognitive aging study with the modified Sternberg task. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 2001;27:948–57.
43. Salthouse TA. When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiol Aging* 2009;30:507–14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023>.
44. Salthouse TA. The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychol Rev* 1996;103:403–28, <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X1033.403>.
45. Cruickshanks KJ, Wiley TL, Tweed TS, Klein R, Mares-Perlman JA, Nondahl DM. Prevalence of hearing loss in older adults in Beaver Dam Wisconsin. The Epidemiology of Hearing Loss Study. *Am J Epidemiol* 1998;148:879–86, <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009713>.
46. Surprenant AM. Effects of Noise on Identification and Serial Recall of Nonsense Syllables in Older and Younger Adults. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn* 2007;14:126–43, <http://dx.doi.org/10.1080/13825580701217710>.
47. Boersma P, Weenink D. *Praat: doing phonetics by computer [Computer program]* 2018.
48. Perkell J, Lane H, Svirsky M, Webster J. Speech of cochlear implant patients: a longitudinal study of vowel production. *J Acoust Soc Am* 1992;91:2961–78, <http://dx.doi.org/10.1121/1.402932>.
49. McNeil MR, Liss JM, Tseng C, Kent RD. Effects of speech rate on the absolute and relative timing of apraxic and conduction aphasic sentence production. *Brain Lang* 1990;38:135–58.
50. Tremblay P, Dick AS, Small SL. Functional and structural aging of the speech sensorimotor neural system: functional magnetic resonance imaging evidence. *Neurobiol Aging* 2013;34:1935–51, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2013.02.004>.
51. Ryalls J, Larouche A. Acoustic Integrity of Speech Production in Children With Moderate and Severe Hearing Impairment. *J Speech Lang Hear Res* 1992;35:88, <http://dx.doi.org/10.1044/jshr.350188>.