

BARBARA GILI FIVELA, SONIA I. D'APOLITO, GIORGIA DI PRIZIO

## Controllo motorio e disartria nella malattia di Parkinson: uno studio pilota sulla labializzazione

### Motor control in Parkinson's Disease: An investigation on lip rounding

Parkinson's disease is often associated with the hypokinetic type of dysarthria, which is characterized by movements that are reduced in both amplitude and speed. As far as dysarthric speech is concerned, these features of dysarthria have been correlated with a reduction in the phonetic space used by speakers, e.g. in vowel articulation. The aim of the study described in this paper is to investigate the production of Italian high vowels by Parkinsonian dysarthric subjects, with specific attention to both the acoustic and the articulatory characteristics of their speech, by looking at formant values, amplitude of the lingual and labial gestures as well as duration and articulation rate. In particular, the discussion focuses on the acoustic and articulatory measurements (electromagnetic articulography – AG501) obtained by recording three dysarthric subjects and three healthy controls from Lecce. Results show that, in addition to the expected tendency to reduce articulatory gestures as for both their amplitude and duration, an increase concerning measures obtained for some articulators and along some axes may also be observed. Data collected in relation to tongue and lip movement suggest that gestures are modulated to carry out compensatory strategies aimed at preserving relevant linguistic features, such as the acoustic characteristics of rounded in comparison to unrounded vowels.

*Keywords:* Pathological speech, Parkinson's Disease, dysarthria, speech production, labialization.

#### *Introduzione*

La maggior parte degli individui affetti dalla malattia di Parkinson sviluppa una forma di disartria, un disturbo motorio che compromette la realizzazione articolatoria dei suoni linguistici e che non implica necessariamente una compromissione sul piano cognitivo. Tra le disartrie, quella che si sviluppa più di frequente come disturbo secondario tipico della malattia di Parkinson è la disartria ipocinetica che, per quanto è di interesse in questa sede, causa una riduzione dell'ampiezza di movimento degli arti con conseguente *target undershooting* (Ackermann & Ziegler, 1991); inoltre, i movimenti sono caratterizzati da particolare lentezza, o bradicinesia (Duffy, 2005). Sebbene alcuni studi sulle vocali (Skodda et al. 2011, 2012) abbiano confermato che nel Parkinson la riduzione dell'ampiezza del gesto ha effetti sullo spazio acustico utilizzato per le vocali e sull'articolazione dei suoni

linguistici (nell'analisi dei quali il gesto articolatorio può essere l'unità fonologica di riferimento – Browman & Goldstein 1992), altri studi effettuati con articolografia elettromagnetica (Wong et al., 2010, 2011) hanno riportato risultati diametralmente opposti, ossia che nei Parkinson l'ampiezza del gesto è maggiore rispetto a quanto osservato nei soggetti di controllo; altri ancora mostrano che l'ampiezza dei gesti è ridotta o meno a seconda dell'articolatore e addirittura dell'asse lungo il quale avviene il movimento (Gili Fivela et al., 2014, dove si osservano peculiarità relativamente all'asse antero-posteriore), benché, considerando i dati intra-speaker, le modifiche non interferiscano con una distinzione fonologicamente rilevante (Iraci, 2017). Altra caratteristica tipica della disartria ipocinetica conseguente al Parkinson è la forte variabilità nella velocità di eloquio, caratterizzata da accelerazioni esagerate e pause inattese (Canter, 1963, Monrad-Krohn 1947, Teston, Viallet 2001, Duez 2006), benché questo si osservi soprattutto nel parlato semispontaneo, più che nel parlato letto (De Looze et al., 2012), dove però si può riscontrare spesso un'elevata velocità di lettura a discapito dell'accuratezza del parlato (Wisniecki et al., 2006).

Per cercare di chiarire ciò che accade ai suoni linguistici, soprattutto quelli che implicano la sincronizzazione di più articolatori e il loro movimento sia sull'asse verticale che sull'asse orizzontale antero-posteriore, in questa sede analizziamo i principali correlati acustici e articolatori delle vocali alte in italiano, la vocale anteriore non arrotondata /i/ e la posteriore arrotondata /u/.

## *2. Studio pilota sulle vocali alte italiane: obiettivi e ipotesi*

In questo studio, ci proponiamo di verificare se i principali correlati acustici e articolatori delle vocali alte in italiano, la vocale anteriore non arrotondata /i/ e la posteriore arrotondata /u/, ci permettano di comprendere meglio qual è l'impatto della disartria ipocinetica sull'articolazione del parlato e, in particolare sulla realizzazione dei gesti articolatori lungo i diversi assi interessati nella produzione dei suoni. In particolare, intendiamo verificare se 1) lo spazio acustico utilizzato dai parlanti disartrici differisca da quello usato dai parlanti di controllo e 2) si osservino differenze relative ai gesti articolatori di lingua e labbra che possano essere correlati a eventuali differenze acustiche; inoltre, siamo interessate a verificare se 3) se ci siano differenze che riguardano anche la durata e la velocità del movimento. Le nostre ipotesi sono che a) lo spazio acustico sia ridotto nel parlato disartrico, in linea con quanto osservato per altre lingue (Skodda et al. 2010, 2011) e che b) coerentemente, i gesti articolatori siano in genere ridotti, come atteso in caso di disartria ipocinetica. Tuttavia, in linea con risultati ottenuti precedentemente (Gili Fivela et al., 2014), ci aspettiamo b1) di riscontrare una maggior ampiezza del gesto linguale antero-posteriore e, in linea con l'idea che la compensazione giochi un ruolo importante nel preservare le principali caratteristiche linguistiche (Iraci, 2017), di poter correlare la maggior ampiezza del gesto linguale con l'ampiezza del gesto labiale, sempre sull'asse antero-posteriore. Infine, ipotizziamo di riscontrare c) differenze nella durata e velocità degli articolatori dei parlanti disartrici rispetto a quelli dei controlli, ma non siamo in

grado di ipotizzare la direzione della variabilità, per via dei frequenti rallentamenti ed accelerazioni che caratterizzano il parlato disartrico (e.g., Duez 2006).

## 2.1 Corpus e metodo

Il corpus usato per questa indagine è parte di un corpus già utilizzato per analisi sulle consonanti dell'italiano (Gili Fivela et al., 2014; Iraci, 2017), ottenuto selezionando le pseudoparole del tipo 'CVCV in cui le V sono /i/-/u/ o /u/-/i/ e le C sono sempre bilabiali, sorde o sonore (/p/, /b/). Le pseudoparole sono state inserite nella frase cornice "Lu/i X blu" (con "Lu/i" a seconda delle V in X, anche grazie al fatto che nel dialetto/varietà della zona esiste l'articolo maschile singolare "lu"). Soggetti affetti dalla malattia di Parkinson che hanno sviluppato una disartria di tipo ipocinetico (3, età compresa tra 65 e 80 anni) e soggetti di controllo (3, della stessa età dei soggetti disartrici, ma non affetti da problemi neurologici e/o articolatori), tutti appartenenti all'area linguistica di Lecce, sono stati registrati sia dal punto di vista acustico che articolatorio per mezzo di un sistema EMA-AG501 (CarstensGmbH), mentre leggevano per 7 volte le frasi bersaglio proposte in ordine casuale. I soggetti disartrici al momento della registrazione avevano raggiunto lo stesso livello di compromissione, in base alla valutazione clinica, mentre i soggetti di controllo non avevano riportato alcun rilevante problema di salute. Per effettuare la registrazione articolatoria, sono stati applicati 2 sensori sul piano medio sagittale della lingua (per dorso e punta), 2 sulle labbra (labbro superiore e inferiore) e 3 dietro alle orecchie e sul naso (per la normalizzazione dei dati).

I materiali sono stati verificati percettivamente durante la fase di analisi uditivo-acustica. Si è verificato che le produzioni includessero le sequenze attese (benché in alcuni casi le occlusive potessero essere prodotte più come fricative o approssimanti), mentre si segmentavano manualmente, in PRAAT (Boersma, Weenink, 2019), le vocali e le consonanti, individuando tutti i confini segmentali. In seguito, sono state ricavate in modo semiautomatico le durate di tutti i segmenti presi in considerazione e le prime due formanti di entrambe le vocali, in sillaba tonica e posttonica. La durata dei segmenti è stata poi usata per calcolare la durata delle sillabe e dell'intero enunciato, al fine di ottenere anche la velocità di articolazione, espressa come la durata media delle sillabe e ottenuta grazie al rapporto tra la durata dell'enunciato e il numero di sillabe realizzate.

I dati cinematici sono stati ricavati grazie a MAYDAY (Sigona et al. 2015). Il segnale è stato etichettato in relazione alla traiettoria e alla velocità sia del dorso della lingua (TD) che del labbro inferiore (LL), lungo gli assi verticale e orizzontale (anteriore-posteriore). Il bersaglio articolatorio è stato individuato in corrispondenza dello zero di velocità e, per ogni segmento considerato, è stato anche etichettato il massimo di velocità. Per quanto riguarda la Consonante e la Vocale tonica (nella sequenza 'CVCV), sono state poi misurate ampiezza e durata dei gesti di apertura, chiusura di lingua/labbro e protrusione del labbro inferiore. Ad esempio, per ogni gesto di chiusura, è stata calcolata la durata come intervallo di tempo tra l'apertura massima e la massima chiusura degli articolatori; l'ampiezza è stata calcolata come

componente verticale/orizzontale dello spostamento durante il gesto. Tutti i gesti presi in considerazione sono stati analizzati sia sul piano verticale che su quello orizzontale. Si noti che per la durata di sillabe ed enunciato, si è fatto riferimento all'onset/offset dei gesti (identificato come il punto nel tempo in cui l'articolatore lascia/raggiunge la posizione stabile) calcolato automaticamente come il 20% del picco di velocità in modulo nei pressi dello zero di velocità<sup>1</sup>. Per la velocità di articolazione, anche nel caso dei dati articolatori è stata calcolata la durata media della sillaba, ottenuta grazie al rapporto tra la durata articolatoria dell'enunciato (ma si veda nota 1) e il numero di sillabe realizzate<sup>2</sup>.

I dati sono stati analizzati statisticamente in R per mezzo del pacchetto *lme4* (Bates et al., 2014; R Core Team, 2019). Sono stati considerati come effetti fissi, con interazione, *Sonorità* (2 livelli, *sordo* vs. *sonoro*), *Ciclo vocalico* (2 livelli, *i\_u\_i* vs. *u\_i\_u*), *Popolazione* (PAT vs. CONTR) e *Ripetizione* (7 livelli) sono stati usati per informare il modello circa la variabilità attesa tra le due popolazioni, PAT e CONTR, anche in relazione alla stanchezza dovuta alle ripetizioni; *intercept* e *random slope* sono stati inseriti per rendere conto della variabilità inter-soggettiva. L'ispezione visiva dei *residual plot* non ha mostrato evidenti deviazioni dalla normalità e omoschedasticità. Per verificare la significatività degli effetti fissi è stato utilizzato il *Likelihood Ratio Test*.

## 2.2 Risultati

### 2.2.1 Risultati acustici

Il fattore *Ciclo vocalico* qui considerato (IU, ossia il contesto vocalico /i-u-i/ vs. /u-i-u/ in UI), influenza la produzione del parlato, e, almeno nella dimensione orizzontale, i soggetti patologici sembrano usare uno spazio vocale ridotto rispetto ai parlanti di controllo.

La prima formante (F1) misurata nella vocale tonica (V0, /i/ in UI e /u/ in IU) diminuisce di circa  $34 \text{ Hz} \pm 4$  (S.E.) nella vocale /i/rispetto alla vocale /u/ (ossia in UI rispetto a IU;  $\chi^2(1)=60.884$   $p<0.001$ ), mentre la seconda formante (F2) ovviamente aumenta in /i/ di circa  $1193 \text{ Hz} \pm 23$  (S.E.) rispetto ad /u/ (ossia nel ciclo UI rispetto a IU;  $\chi^2(1)=441.08$ ,  $p<0.001$ ). Ma ciò che è rilevante per il nostro studio è che si riscontrano interazioni con il fattore *Popolazione*. In particolare, per quanto riguarda F1 rileviamo l'interazione tra *Popolazione* e *Sonorità*, con la F1 che diminuisce di circa  $19 \text{ Hz} \pm 8$  (S.E.) nei soggetti patologici, quando la consonante è sorda ( $\chi^2(1)=6.1123$ ,  $p<0.05$ ).

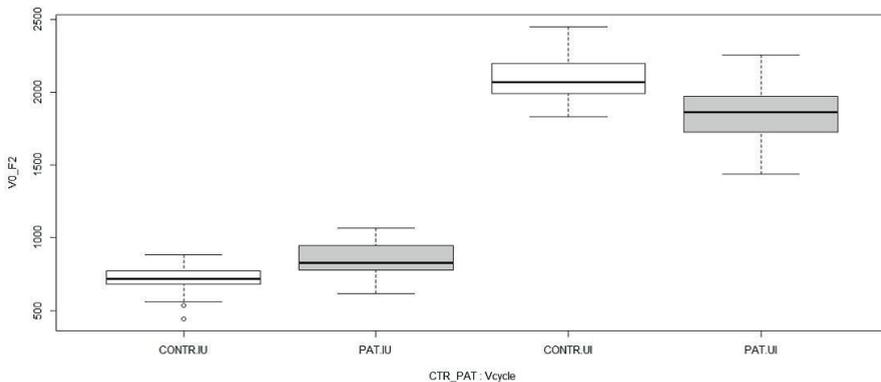
<sup>1</sup> Per l'enunciato, dal punto di vista articolatorio non disponiamo di una misura veramente completa, perché la nostra finestra di osservazione corrisponde piuttosto a quella della parola prosodica interna alla frase target.

<sup>2</sup> Data la struttura molto controllata delle frasi bersaglio e la modalità di elicitazione dei materiali, il calcolo della velocità di articolazione non è sostanzialmente più informativo rispetto a quello relativo alla durata dell'enunciato, per quanto riguarda l'indicazione circa la velocità. Abbiamo comunque riportato i risultati inerenti al calcolo suddetto per dare un'idea della durata media della sillaba nel compito effettuato dai soggetti.

Relativamente a F2, invece, è interessante l'interazione *Popolazione e Ciclo vocalico*, con la F2 che diminuisce di circa  $375 \text{ Hz} \pm 35$  (S.E.) nei soggetti patologici rispetto al valore riscontrato nei soggetti di controllo, nel ciclo vocalico UI, quindi in /i/ ( $\chi^2(1)=84.294$ ,  $p<0.001$ ) – (Figura 1).

Nel caso dei patologici, quindi, lo spazio vocalico risulta essere ridotto sull'asse antero-posteriore (e i dati acustici suggeriscono un minor avanzamento della lingua nel passaggio da /u/ a /i/ tonica) e più alto quando le consonanti in contesto sono sorde (suggerendo che in questi casi la posizione della lingua sia leggermente abbassata).

Figura 1 - Valori della seconda formante (F2) nella vocale tonica, al variare della popolazione (CONTR vs. PAT) e del ciclo vocalico (IU = /u/tonica; UI = /i/ tonica)



Per quanto riguarda le durate della sillaba accentata e dell'intero enunciato, risultano fattori significativi la sonorità, il ciclo vocalico e la loro interazione con la popolazione.

La durata della sillaba tonica diminuisce di circa  $14 \text{ ms} \pm 4$  (S.E.) nel ciclo vocalico UI (quindi quando il nucleo vocalico è /i/;  $\chi^2(1)=12.185$ ,  $p<0.001$ ), e di circa  $12 \text{ ms} \pm 4$  (S.E.) quando la consonante in contesto è sorda ( $\chi^2(1)=9.3478$ ,  $p<0.001$ ). L'interazione tra i fattori *Popolazione e Sonorità* è significativa ( $\chi^2(1)=6.9974$ ,  $p<0.01$ ), con la durata della sillaba tonica che diminuisce nei patologici di circa  $20 \text{ ms} \pm 7$  (S.E.) quando la consonante è sorda; anche l'interazione tra *Popolazione e Ciclo vocalico* è significativa, con la durata che aumenta di circa  $13 \text{ ms} \pm 7$  (S.E.) nei patologici e in UI ( $\chi^2(1)=2.7816$ ,  $p<0.1$ ).

Coerentemente, la durata dell'enunciato diminuisce di circa  $40 \text{ ms} \pm 10$  (S.E.) quando la consonante è sorda ( $\chi^2(1)=14.145$ ,  $p<0.001$ ). Nel caso di ciclo vocalico UI, quindi quando /i/ è tonica e la maggior parte delle vocali nella frase sono /u/, la durata dell'enunciato, contrariamente a quanto osservato per la sillaba, aumenta di circa  $33 \text{ ms} \pm 10$  (S.E.) ( $\chi^2(1)=9.68$ ,  $p<0.01$ ). Anche la durata dell'enunciato, così come quella della sillaba, è influenzata dall'interazione tra *Popolazione e Sonorità*, con una diminuzione di circa  $52 \text{ ms} \pm 20$  (S.E.) per i patologici e quando le consonanti sono sorde ( $\chi^2(1)=6.4024$ ,  $p<0.05$ ), e dall'interazione tra *Popolazione e Ciclo vocalico* ( $\chi^2(1)=4.665$ ,  $p<0.05$ ), con un aumento di circa  $45 \text{ ms} \pm 20$  (S.E.) nei soggetti patologici e nel ciclo vocalico UI.

Anche l'*Articulation rate* (durata media della sillaba) è influenzata dai fattori *Sonorità* e *Ciclo vocalico* ( $\chi^2(1)=17.427$ ,  $p<0.001$ ), con la durata media della sillaba che diminuisce di circa  $10 \text{ ms} \pm 2$  (S.E.) quando la consonante è sorda (con un incremento quindi dell'*articulation rate*), mentre aumenta di circa  $8 \text{ ms} \pm 2$  (S.E.) nel caso di ciclo vocalico UI ( $\chi^2(1)=9.6819$ ,  $p<0.01$ ) (con una diminuzione di *articulation rate*, quindi, quando sono presenti più /u/ nella frase). L'*articulation rate* è influenzata anche dall'interazione tra *Popolazione* e *Sonorità* ( $\chi^2(1)=6.4017$ ,  $p<0.05$ ), con una diminuzione della durata media delle sillabe di circa  $13 \text{ ms} \pm 5$  (S.E.) per i patologici e quando la consonante è sorda; è influenzata dall'interazione tra *Popolazione* e *Ciclo vocalico* ( $\chi^2(1)=4.6659$ ,  $p<0.05$ ), con un aumento della durata media delle sillabe di circa  $11 \text{ ms} \pm 5$  (S.E.) per i patologici e nel ciclo vocalico UI, ossia nel caso in cui siano presenti più /u/ all'interno della frase.

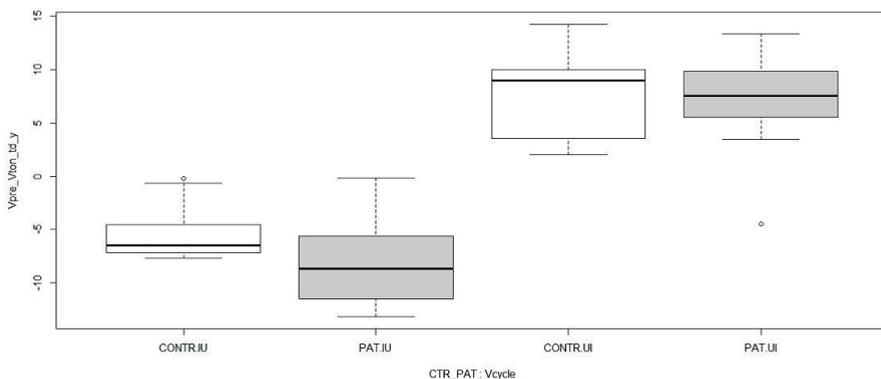
## 2.2.2 Risultati articolatori

### 2.2.2.1 Gesto linguale

Per quanto riguarda i gesti della lingua lungo l'asse verticale, sia verso che dalla vocale accentata, si osserva un'ovvia influenza del fattore *Ciclo vocalico*, ma anche la sua interazione con la patologia, quindi con il fattore *Popolazione*. In particolare, i gesti della lingua verso la vocale accentata sono caratterizzati da un incremento dell'ampiezza di circa 15 mm nel ciclo vocalico UI, quindi nel gesto verso /i/, rispetto al ciclo IU, ossia nel gesto verso /u/ ( $\chi^2(1)=317.52$ ,  $p<0.001$ ); i risultati inerenti all'interazione tra *Ciclo vocalico* e *Popolazione* ( $\chi^2(1)=9.2983$ ,  $p<0.01$ ) mostrano che l'incremento è maggiore nei patologici e di circa 3 mm (0.8 S.E.) in UI. Di fatto, complessivamente, il gesto risulta essere più ampio nei soggetti patologici (Figura 2).

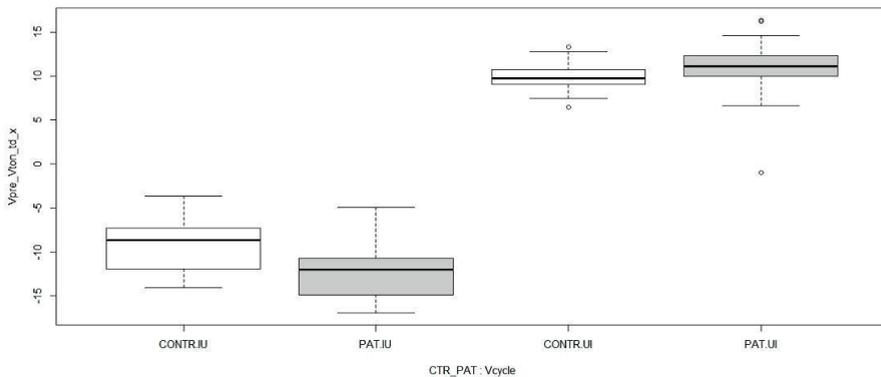
Anche nel caso del movimento della lingua dalla vocale accentata, l'ampiezza aumenta nel ciclo vocalico UI, di circa 15 mm (0.4 S.E.) ( $\chi^2(1)=322.55$ ,  $p<0.001$ ); i risultati inerenti all'interazione tra *Ciclo vocalico* e *Popolazione* ( $\chi^2(1)=32.73$ ,  $p<0.001$ ) mostrano che anche in questo caso l'incremento è maggiore nei patologici, per i quali è di circa 4 mm nel caso di UI.

Figura 2 - Ampiezza (mm) del gesto verticale della lingua verso la vocale target, al variare della popolazione (CONTR vs. PAT) e del ciclo vocalico (IU vs. UI = /u/ vs. /i/ tonica)



Anche sull'asse orizzontale, i gesti della lingua da e verso la vocale accentata risultano influenzati dal ciclo vocalico e dalla sua interazione con il fattore *Popolazione*. In particolare, il movimento della lingua verso la vocale accentata risulta ovviamente più ampio nel ciclo vocalico UI ( $\chi^2(1)=467.13$ ,  $p<0.001$ ), con un aumento di circa 21 mm (0.4 S.E.), e l'interazione tra *Ciclo vocalico* e *Popolazione* ( $\chi^2(1)=33.192$ ,  $p<0.001$ ) mostra che l'aumento è maggiore nei patologici (di circa 4 mm - 0.6 S.E., Figura 3) in UI. Peraltro, l'ampiezza del movimento della lingua verso la vocale accentata è influenzata anche dalla sonorità ( $\chi^2(1)=4.4646$ ,  $p<0.05$ ) e risulta più ampia di circa 1 mm (0.3 S.E.) quando la consonante è sorda. Nel movimento della lingua dalla vocale accentata, l'ampiezza aumenta di circa 25 mm (0.5 S.E.) nel ciclo vocalico UI ( $\chi^2(1)=414.68$ ,  $p<0.001$ ) e di circa 3.7 mm (1 S.E.) quando c'è l'interazione tra ciclo vocalico UI e popolazione  $\chi^2(1)=12.519$ ,  $p<0.001$ ). L'ampiezza, dunque, è maggiore in tutti i casi nel ciclo vocalico UI e nei soggetti patologici.

Figura 3 - Ampiezza (mm) del gesto antero-posteriore della lingua verso la vocale target, al variare della popolazione (CONTR vs. PAT) e del ciclo vocalico (IU vs. UI = /u/ vs. /i/ tonica)



#### 2.2.2.2 Gesto labiale

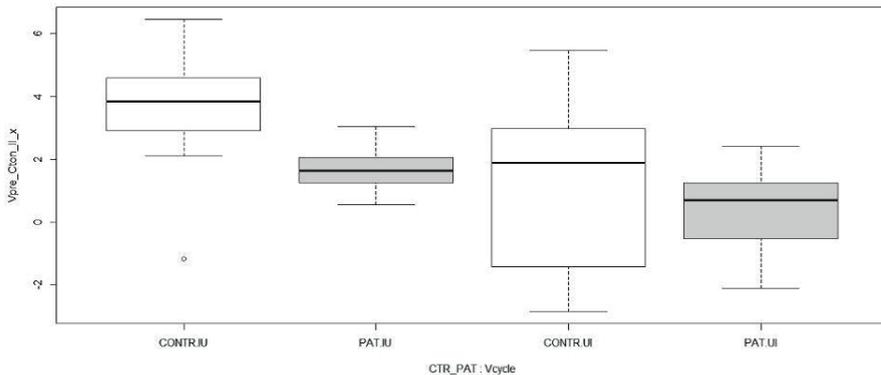
I dati relativi al gesto verticale del labbro inferiore risultano statisticamente significativi, ma le differenze sono talmente ridotte da non poter essere considerate veramente indicative di eventi rilevanti (in alcuni casi, inoltre, ci si avvicina al limite di accuratezza garantito dall'azienda costruttrice dell'AG501). Riteniamo quindi inutile riportare i risultati nel dettaglio e li considereremo solo se otterremo significatività statistica anche in ulteriori, future indagini.

Nel caso del gesto labiale sull'asse orizzontale, antero-posteriore, invece, i risultati ottenuti sono più interessanti. In particolare, il gesto del labbro inferiore verso la consonante target (l'attacco della sillaba accentata), è influenzato dalla *Sonorità* ( $\chi^2(1)=6.9879$ ,  $p<0.01$ ), dal *Ciclo vocalico* ( $\chi^2(1)=53.195$ ,  $p<0.001$ ) e dalla sua interazione con il fattore *Popolazione* ( $\chi^2(1)=4.1641$ ,  $p<0.05$ ), e in tutti i casi il movimento è ridotto nei patologici rispetto a quanto riscontrato nei controlli. Quando la consonante è sorda l'ampiezza è ridotta di circa 0,5 mm (0.2 S.E.), nel ciclo vocalico UI è ridotta di circa 2 mm (0.2 S.E.), e nel caso dell'interazione tra *Ciclo vocalico* e

*Popolazione* (Figura 4) l'ampiezza è ridotta di circa 1.2 mm (0.4 S.E.) nei soggetti patologici rispetto ai soggetti di controllo.

Al contrario, non si riscontra alcuna influenza del fattore *Popolazione* sul gesto del labbro inferiore dalla consonante verso la vocale target. Quest'ultimo risulta influenzato solo dal ciclo vocalico UI ( $\chi^2(1)=27.723$ ,  $p<0.001$ ) e, in particolare, aumenta di circa 1 mm (0.2 S.E.) in UI rispetto a IU.

Figura 4 - Ampiezza (mm) del gesto antero-posteriore del labbro inferiore verso la consonante target, al variare della popolazione (CONTR vs. PAT) e del ciclo vocalico (IU vs. UI = /u/ vs. /i/ tonica)



### 2.2.2.3 Durate articolatorie

Per quanto riguarda le misurazioni della durata articolatoria della sillaba non abbiamo riscontrato l'influenza significativa dei fattori da noi considerati, mentre risulta significativa l'interazione tra *Ciclo vocalico* UI e *Popolazione* per le durate "dell'enunciato" (si veda la nota 1) ( $\chi^2(1)=3.3148$ ,  $p<0.05$ ) e per l'*articulation rate* ( $\chi^2(1)=5.5581$ ,  $p<0.05$ ) con una diminuzione rispettivamente di circa 54 ms (29.4 S.E.) e di 36 ms (15.14 S.E.) per i patologici nel ciclo vocalico UI, quindi una diminuzione delle durate e un incremento dell'*articulation rate* nel caso di numerose /u/ nella produzione.

### 2.2.3 Discussione

I risultati delle misurazioni della prima e della seconda formante mostrano che lo spazio acustico utilizzato dai parlanti disartrici per le vocali è ridotto sull'asse antero-posteriore (e i dati acustici suggeriscono un minor avanzamento della lingua nel passaggio da /u/ a /i/ tonica); inoltre gli stessi parlanti sembrano usare uno spazio acustico più alto, in termini di frequenza, quando le consonanti in contesto sono sorde (suggerendo che in questi casi la posizione della lingua sia leggermente abbassata).

Benché i risultati acustici siano in linea con le aspettative inerenti alla disartria ipocinetica, le analisi articolatorie forniscono una visione molto più articolata della produzione delle vocali nel caso del parlato patologico, che non è compatibile con l'idea di una riduzione generalizzata dei gesti articolatori. Per quanto riguarda i gesti della lingua lungo l'asse verticale, sia verso che dalla vocale accentata, si os-

serva un'ovvia influenza del fattore *Ciclo vocalico*, ma anche la sua interazione con la patologia, quindi con il fattore *Popolazione*, con valori maggiori nel caso dei patologici. Inoltre, anche sull'asse orizzontale i gesti della lingua, da e verso la vocale accentata, risultano influenzati dal *Ciclo vocalico* e dalla sua interazione con il fattore *Popolazione*. In particolare, l'ampiezza del movimento orizzontale è ovviamente maggiore in tutti i casi nel ciclo vocalico UI e, aspetto più interessante, nei soggetti patologici. I risultati articolatori che riguardano i gesti linguali, quindi, non sono coerenti con quelli ricavati sul piano acustico, perché lo spazio acustico ridotto, sia per quanto riguarda F1 che per quanto riguarda F2, corrisponde invece a gesti linguali di maggior ampiezza dal punto di vista articolatorio.

Tuttavia, l'analisi dei gesti labiali sembra chiarire i risultati. Diversi fattori influenzano il gesto labiale in senso antero-posteriore, ma, a parte il ruolo della *Sonorità* e del *Ciclo vocalico*, è l'interazione con il fattore *Popolazione* e la riduzione della protrusione nel gesto verso la consonante che può motivare la presenza di gesti linguali di maggior ampiezza (con una differenza di circa 2 mm tra patologici e controlli). La minor protrusione potrebbe essere quindi compensata dalla maggior estensione dei movimenti della lingua. D'altronde, la protrusione labiale normalmente partecipa nel garantire l'abbassamento dei valori formantici corrispondenti alle vocali posteriori e, quindi, la differenza acustica rispetto alle vocali anteriori. La minor protrusione potrebbe, quindi, richiedere una compensazione operata grazie a un articolatore molto mobile come la lingua, che, con gesti di maggior ampiezza, permetterebbe di garantire la sufficiente differenziazione delle caratteristiche acustiche di vocali anteriori e posteriori. Si deve comunque considerare che l'analisi presentata in questa sede non prende in considerazione la variazione tra soggetti (il fattore è stato solo considerato come *intercept* e *random slope* nel modello misto), che potrebbe poi rivelare la presenza di variazione inter-soggettiva non coerente con la compensazione ipotizzata in questa sede.

I dati sulla durata acustica di sillaba ed enunciato, così come quelli ottenuti sull'*articulation rate*, mettono in evidenza che le durate, al di là del variare in base alla sonorità delle consonanti (che causano una diminuzione di durata e incremento di *articulation rate* se sono sorde) e del ciclo vocalico (con un aumento delle durate e diminuzione del *rate* quando siano presenti (più) vocali posteriori nel contesto misurato), variano anche per effetto della disartria. In particolare, le variazioni in *articulation rate* e durata dell'enunciato sono significativamente più marcate nei patologici e nella direzione sopra indicata, e la durata della sillaba nei patologici addirittura aumenta, invece che diminuire, nel ciclo UI. Dal punto di vista articolatorio, i fattori considerati non risultano significativi se presi singolarmente, ma l'effetto della patologia si manifesta tramite la significatività dell'interazione tra *Ciclo vocalico* UI e *Popolazione* per le durate "dell'enunciato" e, in particolare, emerge una diminuzione delle durate articolatorie e un incremento dell'*articulation rate* nel caso di numerose /u/ nella produzione, risultato stranamente opposto rispetto a quello ottenuto in acustica e per il quale al momento non abbiamo una spiegazione se non facendo riferimento alla leggera discrepanza nell'intervallo misurato (v. nota 1).

L'effetto della disartria risulta quindi evidente sia dai dati acustici che dai dati articolatori, ma i risultati mostrano soprattutto che i parlanti sembrano mettere in atto delle strategie di compensazione che portano a gesti più ampi della lingua per ovviare alla minor mobilità delle labbra, qui rappresentate dal labbro inferiore, il più mobile. L'analisi della variazione inter-soggettiva permetterà di confermare questa interpretazione o di mettere in evidenza altre strategie.

Un'ultima considerazione riguarda lo studio del fattore *Ripetizione* per tener conto dell'affaticamento del parlante durante il compito sperimentale: il fattore non ha influito sui risultati, probabilmente perché le frasi erano molto brevi e, inoltre, i soggetti si potevano riposare sufficientemente tra una frase e l'altra e tra un blocco e il successivo.

### 3. Conclusioni

Le analisi acustiche e articolatorie (articulografia elettromagnetica – AG501) delle produzioni orali di tre soggetti disartrici affetti da malattia di Parkinson, provenienti dall'area di Lecce, e di altrettanti soggetti di controllo, della stessa età e provenienti dalla stessa area geolinguistica, ci hanno permesso di studiare nel dettaglio le caratteristiche dell'articolazione di vocali alte italiane da parte di soggetti disartrici. Particolare attenzione è stata dedicata alle caratteristiche acustiche, sia all'ampiezza, durata e sincronizzazione dei gesti linguali e labiali.

Oltre alla prevista tendenza alla riduzione dello spazio acustico e dell'ampiezza e durata dei gesti articolatori, attesa per via della forma ipocinetica di disartria che colpisce i soggetti in esame, i risultati mostrano anche un aumento delle misure ricavate sia per i movimenti lingua, non solo lungo l'asse antero-posteriore, come già osservato in passato (Gili Fivela et al., 2014), ma anche lungo l'asse verticale. I gesti più ampi osservati per la lingua accompagnano, però, una minor mobilità dei gesti labiali sull'asse antero-posteriore. Questo suggerisce che il gruppo di parlanti possa mettere in atto strategie di compensazione volte a preservare le caratteristiche acustiche distintive delle vocali, compensando con la maggior mobilità linguale, il ridotto spostamento labiale. Tuttavia, solo un'analisi più approfondita, relativa alla variazione tra soggetti (in questo caso, infatti, il fattore *Soggetto* è stato solo considerato come *intercept* e *random slope* nel modello misto) potrà confermare il tipo di compensazione o rivelare la presenza di altre strategie, magari differenti a seconda del soggetto.

Anche le durate e la velocità di articolazione sembrano risentire della disartria. In particolare, le variazioni in *articulation rate* e durata dell'enunciato sono significativamente più marcate nei patologici che nei controlli (es., nel caso della diminuzione di durata e incremento di *articulation rate* in contesto di consonanti sorde e dell'aumento delle durate e diminuzione del *rate* quando siano presenti (più) vocali posteriori nel contesto misurato); inoltre la durata della sillaba nei patologici addirittura aumenta, invece che diminuire come nei controlli, nel ciclo UI. I risultati articolatori circa le durate offrono un quadro diverso (ossia suggeriscono una dimi-

nuzione delle durate dell' "enunciato" e un incremento dell' *articulation rate* nel caso di numerose /u/ nella produzione", che al momento non riusciamo a spiegare se non facendo riferimento alla leggera discrepanza nell'intervallo misurato (v. nota 1).

Infine, è importante notare che il fattore *Ripetizione*, considerato per rendere conto della stanchezza accumulata durante il compito sperimentale, non ha influito sulle misure considerate. Questo risultato non viene considerato come una prova dell'assenza di affaticamento e di un possibile peggioramento dell'accuratezza del parlato dovuto ad esso, ma del fatto che le ripetizioni o le frasi brevi possano non essere il modo ideale per indagare l'influenza della fatica sull'accuratezza del parlato disartrico. Future indagini potranno permettere di verificare se la lunghezza dell'enunciato e/o la complessità della frase, piuttosto che la lunghezza del compito, possano rappresentare fattori migliori per rendere conto delle modifiche di accuratezza dovute all'affaticamento.

### *Ringraziamenti*

Questo lavoro è stato parzialmente finanziato dal progetto PRIN 2017 2017JNKCYZ. Ringraziamo tutti i soggetti che hanno partecipato all'esperimento, il dott. M. Iraci che ha aiutato nell'acquisizione dei materiali, e il dott. F. Sigona che ha offerto supporto tecnico per le misurazioni.

### *Bibliografia*

- ACKERMANN, H., ZIEGLER, W. (1991). Articulatory deficits in Parkinsonian dysarthria: an acoustic analysis. In *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 54, 1093-8.
- BATES, D.S, MAECHLER, M., BOLKER, B. & WALKER, S. (2014). *lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4*. R package version 1.1-5. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>
- BOERSMA, P., WEENINK, D. (2019). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.1.04 from <http://www.praat.org/>.
- BROWMAN, C.P. & L. GOLDSTEIN (1992). Articulatory phonology: an overview. In *Phonetica*, 49, 155-180.
- CANTER, G.J. (1963). Speech characteristics of patients with Parkinson's disease: Intensity, pitch and duration. In *Journal of Speech Hearing Disorders*, 28, 217-224.
- DE LOOZE, C., GHIO, A., SCHERER, S., POUCHOULIN, G. & VIALLET, F. (2012). Automatic analysis of the prosodic variations in Parkinsonian read and semi-spontaneous speech. In *Proceedings of Speech Prosody 2012*, 71-74.
- DUEZ, D. (2006). Syllable structure, syllable duration and final lengthening in parkinsonian French speech. In *Journal of Multilingual Communication Disorders*, 4, 1, 45-57.
- DUFFY, J.R. (2005). *Motor Speech Disorders: Substrates, Differential Diagnosis, and Management*. 2° ed., Elsevier Mosby.

- GILI FIVELA B., IRACI M., SALLUSTIO V., GRIMALDI M., ZMARICH C. & PATROCINIO D. (2014). Italian Vowel and Consonant (co)articulation in Parkinson's Disease: extreme or reduced articulatory variability?, In S. Fuchs, M. Grice, A. Hermes, L. Lancia, D. Mücke (eds), *Proc. of the 10<sup>th</sup> International Seminar on Speech Production (ISSP)*, 5-8 May, Cologne, Germany, 146-149.
- IRACI, M. (2017). Vowels, consonants and co-articulation in Parkinson's Disease. *Unpublished PhD Dissertation*, University of Salento.
- MONRAD-KROHN, G.H. (1947). Dysprosody or altered melody of language, In *Brain*, 70, 405-415.
- R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL: <http://www.Rproject.org/>
- SIGONA, F., STELLA A., GRIMALDI M. & GILI FIVELA B. (2015). MAYDAY: A Software for Multimodal Articulatory Data Analysis. In A. Romano, M. Rivoira, and I. Meandri (eds), *Aspetti prosodici e testuali del raccontare: dalla letteratura orale al parlato dei media*, *Atti del X Convegno Nazionale AISV*, Edizioni dell'Orso, 173-184.
- SKODDA, S., W. GRONHEIT & U. SCHLEGEL (2012). Impairment of Vowel Articulation as a Possible Marker of Disease Progression in Parkinson's Disease. In *PLoS ONE*, 7 (2), 1-8.
- SKODDA S., W. VISSER & U. SCHLEGEL (2011). Vowel Articulation in Parkinson's Disease. In *Journal of Voice*, 25, 4, 467-72.
- TESTON, B., VIALLET, F. (2001). L'évaluation objective de la prosodie in Les dysarthries. In Auzou et al. (ed.), *Problèmes en médecine de rééducation*, Paris: Masson, 109-121.
- WISNIECKI, A., CANNIZZARO, M., COHEN, H. & SNYDER, P.J. (2006). Speech Impairment in Neurodegenerative Diseases/Psychiatric Illnesses. In H.A. Whitaker (ed.) *Concise Encyclopedia of Brain and Language*, Amsterdam, NL: Elsevier Science and Academic Press, 477-482.
- WONG, M.N., MURDOCH, B.E. & WHELAN, B.M. (2010). Kinematic analysis of lingual function in dysarthric speakers with Parkinson's disease: An electromagnetic articulograph study. In *Int. JS-L Pathology*, 12, 414-25.
- WONG, M.N., MURDOCH, B.E. & WHELAN, B.M. (2011). Lingual Kinematics in Dysarthric and Nondysarthric Speakers with Parkinson's Disease. In *Parkinson's Disease*, 1-8.