



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

**Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași
Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia
Informației**

Raport de cercetare I

**TRECERE ÎN REVISTĂ A DOMENIULUI
ACUSTICII ARTICULATORII CU APLICAȚII
MEDICALE**

Doctorand:

Bioing. Alina Untu (Hulea)

Conducător științific:

Prof.dr.ing. Horia Nicolai Teodorescu, m.c. A.R.

-Iași 2011-



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOS DRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

Cuprins

- 1. Introducere**
- 2. Elemente de fonetică**
 - 2.1. Fonetica articulatorie
 - 2.2. Fonetica acustică
 - 2.3. Caracterizarea și clasificarea articulatorie a sunetelor
 - 2.4. Caracterizarea și clasificarea acustică a sunetelor
- 3. Metode și instrumente de analiză a vocii**
 - 3.1. Metode subiective
 - 3.2. Metode obiective
 - 3.3. Instrumente de analiză a semnalului vocal și a articulării sunetelor
- 4. Aplicații medicale**
 - 4.1 Aplicații în stomatologie
- 5. Concluzii și direcții viitoare**



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

1. Introducere

Structura acestui raport este dată de coordonator, prof. dr. H. N. Teodorescu.

Vorbirea reprezintă una dintre cele mai complexe operații efectuate de organismul uman, iar afectarea acesteia poate duce la imposibilitatea de a fi înțeles de către cei din jur, având drept consecință deteriorarea vieții profesionale, sociale și personale a individului. Tulburările de limbaj apar cel mai adesea în perioada copilăriei și se corectează de către logopezi sau de-a lungul vieții și se datorează diverselor patologii ale laringelui, aparatului stomatognat, afecțiunilor ORL, tulburărilor psihologice sau neurologice cu afectarea centrilor vorbirii. Lăsând la o parte defectele de vorbire cauzate de afectarea cortexului cerebral, deficiențele de pronunție se pot datora pe de o parte alterării unei porțiuni a canalului fonator și pe de altă parte alterării cavităților rezonante sau unuia dintre articulatori.

O afecțiune pulmonară poate influența fonația având drept consecințe reducerea timpului fonator, perturbații de amplitudine sau modificări ale indexului VHI (Voice Handicap Index) [1]. Afecțiuni ale nasului duc la nazalizarea unor sunete cum ar fi consoanele nazale sonore /m/, /n/ și automat la modificarea vorbirii.

Alte cauze ale defectelor de vorbire de etiologie organică sunt bolile congenitale, boli metabolice de tipul hipo / hipertiroidism, neoplasme benigne sau maligne ale laringelui și traume cum ar fi nodulii vocali [2]. Perforațiile palatului moale, ale buzelor, ale limbii sau defectele de dentiție de tipul malocluzii, edentații, protezări, îngheșuri de dinți, mușcătură deschisă sau spațieri între dinți pot influența de asemenea claritatea și corectitudinea pronunției sunetelor.

Vocea se caracterizează în mod tipic prin frecvență, intensitate și calitate sau complexitate. Prin varierea parametrilor vocii cum ar fi frecvența fundamentală, intensitatea sau prozodia, vorbitorul exprimă emoții sau poate da un anumit sens vorbirii. O tulburare de vorbire există atunci când frecvența fundamentală, calitatea și amplitudinea vocii unui vorbitor diferă mult față de vorbitorii de aceeași vârstă, sex, cultură și locație demografică.

După [3], tulburările de comunicare se împart în tulburări ale vocii de tip disfonie, tulburări de cauză motorie (dizartrie, apraxie), tulburări de limbaj (afazie) și tulburări de cauză cognitivă. Disfonia poate avea cauze organice sau funcționale. Cauzele organice au fost amintite anterior, iar cauzele funcționale sunt abuzul sau neutilizarea vocii, abuzul de anumite substanțe (fumatul, alcoolul), etatea, tulburări psihosociale, condiții de isterie etc. Tulburările de cauză motorie se datorează tulburărilor de control muscular în dizartrie, respectiv tulburărilor capacității de a programa poziționarea musculaturii implicate în vorbire și de a secvenționa mișcările necesare vorbirii în apraxie. Tulburările de limbaj (afazia) sunt cauzate de afectarea ariei cerebrale responsabile de înțelegerea și exprimarea limbajului, iar cele cognitive sunt cauzate de disfuncția emisferei cerebrale drepte, traume cerebrale sau demență.

2. Elemente de fonetică

Fonetica studiază sunetele limbii în planul fizic (acustica), în planul biologic (fiziologia), în planul social, în sistemul limbii (fonologia, fonetica funcțională), precum și din punctul de vedere al proprietăților fiziologice și acustice (fonetica experimentală).

Fonetica are următoarele secțiuni: fonetica articulatorie, fonetica acustică și fonetica neuroperceptivă. Fonetica articulatorie se referă la faza fiziologică motorie, de punere în mișcare a organelor articulatorii ale emițătorului, fonetica acustică la faza emisiunii sonore, de producere a unui lanț de semnale acustice îndreptate spre receptor, iar fonetica neuroperceptivă la faza perceperii mesajului auditiv de către receptor, de convertire a acestuia în lanț de impulsuri nervoase și de recunoaștere sau integrare [4].

2.1. Fonetica articulatorie

Aparatul fonoarticulator este alcătuit dintr-o serie de organe, mușchi, oase ale corpului, dintre care cele mai importante sunt plămâni, diafragma, traheea, laringele, faringele bucal, faringele nazal, fosele nazale, cavitatea bucală, dinții, limba, buzele, palatul și oasele feței. Acestea sunt implicate în producerea și modelarea vocii, respectiv în fonație și articulare. Schema organului fonator realizată de [5] este prezentată în Figura 1.

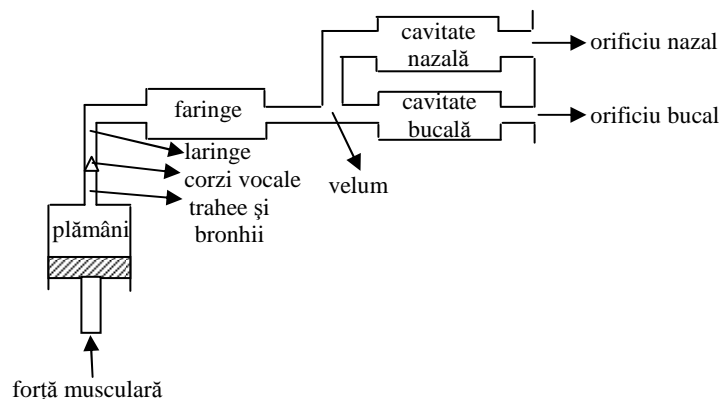


Figura 1. Schema organului fonator [5]

În procesul de fonație intervine forța musculară care determină expulzarea fluxului de aer din plămâni (sursa de aer), prin trahee, spre laringe.

Laringele este cea mai importantă porțiune a canalului fonator la nivelul căruia sunt situate corzile vocale, care în momentul pronunției unui sunet sonor vibrează dând frecvența fundamentală a vocii. La acest nivel are loc fonația care reprezintă prima modificare a fluxului de aer expirat. Corzile vocale au o formă asemănătoare cu cea a buzelor și se deschid / închid în funcție de trecerea aerului prin ele. Au o porțiune fixată de cartilajul tiroid, iar cealaltă extremitate este atașată unei perechi de cartilaje mobile numite aritenoide. În momentul producerii unui sunet, spațiul dintre corzile vocale în formă de V se îngustează. Laringele are rolul de a imprima sunetului caracterul de sonoritate și de a controla intensitatea și variațiile tonului fundamental (influențează accentul și intonația).

Conform studiilor realizate de [6] dimensiunile laringelui cresc cu vârsta ajungând ca la bărbatul adult corzile vocale să aibă lungimea de 17-23 mm, lățimea maximă a glotei de 19 mm, iar orificiul intraglotic în secțiune transversală de 24 mm. La femeia adultă dimensiunile laringelui sunt mai mici respectiv 12.5-17 mm lungimea corzilor vocale, 13 mm lățimea maximă a glotei și 17 mm orificiul intraglotic în secțiune transversală. Un



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

studiu mai recent [7] a fost făcut pe adolescenți între 10.3 și 17.9 ani, care au fost împărțiți pe trei categorii de vârstă. Rezultatele obținute arată că atât femeile cât și bărbații prezintă modificări semnificative ale lungimii și lărgimii cavității orale și a tractului vocal în funcție de vârstă. Totodată bărbații și femeile prezintă caracteristici similare în dezvoltarea tractului vocal, însă la bărbați s-a constatat că modificările sunt mai accentuate decât la femei.

Pentru ca sunetele simple produse de corzile vocale să se transforme în cuvinte este necesară implicarea articulatorilor și a cavităților rezonante care dau forma și mărimea cavităților rezonante, amplitudinea este determinată de forța cu care aerul este expulzat, iar tonalitatea de lungimea și gradul de tensionare a corzilor vocale. Rezonatorii sunt reprezentați de faringe, cavitatea nazală și cavitatea bucală.

Faringele este un rezonator modificabil: prin ridicarea laringelui se scurtează, prin acțiunea mușchilor proprii se îngustează lateral, iar prin poziția orizontală a limbii își mărește sau reduce deschiderea. Acesta are rolul de a direcționa fluxul fonic fie spre cavitatea bucală, fie spre cavitatea bucală și nazală concomitent. La nivelul faringelui are loc diferențierea sunetelor în sunete orale și sunete nazale [4]. Studii recente realizate de [7] și [8] arată că lungimea medie a faringelui crește cu vârsta și poate scade la persoanele cu vârstă foarte înaintată.

Cavitatea bucală este alcătuită din maxilarul inferior și superior, limba, buzele, dinții, alveolele și palatul. Partea superioară a cavității bucale se divide în mai multe zone: dentală, alveolară, prepalatală, palatală, postpalatală (velară) și uvulară. Organele cavității bucale sunt de două tipuri: fixe (dinții incisivi, alveolele acestora și palatul dur) și mobile (maxilarul inferior, palatul moale, limba, uvula, buzele). La nivelul cavității bucale se produc cele mai multe fenomene de amplificare și modelare a fluxului fonic, aici având loc articulația propriu-zisă. Cavitățile nazale reprezintă un rezonator și amplificator nemodificabil în care fluxul fonic capătă doar caracter nazal.

2.2. Fonetica acustică

Fonetica acustică studiază proprietățile fizice ale sunetelor, care sunt dependente de cele articulatorii. Sunetul este rezultatul vibrației unui corp elastic de o parte și de alta a poziției sale de echilibru, care declanșează în masa de aer mișcări oscilatorii și ondulatorii. Vibrația se caracterizează prin amplitudine (depărtarea maximă față de poziția de echilibru) și frecvență (numărul de perioade realizate într-o secundă). În funcție de caracterul periodic sau neperiodic al vibrației sunetele se împart în tonuri și zgomote.

Vocalele care sunt produse prin vibrația periodică a corzilor vocale corespund tonurilor, iar consoanele produse prin trecerea turbulentă, neperiodică a fluxului de aer prin canalul fonator îngustat sau închis/deschis brusc corespund zgomotelor. O categorie aparte alcătuită atât din tonuri (cu participarea corzilor vocale) cât și din zgomote, sunt consoanele sonante.

Sunetele se caracterizează prin înălțime, frecvență, intensitate, timbru și durată.

Înălțimea depinde de frecvența oscilațiilor. Cu cât frecvența este mai mare cu atât sunetul este mai înalt. După înălțime sau ton sunetele se clasifică în ascuțite (mai înalte) sau grave (mai joase).

Frecvența reprezintă numărul de perioade pe care un corp elastic le realizează într-o secundă.

Intensitatea sau tăria sunetelor se măsoară în decibeli și reprezintă proprietatea sunetelor de a fi articulate mai puternic sau mai slab.



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

Timbrul este proprietatea unui sunet de a se distinge de un altul produs în condiții identice de surse diferite și depinde de numărul, frecvența și amplitudinea vibrațiilor care se adaugă la cea fundamentală. În consecință timbrul vocii este dat de formanții superiori. Timbrul unei voci se schimbă în funcție de modificarea frecvenței fundamentale și a formanților astfel: dacă se accentuează frecvența fundamentală sau formanții inferiori timbrul devine grav, iar dacă se accentuează formanții superiori timbrul devine acut. Timbrul este specific fiecărui vorbitor făcând posibilă recunoașterea vorbitorului după vocea sa.

Durata reprezintă proprietatea unui sunet de a fi pronunțat într-un interval de timp mai scurt sau mai lung în funcție de capacitatea pulmonară a fiecărei persoane. În funcție de durată sunetele se împart în durative și în această categorie sunt incluse vocalele și consoanele sonante și fricative, și momentane din care fac parte ocluzivele și africaterile la care se poate prelungi doar partea fricativă.

2.3. Caracterizarea și clasificarea articulatorie a sunetelor

Fazele articulării unui sunet după [4] sunt tensiunea, ținuta și destinderea. În faza de tensiune organele articulatorii își pregătesc poziția pentru emiterea sunetului, ulterior își păstrează poziția articulării sunetului (tensiune) și revin la poziția de repaus (destindere). La ocluzive apar fazele de implozie, plozie și explozie în care se produce mișcarea de închidere a canalului fonator, închiderea canalului fonator, respectiv deschiderea canalului fonator. Sunetele se coarticulează ceea ce face ca porțiunile lor inițiale și finale să se transforme în sunete de tranziție spre sunetul anterior sau posterior.

Sunetele se împart în vocale, consoane, semivocale și sonante. Acestea diferă în funcție de efortul expirator, tensiunea musculară și poziția organelor articulatorii. La vocale efortul expirator este mai slab decât la producerea consoanelor, iar la consoane în momentul articulării apare un obstacol în calea fluxului de aer de la plămâni și tensiunea musculară este mai puternică, localizată la locul obstacolului.

Semivocalele sunt elemente fonetice nesilabice din compoziția unui diftong care se aseamănă cu consoanele în ceea ce privește poziția organelor articulatorii și cu vocalele din punctul de vedere al tensiunii musculare. Semivocalele sunt variante ale vocalelor /i/, /u/, /e/, /o/ și se deosebesc de acestea prin faptul că nu pot forma singure o silabă.

Vocalele sunt elemente fonetice sonore, care se produc prin trecerea liberă a fluxului de aer prin canalul fonator fără întâmpinarea unui obstacol. Acestea sunt determinate doar de vibrația corzilor vocale și au articulație deschisă. Conform Alfabetei Fonetic Internaționale [9] vocalele se clasifică după trei criterii: gradul de deschidere (închise, mijlocii și deschise), locul de articulare (anterioare, centrale și posterioare) și rotunjimea (rotunjite și nerotunjite). În ceea ce privește locul de articulare la vocalele anterioare limba se curbează spre partea anterioară a palatului, la cele posterioare spre partea posterioară, iar la cele centrale rămâne aplatizată. Rotunjimea se referă la poziția buzelor, iar deschiderea la gradul de deschidere al cavității bucale în timpul articulării. În Figura 2 sunt marcate în chenare negre cele șapte vocale ale limbii române simbolizate prin: /a/ - [a], /e/ - [e], /i/ - [i], /o/ - [o], /u/ - [u], /ă/ - [ə], /â/î/ - [ɨ].

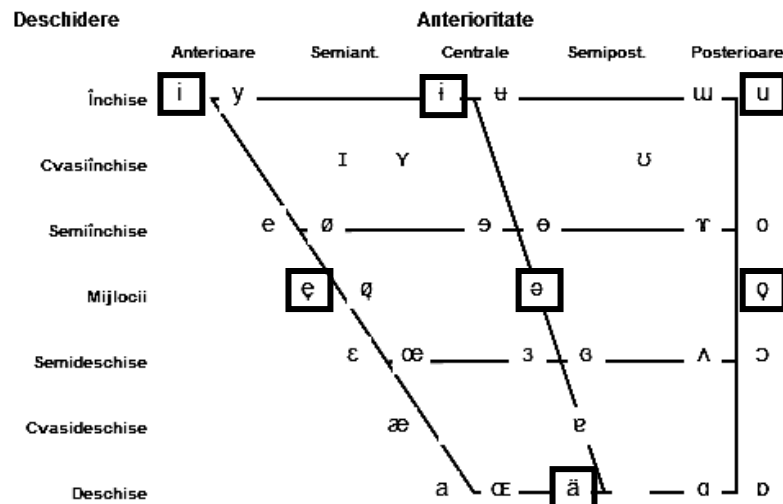


Figura 2. Vocalele orale din AFI (Alfabetul Fonetic Internațional) [9]

După AFI [9] avem următoarea caracterizare a vocalelor limbii române:

- /a/ - vocală deschisă centrală nerotunjită;
- /e/ - vocală mijlocie anterioară nerotunjită;
- /i/ - vocală închisă anterioară nerotunjită;
- /o/ - vocală mijlocie posterioară rotunjită;
- /u/ - vocală închisă posterioară rotunjită;
- /ă/ - vocală mijlocie centrală nerotunjită;
- /â/ - vocală închisă centrală nerotunjită.

Spre deosebire de alte limbi cum ar fi franceza și portugheza în care există și vocale în producerea cărora o parte din fluxul de aer este dirijat spre cavitatea nazală, în limba română acestea sunt orale, ceea ce înseamnă că fluxul de aer este dirijat aproape în totalitate spre cavitatea bucală.

În cazul în care vocalele se situează anterior sau posterior unei consoane nazale într-o silabă, preiau caracterul de nazalizare al acestora. O altă caracteristică a limbii române este desonorizarea (pierderea vibrației) care se întâlnește la unele vocale finale și este influențată de gradul de deschidere, distanța față de silaba accentuată, învecinarea cu o consoană surdă (nesonoră) [4].

Vocalele pot fi caracterizate și prin așa numitul „triunghi al vocalelor” sau „Triunghiul lui Vietor” care reprezintă o diagramă a vocalelor realizată în concordanță cu poziția limbii și a cavității bucale în timpul articulației. Acest triunghi a fost realizat pentru prima oară de filologul și foneticianul german Wilhelm Vietor (1850-1918), iar ulterior a fost prezentat și în [10] și [5]. După [10] triunghiul vocalelor raportat la organele articulatorii este reprezentat în Figura 3.

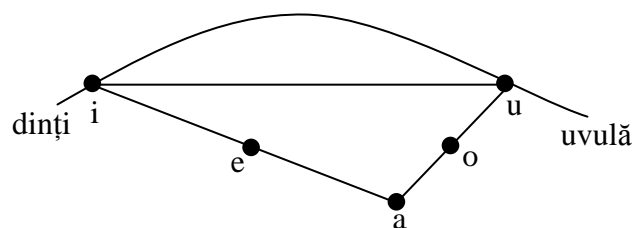


Figura 3. Triunghiul vocalelor [10]



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

Triunghiul vocalelor este o reprezentare schematică a tuturor vocalelor printr-un grafic de coordonate F1-F2 care în funcție de valorile acestor parametri se poate împărți în regiuni de decizie pentru estimarea vocalei pronunțate. Primii doi formanți ai vocalelor prezintă variabilitate de la o vocală la alta, intravorbitor, intervorbitor și de la un gen la altul. Diverse studii au utilizat valorile acestor formanți în sisteme de recunoaștere vocală realizate la nivel hardware [11] sau software. Conform figurii 4, vocalele /i/ și /e/ sunt articulate prin deplasarea mușchiului limbii spre în față, respectiv spre porțiunea anterioară a palatului. Vocalele /o/ și /u/ se articulează prin deplasarea spre înapoi a mușchiului limbii, respectiv spre partea posterioară a palatului (velum), iar la articularea vocalei /a/, limba rămâne într-o poziție neutră [10]. Triunghiul vocalelor dă informații despre modul de articulare raportat la distanța dintre formanții F1 și F2.

Consoanele sunt elemente fonetice în producerea cărora fluxul de aer, mai intens decât la vocale întâlnește un obstacol de-a lungul canalului fonator. Consoanele limbii române sunt pulmonare, produse prin comprimarea aerului în plămâni, iar tensiunea se concentrează într-un singur punct. Consoanele se clasifică după modul de articulare, după locul de articulare și după sonoritate. După modul de articulare se împart în fricative, ocluzive, africte, sonante, vibrante și nazale. După locul de articulare se împart în bilabiale, labiodentale, alveolare, palatale, velare și glotale. După sonoritate se împart în sonore și nesonore. Clasificarea consoanelor limbii române după [9] este dată în Tabelul 1. În chenar sunt prezentate consoanele sonore și variantele lor nesonore care au același mod și loc de articulare. Dacă luăm în considerare locul unde se produce sunetul, consoanele alveolare sunt considerate a fi dentale. Atât dinții cât și limba au un rol important în articularea consoanelor alveolare (dentale). Limba dirijează un flux de aer subțire spre vârful dinților unde se produc turbulențe de înaltă frecvență. Obstacolul la acest tip de consoane se realizează prin apropierea limbii de alveolele incisivilor superiori la fricative, sprijinirea vârfului limbii pe alveolele incisivilor superiori la ocluzive și prin ocluzie la africte.

Tabel 1. Consoanele limbii române [9]

Sonore	Mod de articulare	Loc de articulare	Nesonore
b	ocluzivă	bilabială	p
d	ocluzivă	alveolară	t
ghe, ghi	ocluzivă	palatală	che, chi, ke, ki
g	ocluzivă	velară	c
ge, gi	africată	postalveolară	ce, ci
v	fricativă	labiodentală	f
z	fricativă	alveolară	s
j	fricativă	postalveolară	ș
-	africată	alveolară	ț
-	fricativă	glotală	h
m	nazală	bilabială	-
n	nazală	alveolară	-
l	laterală	alveolară	-
r	vibrantă	alveolară	-

Sonantele sunt o categorie de consoane care fac trecerea de la vocale la consoanele propriu-zise. După modul de articulare, sonantele se împart în ocluzive (/m/, /n/) și constrictive (/l/, /r/), iar după locul de articulare - bilabiale (/m/) și dentale (/n/, /l/, /r/). Alte caracteristici ale modului de articulare sunt puse în evidență de împărțirea în nazale (/m/, /n/) și lichide (/l/, /r/).

2.4. Caracterizarea și clasificarea acustică a sunetelor

Din punct de vedere acustic sunetele limbii române se pot clasifica în funcție de spectrul caracteristic. Spectrul unui sunet constă în reprezentarea sunetului prin amplitudinea vibrațiilor corespunzătoare fiecărei frecvențe și este rezultatul întregii activități a organelor articulatorii care intervin în producerea lui. Mișcările articulatorii produc modificarea formei, volumului cavităților și a spațiului de rezonanță care determină gradul de concentrare sau de difuziune a formanților.

Vocalele sunt semnale armonice caracterizate printr-o frecvență fundamentală care reprezintă frecvența de vibrație a corzilor vocale și formanți – multipli ai frecvenței fundamentale. În Figura 4 sunt reprezentate frecvența fundamentală (F0) și primii patru formanți superiori (F1-F4) ai unui semnal armonic.

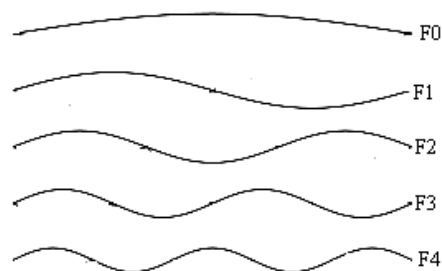


Figura 4. Frecvența fundamentală și primii patru formanți superiori ai unui semnal armonic [12]

Vocalele sunt generate de o undă cu caracter periodic, care se diversifică în funcție de variațiile de formă și volum ale cavității bucale. În funcție de gradul de concentrare și dispersie a formanților (spațiul dintre formanții F1 și F3), vocalele se clasifică în compacte - /a/, la care F1 este apropiat de F3, având un spațiu de rezonanță amplu și difuze - /i/, /u/, /â/, la care F1 este depărtat de F3, iar spațiul de rezonanță este mic. În funcție de înălțime, influențată de volumul rezonatorului adică de distanța dintre F2 față de F1 și F3, vocalele sunt acute - /e/, /i/, la care F2 este apropiat de F3 și grave - /o/, /u/, la care F2 este apropiat de F1 [4].

Din punct de vedere al duratei, vocalele sunt sunete continue, durative, care pot fi susținute mai mult sau mai puțin, în funcție de volumul fluxului de aer care vine de la plămâni. Clasificarea acustică a vocalelor în compacte/difuze, acute/grave, corespunde clasificării articulatorii deschis/închis, anterior/posterior.

Consoanele sunt zgomote produse prin trecerea turbulentă a aerului prin canalul fonator, cu spectru continuu. În funcție de prezența / absența frecvenței fundamentale se clasifică în:

- sonore (v, z, b, d, g) - sunt constituite din vibrațiile corzilor vocale și, predominant, din zgomotul produs de fluxul de aer la nivelul obstacolului aflat în cavitatea bucală;
- surde (f, s, ș, h, p, t, k', k, ț, č) sunt constituite numai din zgomotul produs de felul în care fluxul de aer depășește obstacolul aflat în cavitatea bucală;

Sonantele (m, n, l, r) sunt sunete rezultate din împletirea tonurilor și a zgomotelor, cu predominarea celor dintâi. Din punct de vedere al posibilității de susținere, fricativele, nazalele și laterala /l/ sunt durative, iar ocluzivele și africativele sunt momentane. Comparativ cu vocalele consoanele prezintă antirezonanță care se referă la amplitudinea și distribuția formanților. În consecință la consoane energia este mai mică decât la vocale.



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

În același mod precum vocalele, după [4], consoanele se clasifică în funcție de poziția formanților în spectru sau intensitate în:

- compacte: prepalatalele [ș, ž, č, ģ], palatalele [k', g'], velarele [k, g] și glotala [h] care sunt articulate din regiunea velară până în cea palatală inclusiv. Acestea sunt realizate cu un rezonator mai deschis și au formanții concentrați în zona centrală;
- difuze: bilabialele [m, p, b], dentalele [t, d, n, r, s, z, ț] și labio-dentalele [f, v], care sunt articulate în partea anterioară a cavității bucale. Acestea sunt realizate cu un rezonator mai închis și au formanții dispersați;
- acute: palatalele [k', g'], prepalatalele [ș, ž, č, ģ] și dentalele [s, z, t, d, n], care sunt amplificate de un rezonator bucal mic, divizat de mușchiul lingual prin apropiere sau lipire de organul pasiv;
- grave: glotala [h], velarele [k, g], bilabialele [m, p, b] și labio-dentalele [f, v], care sunt articulate la o extremitate sau alta a cavității bucale, cu un rezonator mare, nedivizat de mușchiul lingual.



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

3. Metode și instrumente de analiză a vocii

De-a lungul timpului au existat două metode de analiză a vocii. O analiză subiectivă, prin percepție auditivă, realizată de experți fonologi sau experți în analiza vocii patologice și o analiză obiectivă, bazată pe măsurări acustice ale parametrilor vorbirii, de exemplu a frecvențelor formanților și a frecvenței fundamentale, semiautomat - utilizând calculatorul sau cu aparate speciale - spectrograful și sonograful, cu ajutorul cărora structura sunetului este vizualizată ca spectru înregistrat pe o bandă de hârtie electrosensibilă, numită spectrogramă, respectiv sonogramă.

3.1 Metode subiective

Clinicienii preocupați de evaluarea calității vocii utilizează și valorează mai mult analiza perceptuală, considerată o metodă standard, decât cea instrumentală. Percepția calității vocii este importantă în evaluarea și tratamentul pacienților cu tulburări ale vocii.

Kreiman et al. [13] a realizat un studiu bazat pe 57 de articole publicate între anii 1951-1993, de cercetători în domeniul evaluării vocii, pentru a determina care este cea mai bună metodă de evaluare a calității vocii, ce standarde de autenticitate intra- și inter-evaluare ar trebui respectate și cum ar putea fi maximizate autenticitatea evaluărilor și nivelurile de coconcordanță intra- și inter-evaluatori. Comparații între diverse studii au arătat că autenticitatea inter-evaluare și intra-evaluare diferă foarte mult de la un studiu la altul. Autorii propun o metodă teoretică care atribuie variabilității evaluării diverse surse cum ar fi: date despre ascultători, sarcina utilizată pentru realizarea evaluărilor, interacțiunile dintre ascultători și sarcinile atribuite, și eroarea random. Pentru ca evaluările perceptuale să fie semnificative, ascultătorii trebuie să utilizeze scările de măsură în mod consecvent: un evaluator trebuie să evalueze un eșantion de voce în mod similar la fiecare ascultare. Totodată, coconcordanța inter-evaluare trebuie să fie mare, ceea ce înseamnă că un eșantion de voce evaluat de mai mulți evaluatori trebuie să primească scoruri de evaluare similare.

Conform studiilor realizate de [13], în evaluarea perceptuală a calității vocii au fost utilizate următoarele metode. O primă metodă de evaluare constă în împărțirea eșantioanelor de voce pe diverse criterii cum ar fi voce aspră (rough) sau voce murmurată (breathy). Scala EAI (Equal Appearing Interval) este o scală de puncte echidistante de la 1 la n, pe care ascultătorii trebuie să bifeze numărul asociat unui eșantion de voce. Scalele VA (Visual Analog) constau în linii nediferențiate, în jur de 100 mm lungime, pe care ascultătorii trebuie să marcheze un semn pentru a indica gradul în care o voce posedă o anumită caracteristică. O altă metodă constă în estimarea directă a magnitudinii (DME-Direct Magnitude Estimation). Ascultătorii atribuie un număr eșantionului de voce pentru a indica măsura în care acel eșantion posedă calitatea pentru care este evaluat. În metoda bazată pe comparație pereche (paired comparison), ascultătorii compară doi stimuli cum ar fi gradul de diferență dintre diverse dimensiuni, similaritate / diferență, asprime relativă, etc.

Rezultatele studiului arată că o autenticitate și o coconcordanță perfectă între evaluările vocii de către un singur ascultător sau de către mai mulți ascultători nu se pot obține nici măcar la nivel teoretic. O soluție la această problemă este propusă de către autori și constă în reducerea variabilității în evaluările calității vocii prin înlocuirea standardelor interne, instabile ale ascultătorilor cu voci referință pentru fiecare dintre calitățile vocii. O altă soluție propusă este dezvoltarea de protocoale de evaluare care să controleze câteva din sursele de variabilitate ale percepției calității vocii de către ascultători.



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

Jacobson et. all [14] a dezvoltat un indice robust din punct de vedere statistic numit Voice Handicap Index (VHI) care măsoară influența tulburărilor de limbaj asupra calității vieții. Acest indice se calculează pe baza unui set de 30 de întrebări adresate persoanelor evaluate, prin care acestea își autoevaluează propria voce. Întrebările sunt împărțite în trei categorii de evaluare și anume: evaluare funcțională, evaluare fizică și evaluare emoțională. Fiecare răspuns este cotate cu un punctaj de la 0 la 4, semnificând descrierile: niciodată, aproape niciodată, câteodată, aproape întotdeauna, întotdeauna. Acest indice a fost frecvent utilizat de către clinicieni pentru evaluarea calității vocii la cântăreți care prezintă noduli, chiști sau polipi pe corzile vocale [15], la pacienți cu disfonie spasmodică [16], [17], în evaluarea disfoniei pediatrice [18], la evaluarea vocii după laringectomie parțială sau totală [19]-[22] sau în evaluarea impactului psihosocioprofesional al tulburărilor de vorbire [23].

T. Nawka [24] a dezvoltat un indice de evaluare a tulburărilor de voce numit „Stimmstörungenindex” (SSI) care include 12 întrebări diferite de cele întâlnite în cazul indicelui de evaluare a handicapului vocal (VHI). Acest indice a fost comparat cu indicele VHI de către [25], care au demonstrat că printr-o simplă multiplicare a indicelui SSI se obține o corelație semnificativă statistic cu indicele VHI. Studiul s-a efectuat pe 210 pacienți la care s-au evaluat indicii VHI și SSI. Ulterior, indicele SSI a fost multiplicat cu 2.5, rezultând un alt scor denumit VHI-korr, care a fost comparat cu indicele VHI. Rezultatele studiului au arătat că indicele SSI bazat pe scorul VHI-korr este comparabil cu indicele VHI și prezintă aplicabilitate în evaluarea clinică a deficiențelor de vorbire. [25] au dezvoltat și un modul de evaluare a tulburărilor de limbaj numit „lingWAVES” care conține o interfață grafică cu un formular de pacient, un editor care transferă datele pacientului într-o bază de date cu mai mulți pacienți, și o vizualizare a clasificării rezultatelor.

3.2 Metode obiective

În ceea ce privește evaluarea calității vocii prin analiză acustică, au fost descrise diverse metode în literatură. L. Eskenazi et. all [26] a studiat relația care există între diverse calități ale vocii și câțiva parametri acustici calculați pentru vocala /i/, pronunțată de pacienți aparținând a două categorii: pacienți cu voce normală și pacienți cu voce patologică. În cazul pacienților din a doua categorie s-au analizat cinci parametri ai calității vocii: severitatea totală, asprimea, răgușeală și laringealizarea. S-a realizat inițial un test standard de ascultare și evaluare a vocilor patologice pentru fiecare calitate a vocii, pentru care s-a utilizat o scală de la 1 la 7. Rezultatele obținute în urma acestui test au fost comparate cu măsurile acustice calculate, prin metode de regresie liniară, fiind utilizat drept criteriu de selecție predicția bazată pe suma pătratelor (PRESS-Prediction Sum of Squares). S-a constatat că cei mai importanți parametri acustici pentru evaluarea vocii patologice sunt amplitudinea frecvenței fundamentale și raportul armonici – zgomot (HNR-Harmonics to Noise Ratio).

Parametrul HNR a fost utilizat anterior și de [27] în evaluarea gradului de răgușeală (hoarseness) a vocii. Acesta se poate analiza subiectiv, prin metoda vizuală, care presupune măsurarea directă pe spectrogramă a gradului în care zgomotul înlocuiește armonicele vocalelor susținute, sau obiectiv prin calcule. În acest studiu s-au utilizat ambele metode. Calculul HNR a constat în următorii pași: calculul mediei a 50 de perioade consecutive ale frecvenței fundamentale corespunzătoare vocalei /a/, calculul energiei medii a formei de undă (H) și a energiei medii corespunzătoare diferențelor dintre perioadele individuale și perioadele mediate ale formei de undă (N). Studiul s-a realizat pe un grup de 42 de



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

persoane cu voci normale și 41 de persoane cu diverse grade de răgușeală. Rezultatele au arătat un grad de concordanță ridicat între HNR calculat și cel evaluat subiectiv pe spectrograme de către doi experți. Acest indice s-a dovedit a fi util și în evaluarea cantitativă a rezultatelor tratamentului pentru răgușeală. Caracteristicile spectrogramelor vocalelor susținute, percepute a fi pronunțate răgușit după [28] sunt următoarele: prezența de componente zgomotoase peste formantul principal al fiecărei vocale, prezența de componente zgomotoase peste 3000 Hz și pierderea armonicilor superioare. Cu cât vocea este mai răgușită cu atât acești parametri sunt mai accentuați.

HNR după [27] a fost calculat plecând de la ipoteza că semnalul caracteristic vocalelor susținute are o componentă periodică, care este aceeași de la un ciclu la altul și o componentă de zgomot aditiv, care are media distribuției în amplitudine egală cu zero. Forma de undă originală $f(t)$, poate fi considerată ca fiind o concatenare a formelor de undă $f_i(T)$, corespunzătoare fiecărei perioade, unde T reprezintă perioada corespunzătoare frecvenței fundamentale. Dacă se realizează o mediere pe un număr n suficient de mare de $f_i(T)$, atunci zgomotul este eliminat. Forma de undă care conține un număr de 50 de perioade mediate, fiind o bună reprezentare a componentei armonice, validă pentru intervalul $T=0$ la T , este dată de următoarea formulă:

$$f_A(T) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i(T)}{n} \quad \text{Ec. 1}$$

Energia acustică a componentei armonice corespunzătoare formei de undă originale $f(t)$ s-a calculat cu formula:

$$H = n \int_0^T f_A^2(T) dT \quad \text{Ec. 2}$$

Forma de undă a zgomotului corespunzător la a i -a perioadă a frecvenței fundamentale se calculează scăzând din fiecare perioadă individuală $f_i(T)$ forma de undă mediată - $f_i(T) - f_A(T)$. Energia acustică a componentei zgomotului este:

$$N = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_i} [f_i(T) - f_A(T)]^2 dT, \quad \text{Ec. 3}$$

iar raportul HNR se obține din ecuațiile 2 și 3 astfel:

$$H / N = n \int_0^T f_A^2(T) dT / \sum_{i=1}^n \int_0^{T_i} [f_i(T) - f_A(T)]^2 dT \quad \text{Ec. 4}$$

Acesta este un caz ideal în care semnalul caracteristic al vocalelor susținute are o componentă periodică. Există și cazul în care la unele voci patologice apare fenomenul de tremor (jitter), care reprezintă variația în timp a frecvenței fundamentale.

Parametrii „jitter” și „shimmer” au fost des utilizați ca indicatori în evaluarea calității vocii patologice. Un studiu realizat de [29], a arătat că deși acești parametri sunt utilizați drept indicatori în evaluarea obiectivă a vocilor patologice, nu pot fi percepuți la nivel acustic de către experți evaluatori. Aceștia pot percepe doar componenta de zgomot aditiv care are importanță în calitatea vocii.

Parametrul „jitter” reprezintă o măsură a fluctuației de la perioadă la perioadă a frecvenței fundamentale și se calculează după formula:



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

$$Jitter = \frac{|T_i - T_{i+1}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i}, \quad \text{Ec. 5}$$

unde T_i este perioada frecvenței fundamentale a ferestrei i , iar N este numărul total de perioade ale unei pronunții.

Parametrul „shimmer” este o măsură a variabilității amplitudinii de la o perioadă la alta și se calculează cu formula:

$$Shimmer = \frac{|A_i - A_{i+1}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i}, \quad \text{Ec. 6}$$

unde A_i este amplitudinea frecvenței fundamentale corespunzătoare ferestrei de analiză i , iar N reprezintă numărul total de perioade a unei pronunții.

Dirk Michaelis et al. [30] a analizat caracteristicile acustice utilizate în evaluarea vocilor patologice de către specialiști în domeniu, și pe baza unei selecții / combinări a patru din 22 de parametri a găsit o măsură utilă care dă o bună descriere a vocii patologice și care este ușor de interpretat numită „diagrama gradului de răgușeală” (hoarseness diagram). Studiul are la bază un număr de 447 voci patologice, iar parametrii selectați sunt coeficientul de corelație mediu al perioadei (MWC), „jitter”, „shimmer” și GNE (glottal to noise excitation ratio). GNE este o măsură acustică proiectată să evalueze cantitatea de zgomot într-un tren de impulsuri generat de oscilația corzilor vocale. Studii realizate pe voci sintetizate cât și studiul realizat de către autori pe voci nesintetizate au arătat că acest parametru este independent de variațiile în timp și amplitudine ale frecvenței fundamentale. Alți parametri analizați cum ar fi NNE (normalized noise energy) sau CHNR (cepstrum based harmonics to noise ratio) nu prezintă această independență. Autorii au clasificat caracteristicile semnalului vocal în două categorii: trăsături neperiodice și trăsături zgomotoase. Prima categorie a fost utilizată de specialiști în domeniu în evaluarea asprimii perceptuale a vocii sau periodicității oscilațiilor glotale, iar a doua categorie a fost utilizată ca indicator al vocii murmurate (breathiness). Un tip de neperiodicitate a semnalului vocal este legat de schimbările formei de undă de la un ciclu glotal la altul. Acest efect se poate măsura prin calcularea coeficientului de corelație mediu între toate perechile de cicli succesivi.

Studiul realizat a arătat că cei patru parametri selectați dau cea mai bună descriere a vocii patologice printr-o reprezentare bidimensională (hoarseness diagram) în care axa x corespunde componentei neliniare alcătuite din parametrii jitter, shimmer și MWC, care contribuie în egală măsură la iregularitatea semnalului, iar axa y componentei zgomotoase (GNE). Această măsură a calității vocii a fost ulterior validată de către aceiași autori în [31], [32], prin studii de caz pe diferite regiuni ale diagramei și utilizată de alți specialiști în domeniu în evaluarea calității vocii după laringectomie parțială [33], după tratamentul chirurgical al paraliziei corzilor vocale [34] sau în evaluarea disfoniei [35].

Un alt parametru util în evaluarea calității vocii este indicele de inteligibilitate a vorbirii - SII (Speech Intelligibility Index). Standardul SII a fost dezvoltat de „American National Standard Methods for the Calculation of the Articulation Index” [36], numindu-se inițial indexul de articulare (Articulation Index), iar ulterior a fost revăzut în [37] și redenumit drept „indicele de inteligibilitate a vorbirii”. Acest standard definește o metodă de calcul a mărimii fizice SII pe baza spectrului vorbirii, spectrului zgomotului aditiv staționar și pragului de audibilitate a ascultătorului. SII încorporează și proceduri de calcul



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

al indicelui STI – indicele de transmisie a vorbirii (Speech Intelligibility Index). Diverse studii au arătat că indexul SII este un bun indicator în evaluarea gradului de audibilitate a pacienților cu tulburări de auz [38] și poate fi utilizat și în evaluarea inteligibilității în tulburările de vorbire [39].

În [40], autorii realizează o extensie a SII utilizând ca parametru de măsură zgomotul fluctuant în loc de zgomotul staționar. Studiul s-a realizat pe persoane cu auz normal și a avut la bază împărțirea semnalului audio și a zgomotului pe cadre mici de timp. Pe fiecare cadru s-a determinat valoarea indexului SII instantaneu și ulterior valorile tuturor cadrelor au fost mediate, rezultând SII-ul caracteristic tipului de zgomot utilizat. Acest index ia valori între 0 și 1 și reprezintă proporția în care informația totală conținută în semnalul vocal este disponibilă pentru ascultător. Utilizând pragurile de recepție a vorbirii (SRT) existente în literatură, acest studiu a arătat că extensia SII realizată de către autori este o bună măsură de evaluare a pragului de recepție a vorbirii în condiții de zgomot staționar, zgomot fluctuant, zgomot întrerupt sau în condițiile zgomotului produs de mai mulți vorbitori.

3.3. Instrumente de analiză a semnalului vocal și a articulării sunetelor

Primele instrumente de analiză și / sau sinteză a vocii realizate la nivel hardware au apărut încă din anii 1950 [41]. Ulterior au apărut o serie de patente între anii 1968-1977 care descriau o serie de analizoare vocale electronice utilizate pentru recunoaștere vocală [42], analiză vocală [43], bazate pe filtre recursive [44] și analiză vocală în timp real [45].

Analiza semnalului vocal se poate realiza prin metode indirecte, cu instrumente realizate la nivel software sau prin metode directe cu ajutorul unor aparate specializate. Unele dintre cele mai cunoscute instrumente software în ordinea apariției sunt Klatt [46], Snorri [47], [48], Goldwave [49], Wavesurfer [50], Praat [51], WASP [52] etc.

Klatt [46] este un software care poate genera voce sintetică prin sinteză formantică paralelă sau în cascadă. Acest program are o configurație flexibilă care permite generarea de sunete sonore prin conexiunea în cascadă sau paralelă a unor rezonatori digitali, și de sunete fricative doar prin conexiune paralelă. Un program de control permite utilizatorului să selecteze variabilele parametrilor de control cum ar fi frecvențele formanțelor ca o funcție de timp sau secvență de puncte.

Snorri [47], [48] este un software de investigare a semnalului vocal, util pentru cercetători în domeniu sau profesori foneticieni, care oferă cinci tipuri de instrumente:

- editare de semnal vocal, adnotare fonetică sau ortografică a semnalului vocal;
- analiză și monitorizare spectrală a semnalului vocal în timp;
- studiul prozodiei prin calcularea frecvenței fundamentale sau sintezei de noi semnale prin modificarea traseului F0 sau a ratei de vorbire;
- generare de parametri utili pentru sintetizatorul Klatt [46].

Goldwave [49] este un editor audio digital larg utilizat, care permite realizarea de înregistrări, prelucrarea acestora prin filtrare, schimbare de volum, egalizare, reducere de zgomot, reducerea segmentelor de liniște și alte operații de editare. Conține și un modul de vizualizare a spectrogramei, anvelopei formei de undă și a spectrului semnalului înregistrat.

Wavesurfer [50] prezintă următoarele funcții: înregistrare, analiză spectrală, vizualizarea traseelor F0, formanțelor și a energiei, calcularea mediei formanțelor și adnotare.

P. Boersma și D. Weenink [51] au realizat programul PraatTM, care permite analiza semnalului vocal incluzând analiză spectrală, analiza frecvenței fundamentale, a formanțelor, a intensității și a parametrilor jitter și shimmer; segmentarea și adnotarea



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

semnalului vocal; sinteza și manipularea semnalului vocal; calculul unor parametri statistici și programare cu ajutorul scripturilor.

WASP [52] este un instrument software mai simplu, care pe lângă funcția de înregistrare, permite vizualizarea formei de undă, a spectrogramei și a traseului frecvenței fundamentale.

Dintre aparatele specializate, cu metode directe de analiză a semnalului vocal enumerăm electroglotograful, stroboscopul, spectrograful, sonograful și fonetograful.

Electroglotografia [53] este o metodă neinvazivă cu ajutorul căreia se pot obține informații cu privire la vibrațiile corzilor vocale. Semnalul EGG este înregistrat cu ajutorul unui aparat numit electroglotograf care măsoară impedanța dintre corzile vocale în timpul vorbirii. Metoda constă în aplicarea a doi electrozi de suprafață de o parte și de alta a laringelui. În momentul în care corzile vocale sunt în contact impedanța este relativ mică, iar când corzile vocale sunt îndepărtate impedanța este mare. Astfel, semnalul EGG măsoară aria de contact a corzilor vocale. Semnalul EGG este invers relaționat cu fluxul de aer. Când aria de contact dintre corzile vocale este mică atunci aerul trece, iar când aria de contact este mare aerul nu trece. Semnalul obținut se numește electroglotogramă, iar reprezentarea grafică se numește laringogramă.

Wertzner et al. [54] a utilizat electroglotografia pentru a studia eficiența de închidere și deschidere a corzilor vocale la copii cu și fără tulburări fonologice. La copii din Brazilia, vorbitori de limbă portugheză, care prezintă tulburări de vorbire s-a constatat prezența unui proces de desonorizare a fricativelor și ocluzivelor. S-au înregistrat propoziții pe bază de cuvinte ce conțin fricativele /v/, /f/, /s/, /z/, /S/, /Z/ și au fost analizate în timp real cu ajutorul unui electroglotograf. Analiza intragrup a arătat că valorile coeficienților de deschidere a corzilor vocale în cazul fricativelor nesonore sunt semnificativ mai mari la ambele grupuri analizate. Analiza intergrup a arătat că valorile coeficienților de deschidere a corzilor vocale sunt semnificativ mai mari în cazul fricativelor /v/ și /z/ la copii cu tulburări fonologice. Rezultatele studiului au arătat că deși grupul cu tulburări pronunță fricativele sonore ca cele nesonore (fără frecvență fundamentală), valorile coeficienților de deschidere sunt diferite de la un caz la altul. Concluzia autorilor referitoare la acest aspect este aceea că grupul cu tulburări fonologice este capabil să mențină corzile vocale deschise pentru mai mult timp la consoanele nesonore reale (/f/, /S/, /s/) în comparație cu cele sonore (/v/, /z/, /Z/).

Stroboscopia este o metodă care constă în vizualizarea dinamică a vibrației corzilor vocale cu ajutorul unui fibroscop introdus la nivelul laringelui prin cavitatea bucală sau prin fosele nazale. Subiectului i se solicită să pronunțe anumite vocale, cuvinte, propoziții. Această metodă utilizează o sursă de lumină stroboscopică (pulsatilă) pentru vizualizarea endoscopică a vibrațiilor corzilor vocale într-o mișcare aparent încetinită. Principiul esențial al acestei tehnici este percepția vizuală de mișcare aparentă, prin care imaginile successive prezentate cu o rată mai mare de 5 Hz par a se mișca în mod continuu.

Sursa de lumină stroboscopică este sincronizată cu frecvența de rezonanță a corzilor vocale cu ajutorul unui microfon sau a unui traductor electroglotografic. Sursa de lumină trebuie sincronizată în mod precis cu F0 pentru a furniza o imagine aparent statică (fiecare puls luminos iluminează aceeași poziție în fiecare ciclu de vibrație a corzilor vocale), sau cvasi-sincronizată (1-2 Hz sub/peste F0) pentru a furniza o mișcare aparent încetinită (fiecare puls luminos iluminează faze successive ale ciclurilor de vibrație ale corzilor vocale).

Sonograful și spectrograful sunt aparate cu ajutorul cărora structura sunetului este vizualizată ca spectru înregistrat pe o bandă de hârtie electrosensibilă, numită spectrogramă, respectiv sonogramă.

Fonetografia utilizată de către [55] este o metodă de investigare și mapare a potențialelor cantitative ale semnalului vocal. Limita maximă a fonației de intensitate mare (stridentă) și a fonației de intensitate mică (slabă) de-a lungul întregii benzi de frecvență este indicată printr-o reprezentare grafică în coordonate frecvență – nivel de presiune a sunetului (SPL). Subiecților li s-a solicitat să producă fonații de intensitate foarte mare și intensitate mică la frecvențele selectate, astfel încât să acopere întreaga bandă de frecvență caracteristică a fiecăruia. Instrumentația de bază constă într-un generator de ton care produce un sunet asemănător sunetului vocalic, utilizat ca referință pentru frecvența fundamentală și un dispozitiv de măsură a nivelului de presiune a sunetului. Unui grup de patru specialiști terapeuți în vorbire și trei fizicieni ORL li s-a solicitat să descrie modul în care analizează vizual fonetogramele și să identifice trăsăturile pe care le consideră a fi importante în evaluarea fonetogramelor. Descrierea făcută de acest grup include trei parametri considerați a fi importanți: forma fonetogramei care este complexă, dar poate fi vizualizată ca suma a două elipse suprapuse fiecare dintre ele având o pantă diferită a axei mari; aria de închidere care se formează între conturul fonației de intensitate mare și cea de intensitate mică și dinamica benzii de frecvență a semnalului vocal. În timp ce fonetograma acoperă întreaga bandă de frecvențe, vocea care funcționează normal utilizează doar o parte din această bandă. Un exemplu de fonetogramă este ilustrat în Figura 5.

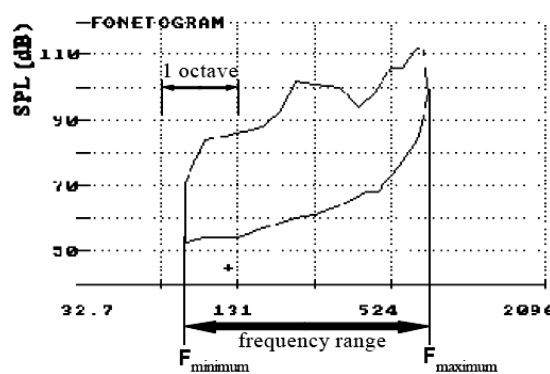


Figura 5. Fonetograma unui subiect de gen masculin, cu voce normală [55]

Pe axa x este frecvența, iar pe axa y nivelul intensității. Marcajul “+” reprezintă media frecvenței fundamentale a subiectului, iar vâlcă de pe curba fonației de intensitate mare reprezintă trecerea de la registru normal la registru fals. Banda de frecvență caracteristică subiectului înregistrat se situează după cum este arătat în figura 4 între F_{minimum} și F_{maximum} . Aceasta se poate calcula ca fiind numărul de octave cuprinse între F_{minimum} și F_{maximum} . Valoarea unei octave se calculează cu următoarea formulă:

$$x_{\text{oct}} = \frac{6 \times (\log(x_{\text{Hzhigh}}) - \log(x_{\text{Hzlow}}))}{\log 2096 - \log 32.7} \quad \text{Ec. 7}$$

Electropalatografia este o metodă directă de analiză a articulației sunetelor care a fost utilizată de [56] pentru a analiza pattern-urile de articulație la copii cu sindrom Down. Metoda constă în utilizarea unui palat artificial realizat din acril care are implantați 62 de electrozi din argint, plasați pe opt rânduri orizontale și fixat de molari cu ajutorul unor clipsuri. Acest palat artificial diferă de la pacient la pacient în funcție de caracteristicile și dimensiunile palatului dur, astfel încât orice contact dintre limbă și electrozi care apare în



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

timpul articulării sunetelor să poată fi înregistrat. Pozițiile electrozilor sunt determinate în funcție de dimensiunea anatomică a palatului, astfel încât palate de diferite dimensiuni și forme pot fi comparate cu referințe pentru fiecare din rândurile și pozițiile electrozilor. Contactele înregistrate sunt afișate pe calculator și ulterior pot fi analizate. Un exemplu de afișaj al contactelor care apar în timpul fazei de închidere a consoanei /t/ este ilustrat în Figura 6, în care cu 0 sunt marcate contactele, iar în partea dreaptă sunt afișate zonele de referință pentru poziția electrozilor și numărul rândului pe care sunt plasați aceștia.

	Rând	
000000	1	
00000000	2	— Zonă alveolară
0.....0	3	
0.....0	4	— Zonă palatală
0.....0	5	
0.....0	6	
0.....0	7	— Zonă velară
0.....0	8	

Figura 6. Afișajul contactelor limbii în timpul fazei de închidere a consoanei /t/ [56]

Rezultatele studiului au arătat că la copii cu sindrom Down există o insuficiență în ceea ce privește controlul muscular al limbii, constând în mișcări încetinite și dificultate în controlul vârfului limbii și coarticulării, și o asimetrie și variabilitate în articulare.

O altă tehnică de măsurare a articulării sunetelor a fost dezvoltată de [57] și se bazează pe măsurarea cu ajutorul ultrasunetelor a mișcărilor dorsale ale limbii. Această metodă a fost testată pe pacienți cu tulburări de articulație a vorbirii și pe persoane sănătoase. Variabilele găsite care caracterizează o articulare anormală sunt: variabilitate excesivă a amplitudinii și duratei în timpul mișcărilor articulatorii, coordonare interarticulatorie insuficientă, o menținere insuficientă a amplitudinii mișcării și o diferențiere spațială și temporală insuficientă a mișcărilor scurte și lungi. Înregistrările de semnal ultrasonor și semnal vocal sunt achiziționate cu ajutorul unui generator-receptor de ultrasunete și un amplificator audio. Acestea sunt convertite în semnal digital de 1 kHz cu ajutorul unui circuit special și sunt stocate într-un calculator. Ulterior se poate realiza analiza mișcărilor dorsale ale limbii pe baza graficelor semnalelor achiziționate. Traductorul ultrasonor este așezat în poziție verticală pe mijlocul liniei inferioare a mandibulei, iar întârzierea este măsurată în mod repetat între emisia unui scurt impuls ultrasonor și recepția ecoului său. La fiecare milisecundă se realizează o măsurătoare corespunzătoare distanței dintre traductor și partea dorsală a limbii. În mod specific, un ecou mare se formează la interfața dintre țesutul muscular al limbii și aerul ambiant și timpul dintre emisia și recepția lui este măsurat. Măsurătorile acestei întârzieri corespunzătoare distanței dintre traductorul ultrasonor și partea dorsală a limbii precum și semnalul acustic generat în mod concomitent sunt continuu înregistrate pe un microcomputer, pe o perioadă de 4.5 ms.

Kay Elemetrics Corp. [58] a dezvoltat un sistem hardware / software de analiză a semnalului vocal specializat, numit Computerized Speech Lab (CSL). Sistemul are la bază un dispozitiv de înregistrare de tip intrare/ieșire care este legat la un calculator. Pachetul de analiză a semnalului vocal are și un program opțional LPC pentru analiză / sinteză. CSL conține o serie de programe / baze de date dintre care amintim programul MDVP (Multi Dimensional Voice Program), programe de analiză a fonetogramei, spectrogramei în timp real, percepției auditive, procesare în timp real a electroglotogramei, de sinteză a



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

semnalului vocal, baze de date cu semnale palatografice, cu înregistrări ce conțin semnal vocal provenit de la voci patologice, etc.

Un alt software care permite evaluarea semnalului vocal sau antrenarea vocii este Dr. Speech realizat de Tiger Electronics, Neu-Anspach, Germany [59]. Acesta dispune de module de analiză a semnalului vocal în timp real (spectrograme, formanți, intensitate, etc.), de terapie a vocii prin jocuri, de un modul hardware/software care realizează achiziția de date, analiza clinică și tratamentul tulburărilor de rezonanță nazală, module de antrenare și evaluare a vocii și de analiză a fonetografică.

Smits et al. [60] a realizat o analiză comparativă între CSL și Dr. Speech (DRS) în ceea ce privește analiza acustică a vocii. Studiul s-a realizat pe un grup de 120 de voci normale, iar parametrii considerați pentru evaluarea comparativă a celor două programe sunt: frecvența fundamentală, deviația standard a frecvenței fundamentale, jitter, shimmer și raportul HNR (Harmonics to Noise Ratio). S-a găsit o corelație semnificativă a frecvenței fundamentale, HNR și valoarea relativă a parametrului shimmer. Corelația valorilor absolută și relativă a parametrului jitter și deviația standard a frecvenței fundamentale s-a dovedit a fi slabă. Studiul a arătat că CSL și DLS nu sunt comparabile în mod absolut, însă rezultatele cu privire la datele normative sunt identice.

SDCS (Speech Disorders Classification System) [61] este un sistem de clasificare a vocilor patologice pe baza a 10 parametri care măsoară capacitatea de articulare: procentajul de consoane corecte (PCC), procentajul de consoane corecte ajustat (PCC-A), procentajul de consoane corecte revizuit (PCC-R), procentajul de consoane corecte inventariat (PCC-I), indexul care măsoară capacitatea articulării (ACI), procentajul de vocale/diftongi corecte (PVC), procentajul de vocale/diftongi corecte revizuit (PVC-R), procentajul de foneme corecte (PPC), procentajul de foneme corecte revizuit (PPC-R) și indexul de inteligibilitate (II). Raportul realizat de către autori are ca date de referință 1386 eșantioane de voce din baza de date fonologică a proiectului, care aparțin unor subiecți cu vârste cuprinse între 3 și 40+ ani. Baza de date a fost investigată inițial pentru eliminarea eșantioanelor de voce care aparțineau persoanelor cu tulburări de dezvoltare, cognitive, anomalii cranio-faciale sau cu probleme senzoriale-motorii. Eșantioanele de voce au fost împărțite pe grupuri în funcție de clasificarea vorbitorului în funcție de tulburările de vorbire furnizată de sistemul SDCS.

PEAKS [62] este un sistem de evaluare automată a vocii și a tulburărilor de vorbire, apărut recent, în 2009, care poate fi accesat direct prin internet de către orice pacient. Semnalul vocal înregistrat este ulterior analizat prin-un sistem de recunoaștere automată a vorbirii și analiză prozodică. Acest sistem a fost testat pe două tipuri de tulburări ale comunicării: tulburări de voce și tulburări de articulare. Pentru validarea rezultatelor obținute cu acest sistem, s-a realizat și o evaluare a vocilor patologice de către un panel de specialiști. Pentru a minimiza subiectivitatea evaluării, s-a realizat o medie a rezultatelor obținute de experți pentru a crea un scor de consens, care a fost tratat drept referință. La ambele tipuri de patologii rezultatele obținute cu sistemul PEAKS au fost în concordanță cu cele obținute de specialiști.



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

4. Aplicații medicale

Analiza semnalului vocal are diverse aplicații în medicină care permit evaluarea vocii atât în scopul diagnosticării unei patologii, cât și în detectarea alterării / îmbunătățirii actului fonator după un tratament sau după o intervenție chirurgicală.

Perforația orofacială (CLF - Cleft Lip Palate) este o malformație congenitală care se caracterizează prin dezvoltarea incompletă a structurilor care separă cavitatea nazală de cea orală și anume buzele, alveolele, palatul moale și palatul tare. Această anomalie cauzează tulburări morfologice și funcționale printre care se numără și defectele de vorbire care apar datorită închiderii incomplete a inelului orofaringeal în timpul mișcărilor de articulare ale palatului moale. Unii dintre cei mai recentți parametri de evaluare a vorbirii la pacienți cu CLF, utilizați în [63] sunt: rezonanța nazală, fluxul de aer nazal expirat, fricțiunea faringeală, stopul glotal, inteligibilitatea și grimasa. Fiecare parametru a fost evaluat după un protocol de evaluare pe o scară inversă de la 3 la 0, iar scorul final s-a obținut prin sumarea scorurilor fiecărui parametru. Evaluarea s-a realizat pe un eșantion de 68 de pacienți care au fost operați de același chirurg și rezultatele arată că doar patru dintre aceștia au avut rezultate negative cu privire la gradul nazalității de la sever la moderat la toate consoanele, prezența fricțiunii faringeale severe, cu o substituție sistematică la fricative și africcate, prezența stopului glotal și un grad scăzut de inteligibilitate.

Maier A. et al. [64] a studiat inteligibilitatea la copii cu perforație de buză și palat prin tehnici de recunoaștere a vorbirii. Acest tip de patologie poate cauza limitări funcționale chiar și după tratament chirurgical adecvat sau nonchirurgical, una dintre acestea constând în apariția unor defecte de vorbire. Ca metodă obiectivă de determinare și cuantizare a tulburărilor de articulare autorul a utilizat un sistem de recunoaștere automată a vorbirii cu ajutorul căruia a analizat 31 de înregistrări de cuvinte standard, aparținând unor copii vorbitori de limbă germană care prezentau CLF. Sistemul de recunoaștere automată a vorbirii a fost antrenat cu voci adulte normale și voci de copii. S-a realizat și o evaluare subiectivă de către patru experți și confruntată cu evaluarea automată a vorbirii. Sistemul de recunoaștere automată a vorbirii a produs o acuratețe de recunoaștere a cuvintelor între 1,2% și 75,8%, respectând rata de evaluare a experților și având o discriminare suficientă. Astfel, acest studiu dovedește că sistemul de recunoaștere automată a vorbirii servește ca un bun mijloc de a concretiza și cuantifica efectul global al vorbirii copiilor cu CLF.

Analiza semnalului vocal s-a utilizat în vederea evaluării calității vocii în cazul pacienților cu laringectomie [65], [66], cancer intraoral [67], [68], rezecție parțială a unor tumori ale limbii [69], în clasificarea disfoniei [70], în studiul bâlbâielii [71], în detectarea vocii patologice cauzate de diverse boli [72].

În [65] s-a studiat vocea substituită de vocea traheoesofagială cu ajutorul unui sistem de recunoaștere vocală și prin evaluare subiectivă de către cinci experți a unor înregistrări de text standard provenind de la 18 pacienți cu laringectomie. Sistemul a fost antrenat cu voci normale și nu a fost adaptat la voci patologice. Comparativ cu vocea normală vocea substituită prezintă prozodie și modulație scăzută, valori scăzute a parametrilor jitter și shimmer, frecvență fundamentală scăzută și raport fonație sonoră/nesonoră diferit. Acuratețea cuvintelor (WA) măsurată cu sistemul de recunoaștere vocală a fost calculată cu următoarea formulă:

$$WA[\%] = 100 * (NC - NW) / N , \quad \text{Ec. 8}$$

unde NC este numărul de cuvinte corect recunoscute, NW este numărul de cuvinte inserate incorecte, iar N numărul total de cuvinte pronunțate. Rezultatele obținute în cazul vocii substituite au fost comparate cu cele obținute în cazul vocilor normale și s-a constatat că



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

acuratețea de recunoaștere a silabelor și a cuvintelor este mai mică în primul caz (10-50%). Studiul a arătat că recunoașterea vocală automată reprezintă o bună metodă de evaluare a vocii la pacienții cu laringectomie.

Pentru evaluarea tipului și extinderii tulburărilor de vorbire după glosectomie parțială, K. S. Heller [69] a înregistrat pre și postoperator 10 pacienți cu rezecție de carcinom situat în partea mobilă a limbii, având dimensiune mai mică de 3 cm. Preoperator s-au obținut rate normale ale dacokineziei vorbirii, fără distorsiuni, la toți cei 10 pacienți. Analiza fonologică a fost normală la 9 din 10 pacienți. Evaluarea postoperatorie a arătat rate normale ale dacokineziei vorbirii la 6 pacienți și distorsiuni linguale medii la 4 pacienți. La trei săptămâni postoperator un pacient prezenta distorsiuni ale sunetelor și unul vorbire neclară. Evaluarea acestor pacienți după 6 luni postoperator a demonstrat că vorbirea lor s-a corectat. Compararea înregistrărilor realizate înainte și după operație au arătat că nu sunt modificări de vorbire la 8 din cei 10 pacienți. La ceilalți doi pacienți după o perioadă de adaptare mai mare (6 luni) s-a considerat că vorbirea este normală. Acest studiu demonstrează că glosectomia parțială timpurie a carcinoamelor limbii poate fi realizată cu tulburări permanente minime ale vorbirii.

R. Linder et al. [70] a utilizat o rețea neuronală artificială bazată pe scalarea psihoacustică a parametrilor acustici ai semnalului vocal în scopul clasificării disfoniei. Autorii au utilizat o paradigmă de extracție a caracteristicilor acustice ale semnalului vocal (jitter, shimmer, deviația standard a frecvenței fundamentale, raportul dintre excitația glotală și zgomot (GNE)), pentru a reanaliza 120 de eșantioane de voce analizate anterior de Schonweiler et al. Modificând algoritmi matematici ai sistemului bazat pe rețele neuronale utilizat de autorii amintiți anterior, Linder et al. a obținut clasificarea corectă pe două categorii, voce normală și voce răgușită în cazul unui procentaj de 80% din numărul total de eșantioane de voce analizate. Față de studiul anterior autorii au luat în calcul pe lângă analiza dimensiunilor R (roughness) și B (breathiness) și cea mai bună cale de diferențiere între indivizii cu voce normală și cei cu voce răgușită (hoarsness = H). Pentru dezvoltarea sistemului au utilizat parametrul GNE care permite o mai bună distincție între clasele R și B și au verificat tipul de disfonie cu o specificitate și senzitivitate mai mare, reducând scara de evaluare de la patru puncte la două puncte prin calcularea caracteristicilor de operare ale receptorului (ROC). Acest ultimă metodă a permis o mai bună diferențiere între prezența sau absența caracteristicii H.

A. A. Dibazar et al. [72] a realizat un sistem robust, neinvaziv, de detectare automată a vocii normale și patologice. Un banc de filtre Mel, coeficienții cepstrali și măsurători ale dinamicii frecvenței fundamentale au fost modelate prin mixturi Gaussiene într-un clasificator de tip HMM (Hidden Markov Model). Metoda a fost evaluată prin utilizarea înregistrărilor vocalei susținute /a/, provenite de la 700 subiecți cu voci normale și patologice din baza de date MEII (Massachusetts Eye and Ear Infirmary). Scopul principal al studiului a constat în clasificarea binară a semnalului vocal prin două metode. Fiecare subiect a fost reprezentat printr-o secvență de vectori de trăsături conținând 12 coeficienți Mel cepstrali și frecvența fundamentală. În baza de date au fost incluși de asemenea 34 dintre cei mai utilizați parametri în evaluarea tulburărilor de vorbire care au fost extrași cu programul MDVP. Prima metodă a constat în clasificarea parametrilor extrași cu MDVP pentru vocala susținută /a/, cu trei tipuri de clasificatori: clasificatorul de discriminare liniară (LDC), clasificatorul bazat pe cea mai apropiată medie (NMC) și modelarea prin mixturi Gaussiene (GMM). Rezultatele cele mai bune pentru fazele de antrenare și testare s-au obținut cu ultimul clasificator. A doua metodă a constat în clasificarea coeficienților Mel cepstrali și a frecvenței fundamentale cu HMM. Cu această metodă autorii au obținut cea

mai bună rată de clasificare corectă a vocilor normale și patologice în cazul vocalei susținute /a/ (99,44 %).

O altă aplicație a evaluării calității vocii constă în studiul efectului medicamentului levodopa asupra funcției vocale la pacienți cu boala Parkinson [73]. În boala Parkinson sunt întâlnite frecvent disfuncții fonatorii și articulatorii. Jaime et. all au investigat din punct de vedere acustic efectul tratamentului cu levodopa asupra funcției vocale a 20 de pacienți cu această boală, înainte și după aplicarea tratamentului. Pacienții au fost de asemenea comparați cu un grup de control. Pentru compararea măsurătorilor înainte și după tratamentul cu levodopa s-au utilizat teste Wilcoxon pereche. Analiza acustică s-a realizat cu ajutorul programelor Computerized Speech Lab și MultiDimensional Voice Program. Măsurătorile au arătat că frecvența fundamentală a crescut semnificativ după tratament, în timp ce perturbația pe termen scurt a frecvenței – jitter, soft phonation index și indexul de intensitate a frecvenței tremorului au scăzut semnificativ după medicație. Măsurătorile obiective ale analizei acustice sunt utile în evaluarea răspunsului farmacologic dopaminergic în cazul bolii parkinson. Îmbunătățirea frecvenței fundamentale și a parametrilor vocali poate fi un rezultat al scăderii hipokineziei și rigidității laringale.

4.1 Aplicații în stomatologie

Patologiile aparatului stomatognat care afectează articularea corectă a sunetelor sunt edentația, spațierile și înghesuirile care afectează în special incisivii superiori și inferiori, malocluziile și defecte ale articulației temporo-mandibulare. Defectele de vorbire pot fi cauzate și de aplicarea unui tratament ortodontic incorect, de tipul unei proteze incompatibile cu dimensiunile fiziologice ale cavității bucale sau cu înclinație mare față de nivelul buzelor, o proteză cu palat care modifică punctele de referință ale articulării unor sunete sau proteze care lasă un spațiu intraocluzal mare.

Malocluziile se caracterizează printr-o relație anormală între dinții celor două arcade superioară și inferioară, care determină închiderea incorectă a gurii. Malocluziile se clasifică pe baza relației dintre primul molar superior față de restul ocluziei.

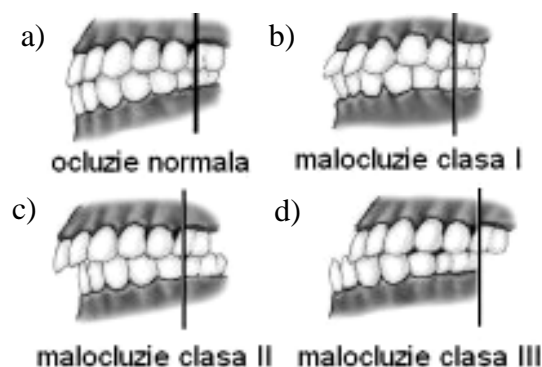


Figura 7. Tipuri de malocluzie: a) ocluzie normală, b) malocluzie clasa I, c) malocluzie clasa II, d) malocluzie clasa III [74]

În Figura 7 sunt ilustrate ocluzia normală (Figura 7 – a) și cele trei tipuri principale de malocluzie:

- *Malocluzie clasa I* – se caracterizează printr-o ocluzie molară normală, însă dinții din față pot fi îngrămădiți sau erupți mai în față sau mai în spate. Un exemplu obișnuit este atunci când caninii permanenți cresc pe lângă dinții de lapte, în exterior (Figura 7 - b)).



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

- *Malocluzie clasa II* – sau supraocluzie verticală în care dinții superiori sunt ieșiți mai în față, depășindu-i pe cei inferiori (Figura 7 – c).
- *Malocluzie clasa III* - ocluzia inversă sau subocluzia este atunci când dinții de pe mandibulă sunt ieșiți mult în față (Figura 7 – d).

Un alt tip de malocluzie este *ocluzia deschisă* - atunci când se formează un spațiu între dinții din față superiori și dinții din față inferiori [74].

Analiza semnalului vocal în scopul evaluării eficienței tratamentului ortodontic s-a realizat încă din anii '60 când Rathbone și Snidecor [75] au studiat instrumental diferențele ce apar în pronunția de propoziții test ce conțin consoane post-dentale (*n, t, d, r, l, s, sh, z, zh, y*), linguo-dentale (*th* sonor și nesonor), labio-dentale (*f, v*) și combinații post-dentale (*ch, j*) înainte și după tratamentul ortodontic a 10 pacienți cu diferite stadii de malocluzie. Au constatat că înainte de tratament din 16 sunete dentale testate un procent de 6.4 % sunt defectuoase, cele mai mari erori concentrându-se asupra consoanelor dentale de tip fricativ (*s, z, sh, zh* și *th*). După patru ani, opt pacienți din 10 au fost reexaminați după aceeași procedură, rezultând o scădere a procentului de sunete cu pronunție defectuoasă de până la 1.5 %. Erorile de pronunție s-au păstrat la consoanele fricative având însă un grad mai scăzut, iar celelalte sunete dentale au fost corectate astfel încât erorile au fost indetectabile. Acest studiu a dovedit că defectele de vorbire se corectează după tratamentul ortodontic fără a fi nevoie de aplicarea unei terapii de educare a vorbirii. Analiza de semnal vocal în cazul unor patologii ale aparatului stomatognat este importantă în diagnosticarea și evaluarea eficienței tratamentului ortodontic.

În 1978, A. H. Guay et al. [76] a studiat defectele de pronunție a consoanei /s/ și modificările poziției de articulare a limbii în cazul pacienților care prezentau malocluzie clasa III. În acest sens au examinat radiografic un număr de 12 pacienți care au fost evaluați și vocal și auditiv. Toți pacienții aveau auz normal, iar 11 dintre ei prezentau distorsiuni în pronunția sibilantei /s/. Poziția limbii era mai joasă și mai retractată la pacienții cu malocluzie față de cazul normal, iar în timpul pronunției consoanei /s/ aceștia prezentau o retracție a limbii din cauza încercării de a asigura o relație normală între vârful limbii și dinții maxilarului superior, o creștere ridicată a depresiunii mandibulare și o creștere a distanței normale dintre vârful limbii și dinții maxilarului superior. În ciuda mișcărilor compensatorii ale articulatorilor prezente la acești pacienți, numai unul din 12 avea capacitatea de a pronunța corect consoana /s/, contrastând cu rezultatele obținute de alți autori în cazul examinării unor pacienți care prezentau malocluzie clasa II.

La începutul anilor 80, D.M. Plank [77] a investigat inteligibilitatea vorbirii la pacienți care au suferit rezecție chirurgicală parțială a maxilarului. Caracteristicile de inteligibilitate ale unui discurs au fost evaluate în următoarele condiții experimentale: preoperator, postoperator cu obturație protetică imediată și postoperator cu obturație protetică definitivă. Fiecare pacient a citit un pasaj standard în condițiile amintite anterior, iar înregistrările au fost evaluate de către 10 ascultători neantrenați. Înregistrările au fost evaluate în funcție de numărul de cuvinte corect scrise de către ascultători. Analiza de varianță a arătat că nu există pierdere de inteligibilitate între cele trei condiții de înregistrare. Un grup de 50 ascultători au evaluat în mediu zgomotos perechi de propoziții conținând segmente de vorbire înregistrate preoperator și postoperator cu obturație protetică definitivă. Rezultatele obținute în urma aplicării procedurii statistice „sign-test” au arătat că ascultătorii pot distinge între segmentele de vorbire înregistrate preoperator și postoperator la șapte din opt pacienți înregistrați.



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

Studiile în domeniu au fost continuate de E. A. Tobey și J. Lincks [78] care au examinat caracteristicile acustice ale vorbirii a cinci pacienți cu operație maxilofacială înainte și după reconstrucția prostodontică pentru a determina eficiența protezării maxilare în eliminarea rezonanței nazale. În acest scop s-au măsurat valorile formanțelor vocalelor /i/ și /u/. Folosind tehnici de analiză a varianței s-a constatat că restaurarea prostodontică a redus semnificativ rezonanța nazală la toți pacienții fie prin eliminarea completă a acesteia, fie prin reducerea amplitudinii rezonanței, fie prin schimbarea frecvenței de rezonanță spre regiuni mai apropiate de cele ale vocalelor.

T. Laine et al. [79] a examinat un grup de absolvenți vorbitori de limbă finlandeză, 325 femei și 126 bărbați (cu vârsta medie de 23.4 ani) în vederea determinării relației dintre tulburările de articulație în vorbire și trăsăturile ocluziei incizale. Subiecții au fost înregistrați independent de către doi terapeuți în vorbire, iar gradul de concordanță între aceștia a fost de 85%. Analize de covarianță cu privire la efectul vârstei, al sexului, al istoricului tratamentului dentar și terapiei vorbirii au arătat diferențe statistice semnificative între cazurile cu malocluzii de tip overbite, overjet și spațieri între incizorii maxilari la subiecții cu și fără articulare defectuoasă a sunetelor. Rezultatele arată că un sunet /s/ corect este mai dificil de produs în cazuri de overjet crescut sau overbite scăzut. Spațierile maxilare par a fi asociate cu dificultăți în producerea sunetelor din limba finlandeză în porțiunea medio-alveolară a palatului (/s/, /r/, /l/, /n/ și /d/): sunetele pronunțate incorect sunt articulate prea anterior, exceptând sunetul /s/ și ocazional /r/ care sunt produse mai lateral decât normal. Autorii și-au continuat studiile cu privire la relația dintre tulburările de vorbire și dimensiunile arcurilor alveolare, anomaliile ocluzale și tratamentul malocluziilor într-o serie de lucrări publicate între anii 1986-1992 [80-82].

Spre sfârșitul anilor 1990, bazându-se pe un număr de 42 de articole consultate, Johnson și Sandy [83] au prezentat stadiul cercetărilor realizate până în anul 1999 de către specialiști în domeniu, vizavi de relația dintre poziția dinților și vorbire. S-a constatat că dinții au un rol important în vorbire, însă relația dintre poziția dinților și vorbire a rămas încă controversată. Se cunoaște capacitatea pacienților de a-și compensa defectele de vorbire ce apar în cazul malocluziilor, însă mecanismul ce stă la bază rămâne necunoscut. Deși s-a demonstrat că există o relație între defectele de dentiție și defectele de pronunție, nu s-a putut concluziona că ar exista o corelație și cu severitatea malocluziilor.

A. Caine [84] a realizat un studiu pilot pentru a determina importanța alinierii structurilor fiziologice în performanța vocală. O echipă formată dintr-un specialist în terapia vocii, un stomatolog și un chiropractor au evaluat și corectat nealinierile structurale la 9 cântăreți profesioniști, pe o perioadă de 2 ani. Aceștia au constatat că persoanele investigate care aveau disfuncții temporo-mandibulare prezentau instabilitate a frecvenței fundamentale, lipsa aerului, nervozitate și sentimentul de eșec. Evaluatorii au constatat că pacienții cărora li s-au extras premolariii pentru a înlătura suprapunerea dinților erau incapabili de a realiza contactul limbă/palat deoarece limba nu se potrivea corect pe porțiunea de palat nedezvoltat. La cei cărora li s-au extras alți molari limba nu avea referință de articulare în partea posterioară a cavității bucale în cazul consoanelor. După aceste constatări s-a început tratamentul dental. S-au găsit trei categorii de patologii dentale în funcție de vârstă: pacienți sub 30 de ani cu palat îngust și scurt, pacienți peste 30 de ani cu spații acolo unde era nevoie de referințe și pacienți peste 30 de ani cu malocluzie cauzată de alinierea incorectă a mandibulei. Tratamentul a constat în aplicarea de aparate dentare, iar problemele de voce s-au redus încă de la începutul tratamentului.



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

P. Varley și A. Caine [85] au investigat terapia vocii complementară tratamentului ortodontic. Din practica stomatologică autorii au constatat că vocea poate fi un instrument de diagnostic al posturii, de prevenire a regresului tratamentului ortodontic și un instrument de dezvoltare a creșterii dentiției. Funcția vocală poate fi afectată de disfuncția oricărei structuri atașate cadrului laringeal: malocluzia dinților, lipsa suportului molarilor, perforația limbii, disfuncția temporo-mandibulară sau a cuplului cranian. Autorii concluzionează că orice tratament ortodontic trebuie să ia în considerare efectul de lungă durată asupra vocii.

G. Hezdecke et al. [86] a investigat articularea vorbirii la pacienți cu proteză implantabilă pe maxilar. Autorii au testat ipoteza că rata de vorbire incorectă variază cu design-ul protezei în cazul a 30 de pacienți cu edentație cărora li s-au implantat proteze mandibulare. S-au realizat două teste: pe pacienți care purtau proteze maxilare fixe și detașabile și pe subiecți cu proteze detașabile cu și fără palat. S-au realizat înregistrări de cuvinte în limba franceză după ce protezele au fost purtate timp de două luni și s-au calculat procentajele corespunzătoare consoanelor ocluzive, fricative și vocalelor percepute corect de către evaluatori. În cazul pacienților cu proteze detașabile s-a obținut un procentaj mai mare de consoane / vocale pronunțate corect în comparație cu cei care purtau proteze fixe. Între diferitele tipuri de tratamente s-au constatat diferențe numai în cazul consoanelor. Între cele două tipuri de proteze detașabile nu s-au găsit diferențe semnificative în ceea ce privește ratele de eroare. Acest studiu arată că pacienții cu proteze detașabile cu sau fără palat prezintă o vorbire mai inteligibilă decât cei cu proteze fixe.

Un studiu mai recent realizat de C. Sinescu et al. [87] pune în evidență o serie de parametri cantitativi care reflectă alterarea vocii cauzată de montarea incorectă a protezelor dentare. Pentru investigare s-au utilizat înregistrări ale consoanelor /s/ și /sh/ provenite de la un pacient cu proteză maxilară superioară fixă, căruia i s-au aplicat cinci tipuri de proteze cu direcții unghiulare de înclinare diferite față de buze ($\theta = 0^\circ, \pm 30^\circ, \pm 60^\circ$). Parametrii au fost extrași cu Transformata Fourier pe termen Scurt (STFT – spectrograma), transformata wavelet și entropia Shannon a distribuției amplitudinii. Pentru calcule numerice autorii au utilizat formele discrete ale acestor parametri definite prin ecuațiile:

Transformata Fourier:

$$X(\tau_k, v_j) = \sum_{k=1}^N x(t_n) e^{-i2\pi v_j t_n} u\Delta t(\tau_k - t_n), \quad \text{Ec. 9}$$

unde $u\Delta t(t)$ este o funcție fereastră (Hamming);

Transformata wavelet:

$$T(\tau_k, v_j) = \sum_{k=1}^N x(t_n) \Psi_0^* \left(\frac{t_n - \tau_k}{v_j} \right) dt, \quad \text{Ec. 10}$$

unde Ψ este o funcție numită funcție wavelet de bază (Paul wavelet).

Parametri de analiză definiți de autori sunt următorii:

- un parametru sumă definit cu formula:

$$S = \sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_j=0}^{v_{\max}} Z(\tau_k, v_j), \quad \text{Ec. 11}$$



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

unde $Z=|X|$ pentru Transformata Fourier pe termen scurt și $Z=|T|$ pentru Transformata wavelet. Acest parametru reprezintă un parametru de normalizare necesar pentru a normaliza spectrul STFT și toate transformatele wavelet.

- o probabilitate de distribuție:

$$\omega(\tau_k, v_j) = \frac{Z(\tau_k, v_j)}{S}, \quad \text{Ec. 12}$$

- valorile medii ale distribuției de-a lungul τ și v :

$$\langle \tau \rangle = \sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_j=0}^{v_{\max}} \tau_k \omega(\tau_k, v_j), \quad \text{Ec. 13}$$

$$\langle v \rangle = \sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_j=0}^{v_{\max}} v_j \omega(\tau_k, v_j), \quad \text{Ec. 14}$$

$$\langle \tau v \rangle = \sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_k=0}^{v_{\max}} \tau_k v_j \omega(\tau_k, v_j), \quad \text{Ec. 15}$$

- dispersiile:

$$D_{\tau} = \left(\sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_j=0}^{v_{\max}} (\tau_k - \langle \tau \rangle)^2 \omega(\tau_k, v_j) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{Ec. 16}$$

$$D_v = \left(\sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_j=0}^{v_{\max}} (v_j - \langle v \rangle)^2 \omega(\tau_k, v_j) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{Ec. 17}$$

$$D_{\tau v} = \left(\sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_j=0}^{v_{\max}} (\tau_k - \langle \tau \rangle)^2 (v_j - \langle v \rangle)^2 \omega(\tau_k, v_j) \right), \quad \text{Ec. 18}$$

$$\Delta_{\tau v} = \left(\sum_{\tau_k=0}^{\tau_{\max}} \sum_{v_j=0}^{v_{\max}} (\tau_k v_j - \langle \tau v \rangle)^2 \omega(\tau_k, v_j) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{Ec. 19}$$

- entropia Shannon a amplitudinii distribuției:

$$H = - \sum_{k=1}^N p_k \ln p_k, \quad \text{Ec. 20}$$

unde p_k este probabilitatea de a găsi amplitudinea A_k , $p_k = h(A_k)/R$, $h(A_k)$ reprezintă histograma distribuției amplitudinilor cu $k = \overline{1:N}$, k este un parametru discret care reprezintă numărul de nivele de amplitudine în care este stabilită histograma, $N = 20$ este numărul de nivele echidistante ale histogramei, iar R este definit prin $R = \sum_{k=1}^N h(A_k)$.



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

Din reprezentarea grafică a celor două transformate în cazul aplicării protezelor fără înclinare și cu înclinare de 30° , a rezultat că ambele transformate sunt mai bine localizate în cazul protezei fără înclinare și mai dispersate în celălalt caz, iar consoana /s/ reflectă mai bine poziția corectă a protezei. Rezultatele au arătat că în cazul consoanei /sh/ parametrul D_{τ_v} corespunzător STFT poate fi utilizat drept parametru cantitativ de evaluarea a corectitudinii montării protezelor dentare deoarece prezintă o variație regulată, cu o valoare extremă de minim la o înclinare a protezei de $\theta = 0^\circ$. În mod similar la consoana /s/, parametrul Δ_{τ_v} a STFT și parametrii D_v și D_{τ_v} ai transformatei wavelet pot fi utilizați ca parametri de evaluare cantitativi întrucât prezintă variație regulată și o valoare minimă la $\theta = 0^\circ$. Atât la consoana /s/ cât și la consoana /sh/, entropia Shannon a distribuției amplitudinii poate fi de asemea utilizat ca un parametru cantitativ deoarece are o valoare locală extremă la $\theta = 0^\circ$.

E. C. Ward et al. [88] a studiat impactul malocluziei și reconstrucției ortognatice chirurgicale asupra funcției de articulare și rezonanță a sunetelor. Trăsăturile articulatorii și rezonanța nazală au fost evaluate înainte și după șase luni de la reconstrucția ortognatică chirurgicală a cinci pacienți cu deformări dentofaciale. Evaluarea perceptuală și fiziologică preoperatorie a arătat că pacienții prezentau o nazalizare a sunetelor (doi prezentau hiponazalitate și unul hipernazalitate) și patologii ale funcției de articulare (patru pacienți prezentau deficiențe articulatorii medii și patru prezentau o reducere a presiunii limbii sau a presiunii interlabiale). După operație nazalitatea s-a redus la trei pacienți, iar precizia articulării și inteligibilitatea s-au îmbunătățit doar la unul singur. S-a constatat o îmbunătățire a presiunii interlabiale la trei pacienți, în timp ce impactul asupra presiunii limbii a variat astfel: s-a îmbunătățit într-un caz, s-a deteriorat în alt caz, iar la ceilalți trei pacienți a rămas neschimbată. Variabilitatea rezultatelor a subliniat importanța evaluării vorbirii și funcției de rezonanță înainte și după reconstrucția ortognatică.

Defectele de articulație cauzate de dentiție anormală au fost investigate și de M. Daisuke și S. Kaoru [89]. Studiul s-a bazat pe un eșantion de 24 de subiecți care au fost împărțiți pe două grupe. Grupa I conține 18 subiecți din care 6 cu câte un dinte lipsă pe maxilarul anterior, 5 cu dantură completă, 5 cu molari lipsă pe mandibulă și 2 cu edentație. Grupa II conține 6 subiecți din care unul are malocluzie de tip „open bite” și 5 au protruzie mandibulară. Evaluarea articulării sunetelor s-a bazat pe 100 de monosilabe din limba japoneză, iar analiza vocală s-a realizat cu ajutorul unui spectrograf de sunet. Scorul de articulare a fost de 71.4-96.0% (medie 89.0%) la primul grup, în timp ce pentru grupul II a fost de 88.4-97.0% (medie 93.0%). Sunetele care au prezentat modificări de articulare au fost alveolarele /d/, /n/ și /t/ care au fost pronunțate asemănător cu bilabialele /b/, /m/, /p/, sunetul sibilant /b/ s-a asemănat cu /r/, iar la sunetele /s/, /ts/, /n/, valorile formantului F2 au crescut, determinând o creștere a diferenței dintre formanții F1 și F2. S-a constatat de asemenea că limba a prezentat mișcări spre în față, compensatorii patologiiilor de dentiție prezente. Autorii au concluzionat că defectele de dentiție nu afectează conversațiile cotidiene.

Efectul aparatelor dentare (Braketilor) asupra articulării vorbirii a fost studiat de B. Haydar el al. [90]. Abilitățile de articulare a sunetelor au fost evaluate în cazul a 15 pacienți la sfârșitul tratamentului ortodontic prin îndepărtarea aparatelor de retenție (retainer) superior și inferior. Evaluarea distorsiunilor de articulare s-a realizat prin înregistrarea de vocale și consoane în contexte CV, VCV, VC, CVC la pacienți fără retainer pe maxilar și mandibulă, cu retainer pe o singură arcadă sau concomitent pe ambele arcade. Testul s-a realizat în prima zi, după 24 de ore și după o săptămână de la sfârșitul tratamentului. S-au



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

observat distorsiuni de articulare statistic semnificative în cazul sunetelor /t/ și /d/, în prima zi la pacienți care purtau retainer numai pe maxilar sau pe ambele arcade. Distorsiuni semnificative s-au observat și la sunetul /k/, în cazul purtării aparatului de contenție pe maxilar și mandibulă concomitent. Aceste distorsiuni, în timpul purtării retainer-elor au scăzut în mod semnificativ sau chiar au dispărut complet în a șaptea zi, demonstrând capacitatea limbii de a se adapta într-o scurtă perioadă de timp.

Analiza gnatosonică a fost introdusă de Watt în anii 1970 [91-93] și reprezintă analiza sunetelor produse în timpul ocluziei printr-o mișcare asemănătoare mișcării din timpul masticăției [94]. Cercetări ulterioare au evidențiat importanța analizei gnatosonice în detectarea ocluziilor imperfecte ale dentiției [95-100]. Metoda dezvoltată de [93] se bazează pe extragerea numărului, duratei și anvelopei contactelor ocluzale din semnalul ocluzal înregistrat. Autorii au concluzionat că forma anvelopei contactelor ocluzale este determinată de numărul de contacte ocluzale și de dinamica porțiunii terminale ale ocluziei, respectiv dinamica alunecării dinților de la primul contact ocluzal până la poziția de echilibru. Un sunet ocluzal normal este caracterizat printr-un singur contact scurt și un singur maxim bine definit. Operațiile efectuate pentru extragerea trăsăturilor prin metode euristice bazate pe investigare vizuală sunt estimarea duratei pulsurilor, a numărului de pulsuri, identificarea fiecărui contact ocluzal independent, determinarea unui maxim absolut și a timpului de crescător al fiecărui contact ocluzal. Această metodă de detecție a contactelor ocluzale imperfecte poate fi un instrument complementar analizei gnatofonice care reprezintă analiza semnalului vocal în vederea determinării relației dintre defectele de pronunție și diverse patologii ale aparatului stomatognat. Termenul de gnatofonie a fost introdus de H. N. Teodorescu în anii 1986-1988 și desemnează un nou domeniu la granița dintre fonetică, acustică și stomatologie. Autorul a dezvoltat un corpus de sunete gnatofonice și gnatosonice, precum și o metodologie de achiziție, preprocesare și analiză a acestor sunete descrise în [101-105].

Corpusul de sunete gnatofonice este alcătuit din cuvinte ce conțin consoane fricative în varianta sonoră respectiv nesonoră, labiodentale (/v/ / /f/), alveolare (/z/ / /s/) și postalveolare (/j/ / /sh/) în contexte consoană-vocală sau vocală-consoană-vocală (vocalele /a/, /e/, /i/, /o/, /u/, /â/). Cuvintele sunt astfel alese încât să se poate realiza o analiză comparativă între consoane pereche în variantă sonoră / nesonoră situate în același context, a căror pronunție poate fi confundată. Studiile în domeniu au arătat că acest tip de consoane în articularea cărora intervin dinții sau alveolele prezintă cel mai des modificări în cazul patologiilor aparatului stomatognat care implică în principal incisivii superiori și inferiori.

H.N. Teodorescu și M. Feraru au realizat o clasificare a sunetelor gnatofonice raportată în [106]. Studiul s-a axat pe utilizarea conceptelor de pseudo-formanți și pseudo-distanțe. Termenul de pseudo-formanți este utilizat pentru descrierea traseelor asemănătoare cu cele ale formanților pe care le detectează utilitarul Praat™ [50] în cazul consoanelor nesonore. Parametrii selectați pentru clasificarea sunetelor gnatofonice cu pronunție similară (s/f, s/ș, ș/j, f/v) sunt prezența/absența pseudo-formanților detectați cu Praat™, valorile pseudo-formanților și energia medie în partea centrală a sunetului. Autorii au definit distanța dintre două pronunții ale aceleiași vocale ca fiind:

$$d(\overline{f1}, \overline{f2}) = \sqrt{\sum_{k=0}^4 (f_{k1} - f_{k2})^2}, \quad \text{Ec. 21}$$

unde $\overline{f_i} = (f_{0i}, f_{1i}, f_{2i}, f_{3i}, f_{4i}), i = 1, 2.$



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

În cazul consoanelor fricative autorii au definit distanța spectrală exprimată în scară logaritmică a frecvențelor pseudoformanților:

$$d(a,b) = \sum_{k=0}^4 d_k = \sum_{k=0}^4 \frac{\ln(F_{ka} - F_{kb})}{\frac{F_{ka} + F_{kb}}{2}}, \quad \text{Ec. 22}$$

unde F_{ka} este formantul k corespunzător sunetului notat cu a .

Rezultatele obținute de către autorii acestui studiu arată că discriminarea între /f/ și /v/ măsurată prin distanța dintre consoane este semnificativ redusă la persoanele în vârstă sau la cele cu deficiențe ale dentiției, în special a celei frontale în comparație cu persoanele cu dentiție normală.

Un alt studiu mai recent realizat de același autor [107] face o trecere în revistă a domeniului analizei semnalului vocal cu aplicații în stomatologie și propune o serie de indici de evaluare a calității vocii. Ariile de interes ale autorului sunt studiul deficiențelor de vorbire cauzate de starea dentiției raportate la mecanismele de articulare și deficiențele de vorbire produse de deficitul mobilității articulației temporo-mandibulare. Relativ la indicii cantitativi de evaluare a modificărilor de pronunție, autorul introduce o serie de distanțe pentru a identifica gradul de similitudine dintre două foneme. Distanța nulă reprezintă identitatea. Cu cât distanța dintre două foneme este mai mică cu atât ele sunt mai similare. În sens contrar ele sunt diferite.

Sunt introduse două distanțe simple, câte una pentru fiecare din cei doi formanți principali F_1 și F_2 , între două vocale notate V_1 și V_2 . Distanțele sunt notate cu d_1 și d_2 și reprezintă gradul relativ de distincție între cele două vocale, la nivelul unui singur formant. Distanța dintre cele două vocale este definită ca raportul dintre valoarea absolută a diferenței dintre valorile medii ale formanților și suma acestor valori. Întrucât urechea umană diferențiază frecvențele pe scară logaritmică autorul a aplicat logaritmul, obținând următoarele ecuații pentru diferențele dintre cele două vocale:

$$d_1(V_1, V_2) = \frac{|\ln(F_{1V1}) - \ln(F_{1V2})|}{\ln(F_{1V1}) + \ln(F_{1V2})}, \quad \text{Ec. 23}$$

$$d_2(V_1, V_2) = \frac{|\ln(F_{2V1}) - \ln(F_{2V2})|}{\ln(F_{2V1}) + \ln(F_{2V2})}, \quad \text{Ec. 24}$$

unde $d_{1,2}(V_1, V_2)$ reprezintă distanțele, iar $F_{1,2V1}, F_{1,2V2}$ reprezintă valorile frecvențelor primului respectiv celui de-al doilea formant. Luând în considerare faptul că urechea umană poate distinge vocalele bazându-se doar pe valorile primilor doi formanți autorul a definit nivelul de distincție între două vocale ca fiind valoarea maximă dintre cele două distanțe definite anterior:

$$d(V_1, V_2) = \max(d_1(V_1, V_2), d_2(V_1, V_2)). \quad \text{Ec. 25}$$

H. N. Teodorescu a introdus apoi un set de definiții mai rafinat luând în considerare și variația temporală a pronunției. Astfel Ec. 10 va deveni:

$$d_1(V_1, V_2) = \frac{1}{N_s} \sum_{k=1}^{N_s} d_1(V_1, V_2)[k] = \frac{1}{N_s} \sum_{k=1}^{N_s} \frac{|\ln(F_{1V1}[k]) - \ln(F_{1V2}[k])|}{\ln(F_{1V1}[k]) + \ln(F_{1V2}[k])}, \quad \text{Ec. 26}$$

unde k este momentul de timp, N_s numărul de eșantioane, $d(V_1, V_2)[k]$ reprezintă distanța instantanee, iar $F_{1V1}[k], F_{1V2}[k]$ reprezintă valorile frecvențelor primului formant la momentul de timp k .

Un alt parametru introdus este gradul de confuzie dintre două vocale, definit ca minimul distanțelor instantanee:

$$C_1 = \min_k (d_1(V_1, V_2)[k]), \quad \text{Ec. 27}$$

$$C_2 = \min_k (d_2(V_1, V_2)[k]), \quad \text{Ec. 28}$$

iar gradul total de confuzie este minimul celor două grade de confuzie definite anterior:

$$C = \min(C_1, C_2) = \min(\min_k (d_1(V_1, V_2)[k]), \min_k (d_2(V_1, V_2)[k])). \quad \text{Ec. 29}$$

Definițiile de mai sus sunt valabile doar pentru fonemele sonore, care prezintă frecvență fundamentală. Autorul propune o măsură care poate fi utilizată pentru descrierea spectrală a oricărui sunet în comparație cu altul, pe baza amplitudinilor componentelor spectrale:

$$d(f, v) = \frac{1}{N_W} \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{N_s} \sum_{i=1}^M \frac{|A_{v,i}[k] - A_{f,i}[k]|}{A_{v,i}[k] + A_{f,i}[k]}, \quad \text{Ec. 30}$$

Unde $A_{v,i}[k], A_{f,i}[k]$ reprezintă valorile amplitudinilor componentelor spectrale i , în spectrul instantaneu al fonemelor /v/ și /f/, așa cum sunt determinate într-o fereastră W , care conține N_W eșantioane, centrată pe eșantion la momentul de timp k al fonemului respectiv.

Un alt indice introdus de autor în vederea evaluării corectitudinii pronunției sunetelor din punct de vedere temporal este descris de următoarea formulă:

$$\zeta_v = \sum_i \frac{t(V_i) - \overline{t(V_i)}}{\overline{t(V_i)}}, \quad \text{Ec. 31}$$

unde $t(V_i)$ este durata fonemului V_i , iar $\overline{t(V_i)}$ este media duratei fonemului V_i aparținând aceluiași cuvânt, aceiași propoziții, la subiecți sănătoși, cu voce normală (fără patologii).

În vederea evaluării calității tratamentului protetic care se reflectă în calitatea vorbirii, autorul propune doi indici caracteristici pronunției și definiți prin parametri perceptuali acustici. Primul index se referă la distanța fonetică medie a unui set de foneme pronunțate de un pacient protezat, raportată la distanța fonetică medie a aceluiași fonem pronunțat de subiecți sănătoși, cu dentiție normală. Al doilea index se referă la variabilitatea pronunției unui fonem. Se poate analiza intravariabilitatea, pentru același vorbitor sau intervariabilitatea între un vorbitor și un grup de vorbitori. Intervariabilitatea arată specificitatea unui vorbitor, respectiv patologia, în cazul în care este comparat cu un grup de subiecți cu dentiție normală, iar intravariabilitatea este determinată prin compararea unor foneme situate în contexte similare, pronunțate de același vorbitor.

Concluzionând, autorul propune un sistem de evaluare a modificărilor de pronunție ce apar în cazul unor patologii ale aparatului stomatognat care este alcătuit din următoarele componente: bază de date de semnal vocal, achiziție semnal, procesare semnal, analiză spectrală, comparație și calcul indici SII, SOI și indice de evaluare a calității globale pentru evaluarea reabilitării protetice.

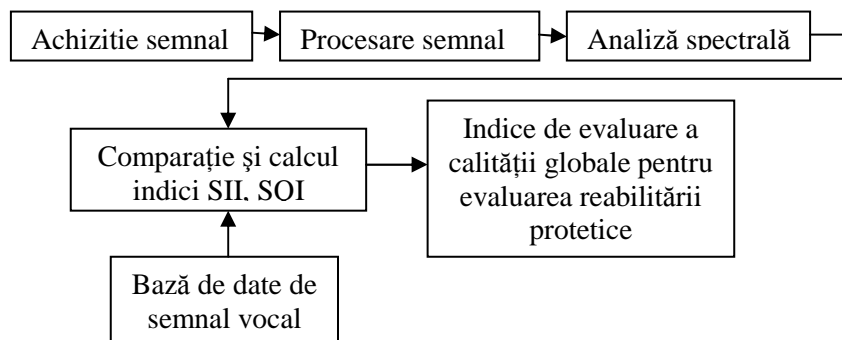


Figura 8. Schema bloc a unui sistem de evaluare a calității reabilitării vorbirii în tratamentul stomatologic [107]



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

5. Concluzii și direcții viitoare

La ora actuală, cel puțin în România, nu există la nivel de cabinet / clinică stomatologică metode sau aparatură de analiză automată a vocii în vederea diagnosticării unei patologii ale aparatului stomatognat sau a evaluării eficienței tratamentului ortodontic. Studiile realizate de-a lungul timpului în acest domeniu, au arătat că analiza acustică (perceptivă) subiectivă a vocii de către terapeuți în vorbire este o tehnică complementară utilizată de stomatologi dar și de medici ORL în vederea identificării modificărilor ce apar în calitatea vocii în cazul diverselor afecțiuni. Totuși, această metodă bazată pe realizarea de înregistrări, ascultarea lor și evaluarea pe baza unor scoruri calitative este o metodă rudimentară și consumatoare de timp, care pe lângă medic necesită și prezența altui specialist. Pentru eliminarea acestor inconveniente ar fi utilă dezvoltarea unui sistem automat precum cel propus de Teodorescu [107], care pe baza unor indici calitativi / cantitativi de evaluare a calității / inteligibilității pronunției sunetelor și a unor reguli decizionale, să detecteze diversele patologii ale vocii, să le clasifice și mai mult decât atât să determine și cauzele acestora care pot fi: o afecțiune respiratorie, laringeală, nazală sau stomatologică.

Având în vedere că pe lângă funcția rezonatoare cavitatea bucală are un rol important în articularea sunetelor prin implicarea dinților, alveolelor, limbii, buzelor, palatului și a velumului, ar fi necesară identificarea unor parametri acustici cantitativi care să fie utili în determinarea defectelor de pronunție cauzate de o articulare încorectă. Aceștia s-ar putea defini în principal pentru consoanele bilabiale, labiodentale, alveolare, postalveolare sau palatale a căror pronunție se modifică în cazul edentației, în special la nivelul incisivilor superiori și anteriori, diverselor tipuri de malocluzie, aplicării de aparate dentare pentru corectarea arcadelor (brakeți) sau aplicării unor proteze cu o geometrie incompatibilă cu formele și dimensiunile cavității bucale ale pacientului.

Primul pas în realizarea acestui obiectiv, după cum a subliniat și Teodorescu [107] constă în dezvoltarea unei baze de date valide din punct de vedere statistic, cu un număr suficient de înregistrări de cuvinte / propoziții care să conțină sunetele cele mai predispuse la modificări de pronunție în cazul patologiilor aparatului stomatognat. Această bază de date ar trebui structurată / organizată astfel încât să permită o utilizare cât mai facilă a înregistrărilor în vederea procesărilor ulterioare. Este importantă pentru început, realizarea de înregistrări pe persoane sănătoase, fără defecte de dentiție și fără alte afecțiuni care ar cauza tulburări de vorbire. Acestea vor fi utilizate drept referință. Sunt necesare de asemenea înregistrări provenind de la persoane cu diverse patologii ale dentiției, grupați pe clase de patologii (de exemplu: malocluzie clasa I, edentație, proaspăt protezați, etc.).

Toate înregistrările trebuie preprocesate după o metodologie deja concepută de Teodorescu și descrisă în [101-105]. Următorul pas îl constituie identificarea unor parametri acustici și temporali care să servească drept indici calitativi de evaluare a calității / inteligibilității pronunției sunetelor. Scopul final este realizarea unui clasificator care pe baza parametrilor identificați la pasul anterior și a unei serii de reguli decizionale, să clasifice automat patologiile aparatului stomatognat.

Baza de date necesară analizei gnatofonice este deja concepută și dezvoltată în [101-105], iar o clasificare a tipurilor consoanei fricative dentolabiale /v/, care ar putea fi utilă în evaluarea calității vorbirii la pacienți cu patologii ale dentiției a fost realizată în [108,109]. Ca direcții de viitor ne propunem dezvoltarea bazei de date, întrucât la ora actuală avem puține cazuri patologice, identificarea relației dintre tipurile de /v/ obținute și diverse patologii de dentiție și urmarea pas cu pas a direcției propuse de Teodorescu în [107] în vederea realizării unui sistem de clasificare automată a patologiilor aparatului stomatognat.



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

Referințe

- [1] P. S. Phillips, S. P. Hirani, R. Epstein, Peak flow and voice pathology, *Journal of Voice*, vol. 23, no.5, pp.521-528, 2008
- [2] A. E. Aronson, *Clinical voice disorders* (3rd ed), New York: Thieme, 1990
- [3] R. S. Melfi, S. J. Garrison, *Communication Disorders*,
<http://emedicine.medscape.com/article/317758-overview>
- [4] G. Necula, *Limba română contemporană – Fonetică (și fonologie)*. Note de curs. Teorie și exerciții, Galați, 2010
- [5] H. N. Teodorescu, L. Buchholtzer, C. Posa, *Comunicarea orală om-mașină*, Ed. Tehnica, 1986
- [6] J. J. Ballenger, *Diseases of the nose, Throat and Ear*, Philadelphia, Lea & Febiger, pp. 275, 1969
- [7] S. A. Xue, R. W. Chi Cheng, L. Manwa, Vocal tract dimensional development of adolescents: An acoustic reflection study, *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, vol. 74, pp. 907–912, 2010
- [8] S. Xue, G. Hao, Changes in the human vocal tract due to aging and the acoustic correlates of speech production: a pilot study, *J. Speech Lang. Hear. Res.*, vol. 46, no. 3, pp. 689, 2003
- [9] http://ro.wikipedia.org/wiki/Alfabetul_Fonetic_International
- [10] K. J. Koubek, A Pedagogical Application of the Vowel Triangle, *Italica* vol. 50, no. 2, pp. 303-305, 1973
- [11] M. Hulea, A. Untu, Dispozitiv electronic de preprocesare în regim paralel a spectrului vocal, Iftene, Teodorescu, Cristea, Tufiș (Eds.), *Resurse lingvistice și instrumente pentru prelucrarea limbii române*, Editura Universității "Al. I. Cuza" Iași, ISSN 1843-911X, pp. 61-70, 2010
- [12] H. N. Teodorescu, *Prelucrarea vorbirii și teorii fuzzy*, curs predat la Facultatea de Informatică, Universitatea „Al. I. Cuza” Iași
- [13] J. Kreiman, B. R. Gerratt, G. B. Kempster, A. Erman, G. S. Berke, Perceptual evaluation of voice quality. Review, tutorial, and a framework for future research, *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 36, pp. 21-40, February 1993.
- [14] B. H. Jacobson, A. Johnson, C. Grywalski, A. Silbergleit, G. Jacobson, M. S. Benninger, The voice handicap index (VHI). Development and validation, *American Journal of Speech-Language Pathology*, vol.6, pp. 66-70, August 1997
- [15] C. A. Rosenan, T. Murry, Voice handicap index in singers, *Journal of Voice*, vol. 14, no. 3, pp. 370-377, September 2000
- [16] M. S. Benninger, G. Gardner, C. Grywalski, Outcomes of botulinum toxin treatment for patients with spasmodic dysphonia, *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* vol. 127, pp. 1083-1085, 2001
- [17] J. M. Wingate, B. H. Ruddy, D. S. Lundy, J. Lehman, R. Casiano, S. P. Collins, G. E. Woodson, C. Sapienza, Voice handicap index results for older patients with adductor spasmodic dysphonia, *J Voice*, vol. 19, no. 1, pp. 124-31, 2005
- [18] K. B. Zur, S. Cotton, L. Kelchner, S. Baker, B. Weinrich, L. Lee, Pediatric voice handicap index (pVHI): A new tool for evaluating pediatric dysphonia, *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, vol. 71, no. 1, pp. 77-82, January 2007
- [19] M. Schuster, J. Lohscheller, U. Hoppe, P. Kummer, U. Eysholdt, F. Rosanowski, Voice handicap of laryngectomees with tracheoesophageal speech, *Folia Phoniatr. Logop.*, vol. 56, no. 1, pp. 62-7, 2004



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

- [20] M. Moerman, J. P. Martens, P. Dejonckere, Application of the voice handicap index in 45 patients with substitution voicing after total laryngectomy, *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, vol. 261, no. 8, pp. 423-428, 2004
- [21] T. Kandogan, A. Sanal, Quality of life, functional outcome, and voice handicap index in partial laryngectomy patients for early glottic cancer, *BMC Ear, Nose and Throat Disorders*, vol.5, pp. 1-7, 2005
- [22] R. Kazi, J. De Cordova, A. Singh, R. Venkitaraman, C.M. Nutting, P. Clarke, P. Rhys-Evans, K. J. Harrington, Voice-related quality of life in laryngectomees: assessment using the VHI and V-RQOL symptom scales, *Journal of Voice*, vol. 21, no. 6, pp. 728-734, November 2007
- [23] K. Maertens, F. I. de Jong, The voice handicap index as a tool for assessment of the biopsychosocial impact of voice problems, *Royal Belgian Society for Ear, Nose, Throat, Head and Neck Surgery, Leuven, BELGIQUE*, vol. 3, no. 2, pp. 61-66, 2007
- [24] T. Nawka, U. Gonnermann, Stimmstörungsindex (SSI), M. (Hrsg.) Gross, Editor, *Aktuelle phoniatisch-pädaudiologische Aspekte*, Median Verlag, pp. 375-379, 2003
- [25] M. Gugatschka, J. Rechenmacher, J. Chibidziura, G. Friedrich, Comparability and conversion of stimmstörungsindex (SSI) and voice handicap index (VHI), *Laryngo-Rhino-Otol*, vol. 86, no. 11, pp. 785-788, 2007
- [26] L. Eskenazi, D. G. Childers, D. M. Hicks, Acoustic correlates of vocal quality, *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 33, pp. 298-306, June 1990.
- [27] E. Yumoto, W. J. Gould, T. Baer, Harmonics-to-noise ratio as an index of the degree of hoarseness, *J Acoust Soc Am.*, vol. 71, no. 6, 1982
- [28] N. Yanagihara, Significance of harmonic changes and noise components in hoarseness, *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 10, pp. 531-541, September 1967.
- [29] J. Kreiman, B. R. Gerratt, B. Gabelman, Jitter, shimmer, and noise in pathological voice quality perception (A), *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 112, no. 5, pp. 2446-2446, November 2002
- [30] D. Michaelis, M. Fröhlich, H. Werner Strube, Selection and combination of acoustic features for the description of pathologic voices, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 103, no. 3, pp. 1628-1639, March 1998
- [31] M. Fröhlich, D. Michaelis, H. W. Strube, E. Kruse, Acoustic voice quality description: Case studies for different regions of the hoarseness diagram, *Advances in Quantitative Laryngoscopy, 2nd 'Round Table'*. Thomas Wittenberg, Patrick Mergell, Monika Tigges and Ulrich Eysholdt (Eds.), Erlangen, pp.143-150, 1997
- [32] M. Fröhlich, D. Michaelis, H. W. Strube, E. Kruse, Acoustic voice analysis by means of the hoarseness diagram, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* vol.43, pp. 706-720, June 2000.
- [33] A. Olthoff, S. Mrugalla, R. Laskawi, M. Fröhlich, I. Stuermer, E. Kruse, P. Ambrosch, W. Steiner, Assessment of irregular voices after total and laser surgical partial laryngectomy, *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.*, vol. 129, pp. 994-999, 2003
- [34] W. Harnisch, S. Brosch, M. Schmidt, R. Hagen, Breathing and voice quality after surgical treatment for bilateral vocal cord paralysis, *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* vol. 134, no.3, pp. 278-284, 2008
- [35] C. Hummel, M. Scharf, A. Schuetzenberger, E. Graessel, F. Rosanowski, Objective voice parameters and self-perceived handicap in dysphonia, *Folia Phoniatr. Logop.*, vol. 62, pp. 303-307, 2010
- [36] ANSI S3.5-1969, American National Standard Methods for the Calculation of the Articulation Index, (American National Standards Institute), New York, 1969
- [37] ANSI S3.5-1997, American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index, (American National Standards Institute), New York, 1997.



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

- [38] L. Magnusson, Predictions the speech recognition performance of elderly individuals with sensorineural hearing impairment: A procedure based on the speech intelligibility index, *Scandinavian Audiology*, vol. 25, pp. 215–222, 1996
- [39] R. D. Kent, Hearing and believing some limits to the auditory-perceptual assessment of speech and voice disorders, *American Journal of Speech-Language Pathology*, vol.5, pp. 7-23, August 1996
- [40] K. S. Rhebergen, N. J. Versfeld, A speech intelligibility index-based approach to predict the speech reception threshold for sentences in fluctuating noise for normal-hearing listeners, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 117, no. 4, pp. 2181–2192, April 2005
- [41] W. A. Munson, H. C. Montgomery, A speech analyzer and synthesizer, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 22, no. 5, pp. 678-678, September 1950
- [42] G. L. Clapper, Speech analyzer for speech recognition system- US Patent 3,395,249, 1968 - Google Patents
- [43] D. C. Lokerson , Speech Analyzer, US Patent 4,039,754, 1977 - Google Patents
- [44] S. A White, Speech analyzer/synthesizer using recursive filters - US Patent 4,038,495, 1977 - Google Patents
- [45] J. J Dubnowski et al., Real-time speech analyzer- US Patent 4,015,088, 1977 - Google Patents
- [46] D.H. Klatt, Software for a cascade/parallel formant synthesizer, *J. Acoust. Soc. Am.*, 67, 971-995, 1980
- [47] D. Fohr, Y. Laprie, Snorri: an interactive tool for speech analysis, *Proc Eurospeech'89*, Paris, Sep. 1989.
- [48] Y. Laprie, Snorri, a software for speech sciences, *ESCA/SOCRATES Workshop on Method & Tool Innovations for Speech Science Education MATISSE*, pp. 89-92, 1999
- [49] Ch. S. Craig, Computerprogramm Goldwave, Version 3, 1997
- [50] K. Sjlinder, J. Beskow, Wavesurfer - an open source speech tool, *Proc of ICSLP*, vol. 4, pp. 464–467, 2000
- [51] P. P. G., Boersma , “Praat, a system for doing phonetics by computer”, *Glott International*, vol. 5, no. 9/10, pp. 341-345, 2002, <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- [52] SFS/WASP Version 1.41 (7.12.2007), Mark Huckvale University College London, Department of Phonetics and Linguistics, <http://www.phon.ucl.ac.uk/resource/sfs/>
- [53] www.asel.udel.edu/speech/cis889/AcPhon.pdf
- [54] www.ialpathens2010.gr/abstracts/PDF/256.12647624822.pdf
- [55] A. M. Sulter, H. P. Wit, H. K. Schutte, D. G. Miller, A structured approach to voice range profile (phonetogram) analysis, *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 37, pp. 1076-1085, 1994
- [56] C. Hamilton, Investigation of the articulatory patterns of young adults with Down syndrome using electropalatography, *Down Syndrome Research and Practice*. Vol. 1, no. 1, pp.15-28, 1993
- [57] E. Keller, Ultrasound measurement of tongue dorsum movements in articulatory speech impairments. In J.H. Ryalls (Ed.), *Phonetic Approaches to Speech Production in Aphasia and Related Disorders*, San Diego, CA: College-Hill Press, pp. 93-112, 1987
- [58] <http://www.speech.cs.cmu.edu/comp.speech/Section1/Labs/kay.html>
- [59] <http://www.drspeech.com>
- [60] I. Smits, P. Ceuppens, M. S. De Bodt, A comparative study of acoustic voice measurements by means of Dr. Speech and Computerized Speech Lab., *J Voice*, vol. 19, no. 2, pp. 187-96, 2005
- [61] D. Austin, L. D. Shriberg, Lifespan reference data for ten measures of articulation competence using the Speech Disorders Classification System (SDCS) (Tech. Rep. No. 3), Phonology Project, Waisman Center, University of Wisconsin–Madison, 1996



UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRUFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

- [62] A. Maier, T. Haderlein, U. Eysholdt, F. Rosanowski, A. Batliner, M. Schuster, E. Noth, PEAKS A system for the automatic evaluation of voice and speech disorders, *Speech Communication*, vol. 51, pp. 425-437, 2009
- [63] R. Rullo, D. DiMaggio, V. M. Festa, N. Mazzarella, Speech assessment in cleft palate patients: A descriptive study, *International Journal of Pediatric Otorhino laryngology*, vol. 73, pp. 641–644, 2009
- [64] A. Maier, C. Hacker, E. Nöth, E. Nkenke, T. Haderlein, F. Rosanowski, M. Schuster, Intelligibility of children with cleft lip and palate: Evaluation by speech recognition techniques, *Proc. International Conf. on Pattern Recognition*, volume 4, pp. 274-277, HongKong, China, 2006.
- [65] M. Schuster, T. Haderlein, E. Noth, J. Lohscheller, U. Eysholdt, F. Rosanowski, Intelligibility of laryngectomees' substitute speech: automatic speech recognition and subjective rating, *Eur Arch Otorhinolaryngol*, vol. 263, pp. 188–193, 2006
- [66] Yu Zhangand, J. J. Jiang, Acoustic analyses of sustained and runningvoices from patients with laryngeal pathologies, *Journal of Voice*, vol.22, no.1, 2008
- [67] K. Mady, R. Sader, P. H. Hoole, A. Zimmermann, H. H. Horch, Speech evaluation and swallowing ability after intra-oral cancer, *Clin Ling Phon*, vol. 17, pp. 411-420, 2003.
- [68] R. C. Dwivedi, R. A. Kazi, N. Agrawal, et al., Evaluation of speech outcomes following treatment of oral and oropharyngeal cancers, *Cancer Treat Rev*. vol. 35, no. 5, pp. 417-24, 2009
- [69] K. S. Heller, J. Levy, J. J. Sciubba, Speech patterns following partial glossectomy for small tumors of the tongue, *Head & Neck*, vol. 13, pp. 340–343, 1991
- [70] R. Linder, A. E. Albers, M. Hess, S. J. Poopl, R. Schonweiler, Artificial neural network-based classification to screen for dysphonia using psychoacoustic scaling of acoustic voice features, *Journal of Voice*, vol.22, no. 2, 2008
- [71] M. C. Franken, L. Boves, H. F. Peters, R. L. Webster, Perceptual rating instrument for speech evaluation of stuttering treatment, *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 38, pp. 280-288, 1995
- [72] A. A. Dibazar, S. Narayanan, T. W. Berger, Feature analysis for automatic detection of pathological speech, *Engineering Medicine and Biology Symposium 02*, vol.1, pp.182–183, 2002
- [73] J. Sanabria, P. G. Ruiz, R. Gutierrez, The effect of levodopa on vocal function in Parkinson's disease, *Clin. Neuropharmacol.*, vol. 24, pp. 99–102, 2001
- [74] <http://www.medic-stomatologi.ro/infodent/malocluzia-dentara>
- [75] J. S. Rathbone, J. C. Snidecor, Appraisal of speech defects In dental anomalies with reference to speech improvement, *The Angle Orthodontist*, vol. 29, no. 1, pp. 54-59, 1959
- [76] A. H. Guay, D. L. Maxwell, R. Beecher, A radiographic study of tongue posture at rest and during the phonation of /s/ in class III malocclusion, *Angle Orthod.*, vol. 48, no. 1, pp. 10-22, 1978
- [77] D. M. Plank, B. Weinberg, V. A. Chalian, Evaluation of speech following prosthetic obturation of surgically acquired maxillary defects, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 45, no. 6, pp. 626-638, 1981
- [78] EA Tobey, J. Lincks, Acoustic analyses of speech changes after maxillectomy and prosthodontic management, *J Prosthet. Dent.*, vol. 62, pp. 449-55, 1989
- [79] T. Laine, M. Jaroma, A. L. Linnasalo, Articulatory disorders in speech related to the position of the incisors, *Eur J.Orthod.*, vol. 7, pp. 260-266, 1985
- [80] T. Laine, Articulatory disorders in speech as related to size of the alveolar arches. *European, J. Orthodontics*, vol. 8, no. 3, pp. 192-197, 1986
- [81] T. Laine, Associations between articulatory disorders in speech and occlusal anomalies. *European J. Orthodontics*, vol. 9, no. 1, pp. 144-150, 1987



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

- [82] T. Laine, Malocclusion traits and articulatory components of speech. *European J. Orthodontics*, vol. 14, no. 4, pp. 302-309, 1992
- [83] N. C. L. Johnson, J. R. Sandy, Tooth position and speech—is there a relationship?, *The Angle Orthodontist*, vol. 69, no. 4, pp. 306-310, August 1999.
- [84] A. Caine, Voice loss in performers: a pilot treatment programme to test the effect on the voice of correcting structural misalignment, *Logopedics, Phoniatrics, and Vocology*, vol. 23 (suppl.1), pp. 32-37, 1998.
- [85] P. Varley, A. Caine, Voice therapy and dentistry, *Dentistry Monthly*, pp.24-29, 1999
- [86] G. Heydecke, D. H. McFarland, J. S. Feine, J. P. Lund, Speech with maxillary implant prostheses: Ratings of articulation, *Journal of Dental Research*, vol. 83, no. 3, pp. 236-240, 2004
- [87] C. Sinescu, G.E. Draganescu, D. Dodenciu, L. Bereteu, M. Negrutiu, M. Romanu, Quantitative parameters which describe speech sound distortions due to inadequate dental mounting. *Physica A* 387, pp. 1205–1217, 2008.
- [88] E. C. Ward, M. McAuliffe, S. K. Holmes, A. Lynham, F. Monsour, Impact of malocclusion and orthognathic reconstruction surgery on resonance and articulatory function: an examination of variability in fi ve cases, *Brit J Oral Maxillofac Surg.*, vol. 40, no. 5, pp.410-7, 2002.
- [89] M. Daisuke și S. Kaoru, Articulation disorders caused by abnormal dentition, *J Osaka Dent Univ*, vol. 40, no.2, pp. 99-111, 2006
- [90] B. Haydar, G. Karabulut, S. Ozkan, A. U. Aksoy, S. Ciger, Effects of retainers on the articulation of speech, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, vol. 110, pp. 535-540, 1996
- [91] D. M. Watt, A gnathosonic study of tooth impact, *Dent. Pract. Dent. Rec.*, vol. 17, no. 9, pp.317-24, 1967
- [92] D. M. Watt, Y. Wakabayashi, Study of a classification of occlusion, *J Oral Rehabil.*, vol. 5, no. 2, pp. 101-10, 1978
- [93] D. M. Watt, P. M. McPhee, Gnathosonic monitoring of occlusion of complete and partial dentures, *J. Oral Rehabil*, vol. 12, no. 2, pp. 107-12, 1985
- [94] H. N. Teodorescu, Occlusal Sound Analysis, IET 3rd, International Conference MEDSIP (Advances in Medical, Signal and Information Processing) 2006, Vol. 2006, pp.1-4, Glasgow, UK, 17-19 iulie, ISBN: 0 86341 658 6, 2006
- [95] V. Burlui, H. N. Teodorescu, C. S. Morărașu, L'analyse en fréquence de la fonction phonétique chez l'édenté total, 7ème Symposium Européen Sur Le Traitement de l'Edéntation Totale, Lyon, France, 1993 (vol. de rezumate al Simpozionului).
- [96] V. Burlui, H. N. Teodorescu, C. S. Morărașu, L'analyse en fréquence de la restauration de la fonction phonétique chez l'édenté total, Symposium Européen Sur Le Traitement de l'Edéntation Totale , Lyon, Franța, 1993
- [97] V. Burlui, H. N. Teodorescu, C. S. Morărașu, La fonction phonatoire chez l'édenté total. Analyse en fréquence. *Les Cahiers de Prothèse (France)*, no. 88, pp. 63-68, 1994
- [98] V. Burlui, H. N. Teodorescu, C. S. Morărașu, Analiza în frecvența gnatoprotetică, Sesiunea jubiliară "30 de ani de învățământ stomatologic ieșean", 1996.
- [99] C. Morărașu, V. Burlui, H. N. Teodorescu, Analiza și prelucrarea automată a zgomotelor ocluzale, *Ziua Facultății de Stomatologie Iași*, 2 februarie, 1998
- [100] C. Morărașu, V. Burlui, H.-N. Teodorescu, Analiza și prelucrarea asistată de computer a zgomotelor ocluzale, *Revista de Medicină Stomatologică*, Vol. II, Nr.3, pp. 48-51, 1998
- [101] H. N. Teodorescu, M. Feraru, Micro-corpus de sunete gnatosonice și gnatofonice, Pistol, Cristea, Tufiș (Eds.), *Resurse lingvistice și instrumente pentru prelucrarea limbii române*, Editura Universității "Al. I. Cuza" Iași, ISBN 978-973-703-297-3, pp. 21-30, 2007



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

[102] H. N. Teodorescu, S. M. Feraru, D. Trandabăț, M. Zbancioc, R. Luca, A. Verbuță, M. Hnatiuc, R. Ganea, O. Voroneanu, L. Pistol, D. Șcheianu, 2005-2007, situl Web Sunetele Limbii Române.

http://www.etc.tuiasi.ro/sibm/romanian_spoken_language/index.html

[103] H. N. Teodorescu, D. Trandabăț, S. M. Feraru, M. Zbancioc, R. Luca, R., A corpus of the sounds in the Romanian spoken language for language-related education, Chapter Six, pp. 73-90. În volumul Carlos Perrián Pascual (Editor), "Revisiting Language Learning Resources", Cambridge Scholars Publishing (CSP), UK, 2007.

[104] H. N. Teodorescu, S. M. Feraru, S.M., A study on Speech with Manifest Emotions, 10th International Conference on Text, Speech and Dialogue, TSD 2007, Pilsen, Czech Republic, September 3-7, 2007, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, vol. 4629, pp. 254-262, 2007

[105] H.N. Teodorescu, A. Untu, Corpus pentru gnatofonie: protocol, metodologie, adnotare", Iftene, Teodorescu, Cristea, Tufiș (Eds.), Resurse lingvistice și instrumente pentru prelucrarea limbii române, Editura Universității "Al. I. Cuza" Iași, ISSN 1843-911X, pp. 51-60, 2010

[106] H.N. Teodorescu, M. Feraru, Classification in gnathophonics - preliminary results, The Second International Symposium on Electrical and Electronics Engineering, ISEEE 2008, 12-13 septembrie 2008, Galați, România, Galați University Press, ISBN 1842-8046, pp. 525-530, 2008

[107] H. N. Teodorescu, Voice analysis in dentistry, Journal of Romanian Medical Dentistry, vol 14, no. 3, pp. 171-186, 2010

[108] A. Untu, H. N. Teodorescu, Pattern analysis of /v/ pronunciations in $_v/V$ contexts, The Eighth IASTED Int. Conf. on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications SPPRA 2011, Innsbruck, Febr. 16-18, 2011

[109] A. Untu, H. N. Teodorescu, Classification of the pronunciations of the /v/ consonant in the context $_v/V$ in the Romanian language, SpeD 2011 - The 6th Conference on Speech Technology and Human – Computer Dialogue, 18-21 Mai, 2011