



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ: ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ: ΛΟΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: «Η Ανάλυση της Φωνής στη Φυσιολογική Γήρανση και τη
Νόσο του Αλτσχάιμερ»

Φοιτήτριες

Βεργοπούλου Άρτεμις (ΑΜ: 1218)

Παπαδοκωσταντάκη Αικατερίνη (ΑΜ: 1296)

Επιβλέπων Καθηγητής
Νάσιος Γρηγόριος,
Καθηγητής, Τμήμα Λογοθεραπείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα, Σεπτέμβριος 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ: ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ: ΛΟΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: «Η Ανάλυση της Φωνής στη Φυσιολογική Γήρανση και τη
Νόσο του Αλτσχάιμερ»

Φοιτήτριες

Βεργοπούλου Άρτεμις (ΑΜ: 1218)

Παπαδοκωσταντάκη Αικατερίνη (ΑΜ: 1296)

Επιβλέπων Καθηγητής
Νάσιος Γρηγόριος,
Καθηγητής, Τμήμα Λογοθεραπείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα, Σεπτέμβριος 2025

Voice analysis in normal aging and in Alzheimer's disease

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Επιτροπή αξιολόγησης

1. Επιβλέπων Καθηγητής

Ονοματεπώνυμο: Γρηγόριος Νάσιος

Τίτλος – Βαθμίδα: Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

2. Μέλος Επιτροπής

Ονοματεπώνυμο: Ναυσικά Ζιάβρα

Τίτλος – Βαθμίδα: Καθηγήτρια, Αναπληρώτρια Κοσμήτωρ της Σχολής Επιστημών
Υγείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

3. Μέλος Επιτροπής

Ονοματεπώνυμο: Βικτωρία Ζακοπούλου

Τίτλος – Βαθμίδα: Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Πνευματικά δικαιώματα

© 2025, Βεργοπούλου Άρτεμις, Παπαδοκωσταντάκη Αικατερίνη

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνουμε υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μας ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Επίθετο, Όνομα

Βεργοπούλου Άρτεμις

Επίθετο, Όνομα

Παπαδοκωσταντάκη Αικατερίνη

Υπογραφή

Βεργοπούλου Άρτεμις

Υπογραφή

Παπαδοκωσταντάκη Αικατερίνη

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μας κύριο Γρηγόριο Νάσιο, για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη που μας πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στις οικογένειές μας, που με την αδιάκοπη ενθάρρυνση, την κατανόηση και την αγάπη τους στάθηκαν δίπλα μας όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μας. Η στήριξή τους αποτέλεσε για μας πηγή δύναμης και έμπνευσης, χωρίς την οποία η ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας θα ήταν αδύνατη.

Τέλος, εκφράζουμε την ευγνωμοσύνη μας σε όλους όσους με τον τρόπο τους μας ενίσχυσαν σε αυτή την προσπάθεια, προσφέροντας γνώσεις, καθοδήγηση ή απλώς ηθική υποστήριξη.

Περίληψη

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση εξετάζει τη χρησιμότητα της ανάλυσης της φωνής στη φυσιολογική γήρανση και τη νόσο του Αλτσχάιμερ με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα του κατά πόσο μπορούν τα χαρακτηριστικά της γλώσσας και της ομιλίας να αποτελέσουν βιοδείκτες πρώιμης ανίχνευσης της γνωστικής έκπτωσης και της νευροπαθολογικής αλλοίωσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να αποτελέσει μία μη επεμβατική, οικονομική και αποτελεσματική τεχνική – εν αντιθέσει με τις υπάρχουσες χρονοβόρες και κοστοβόρες μεθόδους. Η αναζήτηση επιστημονικών δημοσιεύσεων πραγματοποιήθηκε σε βάσεις δεδομένων όπως PubMed, ScienceDirect, Frontiers και Google Scholar, επιλέγοντας μελέτες που εστιάζουν στη χρήση τεχνικών ακουστικής και γλωσσικής ανάλυσης, σε συνδυασμό με μοντέλα μηχανικής και βαθιάς μάθησης, για την ανίχνευση της ΝΑ και της ΗΓΔ. Τα ευρήματα των ερευνών δείχνουν ότι τα γλωσσικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανίχνευση της νόσου απ' ό,τι τα ακουστικά, ενώ ο συνδυασμός τους μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω την ακρίβεια των μοντέλων. Παρά την πρόοδο της τεχνολογίας, περιορισμοί όπως η μειωμένη διαθεσιμότητα μεγάλων και πολυγλωσσικών συνόλων δεδομένων, οι γλωσσικές διαφοροποιήσεις και η δυσκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων παραμένουν εμπόδια για την κλινική εφαρμογή. Ωστόσο, η ανάλυση της φωνής για την ανίχνευση της ΝΑ παραμένει μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος καθώς έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει αλλαγές στα γλωσσικά και ακουστικά χαρακτηριστικά της φωνής, ακόμα και σε προκλινικό στάδιο, ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρει στην κλινική πρακτική ως μία καινοτόμα μέθοδος διότι είναι η οικονομικότερη, αποτελεσματικότερη, μη επεμβατική τεχνική με δυνατότητα εφαρμογής εξ αποστάσεως.

Λέξεις Κλειδιά: Νόσος του Αλτσχάιμερ, Φωνητική ανάλυση, Φυσιολογική γήρανση, Ακουστικά χαρακτηριστικά, Γλωσσικά χαρακτηριστικά, Μηχανική μάθηση, Βαθιά μάθηση

Abstract

This literature review examines the usefulness of voice analysis in normal aging and Alzheimer's disease in order to investigate the possibility of language and speech characteristics serving as biomarkers for the early detection of cognitive decline and neuropathological changes. This method can be a non-invasive, economical, and effective technique—in contrast to existing time-consuming and costly methods. The search for scientific publications was conducted in databases such as PubMed, ScienceDirect, Frontiers, and Google Scholar, selecting studies that focus on the use of acoustic and linguistic analysis techniques, in combination with machine learning and deep learning models, for the detection of AD and MCI. The research findings show that linguistic features are more accurate in detecting the disease than acoustic features, while combining them can further improve the accuracy of the models. Despite advances in technology, limitations such as the reduced availability of large, multilingual datasets, linguistic variations, and the difficulty of interpreting results remain obstacles to clinical application. However, voice analysis for AD detection remains a promising method as it has the potential to detect changes in the linguistic and acoustic characteristics of the voice, even at a preclinical stage, while also contributing to clinical practice as an innovative method because it is the most economical, effective, non-invasive technique with the possibility of remote application.

Key Words: Alzheimer's disease, Voice analysis, Normal aging, Acoustic characteristics, Language characteristics, Machine learning, Deep learning

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	viii
Abstract.....	ix
Κατάλογος Πινάκων	xiii
Κατάλογος Εικόνων	xiv
Συντομογραφίες	xv
Γλωσσάριο.....	xvi
Εισαγωγή.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΓΗΡΑΝΣΗ	19
1.1 Εισαγωγή	19
1.2 Δομικές Αλλαγές στη Φυσιολογική γήρανση.....	19
1.3 Μηχανισμοί Αντιστάθμισης	20
1.4 Επιπτώσεις στις γνωστικές λειτουργίες	20
1.5 Προστατευτικοί Παράγοντες.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Ήπια Γνωστική Εξασθένηση (ΗΓΔ)	22
2.1 Εισαγωγή	22
2.2 Κριτήρια Διάγνωσης και Διαγνωστικά Εργαλεία της ΗΓΔ	22
2.3 Υποτύποι ΗΓΔ	23
2.4 Παράγοντες Κινδύνου και Προστατευτικοί Παράγοντες για την ΗΓΔ	24
2.5 Πορεία και Έκβαση της ΗΓΔ.....	24
2.6 Γλώσσα, Ομιλία και Επικοινωνία στην ΗΓΔ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Νόσος του Αλτσχάιμερ.....	27
3.1 Εισαγωγή	27
3.2 Σταδιοποίηση της ΝΑ: Παρελθόν και Παρόν	27
3.3 Επιπτώσεις της Νόσου του Αλτσχάιμερ στη Γλώσσα και την Επικοινωνία	30
3.4 Συμπτωματολογία της ΝΑ ανά Στάδιο.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Τεχνικές Καταγραφής και Ανάλυσης της Ομιλίας.....	34
4.1 Διαδικασία Ανίχνευσης της Νόσου του Αλτσχάιμερ	34
4.2 Ακουστική Ανάλυση	36
4.2.1 Praat	36
4.2.2 OpenSMILE.....	36
4.2.3 Librosa.....	37
4.2.4 Hidden Markov Model (HMM).....	37
4.3 Χαρακτηριστικά.....	38
4.4 Ακουστικά Χαρακτηριστικά	38
4.4.1 Θεμελιώδης Συχνότητα F0	39
4.4.2 Ενέργεια.....	39

4.4.3 Jitter & Shimmer.....	39
4.4.4 Harmonics – to – noise ratio (HNR).....	39
4.4.5 MFCCs	40
4.4.6 Συχνότητες F1, F2, F3	40
4.4.7 Λεκτική Δυσχέρεια	40
4.4.8 Ακουστικά Embeddings	40
4.4.9 Συναισθηματικά Embeddings	40
4.5 Γλωσσική Ανάλυση	41
4.5.1 ASR.....	41
4.5.2 Τύποι ASR.....	41
4.5.3 Λειτουργική διαδικασία ενός ASR.....	41
4.5.4 Συστήματα ASR.....	42
4.5.4.1 Kaldi	42
4.5.4.2 CMU Sphinx:	42
4.5.4.3 Whisper:	43
4.5.4.4 Google Cloud Speech API:.....	43
4.5.4.5 Mozilla DeepSpeech:	43
4.5.5 Συστήματα Γλωσσικής Ανάλυσης	44
4.5.5.1 Natural Language Toolkit (NLTK):	44
4.5.5.2 KH Coder:.....	44
4.5.5.3 Linguistic Inquiry and Word Count (LIWC):	44
4.6 Γλωσσικά Χαρακτηριστικά	45
4.6.1 Μέρη του λόγου	47
4.6.2 Συντακτική πολυπλοκότητα	47
4.6.3 Γραμματικά στοιχεία.....	47
4.6.4 Λεξιλογική ποικιλία/πλούτος.....	47
4.6.5 Βαθιά embeddings	47
4.6.6 Χαρακτηριστικά αναγνωσιμότητας	48
4.7 Συμπληρωματικά Χαρακτηριστικά.....	48
4.7.1 Μέτα – χαρακτηριστικά.....	48
4.7.2 Χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Μηχανική Μάθηση – Βαθιά Μάθηση	49
5.1 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα	49
5.2 Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα	50
5.3 Τεχνητή Νοημοσύνη – Μηχανική Μάθηση – Βαθιά Μάθηση	50
5.4 Τύποι Νευρωνικών Δικτύων και Χρήσεις.....	51
5.4.1 Convolutional Neural Networks (CNNs)	51

5.4.2 Feedforward Neural Networks (FNNs).....	51
5.4.3 Recurrent Neural Networks (RNNs) & Long Short – Term Memory, Bi-LSTM, GRU, Bi-GRU.....	51
5.4.4 Autoencoders, GANs, Deep Belief Networks (DBNs)	51
5.4.5 Transformers	51
5.4.6 Deep Transfer Learning (DTL).....	51
5.5 Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα και Αναγνώριση Ομιλίας.....	51
5.6 Μοντέλα NN που Χρησιμοποιούνται στην Ανάλυση της Φωνής	52
5.7 Χαρακτηριστικά που Χρησιμοποιούνται στην Ανάλυση της Φωνής για την Ανίχνευση της Νόσου του Αλτσχάιμερ.....	53
5.8 Απόδοση των NN στην Ανίχνευση της ΝΑ μέσω της Ομιλίας	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	55
6.1 Κριτήρια επιλογής.....	55
6.2 Μέθοδοι επιλογής ερευνών.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	57
7.1 Μελέτες με θέμα ανάλυση φωνής και ομιλίας σε ασθενείς με ΝΑ και ΗΓΔ σε σύγκριση με υγιή πληθυσμό που δίνουν αποτελέσματα για περιγραφικά χαρακτηριστικά.	57
7.2 Μελέτες με θέμα ανάλυση φωνής και ομιλίας με σκοπό τη διερεύνηση του ποσοστού ακρίβειας διάκρισης ΝΑ ή/και ΗΓΔ από πληθυσμό ΥΜ.	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο : ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
Βιβλιογραφία.....	76

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1: Ακουστικά Χαρακτηριστικά	38
Πίνακας 4.2: Γλωσσικά Χαρακτηριστικά	45
Πίνακας 7.3: Έρευνες με αποτελέσματα ως προς τα περιγραφικά χαρακτηριστικά της φωνής	62
Πίνακας 7.4: Έρευνες με αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια διάκρισης AD/MCI με HC	67

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1: Νευροπαθολογική εξέλιξη - κατανομή στη γήρανση και στη ΝΑ	29
Εικόνα 7.2: Ακρίβεια διάκρισης AD και MCI από ομάδα HC	61

Συντομογραφίες

ΥΜ = Υγιείς μάρτυρες

ΗΓΔ= Ήπια Γνωστική Διαταραχή

ΝΑ = Νόσος Alzheimer's

αμν-ΗΓΔ= Αμνησιακού τύπου Ήπια Γνωστική Διαταραχή

πτ-ΗΓΔ= Γνωστική έκπτωση σε πολλαπλούς τομείς, χωρίς να επηρεάζεται η καθημερινή λειτουργικότητα.

ΛΓΔ = Λειτουργική Γνωστική Διαταραχή.

ΕΝΥ: εγκεφαλονωτιαίο υγρό

MMSE = Mini Mental State Examination

MoCA = Montreal Cognitive Assessment

ΑΡΟΕ ε4 = Αλιποπρωτεΐνη ε4

ASR: automatic speech recognition / Σύστημα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας

HNR: harmonics – to – noise ratio

SVM: support vector machine

LDA: linear discriminant analysis

KNN: k – nearest neighbor

DT: decision tree

RF: regression forest

CNN: convolution neural network

RNN: recurrent neural network

ΤΝΔ: τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

ΝΔ: νευρωνικά δίκτυα

ΒΝΔ: βαθιά νευρωνικά δίκτυα

ΤΝ: τεχνητή νοημοσύνη

ΜΜ: μηχανική μάθηση

ΒΜ: βαθιά μάθηση

Γλωσσάριο

Jitter (τρεμούλιασμα) = Μέτρηση της μεταβολής της θεμελιώδους συχνότητας (F_0) ανά κύκλο, δηλαδή τη βασική συχνότητα που παράγεται κατά τη δόνηση των φωνητικών πτυχών. Τιμή αντιστρόφως ανάλογη του ελέγχου της δόνησης αυτής.

Shimmer (τρεμόπαιγμα) = Μέτρηση παραγωγής θορύβου και αναπνοής σε συσχέτιση με τη γλωττιδική αντίσταση και τις μαζικές βλάβες στις φωνητικές πτυχές.

Voice Handicap Index-10 (VHI-10) = Εργαλείο αξιολόγησης της αντίληψης που έχουν οι συμμετέχοντες για τη φωνή τους ως προς τη λειτουργία, τη φυσιολογία και τα συναισθήματα.

Κλίμακα Voice-Related Quality of Life (V-RQOL) = Αξιολόγηση της επιρροής της φωνής τους στην ποιότητα ζωής τους.

Εισαγωγή

Η νόσος του Αλτσχάιμερ είναι μία νευροεκφυλιστική νόσος που οδηγεί σε προοδευτική γνωστική εξασθένιση και άνοια (Therriault et al., 2022). Αποτελεί μία από τις πιο συχνές νευρολογικές διαταραχές και είναι μία από τις κύριες αιτίες θανάτου σε άτομα άνω των 70 ετών καθώς προσβάλλει κυρίως άτομα τρίτης ηλικίας (Qi et al., 2023). Μελέτες έχουν δείξει ότι τα νέα περιστατικά που παρουσιάζουν ΝΑ αυξάνονται δραματικά και διπλασιάζονται κάθε 4-5 χρόνια (Qi et al., 2023).

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ταξινόμηση των Ασθενειών η νόσος του Αλτσχάιμερ χαρακτηρίζεται από επιδείνωση της μνήμης και της σκέψης που επηρεάζει σταδιακά την αυτάρκεια στις καθημερινές δραστηριότητες (Klimova et al., 2015). Συγκεκριμένα, επηρεάζει και επιδεινώνει τις γνωστικές και λειτουργικές ικανότητες ενός ατόμου όπως είναι η γλώσσα, η προσοχή, η μνήμη και οι εκτελεστικές λειτουργίες (Qi et al., 2023). Η έγκαιρη αναγνώριση των ελλειμμάτων αυτών μπορεί να καθυστερήσει την εξέλιξη της νόσου και να διατηρήσει τη γνωστική λειτουργία (Qi et al., 2023) παράγοντες καθοριστικοί για την αυτάρκεια και τη λειτουργικότητα στην καθημερινή ζωή.

Μέχρι σήμερα οι μέθοδοι ανίχνευσης της ΝΑ επικεντρώνονται είτε στην ανίχνευση ελλειμμάτων στον γνωστικό τομέα, μέσω νευροψυχολογικών εκτιμήσεων, είτε με την ανίχνευση βιολογικών δεικτών που αλλάζουν με την παρουσία της νόσου, μέσω νευροαπεικονιστικών και άλλων μεθόδων. Όλες αυτές οι μέθοδοι παρόλο που προσφέρουν ακριβείς διαγνώσεις, είναι χρονοβόρες, κοστοβόρες, επεμβατικές και απαιτείται ειδικός για την ερμηνεία τους (Qi et al., 2023).

Για αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη μεθόδων για την ανίχνευση της ΝΑ μέσω της ομιλίας (Qi, 2023). Οι τεχνολογίες ανάλυσης της ομιλίας έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μη επεμβατικά, αποτελεσματικά, απλά και φθηνά εργαλεία για την αυτόματη ανίχνευση της ΝΑ (Qi, 2023) τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν ακόμα και το στάδιο της νόσου με βάση τα ευρήματα (Ding et al., 2024).

Πλήθος ερευνών έχει καταδείξει ότι η ομιλία επηρεάζεται άμεσα από τη γνωστική κατάσταση του ατόμου, γεγονός που την καθιστά πολύτιμο δείκτη για την ανίχνευση νευροεκφυλιστικών διαταραχών, όπως η Νόσος του Αλτσχάιμερ. Τα γλωσσικά και ακουστικά χαρακτηριστικά των ατόμων με ΝΑ παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με αυτά των υγιών συνομηλίκων, οι οποίες είναι ανιχνεύσιμες ακόμα και από τα αρχικά ή προκλινικά στάδια της νόσου. Ενδεικτικά χαρακτηριστικά είναι ο μειωμένος ρυθμός άρθρωσης, οι συχνές και παρατεταμένες παύσεις, οι δισταγμοί, τα γραμματικά λάθη, η τραχύτητα και η αλλοίωση της φωνής. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να εξαχθούν μέσω ακουστικής και γλωσσικής ανάλυσης και να αξιοποιηθούν στη συνέχεια από αλγορίθμους μηχανικής και βαθιάς μάθησης για τη διάγνωση της νόσου (Qi et al., 2023).

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση διερευνά το κατά πόσο τα χαρακτηριστικά της φωνής και της γλώσσας μπορούν να λειτουργήσουν ως βιοδείκτες για την πρόωπη ανίχνευση της Νόσου του Αλτσχάιμερ. Το βασικό ερώτημα που τίθεται είναι αν η ανάλυση αυτών των χαρακτηριστικών μπορεί να εντοπίσει παθολογικές αλλαγές ήδη από τα προκλινικά στάδια της νόσου.

Η μελέτη βασίστηκε στην βιβλιογραφική ανασκόπηση επιστημονικών δημοσιεύσεων όπου αναζητήθηκαν σε έγκριτες βάσεις δεδομένων όπως το PubMed, ResearchGate, Frontiers, ScienceDirect, PLOS, Springer Open, Google Scholar, απ' όπου επιλέχθηκαν τα άρθρα που μελετούν την ικανότητα ανίχνευσης ΝΑ ή/και ΗΓΔ μέσω τεχνολογιών ανάλυσης φωνής και ομιλίας. Η εργασία οργανώνεται σε εννέα κύρια κεφάλαια. Τα τρία πρώτα κεφάλαια περιλαμβάνουν πληροφορίες που αφορούν τη φυσιολογική γήρανση, την ήπια γνωστική εξασθένηση και τη νόσο του Αλτσχάιμερ αντίστοιχα. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται η διαδικασία ανίχνευσης της ΝΑ, τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό καθώς επίσης και τα εργαλεία – λογισμικά που είναι απαραίτητα για την εξαγωγή και ερμηνεία των χαρακτηριστικών. Στο πέμπτο κεφάλαιο συζητείται η συμβολή των νευρωνικών δικτύων μέσω της βαθιάς μάθησης και της μηχανικής μάθησης στην ανίχνευση της ΝΑ μέσω της ομιλίας. Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και τα αποτελέσματα ενώ τα δύο τελευταία τη συζήτηση και τα συμπεράσματα της μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΓΗΡΑΝΣΗ

1.1 Εισαγωγή

Η φυσιολογική γήρανση ορίζεται ως οι αλλαγές που συμβαίνουν στη γνωστική λειτουργία με την πάροδο του χρόνου και που δεν σχετίζονται με νευρολογικές ασθένειες, όπως η άνοια, και χωρίς την απώλεια νευρώνων (Dumas, 2015). Με την εξέλιξη της ιατρικής και την αύξηση του προσδόκιμου ζωής, γίνονται όλο και πιο εμφανείς οι επιπτώσεις της γήρανσης στην υγεία του ανθρώπου τόσο στην κινητικότητα όσο και στη γνωστική λειτουργία (Ska & Joannette, 2006). Έρευνες έχουν δείξει ότι οι ηλικιωμένοι παρουσιάζουν μειωμένες επιδόσεις σε τομείς όπως η προσοχή, η εργαζόμενη μνήμη και η επεισοδιακή μνήμη σε σύγκριση με τους νεότερους ενήλικες, ενώ αποδίδουν καλύτερα σε εργασίες που απαιτούν γενική γνώση και εμπειρία (Dumas, 2015). Η σοβαρότητα παρουσιάζει ετερογένεια, ωστόσο, στα πλαίσια της υγιούς γήρανσης, η έκπτωση σπάνια θα διαταράξει την καθημερινή λειτουργικότητα (Ska & Joannette, 2006).

1.2 Δομικές Αλλαγές στη Φυσιολογική γήρανση

Οι οργανικές αλλαγές στον εγκέφαλο, καθώς και η γνωστική έκπτωση κατά την υγιή γήρανση, είναι φυσιολογικές και αναμενόμενες (Harada et al., 2013). Νευροαπεικονιστικές μελέτες υποδεικνύουν δομική και λειτουργική αλλαγή στον μηχανισμό του εγκεφάλου στον πληθυσμό προχωρημένης ηλικίας (Ishii et al., 2017).

Συγκεκριμένα παρατηρείται πως ο όγκος του εγκεφάλου και της φαιάς ουσίας μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας (Nyberg et al., 2010; Fjell et al., 2013b). Η φαιά ουσία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μείωση στις πρόσθιες περιοχές του εγκεφάλου και ακολουθούν οι μεσαίες κροταφικές περιοχές (Tamnes et al., 2013). Η λευκή ουσία αρχίζει και μειώνεται στα 50 έτη, με κύρια ελάττωση να παρουσιάζουν οι μετωπικές περιοχές και στη συνέχεια οι κροταφικές (Bartzokis et al., 2001; Raz et al., 2005) και οι παρεγκεφαλιδικές περιοχές (Resnick et al., 2003). Ο όγκος του εγκεφαλονωτιαίου υγρού (ENY) αυξάνεται επίσης με τη γήρανση, ενώ μελέτες διατομής δείχνουν ότι οι ηλικιωμένοι ενήλικες έχουν μεγαλύτερο όγκο ENY σε σύγκριση με τους νέους ενήλικες (DeCarli et al., 2001; Fjell et al., 2013b). Οι μεταβολές τους είναι ικανές

να αλλάξουν το μέγεθος του εγκεφάλου. Ταυτόχρονα, για την ίδια λειτουργία εμφανίζεται διαφορετική νευρωνική ενεργοποίηση σε έναν γηράσκοντα εγκέφαλο σε σχέση με έναν διαφορετικής ηλικιακής ομάδας (Reuter-Lorenz & Cappel, 2008) και συγκεκριμένα έχει παρατηρηθεί ότι οι ηλικιωμένοι ενεργοποιούν περισσότερο τις μετωπιαίες περιοχές του φλοιού, ενώ οι νεότεροι ενεργοποιούν περισσότερο οπίσθιες περιοχές του εγκεφάλου (Dumas, 2015).

1.3 Μηχανισμοί Αντιστάθμισης

Παρότι η γήρανση συνοδεύεται από νευροανατομικές και λειτουργικές εκπτώσεις, ο εγκέφαλος έχει την ικανότητα να χρησιμοποιεί και να ενεργοποιεί επιπλέον ή εναλλακτικές περιοχές με σκοπό να διατηρήσει τη λειτουργικότητα σε καταστάσεις που απαιτούν γνωστική προσπάθεια (Reuter-Lorenz & Park, 2014). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το HAROLD (Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults) μοντέλο (Cabeza, 2002), το οποίο περιγράφει τη μείωση της πλευρικής εξειδίκευσης (lateralization) στον προμετωπιαίο φλοιό των ηλικιωμένων. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι νεότεροι ενεργοποιούν κυρίως το ένα ημισφαίριο σε λεκτικά ή χωρικά έργα, οι ηλικιωμένοι ενεργοποιούν και τα δύο, ως αντισταθμιστικό μηχανισμό (Cabeza, 2002).

Ένα άλλο μοντέλο αντιστάθμισης, το PASA (Posterior–Anterior Shift in Aging) (Davis, 2008), δείχνει ότι με την ηλικία, η νευρωνική δραστηριότητα μεταφέρεται από τις οπίσθιες προς τις πρόσθιες περιοχές του εγκεφάλου, κυρίως σε εργασίες που απαιτούν την προσοχή και τη μνήμη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως η λειτουργικότητα και η αποτελεσματικότητα των στρατηγικών αυτών παρουσιάζουν ετερογένεια στον πληθυσμό.

1.4 Επιπτώσεις στις γνωστικές λειτουργίες

Παρά την αντισταθμιστική δράση, οι έρευνες για τη φυσιολογική γήρανση δείχνουν ότι οι ηλικιωμένοι έχουν χαμηλότερη επίδοση σε εργασίες που απαιτούν μνήμη, προσοχή, οπτικοχωρικές ικανότητες, γλώσσα ή εκτελεστικές λειτουργίες σε σύγκριση με νεότερους ενήλικες (Van der Linden & Pariente, 1994). Τα ελλείματα στη μνήμη αφορούν κυρίως την επεισοδιακή μνήμη (Tulving, 1972; Craik, 1986) και τη μνήμη εργασίας (Hultsch et al., 1992; Craik, 1986) και όχι τόσο τη μακροπρόθεσμη και τη σημασιολογική μνήμη (Balota, 1988). Επιπροσθέτως, επηρεάζονται αρνητικά η προσοχή (Ska & Joannette, 2006) και η ταχύτητα επεξεργασίας (Van der Linden & Pariente, 1994). Αυτές οι γνωστικές αλλαγές έχουν επιπτώσεις

στην οργάνωση, στην ποιότητα ζωής και στην ασφάλεια των ηλικιωμένων (Studer & Frei, 2004).

1.5 Προστατευτικοί Παράγοντες

Η έκταση της γνωστικής έκπτωσης κατά τη γήρανση δεν είναι προκαθορισμένη (Stern, 2009). Επηρεάζεται σημαντικά από παράγοντες που ενισχύουν τη γνωστική εφεδρεία (cognitive reserve), δηλαδή τη δυνατότητα του εγκεφάλου να αντέχει τη φθορά χωρίς να εμφανίζει άμεσα έκπτωση. Παράγοντες που συνδέονται με αυξημένη ή μειωμένη εφεδρεία περιλαμβάνουν:

- το μορφωτικό επίπεδο,
- το λεξιλογικό και γνωστικό υπόβαθρο,
- το κοινωνικό δίκτυο και,
- τη γνωστική και σωματική δραστηριότητα (Stern, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Ήπια Γνωστική Εξασθένηση (ΗΓΔ)

2.1 Εισαγωγή

Η ήπια γνωστική εξασθένηση (ΗΓΔ) είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος όρος που περιγράφει ένα ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στη φυσιολογική γνωστική λειτουργία και την άνοια (Roberts & Knopman, 2013). Ουσιαστικά η ΗΓΔ αφορά ένα μεταβατικό στάδιο μεταξύ της φυσιολογικής γήρανσης και της άνοιας (Petersen, 2008). Η ΗΓΔ δεν αποτελεί μία ενιαία νοσολογική οντότητα αλλά περιλαμβάνει περιπτώσεις με διαφορετικές παθολογίες όπως Αλτσχάιμερ, αγγειακές αλλοιώσεις, φλεγμονώδεις ή μεταβολικές διεργασίες, κ.α. καθώς επίσης και συνδυασμένες παθολογίες. Αυτό σημαίνει πως διαφορετικά άτομα με παρόμοια κλινική εικόνα ΗΓΔ μπορεί να έχουν διαφορετική βιολογική βάση (Stephan et al., 2012).

2.2 Κριτήρια Διάγνωσης και Διαγνωστικά Εργαλεία της ΗΓΔ

Η διάγνωση της Ήπιας Γνωστικής Διαταραχής (ΗΓΔ) βασίζεται σε έναν πολυεπίπεδο αλγόριθμο που περιλαμβάνει την αξιολόγηση του γνωστικού παραπόνου, της αντικειμενικής γνωστικής απόδοσης, της λειτουργικής αυτονομίας και της υποκείμενης αιτιολογίας. Η διαδικασία ξεκινά είτε από την αναφορά του ίδιου του ασθενούς είτε από παρατηρήσεις τρίτων σχετικά με γνωστική έκπτωση. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται νευροψυχολογική αξιολόγηση με τυποποιημένα τεστ, όπου εντοπίζεται απόδοση τουλάχιστον 1.5 τυπική απόκλιση κάτω από τον μέσο όρο σε έναν ή περισσότερους γνωστικούς τομείς, όπως η μνήμη, η εκτελεστική λειτουργία και προσοχή, η γλώσσα ή οι οπτικοχωρικές δεξιότητες. Ανάλογα με τον αριθμό και το είδος των περιοχών που επηρεάζονται, καθορίζεται και ο υπότυπος της διαταραχής. Παρόλο που εντοπίζεται γνωστική δυσλειτουργία, οι λειτουργικές δραστηριότητες του ατόμου παραμένουν ουσιαστικά φυσιολογικές, χωρίς σημαντική έκπτωση της αυτονομίας. Τέλος, βασική προϋπόθεση για τη διάγνωση της ΗΓΔ είναι ο αποκλεισμός της παρουσίας άνοιας (Roberts & Knopman, 2013; Petersen., 2008). Η διαγνωστική διαδικασία υποστηρίζεται από τη χρήση εργαλείων όπως τα σύντομα γνωστικά τεστ MoCA και MMSE, ενώ σε επιλεγμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται νευροαπεικονιστικές μέθοδοι όπως η μαγνητική τομογραφία (MRI) και η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PETscan). Επιπλέον, βιοδείκτες όπως το αμυλοειδές-β (Aβ) και η πρωτεΐνη ταυ (p-tau) συμβάλλουν στην ανίχνευση υποκείμενης

νευροεκφυλιστικής παθολογίας και στην εκτίμηση του κινδύνου εξέλιξης της νόσου (Dunne et al., 2021).

2.3 Υποτύποι ΗΓΔ

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί υποτύποι της ΗΓΔ: 1) ο αμνησιακός με μονομερή γνωστική έκπτωση, 2) ο αμνησιακός με πολλαπλή γνωστική έκπτωση, 3) ο μη αμνησιακός τύπος με μονομερή γνωστική έκπτωση και 4) ο μη αμνησιακός με πολλαπλή γνωστική έκπτωση.

Ο αμνησιακός τύπος με μονομερή γνωστική έκπτωση χαρακτηρίζεται από έκπτωση αποκλειστικά στη μνήμη ενώ οι υπόλοιπες γνωστικές λειτουργίες όπως η γλώσσα ή η προσοχή παραμένουν φυσιολογικές. Οι ασθενείς με ΗΓΔ τέτοιου τύπου διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο εξέλιξης της ΗΓΔ σε νόσο του Αλτσχάιμερ καθώς η έκπτωση της μνήμης αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της ΝΑ.

Ο αμνησιακός τύπος με πολλαπλή γνωστική έκπτωση χαρακτηρίζεται από έκπτωση στη μνήμη και σε τουλάχιστον έναν ακόμα γνωστικό τομέα όπως η γλώσσα, η εκτελεστική λειτουργία ή οι οπτικοχωρικές ικανότητες. Οι ασθενείς με αυτού του τύπου ΗΓΔ μπορεί να έχουν πιο προχωρημένη νευροεκφυλιστική διαδικασία σε σχέση με τους ασθενείς με αμνησιακού τύπου ΗΓΔ με μονομερή γνωστική έκπτωση. Σε περίπτωση εξέλιξης της ΗΓΔ αυτού του τύπου σε άνοια θα είναι άνοια τύπου Αλτσχάιμερ.

Στον μη αμνησιακό τύπο με μονομερή γνωστική έκπτωση δεν παρατηρείται έκπτωση στη μνήμη αλλά μόνο σε έναν άλλο γνωστικό τομέα όπως είναι η γλώσσα ή η εκτελεστική λειτουργία. Συνήθως δεν εξελίσσεται σε άνοια τύπου Αλτσχάιμερ αλλά σε άλλες μορφές άνοιας όπως είναι η άνοια με σωμάτια Lewy, η αγγειακή άνοια και η μετωποκροταφική άνοια.

Στον μη αμνησιακό τύπο με πολλαπλή γνωστική έκπτωση παρατηρείται έκπτωση σε δύο ή περισσότερους γνωστικούς τομείς που δεν σχετίζονται με τη μνήμη. Η μνημονική ικανότητα παραμένει διατηρημένη αλλά υπάρχουν διαταραχές σε τομείς όπως η γλώσσα ή η προσοχή. Μπορεί να εξελιχθεί σε παθολογία αγγειακού ή νευροεκφυλιστικού τύπου που δεν σχετίζεται με την άνοια τύπου Αλτσχάιμερ.

Εν κατακλείδι, η ΗΓΔ αμνησιακού τύπου είτε με μονομερή είτε με πολλαπλή γνωστική έκπτωση έχει αυξημένο κίνδυνο εξέλιξης σε νόσο του Αλτσχάιμερ ενώ η ΗΓΔ μια αμνησιακού τύπου είτε με μονομερή είτε με πολλαπλή γνωστική έκπτωση έχει αυξημένες πιθανότητες εξέλιξης σε άλλες μορφές άνοιας όπως είναι η μετωποκροταφική ή η αγγειακή παρά σε άνοια τύπου Αλτσχάιμερ (Petersen, 2008).

2.4 Παράγοντες Κινδύνου και Προστατευτικοί Παράγοντες για την ΗΓΔ

Σύμφωνα με το άρθρο των Roberts και Knopman, υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι αυξάνουν ή μειώνουν την πιθανότητα εμφάνισης της ΗΓΔ. Σε αυτούς περιλαμβάνονται μη τροποποιήσιμοι παράγοντες κινδύνου όπως η ηλικία, το φύλο και η παρουσία του γονιδίου APOE ε4. Τους τροποποιήσιμους παράγοντες κινδύνου αποτελούν το χαμηλό μορφωτικό επίπεδο, οι αγγειακές και καρδιαγγειακές νόσοι, οι συστηματικές φλεγμονές και οι νευροψυχιατρικές καταστάσεις. Εκτός από τους παράγοντες κινδύνου υπάρχουν και οι προστατευτικοί παράγοντες έναντι της εμφάνισης της ΗΓΔ. Σε αυτούς περιλαμβάνονται η ανώτερη εκπαίδευση, η σωματική άσκηση, η μεσογειακή διατροφή και ο νοητικά και κοινωνικά ενεργός τρόπος ζωής. Η ανίχνευση αυτών των παραγόντων συμβάλλει σημαντικά στην πρόληψη και τον έγκαιρο εντοπισμό ατόμων που βρίσκονται σε κίνδυνο εμφάνισης της ΗΓΔ. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το εύρημα της παρούσας μελέτης που αναφέρει ότι τα άτομα με υψηλό μορφωτικό επίπεδο έχουν λιγότερες πιθανότητες αναστροφής της ΗΓΔ σε φυσιολογική γήρανση επειδή τα συμπτώματα εμφανίζονται καθυστερημένα λόγω του υψηλού γνωστικού αποθέματος και άρα όταν εκδηλωθούν υπάρχει ήδη σημαντική παθολογία (Roberts & Knopman, 2013).

2.5 Πορεία και Έκβαση της ΗΓΔ

Η ΗΓΔ παρουσιάζει σημαντική ετερογένεια ως προς την πορεία της. Σε ένα ποσοστό των ασθενών περίπου 10% με 15% η ΗΓΔ προοδευτικά θα εξελιχθεί σε άνοια κυρίως τύπου Αλτσχάιμερ, ιδιαίτερα σε ασθενείς με ΗΓΔ αμνησιακού τύπου. Κάποιοι ασθενείς παραμένουν σταθεροί χωρίς επιδείνωση ενώ περίπου ένα στους πέντε ενδέχεται να επανέλθει σε φυσιολογική γνωστική λειτουργία. Παρόλα αυτά, ακόμα και στην περίπτωση επαναφοράς ο κίνδυνος υποτροπής στο μέλλον παραμένει αυξημένος (Fleming & Harris, 2008).

2.6 Γλώσσα, Ομιλία και Επικοινωνία στην ΗΓΔ

Η κοινωνική επικοινωνία αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη ζωή των ατόμων με ΗΓΔ, καθώς συνδέεται με την ικανότητά τους να εκτελούν σύνθετες δραστηριότητες της καθημερινής ζωής. Σύμφωνα με τη μελέτη των Sobral et al. (2018), τέσσερις κοινωνικές δεξιότητες σχετίζονται στατιστικά σημαντικά με την αυτονομία των ατόμων με ΗΓΔ, η κατονομασία μελών της οικογένειας με το όνομά τους, η κατανόηση συζητήσεων σε θορυβώδες περιβάλλον, η αναζήτηση πληροφοριών για πρόσωπα ή γεγονότα καθώς επίσης και η κατανόηση περιεχομένου από την τηλεόραση ή το ραδιόφωνο. (Sobral et al., 2018)

Εκτός από την κοινωνική επικοινωνία τα άτομα με ΗΓΔ εμφανίζουν ελλείμματα τόσο στην εκφραστική όσο και στην προσληπτική επικοινωνία. Στον εκφραστικό τομέα παρατηρούνται δυσκολίες στη λεκτική ευχέρεια, στη σημασιολογική μνήμη και στον αφηγηματικό λόγο. Το έλλειμμα στη φωνολογική και σημασιολογική ευχέρεια αποδίδεται στη μειωμένη ικανότητα παραγωγής υποκατηγοριών και λέξεων ανά κατηγορία. Επιπλέον, εντοπίζονται δυσκολίες στην ανάκληση λέξεων και στην πρόσβαση σε σημασιολογική γνώση. Ο αφηγηματικός λόγος είναι περιορισμένος και χαρακτηρίζεται από περιττές ή εκτός θέματος πληροφορίες. Στην προσληπτική επικοινωνία τα ελλείμματα αφορούν την κατανόηση προτάσεων και την επεξεργασία του αφηγηματικού λόγου. Οι δυσκολίες εστιάζονται στην αναγνώριση και ανάκληση του κύριου νοήματος και των λεπτομερειών των αφηγήσεων. Αντίστοιχες δυσχέρειες παρατηρούνται και στην κατανόηση και ανάκληση του γραπτού λόγου (Johnson et al., 2014).

Επιπλέον, σε γλωσσικές δοκιμασίες όπως η ονομασία αντικειμένων, τα άτομα με ΗΓΔ συχνά δεν παρουσιάζουν σημαντική έκπτωση, γεγονός που διαφοροποιεί το προφίλ τους από εκείνο της ήπιας άνοιας. Παράλληλα, η σημασιολογική ευχέρεια αποδεικνύεται πιο ευάλωτη σε σύγκριση με τη φωνολογική, γεγονός που συνδέεται με πρώιμες διαταραχές στη σημασιολογική μνήμη. Η αφηγηματική παραγωγή, αν και διατηρείται σε βασικό επίπεδο, παρουσιάζει ποιοτικές αποκλίσεις, όπως περιορισμένη συνοχή και μειωμένη πληροφοριακή πυκνότητα (Tsantali & Papageorgiou., 2013).

Σύμφωνα με τη μελέτη των Themistocleous et al. (2020), οι ασθενείς με ΗΓΔ παρουσιάζουν μετρήσιμες διαφορές στα ακουστικά χαρακτηριστικά της φωνής και στη ροή της ομιλίας σε

σχέση με τους υγιείς ηλικιωμένους. Καταγράφηκαν διαφορές τόσο στην ποιότητα της φωνής των ατόμων με ΗΓΔ όσο και στη φωνητική ευχέρεια. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε αυξημένη αστάθεια στην ένταση της φωνής, αναπνευστότητα και μειωμένος δείκτης φωνητικής έντασης γεγονός που υποδηλώνει λιγότερη ενέργεια στις υψηλές συχνότητες. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της ροής του λόγου, τα άτομα με ΗΓΔ παρουσίασαν βραδύτερο ρυθμό άρθρωσης, μεγαλύτερες διάρκειες συλλαβών και παύσεων καθώς και γενικότερη ασυνέπεια στο λόγο (Themistocleous et al., 2020).

Η συνδεδεμένη ομιλία, δηλαδή η αυθόρμητη παραγωγή λόγου με αφήγηση ή περιγραφή, αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την ανίχνευση πρώιμων γλωσσικών δυσκολιών σε άτομα με ΗΓΔ. Σύμφωνα με τη συστηματική ανασκόπηση των Mueller et al. (2018), τα άτομα με ΗΓΔ παρουσιάζουν λεπτές, αλλά μετρήσιμες αποκλίσεις σε σημασιολογικές, πραγματολογικές και αφηγηματικές παραμέτρους λόγου. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφεται μειωμένη πληροφοριακή πυκνότητα, περιορισμένη χρήση εξειδικευμένου λεξιλογίου και συχνότερη χρήση αντωνυμιών ή γενικών όρων. Επίσης, παρατηρείται μειωμένη αφηγηματική συνοχή και πληρότητα, καθώς και τάση προς συντομότερες και λιγότερο σύνθετες προτάσεις, παρόλο που η βασική συντακτική δομή διατηρείται σε μεγάλο βαθμό ανέπαφη. Η ροή του λόγου επηρεάζεται ήπια, με αυξημένες παύσεις και δισταγμούς (Mueller et al., 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Νόσος του Αλτσχάιμερ

3.1 Εισαγωγή

Η νόσος του Αλτσχάιμερ είναι μία νευροεκφυλιστική νόσος που οδηγεί σε προοδευτική γνωστική εξασθένηση και άνοια (Therriault et al., 2022). Σύμφωνα με τη Διεθνή Ταξινόμηση των Ασθενειών η νόσος του Αλτσχάιμερ χαρακτηρίζεται από επιδείνωση της μνήμης και της σκέψης που επηρεάζει σταδιακά την αυτάρκεια στις καθημερινές δραστηριότητες. Η μνήμη επηρεάζεται σε όλα τα μέρη της και η διαταραχή της συνδέεται με διαταραχές της συμπεριφοράς και της σκέψης (Klimova et al., 2015).

3.2 Σταδιοποίηση της ΝΑ: Παρελθόν και Παρόν

Η σταδιοποίηση της Νόσου Αλτσχάιμερ (ΝΑ) υπήρξε και εξακολουθεί να αποτελεί βασικό εργαλείο στην κατανόηση της πορείας της νόσου, στην πρόγνωση, αλλά και στην αξιολόγηση θεραπευτικών παρεμβάσεων. Η εξέλιξη των μεθόδων σταδιοποίησης αντικατοπτρίζει την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης και την ανάγκη για μεγαλύτερη ακρίβεια και πρόωπη ανίχνευση της νόσου (Therriault et al., 2022).

Στο παρελθόν, η κλινική σταδιοποίηση βασιζόταν κυρίως στην αξιολόγηση της γνωστικής και λειτουργικής έκπτωσης του ασθενούς. Ανάλογα με τη σοβαρότητα των συμπτωμάτων, η άνοια ταξινομούταν σε ήπια, μέτρια ή σοβαρή. Ιδιαίτερη έμφαση δινόταν στη μνήμη, καθώς τα πρώιμα στάδια της νόσου χαρακτηρίζονταν κυρίως από διαταραχές σε αυτόν τον τομέα. Παράλληλα, η μεταθανάτια σταδιοποίηση γινόταν μέσω ανατομικής και ιστοπαθολογικής εξέτασης του εγκεφάλου, με σκοπό την ανίχνευση τριών βασικών παθολογικών στοιχείων: (1) πλακών αμυλοειδούς-β, (2) νευροϊνδιακών δεματίων και (3) νευριτικών πλακών (Therriault et al., 2022).

Ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα κλινικής σταδιοποίησης είναι η Παγκόσμια Κλίμακα Επιδείνωσης του Reisberg (1982), η οποία ταξινομεί την άνοια σε επτά στάδια, με βάση τη γνωστική και λειτουργική σοβαρότητα. Η κλίμακα εστιάζει κυρίως στη μνήμη και στις καθημερινές δραστηριότητες και αποτελείται από επτά στάδια:

Στάδιο 1: δεν παρατηρείται καμία γνωστική έκπτωση,

Στάδιο 2: πολύ ήπια γνωστική έκπτωση με υποκειμενικές ανησυχίες για τη μνήμη,
Στάδιο 3: ήπια γνωστική έκπτωση με τα πρώτα εμφανή κλινικά ελλείμματα,
Στάδιο 4: μέτρια γνωστική έκπτωση, όπου οι ασθενείς αδυνατούν να εκτελούν σύνθετες εργασίες,
Στάδιο 5: μέτρια έως σοβαρή γνωστική έκπτωση με ανάγκη για βοήθεια σε καθημερινές δραστηριότητες,
Στάδιο 6: σοβαρή γνωστική έκπτωση με πλήρη εξάρτηση από φροντιστές,
Στάδιο 7: πολύ σοβαρή έκπτωση με απώλεια λεκτικών και ψυχοκινητικών δεξιοτήτων (Therriault et al., 2022).

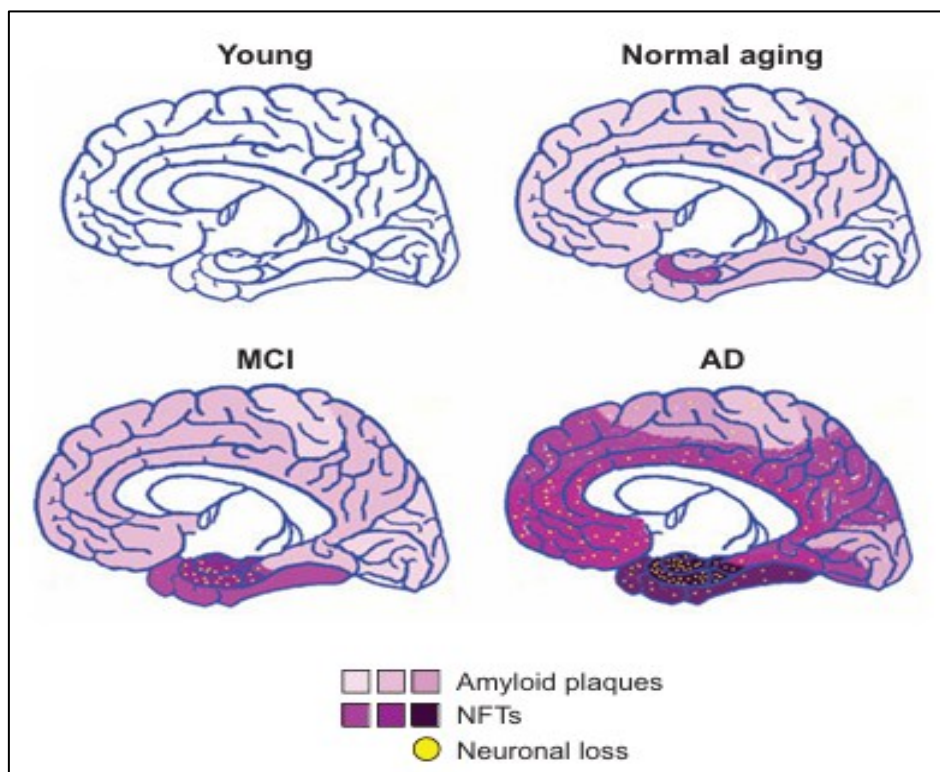
Εν κατακλείδι, παρόλο που τα κλινικά στάδια προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες για την πρόγνωση, δεν είναι πάντοτε ειδικά για τη ΝΑ, καθώς βασίζονται κυρίως σε γνωστικά ελλείμματα. Αυτό δημιούργησε την ανάγκη για πιο ακριβή συστήματα σταδιοποίησης που να ενσωματώνουν και βιολογικά ή ιστοπαθολογικά δεδομένα (Therriault et al., 2022).

Στις μέρες μας, τα συστήματα σταδιοποίησης έχουν εμπλουτιστεί με βιολογικούς δείκτες και τεχνολογικά εργαλεία που επιτρέπουν τη διάγνωση της νόσου ακόμα και εν ζωή. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το σύστημα ABC, το οποίο βασίζεται σε νευροπαθολογικά κριτήρια και περιλαμβάνει τρεις βασικούς άξονες: A: πλάκες αμυλοειδούς-β (στάδια Thal 1–5), B: νευροϊνιδιακά δεμάτια ταυ (στάδια Braak I–VII) και C: νευριτικές πλάκες (βαθμολόγηση CERAD: καμία – συχνή) (Therriault et al., 2022). Το σύστημα ABC χρησιμοποιήθηκε αρχικά για μεταθανάτια διάγνωση, αλλά πλέον μπορεί να εφαρμοστεί και εν ζωή με τη χρήση βιοδεικτών και τεχνικών απεικόνισης, όπως η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) και η εξέταση του εγκεφαλονωτιαίου υγρού (Therriault et al., 2022).

Ένα ακόμα πιο πρόσφατο και πρωτοποριακό σύστημα είναι το AT(N), το οποίο βασίζεται αποκλειστικά σε βιοδείκτες με στόχο την πρόιμη ανίχνευση της νόσου, ακόμη και πριν την εμφάνιση των συμπτωμάτων. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες: A: δείκτες συσσώρευσης αμυλοειδούς-β, T: δείκτες παθολογίας της πρωτεΐνης ταυ, N: δείκτες νευροεκφύλισης και νευρωνικής βλάβης (Therriault et al., 2022). Στην Εικόνα 3.1 παρατηρούμε τη νευροπαθολογική κατανομή των αμυλοειδών πλακών, των νευροϊνιδιακών σωματίων και

της απώλειας των νευρώνων του εγκεφάλου, στην φυσιολογική γήρανση, την ΗΓΔ και τη ΝΑ (Yankner et al., 2008).

Τα συστήματα ABC και AT(N) θεωρούνται συμπληρωματικά και εφαρμόζονται πλέον κυρίως σε εν ζωή ασθενείς, παρέχοντας μια πιο ολοκληρωμένη, πρόωμη και αντικειμενική σταδιοποίηση της ΝΑ, σε σύγκριση με τα καθαρά κλινικά κριτήρια του παρελθόντος (Therriault et al., 2022).



Εικόνα 3.1: Νευροπαθολογική εξέλιξη - κατανομή στη γήρανση και στη ΝΑ (Yankner et al., 2008). Η εικόνα παρουσιάζει την νευροανατομική κατανομή των πλακών αμυλοειδούς, των νευροϊνιδιακών δεματίων (NFTs) και της νευρωνικής απώλειας κατά τη φυσιολογική γήρανση, την ΗΓΔ και τη ΝΑ. Σε άτομα με φυσιολογική γνωστική λειτουργία, μπορεί να εμφανιστούν πλάκες αμυλοειδούς στον νεοφλοιό και τον ιππόκαμπο, ενώ τα NFTs εντοπίζονται κυρίως στον ενδορινικό φλοιό. Η ΗΓΔ χαρακτηρίζεται από εμφάνιση νευρωνικής απώλειας στο στρώμα 2 του ενδορινικού φλοιού και στην περιοχή CA1 του ιππόκαμπου και συνοδεύεται συχνά από αύξηση του αριθμού και της κατανομής των πλακών και των NFTs. Στη ΝΑ, οι πλάκες και τα NFTs είναι γενικά πιο εκτεταμένα, αν και η κατανομή τους μπορεί να διαφέρει. Ωστόσο, η έκταση της νευρωνικής και συναπτικής απώλειας σχετίζεται περισσότερο με το επίπεδο άνοιας.

3.3 Επιπτώσεις της Νόσου του Αλτσχάιμερ στη Γλώσσα και την Επικοινωνία

Κατά την εξέλιξη της Νόσου του Αλτσχάιμερ (NA), οι διαταραχές στη γλώσσα και την επικοινωνία εμφανίζονται πρώιμα και επιδεινώνονται σταδιακά, επηρεάζοντας όλες τις πτυχές της λεκτικής και μη λεκτικής επικοινωνίας (Woodward & McCaw, 2013). Στο ήπιο (πρώιμο) στάδιο, τα προβλήματα εστιάζουν κυρίως στην δυσκολία εύρεσης λέξεων και στη δυσκολία κατονομασίας (Woodward & McCaw, 2013). Παράλληλα, παρατηρείται μείωση στην ικανότητα του ατόμου να περιγράφει επαρκώς καθώς επίσης και δυσκολία στη διατήρηση της ροής κατά τη διάρκεια συνομιλιών, όπως η διατήρηση συνοχής και η εναλλαγή ρόλων στον διάλογο (Woodward & McCaw, 2013). Οι δεξιότητες ανάγνωσης, γραφής και κατανόησης παραμένουν σχετικά ανεπηρέαστες σε σχέση με τους υγιείς ηλικιωμένους (Woodward & McCaw, 2013). Σε αυτό το στάδιο, οι ασθενείς τείνουν να χρησιμοποιούν γενικούς ή ασαφείς όρους όπως “αυτό” ή “εκείνο” αντί για συγκεκριμένες λέξεις και, παρότι ο λόγος τους είναι φτωχός σε περιεχόμενο, η φωνολογική και συντακτική του δομή παραμένει ακέραιη (Klimova et al., 2015).

Καθώς η νόσος προχωρά στο μέτριο στάδιο, οι επικοινωνιακές ικανότητες επιδεινώνονται. Οι ασθενείς εμφανίζουν πλέον δυσκολίες στη χρήση της λειτουργικής γλώσσας, στην αντίληψη και εκφορά εννοιών, καθώς και στην κατανόηση και γραφή (Woodward & McCaw, 2013). Η ικανότητα προφορικής ανάγνωσης διατηρείται συνήθως για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, όμως η μνήμη και η προσοχή φθίνουν, επηρεάζοντας την κατανόηση και τη διατήρηση της συνομιλίας (Woodward & McCaw, 2013). Παράλληλα, παρατηρείται μείωση της λεκτικής ευχέρειας, με αποτέλεσμα ο λόγος να γίνεται πιο σύντομος και διακεκομμένος (Klimova et al., 2015). Οι ασθενείς εμφανίζουν αυξημένη χρήση επαναλήψεων και ελλιπή οργάνωση της σκέψης, ενώ μειώνεται η ικανότητά τους να ξεκινούν ή να διατηρούν μια συζήτηση (Klimova et al., 2015).

Στο σοβαρό στάδιο της NA, οι διαταραχές στη γλώσσα και την επικοινωνία γίνονται ιδιαίτερα έντονες και περιορίζουν ουσιαστικά τη λεκτική έκφραση. Οι ασθενείς συχνά εκφέρουν λέξεις ή φράσεις χωρίς νόημα, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζουν ηχολαλία ή αλαλία (Woodward & McCaw, 2013). & (Klimova et al., 2015). Η άρθρωση αλλοιώνεται σημαντικά και η ικανότητα παραγωγής λόγου ουσιαστικά εξαφανίζεται (Woodward & McCaw,

2013). Παρατηρείται επίσης η χρήση στερεοτυπικών φράσεων ή ήχων χωρίς επικοινωνιακή χρήση, ενώ σε αρκετούς ασθενείς διατηρούνται ορισμένες χειρονομίες ή εκφράσεις του προσώπου που επιτρέπουν στοιχειώδη μη λεκτική επικοινωνία, εφόσον αυτές γίνονται κατανοητές (Klimova et al, 2015).

Επιπρόσθετα, οι διαταραχές επικοινωνίας στη ΝΑ έχουν άμεσο και βαθύ αντίκτυπο στην κοινωνική και συναισθηματική ζωή των ασθενών. Η σταδιακή απώλεια της ικανότητας να εκφράζουν τις σκέψεις και τις ανάγκες τους οδηγεί σε απογοήτευση, απομόνωση και περιορισμένη συμμετοχή σε κοινωνικές αλληλεπιδράσεις (Woodward & McCaw, 2013). Η αδυναμία να κατανοήσουν ή να εκφραστούν κατάλληλα προκαλεί παρερμηνείες, συναισθηματική ένταση και αποξένωση από τα αγαπημένα τους πρόσωπα. Οι γλωσσικές δυσκολίες έχουν συνδεθεί με την εμφάνιση παραληρημάτων, ανώμαλης κινητικής συμπεριφοράς και καταθλιπτικών συμπτωμάτων, ακόμη και όταν λαμβάνεται υπόψη η βαρύτητα της νόσου. Η αδυναμία επικοινωνίας ενισχύει τα αισθήματα αποπροσανατολισμού, απώλειας ταυτότητας και αποσύνδεσης από τον κοινωνικό περίγυρο (Klimova et al., 2015).

3.4 Συμπτωματολογία της ΝΑ ανά Στάδιο

Η ΝΑ χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ φάσμα συμπτωμάτων που εξελίσσονται προοδευτικά και περιλαμβάνουν γνωστικές, γλωσσικές, νευρολογικές και ψυχολογικές διαταραχές. Η συμπτωματολογία ποικίλει τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά ανά στάδιο. Τα φωνολογικά και φωνητικά συμπτώματα προσφέρουν πρώιμες ενδείξεις για τη νόσο και μπορούν να συμβάλλουν και στη σταδιοποίηση της.

Το αρχικό στάδιο χαρακτηρίζεται από ήπια γνωστική έκπτωση, με κυρίαρχες διαταραχές στην πρόσφατη μνήμη. Οι ασθενείς ξεχνούν συζητήσεις, ραντεβού, ονόματα και αντικείμενα. Η γλωσσική λειτουργία παρουσιάζει δυσκολίες στην εύρεση λέξεων, κατονομασία και σημασιολογική ή φωνημική ευχέρεια, καθώς και λεκτικές παραφασίες. Εντοπίζονται επίσης ελλείμματα στην κατανόηση μεταφορικής γλώσσας και των παροιμιών. Ακόμη παρατηρείται μείωση στην προσοχή και στη διαιρεμένη προσοχή (López & Dekosky, 2008). Σύμφωνα με την Alzheimer's Association, οι ασθενείς διατηρούν ακόμη βασικές λειτουργικές ικανότητες, αν και ενδέχεται να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην καθημερινή οργάνωση και σε απαιτητικές

κοινωνικές ή επαγγελματικές δραστηριότητες (Alzheimer's Stages, χ.χ.). Σε ότι αφορά την ψυχολογική συμπτωματολογία η κατάθλιψη μπορεί να εμφανιστεί ως αρχικό σύμπτωμα. Το νευρολογικό προφίλ παραμένει σε μεγάλο βαθμό φυσιολογικό ενώ σε πολλούς ασθενείς παρατηρούνται ήπια παρκινσονικά συμπτώματα (López & Dekosky, 2008). Τέλος, σε φωνητικό επίπεδο παρατηρούνται παραμορφώσεις ήχων, παρατεταμένες παύσεις, επιμηκύνσεις φωνηέντων και παραλείψεις φωνημάτων τα οποία σχετίζονται με προβλήματα στον κινητικό έλεγχο των μυών που εμπλέκονται στην ομιλία και άλλων αιτιών (Cera et al., 2023).

Καθώς η νόσος εξελίσσεται, στο μέτριο στάδιο παρατηρείται μία γνωστική επιδείνωση σε όλους τους τομείς η οποία χαρακτηρίζεται από δυσκολίες στη λογική σκέψη, στην επίλυση προβλημάτων, στην αντίληψη εννοιών και στις εκτελεστικές λειτουργίες. Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση ιδεακής και ιδεοκινητικής απραξίας, καθώς και η νοσοαγνωσία (López et al., 2008). Οι φωνολογικές διαταραχές επιδεινώνονται και περιλαμβάνουν αντικαταστάσεις φωνηέντων και συμφώνων, αυτοδιορθώσεις, προσθήκες φωνημάτων, αλλά και συνέχιση των παραμορφώσεων και της επιμήκυνσης φωνημάτων. Η πολυπλοκότητα αυτών των συμπτωμάτων καταδεικνύει εμπλοκή τόσο του γλωσσικού όσο και του κινητικού συστήματος (Cera et al., 2023). Σε νευρολογικό επίπεδο, παρατηρούνται εξωπυραμιδικά σημεία όπως είναι η βραδυκινησία και η δυσκαμψία ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να παρατηρηθούν και μυοκλονίες (López & Dekosky, 2008). Στην καθημερινότητα του ασθενή παρατηρείται αυξημένη σύγχυση, απώλεια αυτονομίας στην ένδυση, αλλαγές στον ύπνο, ενώ μπορεί να εμφανίσουν υποψία προς οικείους και απώλεια ελέγχου σωματικών λειτουργιών (Alzheimer's Stages, χ.χ.).

Στο σοβαρό στάδιο της ΝΑ, η γνωστική έκπτωση είναι γενικευμένη και σοβαρή. Η λειτουργική αυτονομία χάνεται και η καθημερινή ζωή καθίσταται αδύνατη χωρίς υποστήριξη (López & Dekosky, 2008). Οι φωνητικές και φωνολογικές διαταραχές είναι έντονες, με συχνές αυτοδιορθώσεις και πρόωρη εκφορά φωνημάτων, επαναλήψεις ήχων ή συλλαβών καθώς και πολλαπλές παραλείψεις, αντικαταστάσεις, προσθήκες και προσπάθειες άρθρωσης. Οι εκδηλώσεις αυτές συχνά παραπέμπουν σε συμπτώματα απραξίας λόγου και καθιστούν τον λόγο ιδιαίτερα δυσνόητο ή και ακατανόητο (Cera et al., 2023). Συχνά εμφανίζεται ψύχωση, παραληρητικές ιδέες, διέγερση, επιθετικότητα και μυοκλονίες ακόμη και κατά την ημέρα

συμπτώματα τα οποία σχετίζονται με ταχύτερη συνολική έκπτωση ενώ η κατάθλιψη τείνει να μειώνεται. Η εξωπυραμидική συμπτωματολογία είναι συνήθως μέτριας έντασης (López & Dekosky, 2008). Τέλος, σύμφωνα με την ένωση Αλτσχάιμερ (Alzheimer's Association) στο τελικό στάδιο της ΝΑ συχνά υπάρχει πλήρης απώλεια επικοινωνίας, δυσκολία κατάποσης, σημαντική απώλεια βάρους και αυξημένος κίνδυνος λοιμώξεων (Alzheimer's Stages, n.d.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Τεχνικές Καταγραφής και Ανάλυσης της Ομιλίας

4.1 Διαδικασία Ανίχνευσης της Νόσου του Αλτσχάιμερ

Πολλές νευρολογικές παθήσεις επηρεάζουν και αλλάζουν την ομιλία. Οι αλλαγές αυτές παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τη διάγνωση και την εξέλιξη αυτών των παθήσεων (Stegmann et al., 2020).

Η ΝΑ αποτελεί μία από τις συχνότερες αιτίες άνοιας και χαρακτηρίζεται από σταδιακή επιδείνωση των γνωστικών και λειτουργικών ικανοτήτων του ατόμου, επηρεάζοντας τομείς όπως η γλώσσα, η μνήμη, η προσοχή και η εκτελεστική λειτουργία (Qi et al., 2023). Πληθώρα μελετών αποδεικνύουν πως η γλωσσική δυσλειτουργία αποτελεί ένα από τα πρώτα σημάδια γνωστικής έκπτωσης, επιτρέποντας στα χαρακτηριστικά της γλώσσας και της ομιλίας να λειτουργήσουν ως βιοδείκτες για την έγκαιρη ανίχνευση της άνοιας (Petti et al., 2020). Η γλωσσική έκπτωση που συνδέεται με τη ΝΑ προκύπτει σε μεγάλο βαθμό από την επιβάρυνση της μνήμης (Petti et al., 2020) και εκδηλώνεται συχνά μέσω μειωμένου λεξιλογίου, δυσκολίας στην κατανόηση και παραγωγή λόγου καθώς και ελλειμμάτων στην διαχείριση σημασιολογικών πληροφοριών (Qi et al., 2023).

Για αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη μεθόδων για την ανίχνευση της ΝΑ μέσω της ομιλίας (Qi et al., 2023). Οι τεχνολογίες ανάλυσης της ομιλίας έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μη επεμβατικά, αποτελεσματικά, απλά και φθηνά εργαλεία για την αυτόματη ανίχνευση της ΝΑ (Qi et al., 2023) τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν ακόμα και το στάδιο της νόσου με βάση τα ευρήματα (Ding K. et al., 2024), σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους οι οποίες είναι χρονοβόρες, κοστοβόρες και συχνά επεμβατικές (Qi et al., 2023).

Η διαδικασία ανίχνευσης της ΝΑ μέσω της ομιλίας ακολουθεί μια διαδοχική πορεία που περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια, τη συλλογή δεδομένων αυθόρμητης ομιλίας, την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τα ηχητικά δεδομένα μέσω ειδικών εργαλείων αυτόματης εξαγωγής χαρακτηριστικών, και τέλος την ταξινόμηση των εξαγόμενων χαρακτηριστικών με μεθόδους μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι να εντοπιστούν αλλοιώσεις στην ομιλία, που συνδέονται με τις γνωστικές δυσλειτουργίες που επιφέρει η ΝΑ (Qi et al., 2023).

Αρχικά συλλέγονται τα δεδομένα ομιλίας από άτομα που έχουν διαγνωστεί με ΝΑ και από άτομα που δεν έχουν ΝΑ. Συνήθως αυτά τα δεδομένα προέρχονται από ηχογραφήσεις και μεταγραφές ομιλίας. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά διαχωρίζονται σε τρία σύνολα. Το πρώτο σύνολο αφορά το εκπαιδευτικό σύνολο (training set) το οποίο χρησιμοποιείται για να εκπαιδευτεί το μοντέλο. Το δεύτερο σύνολο αφορά το σύνολο επικύρωσης (validation set) το οποίο χρησιμοποιείται για να ρυθμιστούν παράμετροι του μοντέλου όπως είναι η πολυπλοκότητα. Το τελευταίο σύνολο αφορά το σύνολο δοκιμών (test set) το οποίο χρησιμοποιείται για την αντικειμενική αξιολόγηση του μοντέλου (Qi et al., 2023).

Έπειτα, γίνεται η ακουστική ή/και η γλωσσική ανάλυση για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών από ηχογραφήσεις και μεταγραφές. Ο λόγος που γίνεται η εξαγωγή είναι γιατί οι ηχογραφήσεις και οι μεταγραφές εκτός από χρήσιμες και σχετικές πληροφορίες με τη ΝΑ περιέχουν και πληροφορίες που δεν είναι χρήσιμες για την ταξινόμηση και διάγνωση της ΝΑ. Έτσι τα αρχικά δεδομένα γίνονται συνοπτικά, χρήσιμα και σχετικά με την ΝΑ (Qi et al., 2023).

Τα χαρακτηριστικά που εξάγονται διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Τα ακουστικά χαρακτηριστικά τα οποία προέρχονται από τον ήχο και σχετίζονται με τη σοβαρότητα της ΝΑ. Τα γλωσσικά χαρακτηριστικά τα οποία προέρχονται από τις μεταγραφές και συνήθως εξάγονται χειροκίνητα ή αυτόματα μέσω συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR). Τα ASR χρησιμοποιούνται για την μετατροπή του προφορικού λόγου σε κείμενο (Malik et al., 2021). Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν δημογραφικά χαρακτηριστικά όπως το φύλο, η ηλικία και χαρακτηριστικά της αλληλεπίδρασης τα οποία χρησιμοποιούνται για την απόκτηση πιο διακριτικών χαρακτηριστικών για την αποτελεσματική ανίχνευση της ΝΑ (Qi et al., 2023).

Στο τέλος πραγματοποιείται η ταξινόμηση η οποία έχει ως σκοπό να διαχωρίσει τα άτομα σε υγιείς και ασθενείς με βάση τα χαρακτηριστικά της ομιλίας. Τα μοντέλα ταξινόμησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τα παραδοσιακά μοντέλα μηχανικής μάθησης όπως είναι το SVM, LDA, Logistic Regression, KNN, DT, RF και τα μοντέλα βαθιάς μάθησης όπως είναι το CNN, RNN, Transformers-based models. Τα παραδοσιακά μοντέλα μηχανικής μάθησης έχουν πιο σαφή θεωρία και είναι πιο εύκολα στην ερμηνεία αλλά τα μοντέλα βαθιάς μάθησης έχουν αποδειχθεί πιο ισχυρά σε πολλές εφαρμογές (Qi et al., 2023).

4.2 Ακουστική Ανάλυση

Η ακουστική ανάλυση της ομιλίας αποτελεί βασικό εργαλείο στην μη επεμβατική ανίχνευση της ΝΑ, καθώς μετρά και καταγράφει πληροφορίες του ήχου στη φωνή (Hegde et al., 2019), οι οποίες είναι χρήσιμες για την ανίχνευση της νόσου. Τα ακουστικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στις ιδιότητες της ομιλίας που σχετίζονται με τις φυσικές της παραμέτρους και μπορούν να εξαχθούν είτε με παραδοσιακές μεθόδους είτε με μεθόδους βαθιών embeddings (Qi et al., 2023). Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία που ανήκουν στις παραδοσιακές μεθόδους εξαγωγής ακουστικών χαρακτηριστικών περιλαμβάνεται το Praat, το OpenSMILE και το Librosa (Choi et al., 2025). Συναφή εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην εξαγωγή ακουστικών χαρακτηριστικών είναι το Hidden Markov Model (HMM), το Speech Filing System (SFS), το Auditory Toolbox, το Matlab Toolbox, το Tracter framework, και το SNACK package (Eyben et al., 2010).

4.2.1 Praat: Το Praat είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα το οποίο χρησιμοποιείται στην ανάλυση της ομιλίας, στην σύνθεση ομιλίας αλλά παρέχει και άλλες δυνατότητες όπως είναι ο χειρισμός της ομιλίας, η στατιστική ανάλυση κ.α. Πραγματοποιεί όλων των ειδών τις αρθρωτικές και ακουστικές αναλύσεις που περιλαμβάνουν τμηματικά και προσωδιακά χαρακτηριστικά του προφορικού λόγου. Οι βασικές δυνατότητες που προσφέρει το Praat στον τομέα της ανάλυσης της ομιλίας είναι 1) η φασματική ανάλυση, 2) η ανάλυση της θεμελιώδους συχνότητας, 3) η ανάλυση των φωνηέντων, 4) η ανάλυση της έντασης, 5) του jitter, 6) του shimmer, 7) των διακοπών της φωνής και 8) των προτύπων διέγερσης. Οι βασικές δυνατότητες που προσφέρει το Praat στον τομέα της σύνθεσης της ομιλίας είναι 1) η θεμελιώδης συχνότητα, 2) οι βασικές συχνότητες (formants), 3) η ένταση, 4) η αρθρωτική σύνθεση και 5) η ακουστική σύνθεση τύπου Klatt (Đurić, 2020).

4.2.2 OpenSMILE: Το OpenSMILE είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, σχεδιασμένο για την εξαγωγή χαρακτηριστικών ήχου από την ομιλία, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές που σχετίζονται με μουσική ή άλλα ακουστικά σήματα. Χρησιμοποιείται ευρέως σε τομείς όπως η αναγνώριση συναισθήματος από την ομιλία, η κλινική ανάλυση λόγου (π.χ. για την ανίχνευση Πάρκινσον, Αλτσχάιμερ κ.α.), η αναγνώριση ομιλητή ή φύλου και η ανάλυση μουσικών σημάτων. Υποστηρίζει μαζική εξαγωγή χαρακτηριστικών από μεγάλα ηχητικά σύνολα, καθώς και την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο. Μεταξύ των

χαρακτηριστικών χαμηλού επιπέδου που μπορεί να εξάγει περιλαμβάνονται 1) τα Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs), 2) οι συχνότητες (formants), 3) η θεμελιώδης συχνότητα, 4) η ένταση, 5) τα Linear Predictive Coefficients (PPCs), 6) τα Line Spectral Frequencies (LPS) καθώς επίσης και τα μουσικά χαρακτηριστικά: CHROMA, CENS. Τέλος, το OpenSMILE παρέχει τη δυνατότητα συνδυασμού χαρακτηριστικών από τον χώρο της επεξεργασίας ομιλίας και της μουσικής, καθιστώντας το ένα ευέλικτο εργαλείο για πληθώρα εφαρμογών (Choi et al., 2025; Eyben et al., 2010).

4.2.3 Librosa: Το Librosa είναι μια βιβλιοθήκη Python ανοικτού κώδικα για την ανάλυση ηχητικών και μουσικών σημάτων. Αρχικά σχεδιάστηκε για την ανάκτηση μουσικής πληροφορίας (Music Information Retrieval), αλλά χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στην επεξεργασία ομιλίας και παρέχει εργαλεία για την ανάλυση ήχου. Το Librosa είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της ανάλυσης ομιλίας σε εφαρμογές βαθιάς μάθησης, αλλά και στην κλινική αξιολόγηση λόγου, λόγω της συμβατότητάς του με πλαίσια μηχανικής μάθησης βασισμένα σε Python. Ουσιαστικά, συνδυάζει επιστημονικά εργαλεία με δυνατότητες παραγωγής χαρακτηριστικών για μηχανική μάθηση. Τα βασικά χαρακτηριστικά που εξάγει είναι τα εξής 1) φασματικά όπως τα Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs), 2) μουσικά όπως τα CHROMA, 3) χρονικά όπως το zero crossing rate κ.α. (Choi et al., 2025; McFee et al., 2015)

4.2.4 Hidden Markov Model (HMM): Το HMM είναι ένα εργαλείο - στατιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση κατανομών πιθανοτήτων σε ακολουθίες παρατηρήσεων. Το HMM έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλές εφαρμογές, όπως η αναγνώριση ομιλίας (μοντελοποίηση των ήχων ή φωνημάτων που παράγονται από το ηχητικό σήμα της ομιλίας), η επεξεργασία της φυσικής γλώσσας, η αναγνώριση δραστηριότητας από βίντεο, η εύρεση γονιδίων, η παρακολούθηση χειρονομιών. Το μοντέλο βασίζεται σε μια διαδικασία, η οποία δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμη, δηλαδή είναι κρυφή, αλλά μπορεί να εκτιμηθεί μέσω των παρατηρούμενων δεδομένων (Ghahramani, 2001; Eddy, 2004).

4.3 Χαρακτηριστικά

Η ΝΑ επηρεάζει την ομιλία γιατί αλλάζει τόσο τη φυσιολογία του μηχανισμού παραγωγής του λόγου όσο και τις γνωστικές λειτουργίες. Οι αλλαγές αυτές είναι εμφανείς στην ομιλία ακόμα και από τα πρώιμα στάδια της νόσου και μετρώνται με διάφορα χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται και είναι χρήσιμα για τη διάγνωση και την ταξινόμηση της ΝΑ. Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, τα ακουστικά χαρακτηριστικά, τα γλωσσικά χαρακτηριστικά και τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά (Qi et al., 2023).

4.4 Ακουστικά Χαρακτηριστικά

Τα ακουστικά χαρακτηριστικά σχετίζονται με τις φυσικές ιδιότητες του λόγου. Τα βασικά ακουστικά χαρακτηριστικά που είναι χρήσιμα στην ανάλυση της ομιλίας για την ανίχνευση της ΝΑ διακρίνονται στις εξής κατηγορίες προσωδιακά, φασματικά, ποιότητας της φωνής, παραγλωσσικά, ακουστικά embeddings και συναισθηματικά embeddings. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά που ανήκουν στην κάθε κατηγορία και στη συνέχεια αναλύονται τα πιο σημαντικά από αυτά (Huang, 2024; Qi et al., 2023).

Πίνακας 4.1: Ακουστικά Χαρακτηριστικά

<i>Ακουστικά Χαρακτηριστικά (Huang, 2024; Qi et al., 2023)</i>		
Προσωδιακά	Χρονικά	Ρυθμός Παύσεων Ρυθμός Δισταγμών Ρυθμός Ομιλίας Ρυθμός Άρθρωσης Προσωδιακός Ρυθμός Ενέργεια
		Θεμελιώδης Συχνότητα F0, Μεταβολές της F0 (trajectory)
Φασματικά	Συχνότητες	F1, F2, F3
	Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs)	
Ποιότητα Φωνής		Jitter
		Shimmer
		Harmonics-to-noise ratio (HNR)

Παραγλωσσικά	Επαναλήψεις Λεκτική δυσχέρεια Δισταγμοί Συμπληρωματικές παύσεις Φρακταλική διάσταση Εντροπία
Ακουστικά Embeddings (Qi et al, 2025)	Παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα του ομιλητή, την προσωδία και τα ακουστικά μοτίβα (Qi et al., 2025).
Συναισθηματικά Embeddings (Qi et al, 2025)	Αποτυπώνουν τη συναισθηματική κατάσταση των ατόμων με ΝΑ.

4.4.1 Θεμελιώδης Συχνότητα F0: Η θεμελιώδης συχνότητα αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη συχνότητα δόνησης των φωνητικών χορδών κατά την φώνηση. Τα χαρακτηριστικά της θεμελιώδους συχνότητας είναι κρίσιμα στην κλινική πράξη, καθώς αντανακλούν τόσο φυσιολογικές πτυχές της παραγωγής της φωνής όσο και προσωδιακά μοτίβα που μπορεί να αλλοιώνονται σε διάφορες παθολογικές καταστάσεις (Choi et al., 2025).

4.4.2 Ενέργεια: Η ενέργεια είναι ένα ποσοτικό μέτρο των χαρακτηριστικών του πλάτους ενός φωνητικού σήματος στον χρόνο. Αποτυπώνει τη συνολική ισχύ και τη δυναμική του σήματος, αποκαλύπτοντας χρονικές μεταβολές στην ένταση (Mehrish et al., 2023).

4.4.3 Jitter & Shimmer: Μετρούν τη μεταβολή της συχνότητας και του πλάτους του ήχου από κύκλο σε κύκλο αντίστοιχα (Huang, 2024). Σχετίζονται με τη βραχνάδα και την τραχύτητα της φωνής αντίστοιχα (Qi et al., 2023).

4.4.4 Harmonics – to – noise ratio (HNR): Η HNR ποσοτικοποιεί τη σχετική ποσότητα περιοδικών (αρμονικών) σε σχέση με τις μη περιοδικές (θορυβώδεις) συνιστώσες του φωνητικού σήματος. Είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αξιολόγηση της ποιότητας της

φωνής, με τις χαμηλότερες τιμές να υποδεικνύουν αυξημένη αναπνευστικότητα, τραχύτητα ή γενική δυσφωνία (Choi et al., 2025).

4.4.5 MFCCs: Καταγράφουν φασματικές πληροφορίες και περιγράφουν την κατανομή της ενέργειας του ηχητικού σήματος σε διάφορες συχνότητες (Huang, 2024).

4.4.6 Συχνότητες F1, F2, F3: Αποτελούν τις κορυφές των συχνοτήτων στο φάσμα ενός ήχου ή σήματος γενικότερα. Προκύπτουν από το συντονισμό της φωνητικής οδού (Huang, 2024).

4.4.7 Λεκτική Δυσχέρεια: Υπάρχουν διάφοροι τύποι χαρακτηριστικών λεκτικής δυσχέρειας που δείχνουν την ικανότητα των ατόμων να οργανώνουν τη γλώσσα, όπως το ποσοστό των ατελών λέξεων, οι επαναλήψεις, οι επιμηκύνσεις ήχων, οι αυτοδιορθώσεις και οι παύσεις. Οι παύσεις αποτελούν το σημαντικότερο χαρακτηριστικό καθώς μέσα από μελέτες βρέθηκε πως οι ασθενείς με ΝΑ κάνουν μεγαλύτερες παύσεις, χαρακτηριστικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση τους από υγιείς αλλά και άτομα με ΗΓΔ (Qi et al., 2023).

4.4.8 Ακουστικά Embeddings: Εξάγονται από τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα (Qi et al, 2023) και χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση μεταβολών στην ομιλία με σκοπό τη βελτίωση της αυτόματης ανάλυσης (Yang et al., 2022). Συμπυκνώνουν πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα του ομιλητή, την προσωδία και τα ακουστικά μοτίβα (Qi et al., 2023).

4.4.9 Συναισθηματικά Embeddings: Εξάγονται από τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα με σκοπό να αποτυπωθεί η συναισθηματική κατάσταση των ασθενών με ΝΑ. Συνήθως παρουσιάζουν μειωμένη ικανότητα αντίληψης και έκφρασης των συναισθημάτων τους λόγω της απώλειας της μνήμης. Η συναισθηματική κατάσταση μπορεί να αποτυπωθεί μέσα από τρεις διαφορετικούς συναισθηματικούς δείκτες, την ευχαρίστηση, την διέγερση και την κυριαρχία (Qi et al., 2023).

4.5 Γλωσσική Ανάλυση

Η γλωσσική ανάλυση της ομιλίας αποτελεί βασικό εργαλείο στην μη επεμβατική ανίχνευση της ΝΑ, καθώς εστιάζει στη δομή, τη σημασία και τη χρήση της γλώσσας μέσω των κλάδων της φωνολογίας, της μορφολογίας, της σύνταξης, της σημασιολογίας και της πραγματολογίας. Τα γλωσσικά χαρακτηριστικά υφίστανται αλλαγές σε άτομα με ΝΑ λόγω της προοδευτικής φύσης της πάθησης, η οποία επηρεάζει διάφορες γνωστικές και γλωσσικές διαδικασίες. Τα εν λόγω χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το γλωσσικό περιεχόμενο και τη δομή της ομιλίας και μπορούν να εξαχθούν είτε από χειροκίνητα επισημειωμένες μεταγραφές ομιλίας είτε να παραχθούν μέσω συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR). Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται ειδικά προγράμματα/εργαλεία γλωσσικής ανάλυσης για την εξαγωγή σχετικών γλωσσικών χαρακτηριστικών (Qi et al., 2023).

4.5.1 ASR: Τα συστήματα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) είναι συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν αρχεία ήχου ή απευθείας ομιλία από το μικρόφωνο και να τη μετατρέπουν σε κείμενο. Ο σκοπός της δημιουργίας ενός συστήματος ASR είναι να μπορεί να μεταφράζει οποιαδήποτε γλώσσα για οποιονδήποτε ομιλητή (Malik et al., 2021).

4.5.2 Τύποι ASR: Ένα ASR μπορεί να ταξινομηθεί με βάση 1) τα μοντέλα ομιλητών, 2) το λεξιλόγιο που χρησιμοποιείται, 3) τη μεταβλητότητα των καναλιών και 4) το στυλ ομιλίας. Τα μοντέλα ομιλητών διακρίνονται σε τρεις τύπους: τα μοντέλα εξαρτημένα από τον ομιλητή, τα μοντέλα ανεξάρτητα από τον ομιλητή και τα μοντέλα προσαρμοσμένα στον ομιλητή. Η ταξινόμηση με βάση το λεξιλόγιο αφορά το μέγεθός του και διακρίνεται σε: μικρό, μεσαίο, μεγάλο, πολύ μεγάλο και εκτός λεξιλογίου. Το στυλ ομιλίας διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες: την προσέγγιση εκφωνήματος η οποία περιλαμβάνει τις μεμονωμένες και συνδεδεμένες λέξεις και το στυλ εκφωνήματος το οποίο περιλαμβάνει τη συνεχή ομιλία και την αυθόρμητη ομιλία (Malik et al., 2021).

4.5.3 Λειτουργική διαδικασία ενός ASR: Για να μετατρέψει ένα σύστημα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) το προφορικό λόγο σε γραπτό κείμενο, ακολουθεί μια βασική λειτουργική διαδικασία. Αρχικά, πραγματοποιείται λήψη του ηχητικού σήματος, συνήθως μέσω μικροφώνου ή άλλης συσκευής καταγραφής. Στη συνέχεια, το ηχητικό σήμα υποβάλλεται σε εξαγωγή χαρακτηριστικών, όπου εξάγονται ακουστικά χαρακτηριστικά

όπως τα MFCCs η θεμελιώδης συχνότητα, η ένταση, κ.ά., με τη βοήθεια εργαλείων όπως το Praat ή το OpenSMILE κ.α. Έπειτα, ακολουθεί η ακουστική μοντελοποίηση, και η γλωσσική και λεξική μοντελοποίηση και στο τέλος, ο αποκωδικοποιητής ο οποίος συνδυάζει τις πληροφορίες και πραγματοποιεί τη μετατροπή του ηχητικού σήματος σε γραπτό κείμενο (Arora & Singh, 2012).

4.5.4 Συστήματα ASR: Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία που ανήκουν στα συστήματα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) ανήκουν το 1) Hidden Markov Toolkit (HTK), το 2) CMU Sphinx, το 3) Kaldi, το 4) Whisper, το 5) Microsoft API, το 6) το Google API, το 7) Mozilla DeepSpeech. Συναφή εργαλεία που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) ανήκουν το 1) RWTH Aachen Automatic Speech Recognition System (RASR), το 2) Segmental Conditional Random Field Toolkit for Speech Recognition (SCARF), το 3) Improved ATROS (iATROS), το 4) SRI International's Decipher, το 5) idiap's Juicer και το 6) SHoUT speech recognition toolkit (Arora & Singh , 2012; Këpuska & Bohouta, 2017).

4.5.4.1 Kaldi: Το Kaldi είναι ένα δωρεάν εργαλείο ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα για την αυτόματη αναγνώριση ομιλίας. Δεν αποτελεί από μόνο του ένα έτοιμο σύστημα ASR, αλλά παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία και δεδομένα για την ανάπτυξη ενός πλήρους συστήματος ASR. Υποστηρίζει λειτουργίες όπως εξαγωγή χαρακτηριστικών, ακουστική μοντελοποίηση, φωνητικά δέντρα αποφάσεων, γλωσσική μοντελοποίηση και αποκωδικοποίηση (Povey et al., 2011).

4.5.4.2 CMU Sphinx: Το CMU Sphinx είναι ένα σύστημα και σύνολο εργαλείων για την αυτόματη αναγνώριση ομιλίας. Έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην έρευνα και υποστηρίζει πολλές γλώσσες και εφαρμογές. Παρέχει λειτουργίες όπως εξαγωγή χαρακτηριστικών, ακουστική μοντελοποίηση, γλωσσική μοντελοποίηση και αποκωδικοποίηση με τη δυνατότητα προσαρμογής ή αντικατάστασης, προσφέροντας μεγάλη ευελιξία. Δεν αποτελεί από μόνο του ένα έτοιμο σύστημα ASR, αλλά παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία και δεδομένα για την ανάπτυξη ενός πλήρους

συστήματος ASR με σκοπό την κάλυψη διαφορετικών αναγκών όπως για παράδειγμα η έρευνα στις νευροεκφυλιστικές ασθένειες (Liao, 2002).

4.5.4.3 Whisper: Το Whisper είναι ένα σύστημα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) που αναπτύχθηκε από την OpenAI και έχει εκπαιδευτεί σε 680.000 ώρες πολυγλωσσικών εποπτευόμενων δεδομένων ομιλίας από τον παγκόσμιο ιστό. Υποστηρίζει πολλαπλές λειτουργίες, όπως η αναγνώριση ομιλίας, η μετάφραση ομιλίας, η αναγνώριση προφορικής γλώσσας και ο εντοπισμός φωνητικής δραστηριότητας. Το Whisper διαθέτει εννέα διαφορετικά μοντέλα, αγγλόφωνα και πολυγλωσσικά και μπορεί να επεξεργάζεται ολόκληρο το ηχητικό αρχείο ταυτόχρονα (Georgila & Traum, 2024).

4.5.4.4 Google Cloud Speech API: Το Google Cloud Speech API είναι ένα εργαλείο της Google Cloud Platform που επιτρέπει τη μετατροπή ηχητικών εισόδων σε κείμενο μέσω της εφαρμογής μοντέλων νευρωνικών δικτύων. Υποστηρίζει περισσότερες από 110 γλώσσες και διαλέκτους, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα χρηστών παγκοσμίως. Το API επιτρέπει τον υπολογισμό πιθανοτήτων για την αξιολόγηση παραγόντων όπως ο τόνος, η προφορά και η ταχύτητα ομιλίας, επηρεάζοντας την ακρίβεια της αναγνώρισης. Επιπλέον, αξιοποιεί προεκπαιδευμένα μοντέλα μηχανικής μάθησης, όπως τα Google Translate API και Cloud Vision API μαζί με το Google Cloud Speech API, επιτρέποντας την ανάπτυξη εφαρμογών που έχουν τη δυνατότητα να “βλέπουν”, να “ακούν” και να “μεταφράζουν” (Anggraini et al., 2018).

4.5.4.5 Mozilla DeepSpeech: Το Mozilla Deep Speech είναι ένα σύστημα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας που βασίζεται σε σύγχρονες τεχνικές βαθιάς μάθησης. Έχει εκπαιδευτεί σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, κάτι που του επιτρέπει να μαθαίνει και να βελτιώνεται αυτόματα, χωρίς να απαιτείται επιπλέον επεξεργασία ή εξειδικευμένη ρύθμιση. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα που βασίζονται σε πολύπλοκα στάδια επεξεργασίας, το Mozilla Deep Speech ακολουθεί μια πιο απλοποιημένη προσέγγιση και μπορεί να χειρίζεται δυσκολίες όπως ο θόρυβος ή οι διαφορές μεταξύ ομιλητών. Έχει σχεδιαστεί για να μετατρέπει την ομιλία σε κείμενο απευθείας, χωρίς

τη χρήση εξωτερικών εργαλείων ή κανόνων, προσφέροντας έτσι μια πιο ευέλικτη και προσαρμοστική λύση στην αναγνώριση ομιλίας (Dubey & Shah, 2022).

4.5.5 Συστήματα Γλωσσικής Ανάλυσης: Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία που ανήκουν στα συστήματα γλωσσικής ανάλυσης είναι το 1) Natural Language Toolkit (NLTK), το 2) KH Coder, το 3) spaCy, το 4) Linguistic Inquiry and Word Count (LIWC), το 5) Coh -Metrix και το Elan/Clan (Đurić, 2020; Kane & van Swol, 2023).

4.5.5.1 Natural Language Toolkit (NLTK): Το NLTK είναι ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα, σχεδιασμένο για την υποστήριξη της συμβολικής και στατιστικής επεξεργασίας της φυσικής γλώσσας. Το NLTK περιλαμβάνει λειτουργίες όπως: πρόσβαση σε σώματα κειμένων, ταξινόμηση, κατηγοριοποίηση, κανονικοποίηση, σημασιολογική ερμηνεία και γλωσσική μοντελοποίηση. Το εργαλείο υποστηρίζει πλήθος προσεγγίσεων για την επεξεργασία της φυσικής γλώσσας και περιλαμβάνει διαχωρισμό προτάσεων, εξαγωγή λέξεων, φιλτράρισμα λέξεων, μορφολογική κανονικοποίηση, συντακτική ανάλυση των μερών του λόγου, εξαγωγή γλωσσικών μονάδων και ταξινόμηση κειμένου (Đurić, 2020).

4.5.5.2 KH Coder: Το KH Coder είναι ένα εργαλείο ανοιχτού λογισμικού με ποικιλία δυνατοτήτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή λέξεων-κλειδιών, τη δημιουργία πινάκων συχνότητας, τη χαρτογράφηση ομοιότητας λέξεων, τη δημιουργία δενδροδιαγραμμάτων και την ανάλυση παραγόντων και αντιστοιχιών. Υποστηρίζει, αρχεία που έχουν δημιουργηθεί με συστήματα αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) αλλά και αρχεία που έχουν μεταγραφεί χειροκίνητα καθώς επίσης και πολυγλωσσικά δεδομένα (Đurić, 2020).

4.5.5.3 Linguistic Inquiry and Word Count (LIWC): Το LIWC είναι ένα εργαλείο γλωσσικής ανάλυσης το οποίο καταγράφει τη συναισθηματική και ψυχολογική κατάσταση που αποτυπώνουν οι λέξεις ενός ομιλητή (Boyd, 2017). Το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση διαφόρων μορφών γραπτού λόγου, όπως απομαγνητοφωνήσεις ομαδικών συζητήσεων, ηλεκτρονικά μηνύματα, αναφορές ή

ακόμα και ανοικτές απαντήσεις σε ερωτηματολόγια. Αυτό που κάνει είναι να καταμετρά λέξεις και να τις αντιστοιχεί με εσωτερικά λεξικά που περιλαμβάνουν λέξεις κατανεμημένες σε ψυχολογικά σχετικές κατηγορίες (Kane & van Swol, 2023). Οι κατηγορίες είναι οι εξής: 1) γλωσσικές διεργασίες (πχ λέξεις, άρθρα, αντωνυμίες), 2) ψυχολογικές διεργασίες (πχ γνωστικές, βιολογικές κ.α.), 3) σχετικότητα, 4) προσωπικές αντιλήψεις, 5) κατηγορίες προφορικού λόγου (πχ δυσχέρειες του λόγου) (Tausczik & Pennebaker, 2010). Στην έρευνα για τη ΝΑ, το LIWC έχει χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από μεταγραφές ομιλίας με τα ευρήματα να αποτυπώνουν σημαντικές διαφορές στα άτομα με ΝΑ όπως μειωμένο συναισθηματικό τόνο, μειωμένη χρήση λειτουργικών λέξεων, χρήση περισσότερων αντωνυμιών κ.α. (Asllani & Mullen, 2023).

4.6 Γλωσσικά Χαρακτηριστικά

Τα βασικά γλωσσικά χαρακτηριστικά που είναι χρήσιμα στην ανάλυση της ομιλίας για την ανίχνευση της ΝΑ διακρίνονται στις εξής κατηγορίες λεξιλογικά, συντακτικά, πραγματολογικά και βαθιά embeddings. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά που ανήκουν στην κάθε κατηγορία και στη συνέχεια αναλύονται τα πιο σημαντικά από αυτά (Qi et al., 2023).

Πίνακας 4.2: Γλωσσικά Χαρακτηριστικά

<i>Γλωσσικά Χαρακτηριστικά (Huang, 2024; Qi, 2023)</i>		
Λεξιλογικά	Λεξιλογική ανάλυση και μέτρηση λέξεων	Γλωσσική δομή, συναισθηματικές διεργασίες, κοινωνικές διεργασίες, γνωστικές διεργασίες, διεργασίες αντίληψης, βιολογικές διεργασίες, παρορμήσεις, σχετικότητα, άτυπη γλώσσα, προσωπικά ζητήματα και χρονικός προσανατολισμός (Zolnoori et al., 2023).
	Λεξιλογική ποικιλία/πλούτος	Λεξιλογική ποικιλία ανάλογα με το μέγεθος του κειμένου (Bucks et al., 2000).
		Λεξιλογική ποικιλία ανεξάρτητη από το μέγεθος του κειμένου (Mueller, Connected speech and language in mild cognitive impairment and

		Alzheimer's disease: A review of picture description tasks, 2018).
		Ποικιλία λεξιλογικής χρήσης (Bucks et al., 2000).
		Οικειότητα, νοητική αναπαράσταση λέξεων, ηλικία κατάκτησης λέξης.
	Ανάλυση λεξιλογίου	Συνολικός αριθμός εκφωνήσεων, μέσο μήκος εκφωνήσεων, λειτουργικές λέξεις, μοναδικές λέξεις, πλήθος χαρακτήρων, ζεύγη λέξεων.
	Μέρη του λόγου	Ανάλυση γραμματικών κατηγοριών των λέξεων (Khodabakhsh, Yeşil et al., 2015). Γλωσσικές αλλαγές (Qi et al., 2023).
	Λεξιλογική πυκνότητα	Μέτρηση του ρυθμού με τον οποίο εκφράζονται οι ιδέες ή οι στοιχειώδεις προτάσεις σε μια φράση ή σε ένα κείμενο (Sirts & Hirst, 2017).
Συντακτικά	Συντακτικά δέντρα	Ανάλυση της συντακτικής δομής (Bai, 2023). Γραμματικά στοιχεία (Qi et al., 2023).
	Συντακτική πολυπλοκότητα/Ανάλυση προτάσεων	Μέσο μήκος προτάσεων και πλήθος προτάσεων
		Συχνότητα εμφάνισης διαφορετικών γραμματικών συστατικών
		Ρυθμός, ποσοστό και μέσο μήκος ονοματικών, ρηματικών και προθετικών φράσεων
		Συντονισμένες προτάσεις, δευτερεύουσες προτάσεις, μειωμένες προτάσεις, πλήθος ρημάτων, απόσταση εξάρτησης, εξαρτήσεις ανά πρόταση
Πραγματολογικά	Συνοχή	Λέξεις πλήρωσης, επαναλήψεις φράσεων, αναθεωρήσεις λέξεων, αναθεωρήσεις φράσεων
Βαθιά embeddings	Word2Vec BERT-based embeddings	Ταξινόμηση, μέτρηση σημασιολογικής ομοιότητας κ.α.
Χαρακτηριστικά αναγνωσιμότητας		Γλωσσική πολυπλοκότητα και κατανόηση

4.6.1 Μέρη του λόγου: Η παραγωγή διαφορετικών μερών του λόγου αντικατοπτρίζει τις γλωσσικές αλλαγές που συμβαίνουν στην ΝΑ. Για παράδειγμα οι ασθενείς με ΝΑ τείνουν να χρησιμοποιούν λιγότερα ουσιαστικά στον λόγο τους ενώ αυξάνεται η χρήση των αντωνυμιών, επιθέτων και ρημάτων (Qi et al., 2023).

4.6.2 Συντακτική πολυπλοκότητα: Στη ΝΑ παρουσιάζονται αλλαγές στην συντακτική ικανότητα και ιδίως στη συντακτική πολυπλοκότητα. Συνήθως, παράγουν μικρότερες εκφράσεις γεγονός που υποδηλώνει συντακτική απλοποίηση. Συχνά παρατηρείται μείωση της συχνότητας των ενσωματωμένων, εξαρτημένων ή δευτερευουσών δομών (Gao & He, 2024).

4.6.3 Γραμματικά στοιχεία: είναι χαρακτηριστικά που προέρχονται από την ανάλυση των συντακτικών δέντρων και περιλαμβάνουν τη συχνότητα εμφάνισης διαφορετικών γραμματικών συνιστωσών, καθώς και τον ρυθμό, την αναλογία και το μέσο μήκος διαφόρων φράσεων, όπως ονοματικές φράσεις, ρηματικές φράσεις και προθετικές φράσεις (Qi et al., 2023).

4.6.4 Λεξιλογική ποικιλία/πλούτος: Η ΝΑ επηρεάζει τη μνήμη, γεγονός που οδηγεί τους ασθενείς να χρησιμοποιούν συχνότερα πιο επαναλαμβανόμενο και λιγότερο ποικίλο λεξιλόγιο σε σύγκριση με υγιείς ενήλικες. Ο λεξιλογικός πλούτος αξιολογείται με βάση τον αριθμό των μοναδικών λέξεων σε σχέση με το συνολικό αριθμό λέξεων σε ένα κείμενο (Huang, 2024).

4.6.5 Βαθιά embeddings: Τα βαθιά embeddings λέξεων και προτάσεων, όπως το Word2Vec και οι BERT-based embeddings, χρησιμοποιούνται για να εντοπίσουν σημασιολογικές και συντακτικές πληροφορίες από το κείμενο. Χάρη στην ικανότητά τους να αποτυπώνουν τη σημασιολογική ομοιότητα και τη δομή της γλώσσας, συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη ανίχνευση της ΝΑ μέσω της φυσικής επεξεργασίας της γλώσσας (Qi et al., 2023).

4.6.6 Χαρακτηριστικά αναγνωσιμότητας: Τα χαρακτηριστικά αναγνωσιμότητας στοχεύουν στην αξιολόγηση της πολυπλοκότητας και της κατανόησης του παραγόμενου λόγου των ατόμων. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν δείκτες όπως τον μέσο αριθμό λέξεων ανά πρόταση και τον μέσο αριθμό συλλαβών ανά λέξη. Η ανάλυσή τους βοηθά στην αποτύπωση της γλωσσικής ευχέρειας και της πολυπλοκότητας της σκέψης, καθώς η έκπτωση σε αυτές τις ικανότητες μπορεί να αποτελεί ένδειξη γνωστικής δυσλειτουργίας (Qi et al., 2023).

4.7 Συμπληρωματικά Χαρακτηριστικά

Εκτός από τα ακουστικά και τα γλωσσικά χαρακτηριστικά που κατέχουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση της ομιλίας για την ανίχνευση της ΝΑ, υπάρχουν και άλλα χαρακτηριστικά που δεν σχετίζονται άμεσα με τη νόσο αλλά μπορεί να επηρεάσουν, ως ένα βαθμό, την εμφάνιση και εξέλιξη της. Τα χαρακτηριστικά αυτά ανήκουν σε δύο κατηγορίες, τα μέτα – χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης (Qi et al., 2023).

4.7.1 Μέτα – χαρακτηριστικά: Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν δημογραφικά ή κλινικά χαρακτηριστικά του ασθενή όπως η ηλικία, το φύλο, η εκπαίδευση, γενετικοί παράγοντες κ.α. Η ηλικία έχει συσχετιστεί με αλλαγές που συμβαίνουν στον εγκέφαλο, όπως η συσσώρευση αμυλοειδών πλακών και νευροϊνιδιακών σωματίων, που είναι χαρακτηριστικά της ΝΑ. Ακόμη, το φύλο του ασθενή έχει βρεθεί ότι κατέχει σημαντικό ρόλο στην προδιάθεση που έχει κάποιος να αναπτύξει ΝΑ, με τις γυναίκες να διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο ανάπτυξης της νόσου σε σχέση με τους άνδρες. Επιπρόσθετα, το επίπεδο εκπαίδευσης έχει συσχετιστεί με το γνωστικό απόθεμα, το οποίο σχετίζεται με την ικανότητα του εγκεφάλου να προσαρμόζεται και να λειτουργεί παρά τη βλάβη. Τα υψηλότερα επίπεδα εκπαίδευσης έχουν συνδεθεί με μεγαλύτερο γνωστικό απόθεμα, καθυστερώντας ενδεχομένως την έναρξη της γνωστικής έκπτωσης και των συμπτωμάτων της νόσου του Αλτσχάιμερ (Qi et al., 2023).

4.7.2 Χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης: Τα χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης αναφέρονται σε παραμέτρους που αποτυπώνουν τη δυναμική της συζήτησης μεταξύ δύο συνομιλητών. Στην ανάλυση ομιλίας για την ανίχνευση της ΝΑ, τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν τον αριθμό των εναλλαγών ομιλίας, τη διάρκεια των παύσεων και την

αναλογία συνομιλίας μεταξύ του ασθενή και του συνομιλητή του. Οι δείκτες αυτοί θεωρούνται χρήσιμοι επειδή αντικατοπτρίζουν τις δυσκολίες που παρουσιάζουν τα άτομα με ΝΑ στην έναρξη και διατήρηση της συνομιλίας φαινόμενα που είναι συχνά ήδη από τα πρώιμα στάδια της νόσου (Qi et al., 2023).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Μηχανική Μάθηση – Βαθιά Μάθηση

5.1 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) ή απλά νευρωνικά δίκτυα (ΝΔ) είναι συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών (Thakur & Kumar, 2021) εμπνευσμένα από τον τρόπο με τον οποίο ο ανθρώπινος εγκέφαλος σκέφτεται, μαθαίνει και λαμβάνει αποφάσεις (Montesinos López et al., 2022). Τα ΤΝΔ αποτελούν ένα είδος μοντέλου μηχανικής μάθησης (Abiodun et al., 2018) και σημαντικό εργαλείο εξαγωγής δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση, ομαδοποίηση (Cilimkovic, 2015) αναγνώριση προτύπων και πρόβλεψη σε πολλούς επιστημονικούς τομείς (Thakur & Kumar, 2021) όπως είναι η αναγνώριση εικόνων, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η αναγνώριση ομιλίας κ.α. (Kufel et al., 2023)

Τα κύρια συστατικά μέρη ενός ΤΝΔ αποτελούν τα στρώματα εισόδου, τα κρυφά στρώματα, τα στρώματα εξόδου, τα συναπτικά βάρη καθώς επίσης και εκατοντάδες ή και χιλιάδες τεχνητοί νευρώνες ή αλλιώς μονάδες επεξεργασίας (Montesinos López et al., 2022).

Η λειτουργία ενός ΤΝΔ πραγματοποιείται ως εξής: οι νευρώνες στα κρυφά στρώματα συνδέονται με τους νευρώνες στα στρώματα εισόδου και οι νευρώνες στα στρώματα εξόδου συνδέονται με τους νευρώνες στα στρώματα εισόδου. Κάθε σύνδεση έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει τις πληροφορίες σε άλλους νευρώνες. Επίσης, κάθε σύνδεση περιλαμβάνει και ένα βάρος, το συναπτικό βάρος, το οποίο αυξάνοντας ή μειώνοντας την τιμή του (Thakur & Kumar, 2021), μέσω της διαδικασίας της μάθησης, (Montesinos López et al., 2022) ενισχύει το σήμα που μεταδίδεται. Κάθε νευρώνας καθορίζει την έξοδό του εφαρμόζοντας μία συνάρτηση ενεργοποίησης (συνήθως μη γραμμική) στο καθαρό σήμα εισόδου (δηλαδή στο άθροισμα των σταθμισμένων σημάτων εισόδου). Τα στρώματα εισόδου δέχονται τα δεδομένα από το περιβάλλον τα οποία μεταφέρονται στα κρυφά στρώματα για να επεξεργαστούν. Στη συνέχεια οι νευρώνες από τα κρυφά στρώματα μεταδίνουν την πληροφορία στα στρώματα εξόδου, τα

οποία έπειτα αναλύουν περαιτέρω τα δεδομένα και παράγουν το τελικό αποτέλεσμα. (Thakur & Kumar, 2021).

5.2 Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα (BNΔ) αποτελούν εξέλιξη των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) καθώς χαρακτηρίζονται από την παρουσία πολλαπλών κρυφών επιπέδων. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ΤΝΔ που περιλαμβάνουν ένα ή δύο τέτοια στρώματα, τα BNΔ διαθέτουν μεγαλύτερο αριθμό επιπέδων και νευρώνων, γεγονός που τα καθιστά ικανά να επεξεργάζονται πιο σύνθετες σχέσεις στα δεδομένα. Η εκπαίδευσή τους πραγματοποιείται μέσω της βαθιάς μάθησης, ενός υποπεδίου της μηχανικής μάθησης και του ευρύτερου πλαισίου της τεχνητής νοημοσύνης. Ο όρος βαθύ αναφέρεται στον αριθμό των επιπέδων επεξεργασίας που συμμετέχουν στο δίκτυο και όχι στο περιεχόμενο της γνώσης που αποκτάται (Montesinos López et al., 2022).

5.3 Τεχνητή Νοημοσύνη – Μηχανική Μάθηση – Βαθιά Μάθηση

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ) αναφέρεται σε λογισμικά ή μηχανές που εμφανίζουν νοήμονα συμπεριφορά. Η Μηχανική Μάθηση (ΜΜ) αποτελεί υποπεδίο της ΤΝ και έχει την ικανότητα να εντοπίζει μοτίβα σε δεδομένα, χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση (Mehrish et al., 2023). Ουσιαστικά, τα συστήματα ΜΜ μετατρέπουν τα ακατέργαστα δεδομένα σε πολύτιμες πληροφορίες, ενώ με την είσοδο νέων δεδομένων, η διαδικασία μάθησης επαναλαμβάνεται, καθώς αναλύονται τα μοτίβα και εφαρμόζονται οι γνώσεις που έχουν αποκτηθεί. Η Βαθιά Μάθηση (ΒΜ) αποτελεί υποσύνολο της μηχανικής μάθησης και χρησιμοποιεί τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα ΤΝΔ (Mehrish et al., 2023) για να εξάγει αποτελέσματα μέσα από περίπλοκα δεδομένα (Montesinos López et al., 2022).

Η ΤΝ και η ΜΜ έχουν προσφέρει καινοτόμες λύσεις σε πληθώρα προβλημάτων στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης (Natarajan et al., 2025). Η ΜΜ έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στη διάγνωση πολλών νόσων, συμπεριλαμβανομένης και της άνοιας. Η ΒΜ συγκεκριμένα, μπορεί να διακρίνει άτομα με άνοια από υγιείς ηλικιωμένους και να προβλέψει την εξέλιξη από ΗΓΔ σε ΝΑ (Natarajan et al., 2025).

5.4 Τύποι Νευρωνικών Δικτύων και Χρήσεις

5.4.1 Convolutional Neural Networks (CNNs): είναι κατάλληλα για αναγνώριση εικόνων, βίντεο, φωνής και αντικειμένων, επεξεργασία φυσικής γλώσσας, κατηγοριοποίηση εικόνων, επεξεργασία σημάτων, προβλέψεις χρονοσειρών, καλή απόδοση στη σημασιολογική ανάλυση και στην αναγνώριση παραφράσεων.

5.4.2 Feedforward Neural Networks (FNNs): είναι κατάλληλα για αναγνώριση προσώπων, εικόνων, κειμένων, ομιλίας, υπολογιστική όραση.

5.4.3 Recurrent Neural Networks (RNNs) & Long Short – Term Memory, Bi-LSTM, GRU, Bi-GRU: είναι κατάλληλα για επεξεργασία φυσικής γλώσσας, αναγνώριση ομιλίας, ανάλυση συναισθήματος, κατηγοριοποίηση βίντεο, μετατροπή κειμένου σε ομιλία, πρόβλεψη ακολουθιών.

5.4.4 Autoencoders, GANs, Deep Belief Networks (DBNs): είναι κατάλληλα για ανίχνευση ανωμαλιών, αναγνώριση προτύπων χωρίς επίβλεψη, παραγωγή εικόνων ή ήχων, ανακατασκευή και συμπίεση δεδομένων.

5.4.5 Transformers: είναι κατάλληλα για αναγνώριση συναισθήματος, αναγνώριση και κατανόηση γλώσσας, αναλύσεις σε βίντεο και εικόνα.

5.4.6 Deep Transfer Learning (DTL): είναι κατάλληλα για αναγνώριση ομιλίας, ανάλυση βίντεο, επεξεργασία σήματος, ιατρική εικόνα (Thakur & Kumar, 2021; Kufel et al., 2023; Shiri et al., 2023).

5.5 Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα και Αναγνώριση Ομιλίας

Τα ΒΝΔ έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην αναγνώριση και επεξεργασία της ομιλίας λόγω της ικανότητάς του να μαθαίνουν πολύπλοκα πρότυπα και ιεραρχικές αναπαραστάσεις αλλά και να καταγράφουν λανθασμένα χαρακτηριστικά, απευθείας από ακατέργαστα δεδομένα ομιλίας (Mehrish et al., 2023). Αυτή η ικανότητα εξαλείφει την ανάγκη

για χειροκίνητη εξαγωγή χαρακτηριστικών, κάτι που ήταν απαραίτητο στις παραδοσιακές μεθόδους αναγνώρισης και επεξεργασίας της ομιλίας (Mehrish et al., 2023). Τα BND έχουν τη δυνατότητα να μαθαίνουν και να εξάγουν αποτελέσματα αυτόματα, λόγω της ικανότητας τους να δημιουργούν τους δικούς τους κανόνες μέσω της εμπειρικής μάθησης (Montesinos López et al., 2022). Έτσι, ανταποκρίνονται καλύτερα σε περιπτώσεις όπου ο ήχος είναι αλλοιωμένος, σε συνθήκες με θόρυβο, σε ποικιλία ομιλητών με διαφορετικές διαλέκτους και προφορές καθώς και σε σύνθετες γλωσσικές δομές, (Mehrish et al., 2023) καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπως η αναγνώριση ομιλίας, η αναγνώριση ομιλητή, η μετατροπή κειμένου σε ομιλία και ομιλίας σε κείμενο, η αναγνώριση συναισθήματος καθώς και η ανίχνευση γνωστικών ή νευρογνωστικών διαταραχών (Ding K. et al., 2024).

5.6 Μοντέλα NN που Χρησιμοποιούνται στην Ανάλυση της Φωνής

Διάφορες μέθοδοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για τη ανίχνευση της ΝΑ χρησιμοποιώντας δεδομένα που βασίζονται στην ομιλία. Διακρίνονται ως εξής: παραδοσιακή μάθηση, βαθιά μάθηση, μεταφορά μάθησης, συνδυαστική μάθηση και πολυτροπική μάθηση. Πολλές από αυτές χρησιμοποιούνται συνδυαστικά για να δημιουργηθεί ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο με καλύτερη απόδοση.

Στα μοντέλα της παραδοσιακής μάθησης ανήκει το Support Vector Machine (SVM), το Linear Regression, το Logistic Regression, το Decision Tree (DT), Naïve Bayes (BT), το Linear Discriminant Analysis (LDA), το K-nearest Neighbours (KNN) και το Gaussian Mixture Models (GMM). Αυτά τα μοντέλα συνήθως είναι αποδοτικά όταν εφαρμόζονται σε κατάλληλα εξαγόμενα αποτελέσματα είτε από ηχογραφήσεις φωνής είτε από μετεγγραφές κειμένου.

Στα μοντέλα βαθιάς μάθησης ανήκει το Convolution Neural Networks (CNN), το Long-short term memory (LSTM), το Gated recurrent unit (GRU), το Multilayer Perceptron (MLP), τα autoencoders (AE) και το attention-based model. Αυτά τα μοντέλα είναι αποτελεσματικά στην εξαγωγή ακουστικών χαρακτηριστικών από ηχητικά δεδομένα.

Τα μοντέλα μεταφοράς μάθησης διακρίνονται σε text-based models όπως BERT, GTP, XLNet, σε audio-based models όπως wav2vec2, VGGish, whisper, HUBERT, XLSR-53, Mockingjay, YAMNET και σε image-based models όπως ResNet, vision transformer (Vit), MobileNet. Τα

μοντέλα αυτά αξιοποιούν προεκπαιδευμένα γλωσσικά μοντέλα για την απόκτηση γλωσσικών χαρακτηριστικών από μετεγγραφές.

Στα μοντέλα συνδυαστικής μάθησης ανήκει το Random Forest (RF), το TreeBagger (TB), Ada Boost, Gradient Boost, Extreme Gradient Boosting (XG Boost), Majority voting. Αυτά τα μοντέλα συνδυάζουν πολλά διαφορετικά μοντέλα ώστε να ενισχύσουν την απόδοση και να παράγουν ανθεκτικά αποτελέσματα.

Στα μοντέλα πολυτροπικής μάθησης ανήκει το Feature/tensor fusion, το Averaging/score fusion, Add/con-catenation fusion. Αυτά τα μοντέλα ενσωματώνουν διαφορετικούς τρόπους δεδομένων επιτρέποντας στα μοντέλα μηχανικής μάθησης να αξιοποιούν συμπληρωματικές πληροφορίες από γλωσσικά πρότυπα, ακουστικά χαρακτηριστικά και οπτικές αναπαραστάσεις των σημάτων ομιλίας (Ding K. et al., 2024).

5.7 Χαρακτηριστικά που Χρησιμοποιούνται στην Ανάλυση της Φωνής για την Ανίχνευση της Νόσου του Αλτσχάιμερ

Η ανάλυση φωνητικών δεδομένων για την ανίχνευση της ΝΑ παρέχει πολύτιμες κλινικές πληροφορίες, δεδομένου ότι η εκφύλιση των εγκεφαλικών κυττάρων που προκαλεί η νόσος επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στη μνήμη, τη γνωστική λειτουργία και τις γλωσσικές ικανότητες (Ding K. et. al., 2024). Συγκεκριμένα τα άτομα με άνοια παρουσιάζουν παθολογικά γλωσσικά χαρακτηριστικά όπως παύσεις, επαναλήψεις, επανεκκινήσεις, ατελείς προτάσεις καθώς και αλλοιώσεις στα φωνητικά χαρακτηριστικά (Ding K. et. al., 2024). Σύμφωνα με την δεκαετή ανασκόπηση των Martínez-Nicolás et al., (2021), τα φωνητικά χαρακτηριστικά που έχουν συσχετιστεί με την άνοια περιλαμβάνουν τέσσερις βασικές κατηγορίες: χρονικά, προσωδιακά, φωνητικά και φασματικά.

Χρονικά χαρακτηριστικά: αυξημένος χρόνος ομιλίας και φώνησης, μειωμένος ρυθμός ομιλίας και άρθρωσης, αυξημένα διαλείμματα φωνής και αυξημένο ποσοστό άηχων τμημάτων.

Προσωδιακά χαρακτηριστικά: μειωμένη εκφραστικότητα προσωδίας, επίπεδη προσωδία και περιορισμένη διακύμανση στις συλλαβές.

Φωνητικά χαρακτηριστικά: αυξημένες διακυμάνσεις σε συχνότητα και ένταση, μειωμένος λόγος θορύβου προς αρμονικές και χαμηλότερη συνέχεια αρμονικών τμημάτων.

Φασματικά χαρακτηριστικά: παραμορφώσεις σε συχνότητες (formants F2 & F3) και αλλαγές στο φασματικό κέντρο βάρους και στα Mel – Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs) (Martínez-Nicolás et al., 2021).

5.8 Απόδοση των NN στην Ανίχνευση της ΝΑ μέσω της Ομιλίας

Η εφαρμογή των Νευρωνικών Δικτύων στην ανίχνευση και διάγνωση της Νόσου Αλτσχάιμερ μέσω της ομιλίας έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο τα τελευταία χρόνια, κυρίως χάρη στην εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης (Ding K. et al., 2024) και της Βαθιάς Μάθησης (Yang et al., 2022). Οι τεχνολογίες αυτές έχουν ενισχύσει την αναγνώριση ομιλίας και την επεξεργασία φυσικής γλώσσας, αξιοποιώντας την ικανότητά τους να μοντελοποιούν πολύπλοκες σχέσεις στα δεδομένα. Σύμφωνα με μελέτες, οι περισσότερες τεχνικές βαθιάς μάθησης επιτυγχάνουν ακρίβεια άνω του 85% στην ανίχνευση της ΝΑ. Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι γλωσσικά (π.χ. σύνταξη, σημασιολογία), ακουστικά (π.χ. pitch, jitter), χρονικά (π.χ. διάρκεια λέξεων και παύσεων), καθώς και πολυτροπικά που συνδυάζουν πληροφορίες από ήχο και κείμενο (Yang et al., 2022).

Αν και η σχετική έρευνα είναι εκτενής, η ανίχνευση της ΝΑ μέσω φωνής παραμένει πρόκληση, κυρίως λόγω της έλλειψης μεγάλων και τυποποιημένων συνόλων δεδομένων, των ζητημάτων ιδιωτικότητας και της δυσκολίας ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, η υψηλή ακρίβεια που επιτυγχάνεται από τα μοντέλα βαθιάς μάθησης ενισχύει την άποψη ότι η φωνητική ανάλυση μπορεί να εξελιχθεί σε πολύτιμο εργαλείο για την πρόιμη διάγνωση στην κλινική πράξη (Ding K. et al., 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

6.1 Κριτήρια επιλογής

Για τη βιβλιογραφική ανασκόπηση της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν επιστημονικά άρθρα που μελετούν την ικανότητα της ανίχνευσης ΝΑ ή /και ΗΓΔ μέσω τεχνολογιών ανάλυσης φωνής και ομιλίας. Κάθε άρθρο έπρεπε να περιέχει τουλάχιστον μία ομάδα ανθρώπων με ΝΑ ή/ και ΗΓΔ και μία ομάδα ΥΜ με γηριατρικό πληθυσμό. Συμπεριλήφθηκαν έρευνες που στόχευαν στη ανίχνευση ή στη διάγνωση μόνο ΝΑ ή/ και ΗΓΔ μέσω φωνητικών χαρακτηριστικών. Οι έρευνες χωρίστηκαν σε δυο κατηγορίες, με βάση τα αποτελέσματα που έφεραν: 1) περιγραφικά χαρακτηριστικά φωνής και ομιλίας που διαφοροποιούν τα άτομα με ΗΓΔ ή/και ΝΑ από τον υγιή πληθυσμό, 2) ποσοστό ακρίβειας διάκρισης μεταξύ υγιούς πληθυσμού, ασθενών με ΗΓΔ ή/ και ΝΑ.

6.2 Μέθοδοι επιλογής ερευνών

Η αναζήτηση έγινε στις βάσεις δεδομένων PubMed, ResearchGate, Frontiers, ScienceDirect, PLOS, Springer Open. Οι λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν σε όλες τις βάσεις δεδομένων ήταν ίδιες (Voice Analysis OR Biomarkers OR Speech Disorders OR Temporal Parameters OR Speech Analysis) AND (Alzheimer OR Mild Cognitive Impairment).

Τα άρθρα που επιλέχθηκαν είχαν έτος δημοσίευσης 2013-2024, η γλώσσα δημοσίευσης ήταν η αγγλική και περιέγραφαν ερευνητικές μελέτες.

Τα επιστημονικά άρθρα που αποκλείστηκαν είχαν τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Δεν περιείχαν ανάλυση φωνής,
2. Περιείχαν άλλες νευροεκφυλιστικές νόσους εκτός άνοιας, ΝΑ, ΗΓΔ (π.χ. Parkinson, σκλήρυνση κατά πλάκας, κλπ.),
3. Αποτελούσαν συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις,
4. Δεν παρουσίαζαν περιγραφικά ή ποσοτικά αποτελέσματα ως προς τα φωνητικά χαρακτηριστικά που διακρίνουν τον υγιή πληθυσμό από τον πληθυσμό με ΗΓΔ ή/και ΝΑ,

5. Τα άρθρα τους δεν ήταν ανοιχτής πρόσβασης (open access).

Βασικός περιορισμός αποτελούσε το γεγονός πως τα περισσότερα άρθρα δεν ήταν ανοιχτής πρόσβασης με αποτέλεσμα να περιορίζεται σημαντικά ο αριθμός αυτών που ήταν διαθέσιμα. Ένας άλλος λόγος είναι πως πολλές μελέτες συμπεριλάμβαναν άλλες νευροεκφυλιστικές νόσους με ή χωρίς πληθυσμό ΗΓΔ ή ΝΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1 Μελέτες με θέμα ανάλυση φωνής και ομιλίας σε ασθενείς με ΝΑ και ΗΓΔ σε σύγκριση με υγιή πληθυσμό που δίνουν αποτελέσματα για περιγραφικά χαρακτηριστικά.

Οι μελέτες που δίνουν αποτελέσματα για περιγραφικά φωνητικά χαρακτηριστικά διακρίνονται σε έρευνες που αναλύουν το φωνητικό δείγμα μεταξύ: 1) ασθενών με ΗΓΔ και ομάδα ΥΜ, 2) ασθενών με ΝΑ και ομάδα ΥΜ, ενώ 3) άλλες μελέτες συγκρίνουν τα αποτελέσματα μεταξύ ομάδων ασθενών με ΗΓΔ, ασθενών με ΝΑ και ΥΜ.

Στην πρώτη κατηγορία, ανήκει η μελέτη Beltrami et al. (2018), κατά την οποία μετά από ακουστική και λεξιλογική ανάλυση δείγματος ελεύθερης ομιλίας σε 3 δοκιμασίες, προέκυψε πως η ακριβέστερη διάκριση εμφανίζεται με τη σύγκριση φωνητικού δείγματος της ομάδας αμν-ΗΓΔ με το δείγμα της ομάδας ΥΜ. Κύρια διακριτά ακουστικά χαρακτηριστικά αποτελούσαν η διάρκεια των παύσεων και ο ρυθμός της ομιλίας, ενώ από την λεξιλογική ανάλυση του δείγματος εμφανίστηκαν ελλείμματα στο λεξιλόγιο και στο περιεχόμενο, καθώς και μειωμένη χρήση επιθέτων παρουσιάζονται. Αντίστοιχα ακουστικά αποτελέσματα εμφάνισε και η μελέτη των Toth et al. (2018) που σύγκρινε τα ακουστικά χαρακτηριστικά μεταξύ ομάδας ΗΓΔ και ΥΜ. Δύο χρόνια αργότερα, οι Themistocleous et al. (2020), μετά από ανάλυση φωνητικού δείγματος με το λογισμικό Pratt, διαπίστωσαν πως οι ομάδες ΗΓΔ και ΥΜ εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στα φωνητικά τους συστήματα με κύρια ευρήματα την ασθενέστερη φωνή, τη μεγαλύτερη μέση διάρκεια συλλαβής, καθώς και χαμηλότερο ρυθμό άρθρωσης και ομιλίας. Οι Kim et al. (2021), μετά από φωνητική ανάλυση σε ομάδες αμν-ΗΓΔ με ΥΜ, παρατήρησαν διαφορά στον αριθμό των παύσεων, του μουρμουρητού και του τραυλισμού. Σε αντίθεση με τα παραπάνω αποτελέσματα, στην έρευνα των Balogh et al. (2022), η σημασιολογική ανάλυση έδειξε πως η ομάδα ΥΜ παρουσιάζει περισσότερες παύσεις, ενώ η ομάδα ΗΓΔ παρουσιάζει μεγαλύτερη μέση τιμή στη διάρκεια των παύσεων και περισσότερο χρόνο μεταξύ των λέξεων. Από την ακουστική ανάλυση της παραγωγής φωνημάτων /k/,/t/,/a/, προέκυψε πως εμφανίζονται περισσότερα λάθη κατά την παραγωγή του

φωνήματος /a/ από την ομάδα ΗΓΔ. Σε αντίθεση με την έρευνα των Khodabakhsh et al. (2014), οι Balogh et al. (2022) ανέφεραν πως οι σημασιολογικές δοκιμές είναι πιο ευαίσθητες στην ανίχνευση ΗΓΔ απ'ότι οι φωνημικές/προσωδιακές αναλύσεις, αλλά πως και οι δύο είναι ικανές για τη διάκριση των δύο ομάδων. Στην έρευνα των Ambrosini et al. (2024), ενώ βλέπουμε πως υπάρχουν διαφορές στην ακρίβεια διάκρισης ΗΓΔ από ΥΜ ανάλογα με τη γλώσσα (μεγαλύτερη διακριτική ακρίβεια ΗΓΔ παρατηρήθηκε στο δείγμα στα ιταλικά και λιγότερη στο δείγμα στην ισπανική γλώσσα και στο συνδυαστικό). Σε όλες τις ομάδες ΗΓΔ, όμως, παρατηρήθηκε αυξημένη εμφάνιση παύσεων, περιοδικότητας και φασματικών χαρακτηριστικών.

Η πρώτη μελέτη που συγκρίνει τις φωνητικές αναλύσεις ασθενών με ΝΑ με ομάδα ΥΜ δημοσιεύτηκε το 2013 από τους Martínez-Sánchez et al. Έχοντας σύνολο συμμετεχόντων 70, ανακάλυψαν πως στους ασθενείς με ΝΑ παρατηρείται κυρίως μειωμένος ρυθμός ομιλίας και άρθρωσης και αυξημένος αριθμός και διάρκεια παύσεων. Την επόμενη χρονιά, οι Meilán et al. (2014) σύγκριναν τα φωνητικά δείγματα ασθενών με ΝΑ με αυτά της ομάδας ΥΜ και εμφάνισαν διαφορές στο ποσοστό και στον αριθμό φωνητικών διακοπών, στον αριθμό περιόδων φωνής, στο shimmer και στην αναλογία θορύβου προς αρμονικές. Στην έρευνα των Khodabakhsh et al. (2014), η ταξινόμηση των δειγμάτων αυθόρμητης ομιλίας των συμμετεχόντων σε ΥΜ και ΝΑ ομάδες, πραγματοποιήθηκε με πολλαπλά μοντέλα μηχανικής μάθησης. Μετά την ανάλυση διαπιστώθηκε πως τα προσωδιακά χαρακτηριστικά ήταν καλύτερα στη διάκριση ΝΑ από ΥΜ με πιο αποτελεσματικό διακριτικό χαρακτηριστικό τη συχνότητα παύσεων. Οι Farrús και Codina-Filbà (2020) έκαναν ακουστική και λεξιλογική ανάλυση μεταξύ πληθυσμού ΝΑ και ΥΜ και η ομάδα ΝΑ εμφάνισε μειωμένο έλεγχο της φωνής (αυξημένη τιμή F0), μονότονη ομιλία (χαμηλότερες τιμές στην κλίση F0), μεγαλύτερη διάρκεια παύσεων, πιο αργό ρυθμό ομιλίας και μειωμένο jitter, ενώ λεξιλογικά παρατηρήθηκε έλλειμμα στο περιεχόμενο και συχνές παρεμβολές κατά την ομιλία. Στην έρευνα Noto et al. (2024), με ανάλυση ομιλίας από συστήματα μηχανικής μάθησης, τα φασματικά χαρακτηριστικά είχαν τη μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα για τη διάκριση ομάδας ΝΑ από ΥΜ. Τέλος στη μελέτη Arslan-Sarimehmetoğlu και Barmak (2025), οι ασθενείς με ΝΑ ανεξαρτήτως φύλλου εμφανίζουν σημαντικά αυξημένες τιμές jitter και shimmer, δηλαδή αυξημένη φωνητική αστάθεια σε σύγκριση με τον υγιή πληθυσμό.

Από φωνητική ανάλυση δείγματος ανάγνωσης κειμένου μεταξύ ομάδων YM, ΗΓΔ, και ΝΑ, οι König et al., 2015 ανακάλυψαν πως οι ασθενείς με ΝΑ και ΗΓΔ, κάνουν παύσεις με μεγάλη διάρκεια, και η λεκτική τους ευχέρεια εμφανίζει πιο χαμηλό ρυθμό. Το διακριτικό χαρακτηριστικό των δύο ομάδων (ΝΑ και ΗΓΔ) αποδείχθηκε πως αποτελεί η σημασιολογική ευχέρεια, που φαίνεται πως είναι σημαντικά πιο επιδεινωμένη στα άτομα με ΝΑ. Οι Hernández-Domínguez et al., το 2018 ανέλυσαν τα λεξιλογικά και τα φωνητικά χαρακτηριστικά από μεταγραφές και ηχογραφήσεις περιγραφής της εικόνας Cookie Theft από τη βάση δεδομένων DementiaBank και κατέληξαν πως η σχετικότητα των περιγραφών έχει μεγαλύτερη προβλεπτική ακρίβεια σε σύγκριση με τη λεξιλογική πολυπλοκότητα. Η αυξημένη χρήση παραθετικών συνδέσμων («και») υποδεικνύει γνωστική έκπτωση, καθώς λειτουργεί ως επιβράδυνση στον ρυθμό της ομιλίας.

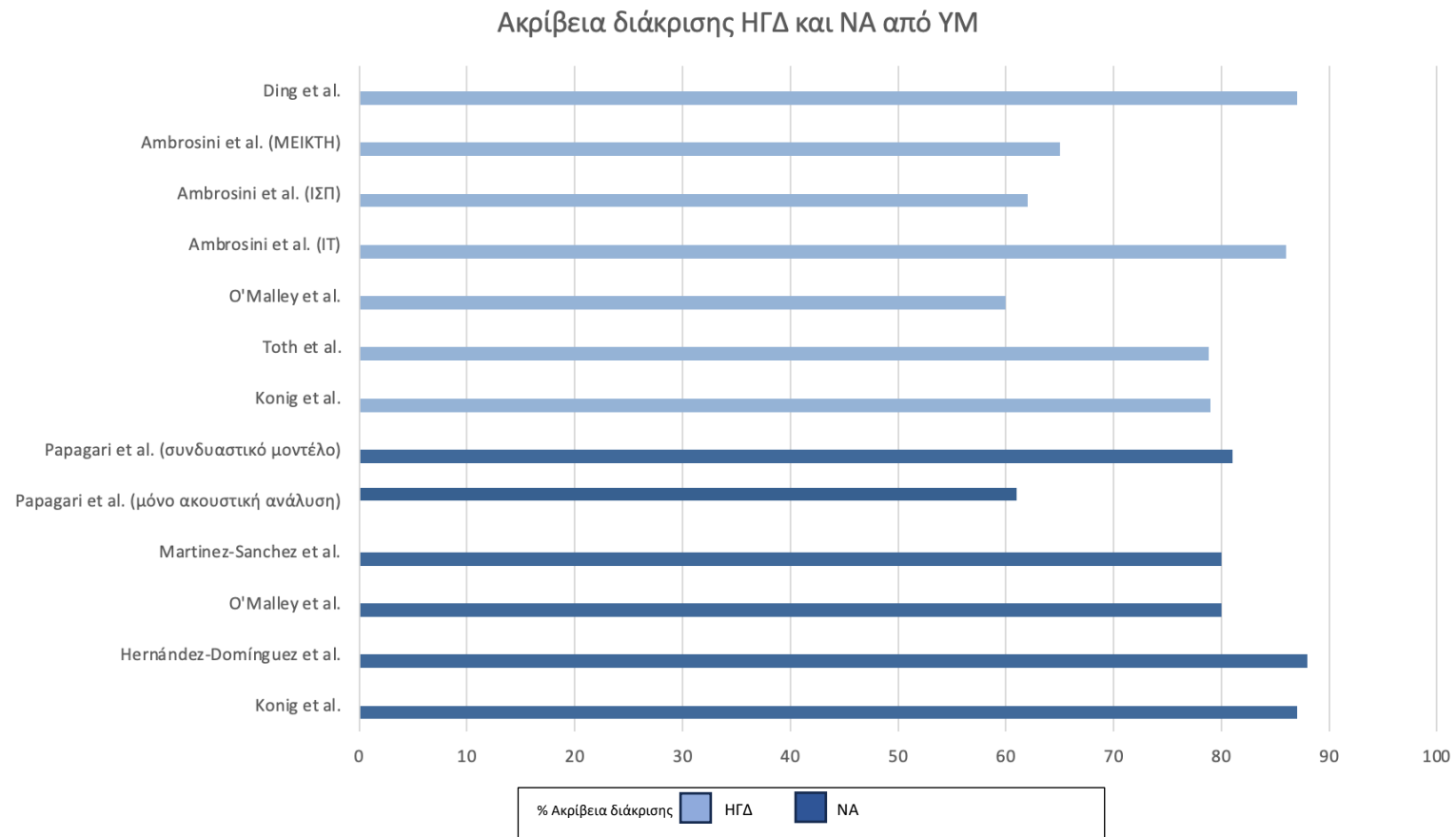
Οι Ivanova et al. (2022) συμπέραναν πως όσο αυξάνεται η σοβαρότητα τόσο πιο πολύ αυξάνεται ο χρόνος ανάγνωσης και φώνησης. Αντίστοιχα αυξημένος ήταν ο αριθμός, η διάρκεια των παύσεων και οι διακοπές της φωνής, ενώ μειωμένος ήταν ο ρυθμός ομιλίας και η σταθερότητα της φωνής. Επιπροσθέτως, παρατηρήθηκε διαφορά στο φωνητικό δείγμα μεταξύ των ατόμων με μη αμνησιακό τύπο ΗΓΔ και ατόμων με αμνησιακό τύπο ΗΓΔ, με τον δεύτερο να εμφανίζει συχνότερα παύσεις, δυσφωνία και ασυμμετρία φωνής.

7.2 Μελέτες με θέμα ανάλυση φωνής και ομιλίας με σκοπό τη διερεύνηση του ποσοστού ακρίβειας διάκρισης ΝΑ ή/και ΗΓΔ από πληθυσμό YM.

Στην έρευνα του König et al. (2015), ύστερα από φωνητική ανάλυση προέκυψε ποσοστό ακρίβειας διάκρισης 79% ΗΓΔ για άτομα με και 87% για άτομα με ΝΑ. Η έρευνα των Toth et al. (2018) κατέληξε σε παρόμοιο ποσοστό διάκρισης ΗΓΔ με YM, 78.8%. Οι Hernández-Domínguez et al. (2018), ανέδειξαν την ακρίβεια διάκρισης ασθενών με ΝΑ από πληθυσμό YM σε 81-88%, ενώ η ομάδα με ασθενείς με ΝΑ και ΗΓΔ διακρίθηκαν με ακρίβεια 85%.

Στην μελέτη των O'Malley et al. (2020), είχαμε ποσοστό διάκρισης 80% για τα άτομα με ΝΑ, ενώ για τα άτομα με ΗΓΔ ήταν 60%. Οι Ambrosini et al. (2024) βρήκαν πως η ακρίβεια διάκρισης γνωστικής έκπτωσης από τον υγιή πληθυσμό κυμαίνεται από 80-86% στην

ιταλόφωνη ομάδα, όπου όσο πιο σοβαρή η έκπτωση, τόσο πιο ακριβής είναι η διάκριση. Στην ισπανόφωνη και μεικτή ομάδα η ακρίβεια διάκρισης ήταν χαμηλότερη, 62% και 65% αντίστοιχα. Η έρευνα των Martinez-Sanchez et al. (2013), δείχνει πως οι ισπανόφωνοι ασθενείς με ΝΑ διακρίνονται από την ομάδα ΥΜ με ακρίβεια 80%. Ασθενείς με ΝΑ που συμμετείχαν στην έρευνα των Paragari et al. (2021), υποβλήθηκαν σε ακουστική και γλωσσική ανάλυση και διαπιστώθηκε πως για τη συνδυαστική ανάλυση προέκυπτε ακρίβεια διάκρισης 81%, ενώ με την ακουστική ανάλυση προέκυπτε ακρίβεια 61%. Σε διαφορετικό συμπέρασμα, κατέληξαν οι Ding H. et al. (2024), καθώς από ακουστική ανάλυση ασθενών με ΗΓΔ στη διάρκεια 15 ετών προέκυψε ακρίβεια διάκρισης 87%.



Εικόνα 7.2: Ακρίβεια διάκρισης ΝΑ και ΗΓΔ από ομάδα ΥΜ

Πίνακας 7.3: Έρευνες με αποτελέσματα ως προς τα περιγραφικά χαρακτηριστικά της φωνής

Συγγραφείς και έτος	Ερευνητική Ερώτηση/ Σκοπός	Μεθοδολογία	Δείγμα/ Πληθυσμός	Κύρια Ευρήματα	Περιορισμοί Μελέτης
Martínez-Sánchez et al., 2013	Εξέταση προφορικού δείγματος με σκοπό τη μελέτη χρονικής οργάνωσης στους ασθενείς με ΝΑ για αξιολόγηση ικανότητας διάκρισης ατόμων με ΝΑ και ΥΜ, μέσω ημιαυτόματης μεθόδου ανάλυσης ομιλίας.	Δοκιμασία ανάγνωσης κειμένου για καταγραφή του λόγου με τη χρήση ημιαυτόματων αλγορίθμων ανάλυσης της φωνητικής ροής, δηλαδή χαρακτηριστικών όπως: • Ρυθμός ομιλίας • Ρυθμός άρθρωσης • Αριθμός και διάρκεια παύσεων	Σύνολο συμμετεχόντων: 70 • ΝΑ:35 • ΥΜ:35	Παρατηρήθηκε : • Μειωμένος ρυθμός ομιλίας και άρθρωσης • Αυξημένος αριθμός και διάρκεια παύσεων • Μειωμένη αποτελεσματικότητα φωνητικής αφομοίωσης Ακρίβεια διάκρισης AD από HC: 80%	• Μικρό δείγμα • Η μέθοδος απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό επεξεργασίας σήματος, που δεν είναι διαθέσιμος στο ευρύ κοινό.
Meilán et al., 2014	Διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο τα χαρακτηριστικά της φωνής μπορούν να διαφοροποιήσουν τους ασθενείς με ΝΑ από τους ΥΜ.	Ανάλυση ακουστικών, χρονικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της ομιλίας, με το λογισμικό Praat, σε πληθυσμό ΝΑ και ΥΜ. Το δείγμα ομιλίας συγκεντρώθηκε από καταγραφή των συμμετεχόντων να κάνουν ανάγνωση γνωστών και εύκολων προτάσεων.	Σύνολο συμμετεχόντων: 66, ηλικίας ≥ 60 , με μητρική τους γλώσσα να είναι ισπανική: • ΝΑ:30 • ΥΜ:36	• Τα χαρακτηριστικά που φάνηκαν να διαφέρουν στους ασθενείς με ΝΑ είναι: • το ποσοστό και αριθμό φωνητικών διακοπών, • ο αριθμός περιόδων φωνής • το shimmer, • η αναλογία θορύβου προς αρμονικές, με ακρίβεια 84,8%. Μόνο 10 από τους 66 συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν λάθος (ΝΑ:6 και ΥΜ:4).	• Μικρό δείγμα • Η χρήση γνωστών προτάσεων διατηρεί τα προσωδιακά χαρακτηριστικά κι έτσι, μειώνεται η ευαισθησία για διάγνωση μέσω των προσωδιακών χαρακτηριστικών. • Πιθανή επίδραση γλωσσικών διαφορών στο αποτέλεσμα. • Το δείγμα δεν αποτελούταν από αυθόρμητη ομιλία.
Khodabakhsh et al., 2014	Στόχος είναι η ανάπτυξη μιας μεθόδου αυτόματης διάγνωσης και παρακολούθησης της ΝΑ, με τη χρήση των φωνητικών χαρακτηριστικών από δείγμα αυθόρμητης ομιλίας.	Η συλλογή δείγματος έγινε από ηχογράφηση ελεύθερης συνομιλίας με επιμελή χειροκίνητη μεταγραφή και επεξεργάστηκε με την εφαρμογή VAD για την ανίχνευση παύσεων και τον διαχωρισμό turn/utterance. Από την ανάλυση προέκυψαν 17 γλωσσικά χαρακτηριστικά και 20 προσωδιακά χαρακτηριστικά.	Σύνολο συμμετεχόντων: 79 άτομα, ηλικίας =60-90 με μητρική τους γλώσσα να είναι η τουρκική: • ΝΑ:28 • ΥΜ:51	Τα προσωδιακά χαρακτηριστικά ήταν καλύτερα στη διάκριση ασθενών με AD σε σύγκριση με τα γλωσσολογικά χαρακτηριστικά. Η συχνότητα παύσεων είχε την καλύτερη διακριτική ικανότητα. Ακολουθούν ο λόγος σιωπής και ο ρυθμός φώνησης. Συνολικά είχαν ακρίβεια διάκρισης > 80%.	• Αδυναμία διόρθωσης σφαλμάτων μεταξύ κάποιων χαρακτηριστικών π.χ. λόγος σιωπής και ρυθμός φωνημάτων, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται το ποσοστό ακρίβειας διάκρισης.

Beltrami et al., 2018	Αξιολόγηση ανάλυσης αυθόρμητης ομιλίας μέσω τεχνικών NLP για πρόιμη ανίχνευση ΗΓΔ και πρόιμης άνοιας, λόγω ενδείξεων γνωστικής εξασθένησης.	Καταγράφηκε η αυθόρμητη ομιλία κατά 3 δοκιμασίες: • Περιγραφή εικόνας • Περιγραφή μιας εργάσιμης μέρας • Ανάκληση τελευταίου ονείρου Η NLP ανάλυση έγινε σε χαρακτηριστικά που αφορούν τη φωνή, τον ρυθμό, το λεξιλόγιο και τη σύνταξη, με λογισμικό Nooj. Η μεταγραφή του δείγματος έγινε χειροκίνητα.	Σύνολο συμμετεχόντων: 96 άτομα, ηλικίας = 50-75. • YM: 48 • αμν-ΗΓΔ: 16 • πτ-ΗΓΔ: 16 • πρόιμη άνοια: 16	Η ακουστική ανάλυση είχε τη μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα μεταξύ αμν-ΗΓΔ και YM, με κύρια διακριτικά χαρακτηριστικά: • διάρκεια παύσεων • ρυθμός ομιλίας. Η λεξιλογική ανάλυση έδειξε ως χαρακτηριστικά ενδεικτικά γνωστικής έκπτωσης: • ελλειμματικό περιεχόμενο • λιγότερα επίθετα • ελλειμματικό λεξιλόγιο Η ΗΓΔ εμφανίζει απλή χρήση του συντακτικού. Ο ρυθμός εμφάνισε διαφοροποίηση μόνο κατά τη δοκιμασία περιγραφής ονείρου.	• Μικρό δείγμα ανά υποομάδες (16). • Η χρήση χειροκίνητων μεταγραφών περιορίζει την πλήρη αυτοματοποίηση.
Toth et al., 2018	Εντοπισμός ακουστικών δεικτών που δείχνουν σύνδεση με την ΗΓΔ και ανάπτυξη εργαλείου αυτόματης ανάλυσης και διάγνωσης με χρήση τεχνολογίας αναγνώρισης ομιλίας και μηχανικής μάθησης, με σκοπό την πρόιμη ανίχνευση ΗΓΔ μέσω αυθόρμητης ομιλίας.	Εξήχθηκαν 18 ακουστικά και χρονομετρικά χαρακτηριστικά μετά από ολοκλήρωση 3 εργασιών από τους συμμετέχοντες: • Άμεση ανάλυση γεγονότων από μια ταινία μικρού μήκους. • Αυθόρμητη περιγραφή της προηγούμενης ημέρας. • Καθυστερημένη ανάκληση γεγονότων από μια δεύτερη ταινία. Αρχικά η ανάλυση έγινε χειροκίνητα με το λογισμικό Praat και ύστερα αυτόματα με εργαλείο ASR.	Σύνολο συμμετεχόντων: 84 άτομα, με μητρική γλώσσα τα ουγγρικά. • YM: 36 • ΗΓΔ: 48	Οι ασθενείς ΗΓΔ εμφάνισαν: • πιο αργό ρυθμό ομιλίας • υψηλότερο αριθμό και διάρκεια παύσεων Το ASR διέκρινε με ακρίβεια 78,8% ακρίβεια τους ασθενείς ΗΓΔ από τους YM.	• Μικρό δείγμα • Οι ασθενείς με ΗΓΔ είχαν σημαντικά μεγάλη διαφορά σε ηλικία από τους HC. • Περιορισμένη γενίκευση λόγω σχεδιασμού για την ουγγρική γλώσσα. • Το δείγμα λήφθηκε από ολοκλήρωση συγκεκριμένων εργασιών, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η αυθόρμητη ομιλία.
Themistocleous et al., 2020	Διερεύνηση δυνατότητας ανίχνευσης ΗΓΔ μέσω φωνητικής ανάλυσης με σκοπό τη βελτίωση διάγνωσης ατόμων με ΗΓΔ.	Στους συμμετέχοντες παρουσιάστηκε η εικόνα Cookie Theft της έκδοσης 3 του BDAE, την οποία έπρεπε να περιγράψουν. Αυτή η περιγραφή αναλύθηκε φωνητικά κυρίως με το λογισμικό Pratt. Οι μετρήσεις αφορούσαν • την ποιότητα της φωνής και, • την ευχέρεια ομιλίας	Σύνολο συμμετεχόντων: 55 άτομα • YM: 29 • ΗΓΔ: 26	Οι ασθενείς με ΗΓΔ παρουσίασαν: • σημαντική διαφορά στον έλεγχο φωνητικών συστημάτων, • ασθενέστερη φωνή (χαμηλότερη τιμή CPP) • σημαντική διαφορά στο shimmer και center of gravity • πιο μεγάλη μέση διάρκεια συλλαβής • χαμηλότερο ρυθμό άρθρωσης και λόγου.	• Περιορισμένο δείγμα λόγου, λόγω της φύσης της δοκιμασίας (περιγραφή εικόνας), περιορίζοντας τη μελέτη της ευχέρειας. • Μικρό δείγμα, μειωμένη πιθανότητα να είναι αντιπροσωπευτικό όλου του πληθυσμού με ΗΓΔ της Σουηδίας. • Οι ασθενείς ΗΓΔ με αμνησία και οι ασθενείς ΗΓΔ χωρίς αμνησία, ανήκαν στην ίδια ομάδα. (μπορεί να επηρέασε το αποτέλεσμα)

Farrús & Codina-Filbà , 2020	Βελτίωση της αυτόματης ανίχνευσης της ΝΑ, αξιοποιώντας τις τεχνικές μηχανικής μάθησης, με τη χρήση των ακουστικών χαρακτηριστικών της φωνής, όπως την προσωδία και την ποιότητα της φωνής.	Η ανάλυση έγινε ως προς: • 28 ακουστικά χαρακτηριστικά • 51 λεξιλογικά/διαλογικά χαρακτηριστικά Για τη λήψη δείγματος του λόγου και ομιλίας οι συμμετέχοντες έπρεπε να περιγράψουν την εικόνα Cookie Theft από το Boston Diagnostic Aphasia Exam. Η εξαγωγή των ακουστικών χαρακτηριστικών έγινε μέσω το λογισμικό Praat.	Σύνολο συμμετεχόντων: 180 άτομα, ηλικίας= 50-80 • Καταγραφές αυθόρμητου λόγου με ίση κατανομή φύλου και ατόμων με ΝΑ και ατόμων χωρίς ΝΑ. Η κατηγοριοποίηση των συμμετεχόντων σε άτομα με ΝΑ και άτομα χωρίς και η παλινδρόμηση των σκορ στο MMSE έγινε με σύστημα μηχανικής μάθησης.	Ως προς τα ακουστικά χαρακτηριστικά διαπιστώθηκε πως οι ασθενείς με ΝΑ έχουν: • Υψηλότερη μέση θεμελιώδη συχνότητα F0, • Χαμηλότερες τιμές στην κλίση της θεμελιώδους συχνότητας F0 • Μεγαλύτερη διάρκεια παύσεων και χαμηλότερο ρυθμό ομιλίας • Χαμηλότερες τιμές jitter. Ως προς το λεξιλόγιο και τον διάλογο έδειξαν: • Χαμηλότερο λεξιλογικό πλούτο • Αυξημένες παρεμβολές κατά τη συζήτηση με συνομιλητή.	Υπήρξαν: • Ασυνέπειες στην ποιότητα του ήχου, • Ανακρίβειες στις μετρήσεις της ομιλίας. Η στατιστική ανάλυση έγινε χωρίς να ελεγχθεί αν ισχύει κανονική κατανομή δεδομένων, επομένως υπάρχει πιθανότητα να έχουμε λάθος αποτελέσματα, λόγω λανθασμένης στατιστικής ανάλυσης.
Kim et al., 2021.	Σύγκριση χαρακτηριστικών ομιλίας ασθενών με αμνησιακό τύπο ΗΓΔ, με υγιείς μάρτυρες.	Οι ερευνητές πήραν τα δείγματα ομιλίας από 4 δοκιμασίες: • Παραγωγή αυθόρμητου λόγου • MMSE • περιγραφή εικόνας • επανάληψη προτάσεων Τα 10 χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν ήταν: • Προσθήκη (Διακοπές στον εξεταστή) • Ήχοι Αναπνοής • Συνεχής φώνηση • Διακοπή φωνής • Γέλιο • Μουρμουρητό (δισταγμός ομιλίας) • Παύσεις (δυσχέρεια λόγου) • Αυτό-ομιλία • Τραυλισμός • Παρεμβολή Οι προφορικές απαντήσεις καταγράφηκαν με μικρόφωνο, ενώ τα χαρακτηριστικά μεταγράφηκαν χειροκίνητα.	Σύνολο συμμετεχόντων: 237 άτομα, ηλικίας= 60-85 • ΥΜ: 139 • αμν-ΗΓΔ: 98	Σε ασθενείς αμν-ΗΓΔ, σε όλες τις δοκιμασίες, παρατηρήθηκε υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης: • Μουρμουρητού • Παύσεων • Τραυλισμού	• Το δείγμα στο οποίο έγινε η μελέτη δεν είναι αντιπροσωπευτικό του πραγματικού πληθυσμού, καθώς στην πραγματικότητα και άλλοι παράγοντες μπορεί να επιδράσουν στην ομιλία, π.χ. μικτές νευρολογικές παθήσεις • Η ομάδα σύγκρισης των ασθενών αμν-ΗΓΔ ήταν ομάδα μόνο με ΥΜ, παραμένει άγνωστο αν υπάρχει διαφοροποίηση σε σύγκριση ασθενείς μιας άλλης νευροεκφυλιστικής νόσου.

Ivanova et al., 2022.	Διερεύνηση αν και πώς τα φωνητικά χαρακτηριστικά κατά την ανάγνωση ενός κειμένου μπορούν να διακρίνουν μεταξύ: • YM • ΗΓΔ • NA Εντοπισμός πρώιμων ενδείξεων νευροεκφυλιστικών διεργασιών. Δημιουργία corpus ηχογραφήσεων ανάγνωσης ως εργαλείο για μελλοντική έρευνα και αυτόματη διάγνωση.	Καταγραφή φωνής κατά την ανάγνωση κειμένου και ανάλυση φωνητικών χαρακτηριστικών όπως τον ρυθμό ομιλίας, παύσεις, ένταση φωνής, χρόνο ανάγνωσης και φώνησης και δυσφωνία. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Praat.	Σύνολο συμμετεχόντων: 361 άτομα, ηλικίας ≥ 60, με γλώσσα τα ισπανικά. • YM: 197 • ΗΓΔ: 90 • NA: 74	Διαπιστώθηκε πως η εξέλιξη από YM σε ΗΓΔ και σε NA συνοδεύεται από αλλοίωση της φωνής: • Αυξημένος χρόνος ανάγνωσης και φώνησης • Αυξημένος αριθμός και διάρκεια παύσεων • Αυξημένες διακοπές φωνής • Μειωμένος ρυθμός και σταθερότητα	• Δεν αξιολογείται η ελεύθερη ομιλία. • Αποκλειστικά ισπανόφωνο δείγμα, τα αποτελέσματα μπορεί να μην γενικεύονται σε άλλες γλώσσες. • Δεν ερευνά πως εξελίσσονται τα συμπτώματα στον χρόνο.
Balogh et al, 2022	Διερεύνηση της διαγνωστικής αξίας των παύσεων, των δισταγμών και άσχετων εκφράσεων, μέσω συστήματος ανάλυσης λεκτικής ευχέρειας.	• Πραγματοποιήθηκαν 6 έργα λεκτικής ευχέρειας και λήψη φωνητικού δείγματος παραγωγής φωνημάτων /k/, /t/, /a/ και σηματολογικών μέσω κατονομασίας ζώων, αντικειμένων με θέμα το φαγητό και τις ενέργειες. • Οι απαντήσεις στις δοκιμασίες λεκτικής ευχέρειας καταγράφηκαν με το Olympus Digital Voice Recorder και μεταγράφηκαν χειροκίνητα και αναλύθηκαν στο λογισμικό Praat. • Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε με βάση χρονικές παραμέτρους. • Υπολογίστηκε επίσης και ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών λέξεων σχετικών με τη δοκιμασία. • Η λεκτική ευχέρεια αναλύθηκε και παραδοσιακά με καταμέτρηση λέξεων. Σε αυτή την ανάλυση υπολογίστηκε ο αριθμός σωστών λέξεων, ο αριθμός των λαθών και ο αριθμός επαναλήψεων.	Σύνολο συμμετεχόντων: 50 άτομα • YM : 25 (μέση ηλικία 67,32 ετών) • ΗΓΔ: 25 (μέση ηλικία 71,72) Δεν έγινε διαχωρισμός μεταξύ των ασθενών σε άτομα αμνησιακό τύπο ΗΓΔ και μη αμνησιακό τύπο.	Στη φωνημική ευχέρεια παρατηρήθηκαν διαφορές στην παραγωγή του φώνηματος /a/ κατά την οποία καταγράφηκε μεγαλύτερος αριθμός λαθών κατά την παραγωγή του φώνηματος /a/ από τους ασθενείς ΗΓΔ. Στη μέτρηση σηματολογικής ευχέρειας παρατηρήθηκαν: YM: σημαντικά περισσότερες σιωπηλές παύσεις ΗΓΔ: μεγαλύτερη μέση διάρκεια των άύσεων αλλά και περισσότερος χρόνος μετάβασης μεταξύ των λέξεων.	• Υπάρχει σημαντική διαφορά ηλικίας μεταξύ των ομάδων, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη λεκτική ευχέρεια ανεξάρτητα από τη γνωστική κατάσταση. • Απαιτείται επιβεβαίωση από μελλοντικές μελέτες για να ενισχυθεί η αξιοπιστία και η κλινική αξία των ευρημάτων.
Ambrosini et al., 2024	Αξιολόγηση αυτόματης ανάλυσης ομιλίας για πρώιμη ανίχνευση γνωστικής έκπτωσης σε ηλικιωμένους ενήλικες με πολυγλωσσική προσέγγιση.	Πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων φωνής από 4 προφορικές δραστηριότητες, 3 αφηγήσεις και 1 περιγραφή εικόνας. Έγινε αυτόματη εξαγωγή 138 ακουστικών χαρακτηριστικών που αφορούσαν: • τον χρόνο, • την ποιότητα φωνής, • τον συλλαβισμό, • τις φασματικές ιδιότητες.	Σύνολο συμμετεχόντων: 266 άτομα, ηλικίας ≥ 65 από Ιταλία και Ισπανία. Χωρίστηκαν σε 3 ομάδες με βάσει MMSE: • YM • ήπια ΗΓΔ • Μέτρια/Σοβαρή ΗΓΔ	• Στην Ομάδα 1 (ιταλική), προέκυψε ακρίβεια διάκρισης ΗΓΔ (ήπια-σοβαρή) από HC: 80-86%. • Στις Ομάδες 2 και 3 προέκυψε χαμηλότερη ακρίβεια. • Στις ομάδες ΗΓΔ παρατηρήθηκε αυξημένη συχνότητα εμφάνισης: ▪ παύσεων, ▪ φωνητικής περιοδικότητας, ▪ φασματικών ιδιοτήτων.	• Η επιλογή συμμετεχόντων από περιορισμένα γεωγραφικά πλαίσια μπορεί να περιορίζει τη γενικευση. • Η ομάδα με ήπια ΗΓΔ είχε τη μεγαλύτερη δυσκολία ταξινόμησης, έτσι μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά τα αποτελέσματα.

			Και δημιουργήθηκαν ομάδες όπου: - Ομάδα 1: μιλούσε ιταλική γλώσσα - Ομάδα 2: μιλούσε ισπανική γλώσσα - Ομάδα 3: μεικτή		
Noto et al., 2024	Ανάλυση και σύγκριση χαρακτηριστικών ομιλίας σε ασθενείς με NA και υγιείς ηλικιωμένους με τεχνολογία μηχανικής μάθησης και διερεύνηση δυνατότητας χρήσης των αποτελεσμάτων ως διαγνωστικά εργαλεία.	Κατηγοριοποίηση συμμετεχόντων μετά από αξιολόγηση των εργαλείων Hasegawa's Dementia Scale-Revised (HDS-R) και MMSE, όπου πραγματοποιήθηκε μεταξύ ηχογραφήσεων ελεύθερης συζήτησης. Η ανάλυση των φωνητικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τα openSMILE, Praat, Python (LibROSA, NumPy, SciPy). Επιπλέον μετρήσεις έγιναν ως προς το φάσμα (center of gravity, skewness, kurtosis) , την ένταση και τη θεμελιώδη συχνότητα και την ελάχιστη μεταβολή τους αντιστοίχα.	Σύνολο συμμετεχόντων: 158 άτομα, ηλικίας ≥ 80, με μητρική την ιαπωνική γλώσσα. Χωρίστηκαν σε 2 ομάδες με βάσει MMSE: - YM:75 - NA:83	- Ως το φάσμα παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε όλα τα στοιχεία μεταξύ των ομάδων. - Η ένταση διέφερε σημαντικά εκτός από την τυπική απόκλιση. - Η θεμελιώδη συχνότητα δεν παρουσίασε κάποια διαφορά.	- Το περιβάλλον ηχογράφησης ήταν μη ελεγχόμενο, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα σφάλματος. - Υπήρξαν γεωγραφικές διαφορές του δείγματος και οι διαφορετικές διάλεκτοι μπορεί να επηρέασαν τα φωνητικά χαρακτηριστικά - Έλλειψη ελέγχου μεταβλητών όπως η ηλικία, το φύλο ή η βαρύτητα NA. - Το δείγμα ήταν περιορισμένο για να γενικευτούν τα αποτελέσματα.
Arslan-Sarimehmetoğlu, Barmak, 2025	Σύγκριση αντικειμενικών και υποκειμενικών χαρακτηριστικών της φωνής σε άτομα με ήπια μορφή NA και σε άτομα με φυσιολογικές γνωστικές ικανότητες.	Για την ακουστική μέτρηση αντικειμενικών χαρακτηριστικών της φωνής, μαγνητοφωνήθηκαν με μικρόφωνο Shure SM58, παρατεταμένες παραγωγές των φωνημάτων /a/, /i/, και /u/ διάρκειας 5 δευτερολέπτων από κάθε συμμετέχοντα. Οι ηχογραφήσεις στην συνέχεια αναλύθηκαν με το λογισμικό Praat και υπολογίστηκαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά: - Θεμελιώδης συχνότητα (F0), - Θεμελιώδης συχνότητα (F1), F2, F3 - Λόγος αρμονικών προς θόρυβο (HNR) - Jitter - Shimmer Στις αντικειμενικές μετρήσεις ανήκει και η αεροδυναμική αξιολόγηση της αναπνευστικής λειτουργίας, της ικανότητας ροής του λαρυγγικού αέρα και του κλεισίματος των φωνητικών πτυχών. Για τη μέτρησή τους, υπολογίστηκαν ο μέγιστος χρόνος φώνησης (με παρατεταμένη παραγωγή /a/) και ο λόγος s/z.	Σύνολο συμμετεχόντων: 51 άτομα, ηλικίας ≥ 50 με μητρική την τουρκική γλώσσα. Χωρίστηκαν σε 2 ομάδες με βάσει MMSE: - YM:23 - NA:28 Η σύγκριση μεταξύ των ομάδων δεν έγινε μόνο με βάση την διάγνωσή τους αλλά και με βάση το φύλο των συμμετεχόντων: 11 γυναίκες στην ομάδα NA με 15 γυναίκες YM, 17 άνδρες με NA με 8 άνδρες YM.	Ως προς τις αντικειμενικές μετρήσεις προέκυψε: - Οι άνδρες με NA εμφάνισαν σημαντικά μικρότερη μέγιστη διάρκεια φώνησης από τους άνδρες της υγιούς ομάδας ($p < 0.036$). - Οι μετρήσεις jitter και shimmer, δηλαδή η φωνητική αστάθεια ήταν σημαντικά υψηλότερες στην ομάδα NA και για τα δύο φύλα. Στις υποκειμενικές μετρήσεις δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων.	- Δεν εξετάστηκαν ασθενείς με NA με σε προχωρημένο στάδιο της νόσου. - Δεν πραγματοποιήθηκαν λαρυγγολογικές εξετάσεις για αποκλεισμό διαταραχών της φωνής.

		Για τις υποκειμενικές μετρήσεις, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν τα VHI-10 και την κλίμακα V-RQOL που επιτρέπει στους συμμετέχοντες να αξιολογήσουν την επιρροή της φωνής τους στην ποιότητα ζωής τους.			
--	--	---	--	--	--

Πίνακας 7.4: Έρευνες με αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια διάκρισης ΝΑ/ΗΓΔ με ΥΜ

Συγγραφείς και έτος	Ερευνητική Ερώτηση/ Σκοπός	Μεθοδολογία	Δείγμα/ Πληθυσμός	Κύρια Ευρήματα	Περιορισμοί Μελέτης
Martinez-Sánchez et al., 2013	Εξέταση προφορικού δείγματος με σκοπό τη μελέτη χρονικής οργάνωσης στους ασθενείς με ΝΑ για αξιολόγηση ικανότητας διάκρισης ατόμων με ΝΑ και ΥΜ, μέσω ημιαυτόματης μεθόδου ανάλυσης ομιλίας.	Πριν την καταγραφή ομιλίας πραγματοποιήθηκε ψυχομετρική αξιολόγηση. Δοκιμασία ανάγνωσης κειμένου για καταγραφή του λόγου με τη χρήση ημιαυτόματων αλγορίθμων ανάλυσης της φωνητικής ροής, δηλαδή χαρακτηριστικών όπως: • Ρυθμός ομιλίας • Ρυθμός άρθρωσης • Αριθμός και διάρκεια παύσεων	Σύνολο συμμετεχόντων: 70 • ΝΑ:35 • ΥΜ:35	Παρατηρήθηκε : • Μειωμένος ρυθμός ομιλίας και άρθρωσης • Αυξημένος αριθμός και διάρκεια παύσεων • Μειωμένη αποτελεσματικότητα φωνητικής αφομοίωσης Ακρίβεια διάκρισης ΝΑ από ΥΜ: 80%	• Μικρό δείγμα • Η μέθοδος απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό επεξεργασίας σήματος, που δεν είναι διαθέσιμος στο ευρύ κοινό.
König et al., 2015	Διερεύνηση χαρακτηριστικών φωνής που δείχνουν γνωστική έκπτωση μέσω αυτόματης φωνητικής ανάλυσης.	Καταγραφή φωνής κατά την εκτέλεση 4 δοκιμασιών: 1. Αντίστροφη μέτρηση 2. Περιγραφή εικόνας 3. Επανάληψη προτάσεων 4. Σημασιολογική ευχέρεια (ονόματα ζώων) Οι καταγραφές αναλύθηκαν στο Praat. Εξάχθηκαν χαρακτηριστικά διάρκεια φώνησης/σιωπής, περιοδικότητα, ευχέρεια.	Σύνολο συμμετεχόντων: 64 άτομα, ηλικίας ≥ 65 • ΥΜ: 15 • ΗΓΔ: 23 • ΝΑ: 26	Ακρίβεια διάκρισης ανά ζεύγη: • ΥΜ vs ΗΓΔ: 79% $\pm 5\%$ • ΥΜ vs ΝΑ: 87% $\pm 3\%$ • ΗΓΔ vs ΝΑ: 80% $\pm 5\%$	• Μικρό μέγεθος δείγματος • Ηλικιακές διαφορές μεταξύ των ομάδων. • Οι ΥΜ είχαν υποκειμενικά νοσήματα. • Μη φυσικές δοκιμασίες (π.χ. μέτρηση αντίστροφα) μπορεί να προκαλούν άγχος και να αλλοιώνουν την ομιλία • Αρκετοί ασθενείς με απάθεια (επιρροή στη φωνητική παραγωγή)
Hernández-Domínguez et al., 2018	Ανάπτυξη μεθόδου διάκρισης της απόδοσης γλώσσας και ομιλίας μεταξύ ασθενών με ΝΑ, ΗΓΔ και ΥΜ για εντοπισμό πρώιμης γνωστικής έκπτωσης.	Για ανάλυση λεξιλογικών και φωνητικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν μεταγραφές και ηχογραφήσεις περιγραφής της εικόνας Cookie Theft από τη βάση δεδομένων DementiaBank. Έγινε εφαρμογή μηχανικής μάθησης (SVM, Random Forest) για ταξινόμηση.	Σύνολο συμμετεχόντων: 262 άτομα με σύνολο 517 μεταγραφές. • ΥΜ: 217 • ΗΓΔ: 43 • ΝΑ: 257	Ακρίβεια διάκρισης ανά ζεύγη: • ΥΜ με ΝΑ: 81-88% • ΥΜ με ΝΑ & ΗΓΔ: 85%	• Μικρό δείγμα ΗΓΔ, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ταξινομηθεί ανεξάρτητα. • Η φωνητική ανάλυση ήταν απλή, χωρίς ρυθμικά χαρακτηριστικά.

Toth et al., 2018.	Εντοπισμός ακουστικών δεικτών που δείχνουν σύνδεση με την ΗΓΔ και ανάπτυξη εργασλείου αυτόματης ανάλυσης και διάγνωσης με χρήση τεχνολογίας αναγνώρισης ομιλίας και μηχανικής μάθησης, με σκοπό την πρόωμη ανίχνευση ΗΓΔ έσω αυθόρμητης ομιλίας.	Εξήχθησαν 18 ακουστικά και χρονικά χαρακτηριστικά μετά από ολοκλήρωση 3 εργασιών από τους συμμετέχοντες: • Άμεση ανάλυση γεγονότων από μια ταινία μικρού μήκους. • Αυθόρμητη περιγραφή της προηγούμενης ημέρας. • Καθυστερημένη ανάκληση γεγονότων από μια δεύτερη ταινία. Αρχικά η ανάλυση έγινε χειροκίνητα με το λογισμικό Praat και ύστερα αυτόματα με ASR.	Σύνολο συμμετεχόντων: 84 άτομα, με μητρική γλώσσα τα ουγγρικά. • YM: 36 • ΗΓΔ: 48	Οι ασθενείς ΗΓΔ εμφάνισαν: • πιο αργό ρυθμό ομιλίας • υψηλότερο αριθμό και διάρκεια παύσεων Το ASR διέκρινε με ακρίβεια 78,8% ακρίβεια τους ασθενείς ΗΓΔ από τους YM.	• Μικρό δείγμα • Οι ασθενείς με ΗΓΔ είχαν σημαντικά μεγάλη διαφορά σε ηλικία από τους YM. • Περιορισμένη γενίκευση λόγω σχεδιασμού για την ουγγρική γλώσσα. • Το δείγμα λήφθηκε από ολοκλήρωση συγκεκριμένων εργασιών, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η αυθόρμητη ομιλία.
O'Malley et al., 2020	Αξιολόγηση αποτελεσματικότητας ενός πλήρους αυτοματοποιημένου εργαλείου ανάλυσης λόγου και ομιλίας CognoSpeak, στη διάκριση ατόμων με NA, ΗΓΔ, ΛΓΔ, YM.	Κάθε ομάδα απάντησε σε 12 ερωτήσεις που έθετε ένας ψηφιακός κλινικός και αφορούν τη μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη μνήμη, τη σημασιολογική ευχέρεια, την ανάγνωση και την περιγραφή εικόνων (Pahar et al, 2025). Το Cognospeak, ηχογραφούσε και ανέλυε το δείγμα με σύστημα αυτόματης ανάλυσης και μηχανικής μάθησης.	Σύνολο συμμετεχόντων: 60 • NA:15 • ΗΓΔ: 15 • ΛΓΔ :15 • YM:15	Ακρίβεια διάκρισης NA, ΗΓΔ, ΛΓΔ, YM: • NA:80% • ΗΓΔ:60% • ΛΓΔ :47% • YM:53% Η αξιολόγηση των ασθενών NA είχε μεγαλύτερη διάρκεια (15 λεπτά) σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ομάδες.	• Μικρό δείγμα . • Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 9/12 ερωτήσεις που ερωτήθηκαν. • Δεν περιλαμβάνονται επαναληπτικές αξιολογήσεις για τον έλεγχο της ακρίβειας του συστήματος.
Ambrosini et al., 2024	Αξιολόγηση αυτόματης ανάλυσης ομιλίας για πρόωμη ανίχνευση γνωστικής έκπτωσης σε ηλικιωμένους ενήλικες με πολυγλωσσική προσέγγιση.	Πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων φωνής από 4 προφορικές δραστηριότητες, 3 αφηγήσεις και 1 περιγραφή εικόνας. Έγινε αυτόματη εξαγωγή 138 ακουστικών χαρακτηριστικών που αφορούσαν: • τον χρόνο, • την ποιότητα φωνής, • τον συλλαβισμό, • τις φασματικές ιδιότητες. Πραγματοποιήθηκε αυτόματη εξαγωγή ακουστικών χαρακτηριστικών με το εργαλείο MATLAB.	Σύνολο συμμετεχόντων: 266 άτομα, ηλικίας ≥65 από Ιταλία και Ισπανία. Χωρίστηκαν σε 3 ομάδες με βάσει MMSE: • YM • ήπια ΗΓΔ • Μέτρια/Σοβαρή ΗΓΔ Και δημιουργήθηκαν ομάδες όπου: • Ομάδα 1: 133 άτομα μιλούσαν την ιταλική γλώσσα • Ομάδα 2: 133 μιλούσαν την ισπανική γλώσσα • Ομάδα 3: μεικτή	• Στην Ομάδα 1 (ιταλική), προέκυψε ακρίβεια διάκρισης γνωστικής έκπτωσης (ήπια-σοβαρή) από YM: 80-86% • Στις Ομάδες 2 και 3 προέκυψε χαμηλότερη ακρίβεια (62% και 65% αντίστοιχα). • Στις ομάδες ΗΓΔ παρατηρήθηκε αυξημένη συχνότητα εμφάνισης: ▪ παύσεων, ▪ φωνητικής περιοδικότητας, ▪ φασματικών ιδιοτήτων.	• Η επιλογή συμμετεχόντων από περιορισμένα γεωγραφικά πλαίσια μπορεί να περιορίζει τη γενίκευση. • Η ομάδα με ήπια ΗΓΔ είχε τη μεγαλύτερη δυσκολία ταξινόμησης, έτσι μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά τα αποτελέσματα.
Pappagari et al., 2021	Ανάπτυξη μεθόδου που ανιχνεύει αυτόματα τη Νόσο Alzheimer και προβλέπει τα σκορ στο MMSE μέσω φωνητικής και γλωσσικής ανάλυσης.	Η ακουστική μοντελοποίηση έγινε με τη συμβολή τεχνητού νευρωνικού δικτύου (μοντέλο x-vector) που είναι προ εκπαιδευμένο να αναγνωρίζει ομιλητές και διαταραχές. Υπολογίστηκαν, επίσης, τα χαρακτηριστικά προσωδίας και	Δείγμα από: σύνολο δεδομένων ADReSSo 2021 χωρισμένο σε υποσύνολα εκπαίδευσης μοντέλων και αξιολόγησης των μοντέλων. Από το σύνολο εκπαίδευσης: • NA: 87	• Μεγαλύτερη ακρίβεια ανίχνευσης NA, 81% είχε το συδυαστικό μοντέλο (χρήση γλωσσικών και ακουστικών χαρακτηριστικών)	• Απουσία χειροκινήτων μεταγραφών, με αποτέλεσμα η ποιότητα ASR να επηρεάζει την απόδοση των γλωσσικών μοντέλων.

		αριθμητικές αναπαραστάσεις (embeddings) της φωνής. Η γλωσσική μοντελοποίηση έγινε μέσω τεχνολογίας αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) και το προ εκπαιδευμένο μοντέλο BERT. Τέλος έγινε συγχώνευση των δύο παραπάνω μοντέλων.	• YM: 79 Από το σύνολο αξιολόγησης: 71 ηχογραφήσεις Δείγμα γλώσσας ηχογραφήθηκε από την περιγραφή εικόνας.	• Χαμηλή ακρίβεια στα ακουστικά μόνο μοντέλα, 61%, αλλά είναι ικανά να διαχωρίσουν τους ασθενείς με ΝΑ από τους υγιείς.	• Όλοι οι συμμετέχοντες κατά τη λήψη του δείγματος εκτέλεσαν την ίδια εργασία (περιγραφή εικόνας), με αποτέλεσμα να περιορίζεται η γενίκευση στον αυθόρμητο λόγο.
Ding H. et al., 2024	Διερεύνηση δυνατότητας ανίχνευσης ήπιων γνωστικών διαταραχών ΗΓΔ μέσω ακουστικών χαρακτηριστικών της φωνής.	Τα δείγματα φωνής συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια νευροψυχολογικών εξετάσεων σε εύρος χρόνου 2005-2020. Πραγματοποιήθηκε εξαγωγή χαρακτηριστικών από φωνητικές ηχογραφήσεις με OpenSmile και το λογισμικό Pratt .	Σύνολο συμμετεχόντων: 200 άτομα, ηλικίας M.O.= 74. • YM: 100 • ΗΓΔ: 100	• Αναδείχθηκαν 29 ακουστικά χαρακτηριστικά, ικανά για την διάκριση των ασθενών ΗΓΔ από τους YM, με πιο σημαντικό τον αυξημένο αριθμό και τη διάρκεια παύσεων στους ασθενείς ΗΓΔ. • Σε πλήρεις ηχογραφήσεις η ακρίβεια διάκρισης ΗΓΔ είναι 87%. Διαπιστώθηκε πως από τα 29 ακουστικά χαρακτηριστικά τα 21 είχαν σημαντική συσχέτιση με το γνωστικό επίπεδο.	• Δεν έχει υπολογιστεί η επίδραση άλλων παθολογιών, π.χ. Κατάθλιψη, στην ανάλυση. • Υπήρχε έλλειψη πολιτισμικής ετερογένειας (δείγμα κατά βάση Ευρωπαϊκής ή Καυκάσιας καταγωγής). • Δεν εξετάζεται το ίδιο δείγμα σε βάθος χρόνου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα λάθους στην ταξινόμηση ατόμων στις ομάδες YM και ΗΓΔ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της ανίχνευσης/ διάγνωσης ΗΓΔ /ΝΑ μέσω φωνητικής ανάλυσης είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει πληθώρα επιστημόνων σε βάθος χρόνου.

Σύμφωνα με τους Martinez-Nicolà et al. (2021), η πρώτη μελέτη που πραγματοποιήθηκε με αυτό το αντικείμενο ήταν το 2010 από τους Hoffmann et al. και συνεχίζει να αποτελεί αντικείμενο μελέτης μέχρι και σήμερα. Διαβάζοντας τις μελέτες παρατηρούμε πως τα αποτελέσματα αφορούν είτε αλλαγές ως προς τα χαρακτηριστικά της φωνής και της ομιλίας ή στις τιμές ακρίβειας διάκρισης των ασθενών με ΝΑ/ΗΓΔ από τους ΥΜ.

Συγκρίνοντας τις μελέτες που αναλύονται παραπάνω, παρατηρούμε πως στην ομάδα ασθενών με ΗΓΔ το πρωτεύον φωνητικό γνώρισμα που παρατηρείται είναι η μεγαλύτερη διάρκεια παύσεων και ο πιο αργός ρυθμός ομιλίας. Ακόμη, συχνά αναφέρεται χαμηλός ρυθμός άρθρωσης, μουρμουρητό και παροδικός τραυλισμός. Η λεξιλογική ανάλυση αναδεικνύει λεξιλογικά ελλείμματα, καθώς και χαμηλή χρήση επιθέτων. Όσον αφορά την ακρίβεια διάκρισης μεταξύ των ομάδων ΥΜ και ΗΓΔ, εμφανίζεται διακύμανση 60-87% με χαμηλότερα ποσοστά στις μελέτες (O'Malley et al., 2020) και υψηλότερα σε τις (Ambrosini et al., 2024 & Ding et al., 2024). Τα χαρακτηριστικά της φωνής και οι ακουστικοί δείκτες που παρατηρούνται σε ασθενείς με ΝΑ είναι παρόμοια με αυτά των ασθενών με ΗΓΔ. Κι εκείνοι εμφανίζουν αυξημένο αριθμό και διάρκεια παύσεων, καθώς και μειωμένο ρυθμό ομιλίας. Επιπρόσθετες διαφορές είναι οι αυξημένες φωνητικές διακοπές, η αυξημένη θεμελιώδης συχνότητα και οι τιμές shimmer και jitter που σχετίζονται με τη φωνητική αστάθεια και την επίπεδη προσωδία. Ως προς το περιεχόμενο του λόγου, και σε αυτή την ομάδα, παρουσιάζονται ελλείμματα, με γλωσσικές παρεμβολές και περιορισμένο λεξιλόγιο. Στην ομάδα ΝΑ τα ποσοστά διάκρισης είναι πιο υψηλά και σταθερά με διακύμανση 80-88%. Γενικά οι δύο ομάδες (ΝΑ και ΗΓΔ) μοιράζονται χαρακτηριστικά τα οποία υποδηλώνουν γνωστική έκπτωση. Η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο στηρίζεται στην ένταση των συμπτωμάτων, με την επιδείνωση αυτών να ακολουθεί αναλογικά τη σοβαρότητα της γνωστικής έκπτωσης. Από τις έρευνες συμπεραίνουμε ότι, η ανίχνευση της γνωστικής έκπτωσης είναι εφικτή μέσω της ανάλυσης της φωνής και της ομιλίας. Η ακουστική και λεξιλογική ανάλυση του δείγματος ομιλίας φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική από τις αναλύσεις που είναι μόνο

ακουστικές ή λεξιλογικές, ωστόσο απαιτείται περαιτέρω μελέτη για τη διεξαγωγή έγκυρου συμπεράσματος.

Η μέθοδος της ανάλυσης της ομιλίας για την ανίχνευση γνωστικής έκπτωσης συνιστά μια υποσχόμενη μέθοδο, λόγω της μη επεμβατικής, αυτοματοποιημένης και οικονομικής φύσης της και μπορεί να αποτελέσει εργαλείο διάγνωσης για ασθενείς που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μέσω τηλεϊατρικής. Παρ' όλα τα πλεονεκτήματα πρέπει να αναφερθούν και οι περιορισμοί των μελετών όπως τα μικρά δείγματα και οι γλωσσικές διαφορές που επηρεάζουν τα αποτελέσματα και εμποδίζουν την γενίκευσή τους στον ευρύτερο πληθυσμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η φυσιολογική γήρανση συνοδεύεται από μεταβολές τόσο στη δομή του εγκεφάλου όσο και στη γνωστική λειτουργία. Αν και παρατηρείται έκπτωση σε τομείς όπως η προσοχή, η μνήμη και η ταχύτητα επεξεργασίας, ο εγκέφαλος, μέσω αντισταθμιστικών μηχανισμών, προσπαθεί να διατηρήσει τη λειτουργικότητα. Οι αλλαγές αυτές, διαφέρουν μεταξύ των ατόμων και επηρεάζονται από προστατευτικούς παράγοντες, όπως το μορφωτικό επίπεδο, η κοινωνική δικτύωση και η γνωστική δραστηριότητα, επισημαίνοντας τη σημασία της γνωστικής εφεδρείας στη γήρανση.

Η Ήπια Γνωστική Εξασθένηση αποτελεί ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ φυσιολογικής γήρανσης και άνοιας, με ετερογένεια στην αιτιολογία, την πορεία και την έκβαση. Η έγκαιρη αναγνώριση των γνωστικών και επικοινωνιακών αλλαγών, καθώς και η αξιολόγηση παραγόντων κινδύνου και προστασίας, είναι σημαντική για την πρόγνωση. Οι γλωσσικές διαφοροποιήσεις, αν και ήπιες, εμφανίζονται σε επίπεδο σημασιολογικής μνήμης, λεκτικής ευχέρειας και αφηγηματικής οργάνωσης, ενώ η συνδεδεμένη ομιλία προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για πρόιμη ανίχνευση.

Η Νόσος του Αλτσχάιμερ είναι μια νευροεκφυλιστική νόσος με χαρακτηριστικά γνωστικής, γλωσσικής και λειτουργικής επιδείνωσης. Η σταδιοποίησή της έχει εξελιχθεί από καθαρά κλινικά κριτήρια σε συστήματα που ενσωματώνουν και βιολογικούς δείκτες, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη, πρόιμη και αντικειμενική αξιολόγηση της πορείας της νόσου. Οι διαταραχές στη γλώσσα και την επικοινωνία εκδηλώνονται από τα πρώιμα στάδια και επιδεινώνονται σταδιακά, με απώλεια των εκφραστικών και προσληπτικών δεξιοτήτων επηρεάζοντας την καθημερινότητα και την κοινωνική αλληλεπίδραση των ασθενών.

Η πρόιμη αναγνώριση γλωσσικών και φωνητικών δεικτών μπορεί να συμβάλει στην έγκαιρη διάγνωση της νόσου. Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί διάφορα συστήματα ανάλυσης ακουστικών και γλωσσικών χαρακτηριστικών τα οποία συμβάλλουν στην αναγνώριση, ταξινόμηση και διάγνωση της ΝΑ. Τα συστήματα τα οποία αναλύουν τα ακουστικά χαρακτηριστικά έχουν τη δυνατότητα να μετρούν και να καταγράφουν πληροφορίες του ήχου στη φωνή και να ανιχνεύουν χαρακτηριστικά που αφορούν την προσωδία, την ποιότητας της φωνής, τα φασματικά, τα παραγλωσσικά, τα ακουστικά embeddings και τα συναισθηματικά embeddings.

Τα συστήματα τα οποία αναλύουν τα γλωσσικά χαρακτηριστικά εστιάζουν στη δομή, τη σημασία και τη χρήση της γλώσσας και εξάγονται είτε χειροκίνητα είτε μέσω συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας και στη συνέχεια αναλύονται από τα συστήματα γλωσσικής ανάλυσης.

Ακόμη, σημαντικός έχει αποδειχθεί και ο ρόλος της μηχανικής μάθησης και της βαθιάς μάθησης στην ανίχνευση της ΝΑ καθώς έχουν την ικανότητα να μαθαίνουν πολύπλοκα πρότυπα και ιεραρχικές αναπαραστάσεις αλλά και να καταγράφουν λανθασμένα χαρακτηριστικά, απευθείας από ακατέργαστα δεδομένα ομιλίας. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν ενισχύσει την αναγνώριση ομιλίας και την επεξεργασία φυσικής γλώσσας, αξιοποιώντας την ικανότητά τους να μοντελοποιούν πολύπλοκες σχέσεις στα δεδομένα καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπως η αναγνώριση ομιλίας, η αναγνώριση ομιλητή, η μετατροπή κειμένου σε ομιλία και ομιλίας σε κείμενο, η αναγνώριση συναισθήματος καθώς και η ανίχνευση γνωστικών ή νευρογνωστικών διαταραχών πραγματοποιώντας μία πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία.

Εν κατακλείδι, τα ευρήματα της παρούσας ανασκόπησης καταδεικνύουν ότι η ανάλυση της φωνής μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστο βιοδείκτη για την πρόιμη ανίχνευση της Νόσου του Αλτσχάιμερ, προσφέροντας στην κοινότητα ένα μη επεμβατικό, οικονομικό και αποτελεσματικό εργαλείο. Παρότι η κλινική εφαρμογή της μεθόδου αυτής παραμένει πρόκληση λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας μεγάλων, τυποποιημένων και πολυγλωσσικών συνόλων δεδομένων, των ζητημάτων ιδιωτικότητας και της δυσκολίας ερμηνείας των μοντέλων, τα σύγχρονα συστήματα μηχανικής και βαθιάς μάθησης επιτυγχάνουν υψηλή ακρίβεια στην διάγνωση και ταξινόμηση της νόσου. Οι έρευνες δείχνουν ότι τα γλωσσικά χαρακτηριστικά συχνά υπερτερούν των ακουστικών, ενώ ο συνδυασμός τους μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την απόδοση, ενισχύοντας την προοπτική ευρείας χρήσης της μεθόδου στο μέλλον.

Μελλοντικά, συστήνεται η ανάπτυξη πολυγλωσσικών βάσεων δεδομένων, η σχεδίαση εξηγήσιμων νευρωνικών δικτύων με ερμηνεύσιμα αποτελέσματα και αναλύσεις προς τους ασθενείς, η αξιοποίηση τεχνικών few-shot learning, η ενσωμάτωση δεδομένων από πολλαπλές πηγές και η εφαρμογή εργαλείων μακροχρόνιας παρακολούθησης. Η σύνδεση δεικτών ομιλίας με κλινικές αξιολογήσεις θα προσφέρει μία πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της πορείας της νόσου

και θα ενισχύσει την κλινική αξιοποίηση της φωνητικής ανάλυσης ως μη επεμβατικού, οικονομικού και αποτελεσματικού εργαλείου διάγνωσης, με δυνατότητες χρήσης εξ' αποστάσεως.

Βιβλιογραφία

- Abiodun, O. I., Jantan, A., Omolara, A. E., Dada, K. V., Mohamed, N. A., & Arshad, H. (2018). State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. *Heliyon*, 4(11), e00938. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00938>
- Alzheimer's Stages, E. M. (n.d). *Alzheimer's Association*. Ανάκτηση από <https://www.alz.org/alzheimers-dementia/stages>.
- Ambrosini, E., Giangregorio, C., Lomurno, E., Moccia, S., Milis, M., Loizou, C., Azzolino, D., Cesari, M., Cid Gala, M., Galán de Isla, C., Gomez-Raja, J., Borghese, N. A., Matteucci, M., & Ferrante, S. (2024). Automatic Spontaneous Speech Analysis for the Detection of Cognitive Functional Decline in Older Adults: Multilanguage Cross-Sectional Study. *JMIR aging*, 7, e50537. <https://doi.org/10.2196/50537>
- Anggraini, N., Kurniawan, A., Wardhani, L. K., & Hakiem, N. (2018). Speech recognition application for the speech impaired using the Android-based Google Cloud Speech API. *TELKOMNIKA (Telecommunication, Computing, Electronics and Control)*, 16(6), 2733–2739. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v16i6.9638>
- Arora, S. J., & Singh, R. P. (2012). *Automatic speech recognition: A review*. *International Journal of Computer Applications*, 60(9), 34–44. <https://doi.org/10.5120/9722-4190>
- Arslan-Sarımehmetoğlu, E., & Barmak, E. (2025). The effect of mild-stage Alzheimer's disease on the acoustic parameters of voice. *Egyptian Journal of Otolaryngology*, 41, Article 19. <https://doi.org/10.1186/s43163-025-00765-y>
- Asllani, B., & Mullen, D. M. (2023). *Using personal writings to detect dementia: A text mining approach*. *Health Informatics Journal*, 29(4), Article 14604582231204409. <https://doi.org/10.1177/14604582231204409>
- Bai, X., Wu, J., Chen, Y., Wang, Z., & Zhang, Y. (2023). *Constituency parsing using LLMs*. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.19462>
- Balogh, R., Imre, N., Gosztolya, G., Hoffmann, L., Pákási, M., & Kálmán, J. (2023). The Role of Silence in Verbal Fluency Tasks - A New Approach for the Detection of Mild Cognitive Impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 29(1), 46–58. <https://doi.org/10.1017/S1355617721001454>
- Balota, D. A., & Duchek, J. M. (1988). Age-related differences in lexical access, spreading activation, and simple pronunciation. *Psychology and aging*, 3(1), 84–93. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.3.1.84>
- Bartzokis, G., Beckson, M., Lu, P. H., Nuechterlein, K. H., Edwards, N., & Mintz, J. (2001). Age-related changes in frontal and temporal lobe volumes in men: a magnetic resonance imaging study. *Archives of general psychiatry*, 58(5), 461–465. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.58.5.461>

- Baughman, R. P., & Loudon, R. G. (1986). Sound spectral analysis of voice-transmitted sound. *The American review of respiratory disease*, 134(1), 167–169. <https://doi.org/10.1164/arrd.1986.134.1.167>
- Beltrami, D., Gagliardi, G., Rossini Favretti, R., Ghidoni, E., Tamburini, F., & Calzà, L. (2018). *Speech analysis by natural language processing techniques: A possible tool for very early detection of cognitive decline?* *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, Article 369. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00369>
- Boyd, R. L. (2017). Psychological text analysis in the digital humanities. In *Data analytics in digital humanities*. Cham: Springer International Publishing, σσ. 161-189. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54499-1_7
- Bucks, R. S., Singh, S., Cuerden, J. M., & Wilcock, G. K. (2000). Analysis of spontaneous, conversational speech in dementia of Alzheimer type: Evaluation of an objective technique for analysing lexical performance. *Aphasiology*, 14(1), 71–91. <https://doi.org/10.1080/026870300401603>
- Cabeza R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and aging*, 17(1), 85–100. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.17.1.85>
- Cera, M. L., Ortiz, K. Z., Bertolucci, P. H. F., Tsujimoto, T., & Minett, T. (2023). Speech and phonological impairment across Alzheimer's disease severity. *Journal of communication disorders*, 105, 106364. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2023.106364>
- Choi, G., Richardson, A., Partlan, R., Tang, S., & Cho, S. (2025). Comparative evaluation of acoustic feature extraction tools for clinical speech analysis. *arXiv e-prints*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.01129>
- Cilimkovic, M. (2015). Neural networks and back propagation algorithm. *Institute of Technology Blanchardstown*, 15(1).
- Craik, F. I. M. (1986). A functional account of age differences in memory. In F. Klix & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities: Mechanisms and performance* (pp. 409–422). *Elsevier*.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral cortex* (New York, N.Y. : 1991), 18(5), 1201–1209. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm155>
- DeCarli, C., Massaro, J., Harvey, D., Hald, J., Tullberg, M., Au, R., Beiser, A., D'Agostino, R., & Wolf, P. A. (2005). Measures of brain morphology and infarction in the framingham heart study: establishing what is normal. *Neurobiology of aging*, 26(4), 491–510. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2004.05.004>
- Ding, H., Lister, A., Karjadi, C., Au, R., Lin, H., Bischoff, B., & Hwang, P. H. (2024). Detection of Mild Cognitive Impairment From Non-Semantic, Acoustic Voice Features: The Framingham Heart Study. *JMIR aging*, 7, e55126. <https://doi.org/10.2196/55126>

- Ding, K., Chetty, M., Hoshyar, A.N., Bhattacharya, T., Klein, B., (2024). Speech based detection of Alzheimer's disease: a survey of AI techniques, datasets and challenges. *Artificial Intelligence Review*, 57(12).
- Dubey, P. & Shah, B.,(2022). Deep speech based end-to-end automated speech recognition (asr) for indian-english accents.
- Dumas J. A. (2015). What is Normal Cognitive Aging? Evidence from Task-Based Functional Neuroimaging. *Current behavioral neuroscience reports*, 2(4), 256–261.
<https://doi.org/10.1007/s40473-015-0058-x>
- Dunne, R. A., Aarsland, D., O'Brien, J. T., Ballard, C., Banerjee, S., Fox, N. C., Isaacs, J. D., Underwood, B. R., Perry, R. J., Chan, D., Denning, T., Thomas, A. J., Schryer, J., Jones, A. M., Evans, A. R., Alessi, C., Coulthard, E. J., Pickett, J., Elton, P., Jones, R. W., ... Burns, A. (2021). Mild cognitive impairment: the Manchester consensus. *Age and ageing*, 50(1), 72–80. <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa228>
- Đurić, M. D. (2020). Free software tools for computational linguistics: An overview. In *Application of Free Software and Open Hardware (PSSOH)* (pp. 57–70). Belgrade: University of Belgrade, Faculty of Electrical Engineering. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34482.04808>
- Eddy S. R. (2004). What is a hidden Markov model?. *Nature biotechnology*, 22(10), 1315–1316.
<https://doi.org/10.1038/nbt1004-1315>
- Eyben, F., Wöllmer, M., & Schuller, B. (2010). openSMILE: The Munich Versatile and Fast Open-Source Audio Feature Extractor. *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimedia*, 1459–1462. <https://doi.org/10.1145/1873951.1874246>
- Farrús, M., & Codina-Filbà, J. (2020). Combining prosodic, voice quality and lexical features to automatically detect Alzheimer's disease. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.09272>
- Fjell, A. M., Westlye, L. T., Grydeland, H., Amlien, I., Espeseth, T., Reinvang, I., Raz, N., Holland, D., Dale, A. M., Walhovd, K. B., & Alzheimer Disease Neuroimaging Initiative (2013a). Critical ages in the life course of the adult brain: nonlinear subcortical aging. *Neurobiology of aging*, 34(10), 2239–2247.
<https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2013.04.006>
- Fjell, A. M., McEvoy, L., Holland, D., Dale, A. M., Walhovd, K. B., & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (2013b). Brain changes in older adults at very low risk for Alzheimer's disease. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(19), 8237–8242. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5506-12.2013>
- Fleming, V. B., & Harris, J. L. (2008). Complex discourse production in mild cognitive impairment: Detecting subtle changes. *Aphasiology*, 22(7–8), 729–740. <https://doi.org/10.1080/02687030701803762>

- Gao, N., & He, Q. (2024). A dependency distance approach to the syntactic complexity variation in the connected speech of Alzheimer's disease. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 995. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03509-0>
- Georgila, K., & Traum, D. (2024). Evaluation of off-the-shelf Whisper models for speech recognition across diverse dialogue domains. *Proceedings of the 14th International Workshop on Spoken Dialogue Systems Technology (IWSDS)*, Sapporo, Japan. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.14317>
- Ghahramani, Z. (2001). An introduction to hidden Markov models and Bayesian networks. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 15(1), 9–42. <https://doi.org/10.1142/S0218001401000836>
- Harada, C. N., Natelson Love, M. C., & Triebel, K. L. (2013). Normal cognitive aging. *Clinics in Geriatric Medicine*, 29(4), 737–752. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.0>
- Hegde, S. S., Shetty, S., Rai, S., & Dodderi, T. (2019). A survey on machine learning approaches for automatic detection of voice disorders. *Journal of Voice*, 33(6), 947.e11–947.e33. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.07.014>
- Hernández-Domínguez, L. E.-M.-B. (2018). Computer-based evaluation of Alzheimer's disease and mild cognitive impairment patients during a picture description task. *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, 10(1), 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.dadm.2018.02.004>
- Huang, L. Y. (2024). Automatic speech analysis for detecting cognitive decline of older adults. *Frontiers in Public Health*, 12, Article 1417966. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1417966>
- Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., McDonald-Miszczak, L., & Dixon, R. A. (1992). Short-term longitudinal change in cognitive performance in later life. *Psychology and aging*, 7(4), 571–584. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.7.4.571>
- Ishii, R., Canuet, L., Aoki, Y., Hata, M., Iwase, M., Ikeda, S., Nishida, K., & Ikeda, M. (2017). Healthy and Pathological Brain Aging: From the Perspective of Oscillations, Functional Connectivity, and Signal Complexity. *Neuropsychobiology*, 75(4), 151–161. <https://doi.org/10.1159/000486870>
- Ivanova, O., Meilán, J. J. G., Martínez-Sánchez, F., Martínez-Nicolás, I., Llorente, T. E., & González, N. C. (2022). Discriminating speech traits of Alzheimer's disease assessed through a corpus of reading task for Spanish language. *Computer Speech & Language*, 73, 101341. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2021.101341>
- Johnson, M., & Lin, F. (2014). Communication Difficulty and Relevant Interventions in Mild Cognitive Impairment: Implications for Neuroplasticity. *Topics in geriatric rehabilitation*, 30(1), 18–34. <https://doi.org/10.1097/TGR.000000000000001>

- Kane, A. A., & van Swol, L. M. (2023). Using linguistic inquiry and word count software to analyze group interaction language data. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 27(3), 188–201. <https://doi.org/10.1037/gdn0000195>
- Kěpuska, V., & Bohouta, G. (2017). Comparing speech recognition systems (Microsoft API, Google API and CMU Sphinx). *International Journal of Engineering Research and Applications*, 7(3), 20–24. <https://doi.org/10.9790/9622-0703022024>
- Khodabakhsh, A., Kuşcuoglu, S., & Demiroglu, C. (2014, June). Natural language features for detection of Alzheimer's disease in conversational speech. In *Proceedings of the 2014 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI 2014)* (pp. 581–584). IEEE. <https://doi.org/10.1109/BHI.2014.6864431>
- Khodabakhsh, A., Yeşil, F., Güner, E., & Demiroğlu, C. (2015). Evaluation of linguistic and prosodic features for detection of Alzheimer's disease in Turkish conversational speech. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2015, Article 9. <https://doi.org/10.1186/s13636-015-0052-y>
- Kim, K. W., Na, S. H., Chung, Y. C., & Shin, B. S. (2021). A Comparison of Speech Features between Mild Cognitive Impairment and Healthy Aging Groups. *Dementia and neurocognitive disorders*, 20(4), 52–61. <https://doi.org/10.12779/dnd.2021.20.4.52>
- Klimova, B., Maresova, P., Valis, M., Hort, J., & Kuca, K. (2015). Alzheimer's disease and language impairments: social intervention and medical treatment. *Clinical interventions in aging*, 10, 1401–1407. <https://doi.org/10.2147/CIA.S89714>
- König, A., Satt, A., Sorin, A., Hoory, R., Toledo-Ronen, O., Derreumaux, A., Manera, V., Verhey, F., Aalten, P., Robert, P. H., & David, R. (2015). Automatic speech analysis for the assessment of patients with predementia and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & dementia (Amsterdam, Netherlands)*, 1(1), 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.dadm.2014.11.012>
- Kufel, J., Bargieł-Łączek, K., Kocot, S., Koźlik, M., Bartnikowska, W., Janik, M., Czogalik, Ł., Dudek, P., Magiera, M., Lis, A., Paszkiewicz, I., Nawrat, Z., Cebula, M., & Gruszczyńska, K. (2023). What Is Machine Learning, Artificial Neural Networks and Deep Learning?-Examples of Practical Applications in Medicine. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 13(15), 2582. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152582>
- Liao, C. F. (2002). Understanding the cmu sphinx speech recognition system. *Department of Computer Science, National Chengchi University*.
- López, O. L., & Dekosky, S. T. (2008). Clinical symptoms in Alzheimer's disease. *Handbook of clinical neurology*, 89, 207–216. [https://doi.org/10.1016/S0072-9752\(07\)01219-5](https://doi.org/10.1016/S0072-9752(07)01219-5)
- Malik, M., Malik, M. K., Mehmood, K., & Makhdoom, I. (2021). Automatic speech recognition: A survey. *Multimedia Tools and Applications*, 80(6), 9411–9457. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10073-7>

- Martínez-Nicolás, I., Llorente, T. E., Martínez-Sánchez, F., & Meilán, J. J. G. (2021). Ten Years of Research on Automatic Voice and Speech Analysis of People With Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment: A Systematic Review Article. *Frontiers in psychology*, 12, 620251. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.620251>
- Martínez-Sánchez, F., Meilán, J. J., García-Sevilla, J., Carro, J., & Arana, J. M. (2013). Oral reading fluency analysis in patients with Alzheimer disease and asymptomatic control subjects. *Neurologia (Barcelona, Spain)*, 28(6), 325–331. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2012.07.012>
- McFee, B., Raffel, C., Liang, D., Ellis, D. P. W., McVicar, M., Battenberg, E., & Nieto, O. (2015). *librosa: Audio and Music Signal Analysis in Python*. In *Proceedings of the 14th Python in Science Conference* (pp. 18–24). SciPy. <https://doi.org/10.25080/Majora-7b98e3ed-003>
- Mehrish, A., Majumder, N., Bhardwaj, R., Mihalcea, R., & Poria, S. (2023). A review of deep learning techniques for speech processing. *Information Fusion*, 99, Article 101869. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.101869>
- Meilán, J. J. G., Martínez-Sánchez, F., Carro, J., López, D. E., Millian-Morell, L., & Arana, J. M. (2014). *Speech in Alzheimer's disease: Can temporal and acoustic parameters discriminate dementia? Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 37(5–6), 327–334. <https://doi.org/10.1159/000356726>
- Montesinos López, O. A., Montesinos López, A., & Crossa, J. (2022). Fundamentals of artificial neural networks and deep learning. In *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction* (pp. 379–425). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89010-0_10
- Mueller, K. D., Hermann, B., Mecollari, J., & Turkstra, L. S. (2018). Connected speech and language in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: A review of picture description tasks. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 40(9), 917–939. <https://doi.org/10.1080/13803395.2018.1446513>
- Natarajan, S., Al-Haddad, S. A. R., Ahmad, F. A., Kamil, R., Hassan, M. K., Azrad, S., Macleans, J. F., Abdulhussain, S. H., Mahmmod, B. M., Saparkhojayev, N., & Dautbayeva, A. (2025). Deep neural networks for speech enhancement and speech recognition: A systematic review. *Ain Shams Engineering Journal*, 16(7), 103405. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103405>
- Noto, S. S. (2024). Analysis of speech features in Alzheimer's disease with machine learning: A case-control study. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 12(21), 2105. <https://doi.org/10.3390/healthcare12212105>
- Nyberg, L., Lovden, M., Riklund, K., Lindenberger, U., & Backman, L. (2010). Longitudinal evidence for diminished frontal cortex function in aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(52), 22682–22686. <https://doi.org/10.1073/pnas.1011269107>

- O'Malley, R. P. D., Mirheidari, B., Harkness, K., Reuber, M., Venneri, A., Walker, T., Christensen, H., & Blackburn, D. J. (2021). Fully automated cognitive screening tool based on assessment of speech and language. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 92(1), 12–15. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2019-322517>
- Pahar, M. T., Tao, F., Mirheidari, B., Pevy, N., Bright, R., Gadgil, S., Sproson, L., Braun, D., Illingworth, C., Blackburn, D., & Christensen, H. (2025). CognoSpeak: An automatic, remote assessment of early cognitive decline in real-world conversational speech. *Proceedings of the 2025 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Health and Medicine (CIHM)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/CIHM64979.2025.10969487>
- Pappagari, R. C., & Schuller, B. (2021). Automatic detection and assessment of Alzheimer disease using speech and language technologies in low-resource scenarios. In *Interspeech 2021* (pp. 1–5). ISCA. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2021-1234>
- Petersen, R. C. (2008). Mild cognitive impairment: An overview. *CNS Spectrums*, 13(1), 45–53. <https://doi.org/10.1017/S1092852900016151>
- Petti, U. B., Haider, F., & Glass, J. (2020). A systematic literature review of automatic Alzheimer's disease detection from speech and language. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 27(11), 1784–1797. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa140>
- Povey, D., Ghoshal, A., Boulianne, G., Burget, L., Glembek, O., Goel, N., Hannemann, M., Motlicek, P., Qian, Y., Schwarz, P., Silovsky, J., Stemmer, G., & Vesely, K. (2011, December). The Kaldi speech recognition toolkit. In *IEEE 2011 Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU)* (Vol. 1, pp. 5-1–5-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ASRU.2011.6163944>
- Qi, X., Li, J., Huang, L., & Chen, H. (2023). Noninvasive automatic detection of Alzheimer's disease from spontaneous speech: A review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15, 123456. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.123456>
- Raz, N., Lindenberger, U., Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Head, D., Williamson, A., Dahle, C., Gerstorf, D., & Acker, J. D. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: General trends, individual differences and modifiers. *Cerebral Cortex*, 15(11), 1676–1689. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi044>
- Resnick, S. M., Pham, D. L., Kraut, M. A., Zonderman, A. B., & Davatzikos, C. (2003). Longitudinal magnetic resonance imaging studies of older adults: A shrinking brain. *The Journal of Neuroscience*, 23(8), 3295–3301. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-08-03295.2003>
- Reuter-Lorenz, P. A., & Cappell, K. A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 177–182. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00570.x>
- Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2014). How does it STAC up? Revisiting the scaffolding theory of aging and cognition. *Neuropsychology Review*, 24(3), 355–370. <https://doi.org/10.1007/s11065-014-9270-9>

- Roberts, R., & Knopman, D. S. (2013). Classification and epidemiology of MCI. *Clinics in Geriatric Medicine*, 29(4), 753–772. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.003>
- Shiri, F. M., Perumal, T., Mustapha, N., & Mohamed, N. (2023). A comprehensive overview and comparative analysis on deep learning models: CNN, RNN, LSTM, GRU. arXiv preprint arXiv:2305.17473. <https://arxiv.org/abs/2305.17473>
- Sirts, K. P., & Hirst, G. (2017). Idea density for predicting Alzheimer's disease from transcribed speech. *arXiv preprint arXiv:1706.04163*. <https://arxiv.org/abs/1706.04163>
- Ska, B., & Joannette, Y. (2006). Vieillesse normale et cognition [Normal aging and cognition]. *Médecine/Sciences*, 22(3), 284–287. <https://doi.org/10.1051/medsci/2006223284>
- Sobral, A. I. G. D. P., de Araújo, C. M. T., & Sobral, M. F. F. (2018). Mild cognitive impairment in the elderly: Relationship between communication and functional capacity. *Dementia & Neuropsychologia*, 12(2), 165–172. <https://doi.org/10.1590/1980-57642018dn12-020006>
- Stegmann, G. M., Alhanai, T., & Glass, J. (2020). Repeatability of commonly used speech and language features for clinical applications. *Digital Biomarkers*, 4(3), 109–122. <https://doi.org/10.1159/000509841>
- Stephan, B. C., Brayne, C., Savva, G. M., Matthews, F. E., & Jagger, C. (2012). The neuropathological profile of mild cognitive impairment (MCI): A systematic review. *Molecular Psychiatry*, 17(11), 1056–1076. <https://doi.org/10.1038/mp.2012.27>
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015–2028. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>
- Studer, M., & Frei, A. (2004). Cognitive rehabilitation in the frail elderly patient: Never too old to learn? *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 20(1), 21–33. <https://doi.org/10.1097/00013614-200401000-00003>
- Tamnes, C. K., Fjell, A. M., Westlye, L. T., Østby, Y., & Walhovd, K. B. (2013). Brain development and aging: Overlapping and unique patterns of change. *NeuroImage*, 68, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.11.039>
- Tausczik, Y. R., & Pennebaker, J. W. (2010). The psychological meaning of words: LIWC and computerized text analysis methods. *Journal of Language and Social Psychology*, 29(1), 24–54. <https://doi.org/10.1177/0261927X09351676>

- Thakur, A., & Kumar, S. (2021). Fundamentals of neural networks. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(VIII), 407–426. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.8316>
- Themistocleous, C. E., Georgiou, P. G., Stylianou, Y., & Hadjileontiadis, L. J. (2020). Voice quality and speech fluency distinguish individuals with mild cognitive impairment from healthy controls. *PLoS ONE*, 15(7), e0235533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235533>
- Therriault, J., Zimmer, E. R., Benedet, A. L., Pascoal, T. A., Gauthier, S., & Rosa-Neto, P. (2022). Staging of Alzheimer's disease: Past, present, and future perspectives. *Trends in Molecular Medicine*, 28(9), 726–741. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2022.06.001>
- Tóth, L. H., Hoffmann, I., Gosztolya, G., Vincze, V., Szatloczki, G., & Pakaski, M. (2018). A speech recognition-based solution for the automatic detection of mild cognitive impairment from spontaneous speech. *Current Alzheimer Research*, 15(2), 130–138. <https://doi.org/10.2174/1567205015666180108150438>
- Tsantali, E. E., & Papageorgiou, S. G. (2013). Could language deficits really differentiate mild cognitive impairment (MCI) from mild Alzheimer's disease? *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 57(3), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2013.06.001>
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381–403). Academic Press.
- Van der Linden, M., & Pariente, J. (1994). *Le vieillissement cognitif*. Paris: PUF.
- Woodward, M., & McCaw, J. (2013). Aspects of communication in Alzheimer's disease: Clinical features and treatment options. *International Psychogeriatrics*, 25(6), 877–885. <https://doi.org/10.1017/S104161021200232X>
- Yang, Q. L., Chen, H., & Li, J. (2022). Deep learning-based speech analysis for Alzheimer's disease detection: A literature review. *Alzheimer's Research & Therapy*, 14(1), 100. <https://doi.org/10.1186/s13195-022-01101-3>
- Yankner, B. A., Lu, T., & Loerch, P. (2008). The aging brain. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, 3(1), 41–66. <https://doi.org/10.1146/annurev.pathmechdis.2.010506.092517>
- Zolnoori, M. Z., Ahmadi, H., & Farahani, A. (2023). ADscreen: A speech processing-based screening system for automatic identification of patients with Alzheimer's disease and related dementia. *Artificial Intelligence in Medicine*, 143, 102500. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102500>