



ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

Εκτίμηση της Επίδρασης του Ήχου στην Αντίληψη της Γεύσης
Μέσω Ψυχοακουστικών Τεστ

Νικόλαος Δ. Βουράκης (ΑΜ 1648)

Επιβλέπων

Νικόλαος Μ. Παπαδάκης

Ρέθυμνο

14 / 10 / 2022

Hellenic Mediterranean University
Department of Music Technology and Acoustics

Assessment of the Influence of Sound on the Perception of Taste using
Psychoacoustic Tests

Nikolaos D. Vourakis

Supervisor

Nikolaos M. Papadakis

Rethymno

14 / 10 / 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ	11
1.1 Αισθητικά Συστήματα	11
1.2 Σύστημα Ακοής	13
1.2.1 Ανατομία του ακουστικού συστήματος	14
<i>α) Εξωτερικό αυτί</i>	15
<i>β) Μέσο αυτί</i>	15
<i>γ) Εσωτερικό αυτί</i>	15
1.2.2 Μετάβαση από το αυτί στο ακουστικό νευρικό σύστημα	16
1.2.3 Ακουστική επεξεργασία σημάτων	17
1.2.4 Αντίληψη της έντασης	20
1.3 Σύστημα Γεύσης	21
1.3.1 Ανατομία και φυσιολογία της γεύσης	23
<i>α) Γευστικοί κάλυκες και γευστικές θηλές</i>	23
<i>β) Τα γευστικά κύτταρα</i>	24
1.3.3 Γευστικοί υποδοχείς	26
1.3.4 Μηχανισμός διέγερσης των γευστικών καλύκων	30
1.3.5 Μετάδοση των γευστικών μηνυμάτων στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα	30
1.3.6 Ο γευστικός κώδικας	31
1.4 Σύστημα όσφρησης και αλληλεπίδραση με το Σύστημα Ακοής	32
<i>α) Οσφρητικός φλοιός</i>	32
<i>β) Οσφρητικό νεύρο</i>	33
<i>γ) Οσφρητικός βολβός</i>	34
<i>δ) Οσφρητική ταινία</i>	35
1.4.1 Λειτουργία της όσφρησης	36
1.4.2 Ποιότητα της όσφρησης	39
1.4.3 Αλληλεπίδραση με το σύστημα της ακοής – Συναισθησία	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	43
ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΑ & ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	43

2.1	Επεξήγηση σημαντικών εννοιών.....	43
2.2	Είδη ερεθισμάτων και χαρακτηριστικά ήχου.....	43
2.3	Είδη ερεθισμάτων και χαρακτηριστικά γεύσης.....	47
2.4	Είδη ερεθισμάτων και χαρακτηριστικά όσφρησης.....	53
2.5	Συσχέτιση ακοής και όσφρησης.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....		62
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ (MULTISENSORY INTEGRATION).....		62
3.1	Ορισμός της Πολυαισθητηριακής Ολοκλήρωσης.....	62
3.1.1	Γενικές έρευνες Πολυαισθητηριακής Ολοκλήρωσης.....	66
3.1.2	Πολυαισθητηριακή Ολοκλήρωση & Ήχος.....	67
3.2	Ήχος & Γεύση.....	69
i)	<i>Η έρευνα του Charles Spence.....</i>	70
ii)	<i>Η έρευνα του Πανεπιστημίου του Μάντσεστερ.....</i>	72
iii)	<i>Η έρευνα της NASA.....</i>	73
iv)	<i>Η έρευνα του Εθνικού Πανεπιστημίου της Αυστραλίας.....</i>	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		75
ΚΛΙΜΑΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....		75
4.1	Ανάλυση μεθόδου και εγκυρότητας.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		82
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....		82
5.1	Επιλογή κλιμάκων, υποκειμένων και ήχων.....	82
5.1.1	<i>Κλίμακες.....</i>	82
5.1.2	<i>Συμμετέχοντες.....</i>	82
5.1.3	<i>Ήχος.....</i>	82
5.2	Εξοπλισμός.....	83
5.2.1	<i>Περιγραφή εξοπλισμού και λογισμικού.....</i>	83
5.3	Πείραμα.....	83
5.3.1	<i>Προϊόν προς δοκιμή.....</i>	83
5.3.2	<i>Χώρος διεξαγωγής πειράματος.....</i>	83
5.3.3	<i>Πειραματική διαδικασία.....</i>	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....		85
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....		85
6.1	Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων.....	85

6.1.1.	<i>Αρεστότητα (Likeness)</i>	85
6.1.3	<i>Πικρία (Bitterness)</i>	88
6.2.1	<i>Αρεστότητα (Likeness) αρρένων και θηλέων</i>	91
6.2.2	<i>Γλυκύτητα (Sweetness) αρρένων και θηλέων</i>	92
6.2.3	<i>Πικρία (Bitterness) αρρένων και θηλέων</i>	92
6.2.4	<i>Κρεμώδες (Creaminess) αρρένων και θηλέων</i>	93
6.3	<i>Τελικά συμπεράσματα</i>	94
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	95

Ευρετήριο Εικόνων

<i>Εικόνα 1: Ανατομία του ανθρώπινου αυτιού (πράσινο: εξωτερικό αυτί / κόκκινο: μεσαίο αυτί / μωβ: εσωτερικό αυτί).....</i>	<i>14</i>
<i>Εικόνα 2: Η διαφορά στην ένταση και το χρονοδιάγραμμα βοηθούν στον εντοπισμό της πηγής ενός ηχητικού σήματος.....</i>	<i>18</i>
<i>Εικόνα 3: Η θέση χ του μέγιστου πλάτους του κινούμενου κύματος αντιστοιχεί σε αναλογία 1 προς 1 σε μια συχνότητα διέγερσης.....</i>	<i>20</i>
<i>Εικόνα 4: Τα τρία είδη δειγμάτων σοκολάτας: Α.: 0%, Β.: 10% και Γ.: 20% επιπρόσθετης ζάχαρης..</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 5: Αποτελέσματα αρεστότητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.....</i>	<i>85</i>
<i>Εικόνα 6: Αποτελέσματα γλυκύτητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.....</i>	<i>87</i>
<i>Εικόνα 7: Αποτελέσματα πικρίας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.....</i>	<i>88</i>
<i>Εικόνα 8: Αποτελέσματα αίσθησης κρεμώδους για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.....</i>	<i>90</i>
<i>Εικόνα 9: Αποτελέσματα αρεστότητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρνες (M) και θήλεις (F) ξεχωριστά.....</i>	<i>91</i>
<i>Εικόνα 10: Αποτελέσματα γλυκύτητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρνες (M) και θήλεις (F) ξεχωριστά.....</i>	<i>92</i>
<i>Εικόνα 11: Αποτελέσματα της πικρίας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρνες (M) και θήλεις (F) ξεχωριστά.....</i>	<i>93</i>
<i>Εικόνα 12: Αποτελέσματα της αίσθησης του κρεμώδους για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρνες (M) και θήλεις (F) ξεχωριστά.....</i>	<i>93</i>

Ευρετήριο Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Εύρος συχνοτήτων ανθρώπων και ορισμένων επιλεγμένων ζώων</i>	<i>13</i>
<i>Πίνακας 2: Παράδειγμα σημασιολογικής κλίμακας.</i>	<i>76</i>
<i>Πίνακας 3: Παράδειγμα σημασιολογικής κλίμακας κενό.....</i>	<i>76</i>
<i>Πίνακας 4: Παράδειγμα συμπληρωμένης κλίμακας.</i>	<i>76</i>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική έχει θέμα την διερεύνηση της αλληλεπίδραση της ακουστικής αίσθησης και της αίσθησης της γεύσης. Πιο συγκεκριμένα, η διπλωματική έχει σκοπό να διερευνήσει την επίδραση της ηχητικής στάθμης στην τροποποίηση της αντίληψης των επιμέρους γευστικών χαρακτηριστικών ενός καταναλωτικού προϊόντος. Με αυτόν τον τρόπο θα διερευνηθεί η επιρροή της αίσθησης της ακοής στην εκτίμηση ποιοτικών χαρακτηριστικών προϊόντων.

Για την πειραματική διαδικασία αξιοποιήθηκε δείγμα σοκολάτας με τρεις διαφορετικές συστάσεις. Σαν ηχητικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε ηχητικό δείγμα καφετέριας σε τρεις διαφορετικές ηχητικές στάθμες. Η εφαρμογή έγινε με χρήση καταλλήλου ψυχοακουστικού πειράματος, το οποίο εφαρμόστηκε σε εθελοντές (N=33). Κατά την διάρκεια του πειράματος, κάθε εθελοντής κλήθηκε να καταναλώσει το δείγμα σοκολάτας και στην συνέχεια να αξιολογήσει τα γευστικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας κατάλληλο τεστ. Το πείραμα επαναλήφθηκε για όλους τους συνδυασμούς δείγματος σοκολάτας και ηχητικής στάθμης.

Η εργασία απαρτίζεται από επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα αισθητηριακά συστήματα του ανθρώπου και ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο σύστημα της ακοής και στην αντίληψη του ήχου από τον εγκέφαλο. Εξετάζονται αναλυτικά τα επιμέρους τμήματα της ακουστικής αίσθησης με ιδιαίτερη λεπτομέρεια και πώς αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να δημιουργηθεί κάθε φορά το κατάλληλο ακουστικό ερέθισμα. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα ερεθίσματα και τα χαρακτηριστικά του ήχου, της γεύσης και της όσφρησης καθώς και η σχέση ακοής και όσφρησης. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της πολυαισθητηριακής ολοκλήρωσης. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η επιλογή της αισθητήριας κλίμακας αξιολόγησης, η οποία είναι εμπνευσμένη από την έννοια του Σημασιολογικού Διαφορικού (Semantic Differential). Το πέμπτο κεφάλαιο περιγράφει τον σχεδιασμό του πειράματος με την χρήση ψυχοακουστικών τεστ. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και αναλύονται η διαδικασία που επιλέχθηκε και ακολουθήθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος, τα συμπεράσματα από την διαδικασία αυτή, καθώς και οι περιορισμοί της έρευνας.

Λέξεις κλειδιά:

Πολυαισθητήρια αντίληψη, Γεύση, Σοκολάτα, Θόρυβος υποβάθρου, Ηχητική στάθμη

ABSTRACT

The subject of this thesis is the investigation of the interaction of the auditory sense and the sense of taste. More specifically, this work aims to investigate the effect of the sound level on the perception of the individual taste characteristics of a consumer product. Therefore, it will be investigated in which way the sense of hearing contributes to the assessment of product quality characteristics.

For the experimental procedure, a sample of chocolate with three different compositions was created. A sound sample of a recording of a coffee shop at three different sound levels was used as background noise. The test was performed with the application of an appropriate psychoacoustic procedure, which was applied to volunteers (N=33). During the experiment, each volunteer was asked to consume the chocolate sample and then evaluate the taste characteristics using a suitable scale. The experiment was repeated for all combinations of chocolate samples and sound levels.

This work consists of seven chapters. In the first chapter, the human sensory systems are presented with special emphasis on the hearing system and the perception of sound. The individual parts of the auditory pathway are analyzed and in particular how they interact with each other to create the appropriate auditory stimulus perception. The second chapter analyzes the stimuli and characteristics of sound, taste and smell as well as the relationship between hearing and smell. In the third chapter, the concept of multisensory integration is analyzed. In the fourth chapter, the selection of the sensory evaluation scale is analyzed, which is inspired by the concept of the Semantic Differential. The fifth chapter describes the design of the experiment using psychoacoustic tests. Finally, the sixth chapter presents and analyzes the procedure chosen and followed to conduct the experiment, the conclusions from this procedure, as well as the limitations of the study.

Keywords

Multisensory perception, Taste, Chocolate, Background noise, Sound pressure levels

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ικανότητα του εγκεφάλου να συνδυάζει και να ενσωματώνει πληροφορίες που παρέχονται από τα διάφορα αισθητήρια συστήματα έχει βαθύ αντίκτυπο στην ανθρώπινη αντίληψη και τη συμπεριφορά. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την ακρόαση, με πολλές μελέτες που δείχνουν ότι η ικανότητα των ακροατών να διακρίνουν ή να εντοπίζουν ήχους μπορεί να αλλάξει με την παρουσία άλλων αισθητήριων ενδείξεων.

Για παράδειγμα, η διαθεσιμότητα σύγχρονων οπτικών ερεθισμάτων μπορεί να διευκολύνει τον εντοπισμό ήχων ή την κατανόηση της ομιλίας, οφέλη που είναι πιο εμφανή όταν τα ακουστικά σήματα είναι αδύναμα ή υποβαθμίζονται από την παρουσία θορύβου στο παρασκήνιο. Η πολυαισθητήρια ολοκλήρωση έχει αποδειχθεί στα περισσότερα επίπεδα της ακουστικής οδού, από τον κοχλιακό πυρήνα έως τον ακουστικό φλοιό. Εκτός από την κληρονομικότητα πολυαισθητηριακών σημάτων από υποφλοιώδη επίπεδα, ο ακουστικός φλοιός λαμβάνει οπτικές και σωματοαισθητηριακές εισόδους από άλλες περιοχές του φλοιού.

Αν και τα μη ακουστικά ερεθίσματα μπορούν να προκαλέσουν ακραία δραστηριότητα στον ακουστικό φλοιό, συνήθως ρυθμίζουν ακουστικές αποκρίσεις. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις φαίνεται να παρέχουν ενδείξεις με βάση τα συμφραζόμενα που σηματοδοτούν την παρουσία ενός επερχόμενου ήχου, αλλά μπορούν επίσης να αυξήσουν τις πληροφορίες που μεταφέρονται από τους φλοιούς νευρώνες σχετικά με τη θέση ή την ταυτότητα των ήχων και μπορεί ακόμη και να επαναβαθμονομήσουν τις φλοιώδεις αποκρίσεις όταν οι πληροφορίες που παρέχονται από διαφορετικούς αισθητηριακούς τρόπους συγκρούονται.

Ο εντοπισμός του νευρικού κυκλώματος που είναι υπεύθυνος για τις συμπεριφορικές συνέπειες της πολυαισθητηριακής ολοκλήρωσης παραμένει ένας τομέας έντονης έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

1.1 Αισθητικά Συστήματα

Ένα αισθητικό σύστημα ή αισθητήριο σύστημα (λατινικά: *organasensuum*) είναι το τμήμα εκείνο του νευρικού συστήματος, υπεύθυνο για την δημιουργία και την επεξεργασία της αισθητηριακής πληροφορίας, ή πιο απλά για τη δημιουργία των αισθήσεων με τη χρήση πληροφοριών που λαμβάνονται από το εξωτερικό περιβάλλον. Το αισθητικό σύστημα είναι μετατροπέας και μεταφορέας πληροφορίας από τον φυσικό κόσμο σε αυτόν του νου, όπου ερμηνεύεται η πληροφορία, δημιουργώντας μια εικόνα και αντίληψη του κόσμου. Κοινά γνωστά αισθητικά συστήματα είναι εκείνα της όρασης, ακοής, αφής, γεύσης και όσφρησης [1].

Ένα αισθητικό σύστημα στα σπονδυλωτά αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

1) Τους αισθητικούς (ή αισθητήριους) υποδοχείς, που είναι ουσιαστικά οι «αισθητήρες» που ανιχνεύουν και αναγνωρίζουν τις διάφορες ιδιότητες του περιβάλλοντος (μυρωδιά, γεύση, θερμότητα κ.λπ.). Ανάλογα με τον τύπο τους και την αίσθηση που εξυπηρετούν, μπορεί να βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε κάποιο αισθητικό όργανο (μάτι, γλώσσα κ.λπ.) ή διάσπαρτοι. Οι υποδοχείς αντιδρούν σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα από το περιβάλλον, παράγοντας ένα νευρικό σήμα, το οποίο καταλήγει στον εγκέφαλο.

2) Τα νεύρα και γενικότερα τις νευρικές οδούς που μεταδίδουν τα σήματα των υποδοχέων προς τον εγκέφαλο. Πολύ σημαντική οδό για τη μετάδοση σημάτων προς τον εγκέφαλο αποτελεί ο νωτιαίος μυελός.

3) Τέλος, τα τμήματα του εγκεφαλικού φλοιού, διαφορετικά για κάθε αίσθηση, όπου γίνεται η επεξεργασία των νευρικών σημάτων και η πραγμάτωση της αίσθησης ως αντιληπτής ιδιότητας του περιβάλλοντος, από τον οργανισμό [1].

Αν και υπάρχουν διαφορετικές απόψεις ανάμεσα στους νευροβιολόγους για τον ακριβή αριθμό των αισθήσεων, επειδή υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί του τί αποτελεί αίσθηση, ο Αριστοτέλης αναγνώρισε τις πέντε «παραδοσιακές» αισθήσεις που γενικά απαριθμούνται σήμερα ως βασικές: αφή, γεύση, όσφρηση, όραση και ακοή. Η αίσθηση της γεύσης δεν έχει να κάνει με αυτό που αποκαλούμε «γεύση» των τροφών, επειδή αυτή η έννοια της γεύσης εξαρτάται κυρίως από την όσφρηση. Έχει να κάνει με «ποιότητες» ή «βασικές γεύσεις»: ξινό, πικρό, γλυκό, αλμυρό και την «ουμάμι» (*umami*), την έννοια της «νοστιμιάς», που προστέθηκε πρόσφατα (2012) στις υπόλοιπες τέσσερις [1].

Άλλες αισθήσεις οι οποίες είναι ευρέως αποδεκτό ότι υπάρχουν στα περισσότερα θηλαστικά περιλαμβάνουν: την αλγαισθησία (αίσθηση του πόνου), την αιθουσαία αίσθηση (αίσθηση της ισορροπίας), την κιναισθησία (αίσθηση των μελών του σώματος και των κινήσεών τους) και τη θερμαιοσθησία ή θερμοδεκτικότητα (αίσθηση της θερμοκρασίας). Ορισμένα ζώα διαθέτουν αισθήσεις, όπως τη μαγνητοδεκτικότητα (αίσθηση των μαγνητικών πεδίων) και την ηλεκτροδεκτικότητα (αίσθηση των ηλεκτρικών πεδίων), που κατά τα φαινόμενα λείπουν από τον άνθρωπο [1]. Τα αισθητικά συστήματα ανταποκρίνονται σε τέσσερις ιδιότητες ενός ερεθίσματος: τον τύπο του (τροπικότητα / modality), την ένταση, τη θέση, και τη διάρκεια. Για παράδειγμα, ο χρόνος άφιξης ενός ηχητικού παλμού και οι διαφορές φάσης στον συνεχή ήχο χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της πηγής που παράγει τον ήχο. Συγκεκριμένοι υποδοχείς είναι ευαίσθητοι σε συγκεκριμένο τύπο ερεθισμάτων. Οι υποδοχείς στέλνουν παλμούς συγκεκριμένης μορφής προκειμένου να μεταδώσουν την πληροφορία ενός ερεθίσματος (όπως το πόσο δυνατός είναι ένας ήχος). Καθώς οι νευρικοί παλμοί που διαδίδονται στα νεύρα έχουν σταθερό πλάτος, η πληροφορία για την ένταση του ερεθίσματος κωδικοποιείται μέσω της συχνότητας των παλμών. Η θέση του υποδοχέα που διεγέρθηκε δίνει στο μυαλό πληροφορία για τη θέση της πηγής του ερεθίσματος (για παράδειγμα, η διέγερση ενός μηχανοϋποδοχέα σε κάποιο δάχτυλο θα στείλει στον εγκέφαλο πληροφορία ότι η πηγή του ερεθίσματος βρισκόταν σε εκείνο το δάχτυλο) [1].

Το αισθητικό πεδίο είναι το συγκεκριμένο τμήμα του κόσμου στο οποίο ανταποκρίνονται συγκεκριμένα αισθητικά όργανα και κύτταρα. Για παράδειγμα, το εύρος των συχνοτήτων που μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί, είναι το αισθητικό του πεδίο. Το φως που κάθε ραβδί ή κωνίο μπορεί να μετατρέψει σε νευρικό σήμα, είναι το αισθητικό τους πεδίο. Αισθητικά πεδία έχουν καθοριστεί για το οπτικό, το ακουστικό και σωματαιοσθητικό σύστημα ως τώρα [2].

Μια τροπικότητα (ή αισθητηριακή ενότητα / modality) είναι ένας τύπος φυσικού φαινομένου που μπορεί να αναγνωρίσει το αισθητήριο σύστημα. Παραδείγματα αποτελούν η θερμοκρασία, η γεύση, ο ήχος και η πίεση. Ο τύπος του αισθητηριακού υποδοχέα που διεγείρεται από το ερέθισμα παίζει κεντρικό ρόλο στην αναγνώριση της τροπικότητας του ερεθίσματος [2].

Η αίσθηση ξεκινά από την ανταπόκριση ενός συγκεκριμένου υποδοχέα σε ένα φυσικό ερέθισμα. Οι αισθητικοί υποδοχείς, αλλιώς γνωστοί και σαν αισθητικοί δέκτες, είναι ειδικά κύτταρα που αντιδρούν στο ερέθισμα και ξεκινούν τη διαδικασία της αίσθησης. Μετατρέπουν το ερέθισμα σε νευρικό παλμό, σε ένα ηλεκτρικό σήμα προς τον εγκέφαλο. Κάθε τύπος υποδοχέα είναι ειδικευμένος για κάποιο είδος ερεθίσματος, το λεγόμενο «ομόλογο ερέθισμα» του υποδοχέα [2].

Οι υποδοχείς είναι μετατροπείς πληροφορίας, καθώς μετατρέπουν, με διάφορους τρόπους, ένα ερέθισμα σε ηλεκτρικό σήμα. Για παράδειγμα, τα ραβδία, ένας τύπος υποδοχέων της όρασης, περιέχουν την πρωτεΐνη «ροδοψίνη», η οποία όταν δεχτεί ένα φωτόνιο υφίσταται μια διαμορφωτική αλλαγή, που με τη σειρά της προκαλεί μια σειρά μοριακών και κυτταρικών μεταβολών που έχουν ως κατάληξη την απελευθέρωση ενός νευροδιαβιβαστή από το διπολικό κύτταρο που υπάρχει δίπλα στο ραβδί (Bell et al, 2005). Τα σήματα που προκύπτουν από τη διέγερση των υποδοχέων μεταδίδονται

μέσα στα νεύρα με την μορφή νευρικού σήματος, ενός δυναμικού ενέργειας. Αυτό το δυναμικό ταξιδεύει κατά μήκος ενός προσαγωγού νευρώνα, και τελικά θα καταλήξει σε μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου, ειδικευμένη για τη συγκεκριμένη αίσθηση. Εκεί, στην συνέχεια, θα υποστεί επεξεργασία και θα ερμηνευτεί [2].

Βασικοί τύποι υποδοχέων, ανάλογα με την προέλευση των ερεθισμάτων, είναι οι **εξωδοκτικοί** (που λαμβάνουν ερεθίσματα από το εξωτερικό περιβάλλον), **ενδοδοκτικοί** (που λαμβάνουν ερεθίσματα από το εσωτερικό του οργανισμού, π.χ. συγκέντρωση γλυκόζης ή οξυγόνου στο αίμα) και **ιδιοδοκτικοί**, που βρίσκονται στους μύες και τις αρθρώσεις και συλλέγουν πληροφορίες για τη θέση των μελών του σώματος και τις κινήσεις τους, υποστηρίζοντας την αίσθηση της ιδιοδοκτικότητας [2]. Τα βασικά είδη αισθητικών υποδοχέων, ανάλογα με το ερέθισμα που τους διεγείρει, είναι οι: χημειοποδοχείς, φωτοποδοχείς, μηχανοποδοχείς και αλγοποδοχείς, υπάρχουν όμως και άλλα όπως οι θερμοποδοχείς, ωσμωποδοχείς, υδροποδοχείς κ.α. [2].

1.2 Σύστημα Ακοής

Το ακουστικό σύστημα είναι το αισθητήριο σύστημα το οποίο τροφοδοτεί την αίσθηση της ακοής. Η ικανότητα της ακοής δεν συναντάται ευρέως στο ζωικό βασίλειο συγκριτικά με τις άλλες αισθήσεις (της αφής, της γεύσης και της όσφρησης). Αντίθετα, η αίσθηση της ακοής περιορίζεται κυρίως στα σπονδυλωτά καθώς και στα έντομα. Ανάμεσα σε αυτά, τα θηλαστικά και τα πουλιά έχουν την πιο ανεπτυγμένη αίσθηση της ακοής [3]. Ο Πίνακας 1.1 δείχνει το εύρος συχνοτήτων των ανθρώπων και ορισμένων επιλεγμένων ζώων:

Πίνακας 1: Εύρος συχνοτήτων ανθρώπων και ορισμένων επιλεγμένων ζώων

Άνθρωπος	20 Hz	έως	20000Hz
Μπλε Φάλαινα	20 Hz	έως	100000Hz
Νυχτερίδα	1500 Hz	έως	100000Hz
Ψάρια	20 Hz	έως	3000Hz

Το όργανο που ανιχνεύει και αντιλαμβάνεται τον ήχο είναι το αυτί. Λειτουργεί ως δέκτης στην διαδικασία της συλλογής ακουστικών πληροφοριών και τις μεταβιβάζει μέσω του νευρικού συστήματος στον εγκέφαλο. Το αυτί περιλαμβάνει δομές για την αίσθηση της ακοής και για την αίσθηση της ισορροπίας και της στάσης του σώματος. Ο εγκέφαλος εξάγει και επεξεργάζεται διαφορετικές μορφές δεδομένων με σκοπό να εντοπίσει τον ήχο, όπως:

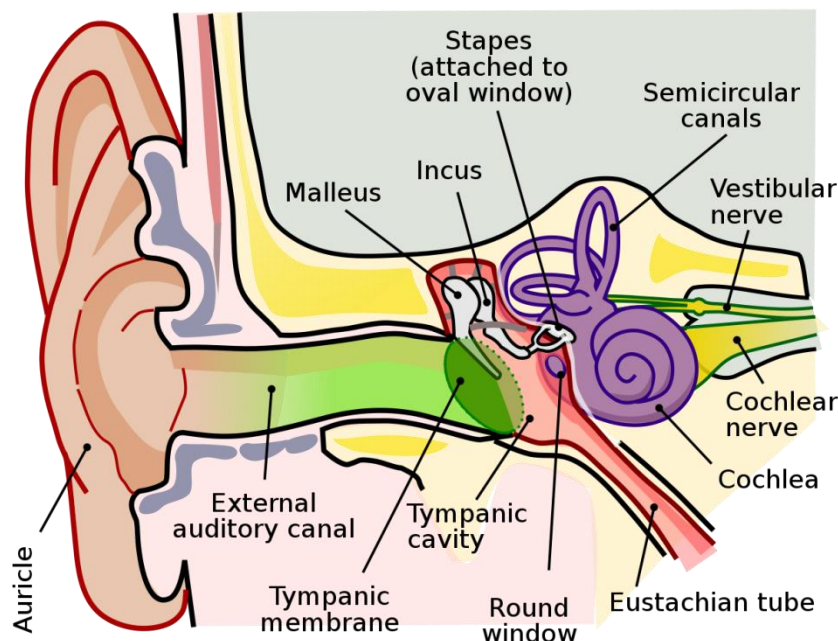
- Το σχήμα του ηχητικού φάσματος στην μεμβράνη του τυμπάνου (τύμπανο αυτιού)
- Την διαφορά στην ένταση του ήχου μεταξύ του δεξιού και του αριστερού αυτιού
- Την χρονική διαφορά άφιξης μεταξύ του δεξιού και του αριστερού αυτιού

- Την χρονική διαφορά στην άφιξη μεταξύ των ανακλάσεων του αυτιού, δηλαδή το σχήμα της επιφάνειας (μοτίβο από τις πτυχές και τις κορυφές) «αιχμαλωτίζει» τα ηχητικά κύματα με τρόπο που βοηθά στον εντοπισμό της πηγής του ήχου, ειδικά στον κατακόρυφο άξονα [3].

Ένας μέσος, υγιής και νέος άνθρωπος έχει την ικανότητα να ακούει ήχους με εύρος συχνοτήτων από 20 Hz έως 20 kHz. Οι άνθρωποι είναι περισσότερο ευαίσθητοι σε συχνότητες μεταξύ 2000 Hz και 4000 Hz, οι οποίες είναι οι συχνότητες των καθομιλούμενων λέξεων. Η ανάλυση της συχνότητας αποτελεί ποσοστό των 0.2%, το οποίο δεν επιτρέπει να διαχωριστούν τόνοι μεταξύ 1000 Hz. και 1002 Hz. Ένας ήχος του 1 kHz μπορεί να ανιχνευθεί εάν μετατοπίζει την τυμπανική μεμβράνη κατά λιγότερο από 1 Angstrom (= 0.1 nm), το οποίο είναι λιγότερο από την διάμετρο του ατόμου του υδρογόνου. Αυτή η εξαιρετική ευαισθησία του αυτιού εξηγεί γιατί περιλαμβάνει το μικρότερο κόκαλο που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα: το εσώτατο οστέριον του ωτός το οποίο είναι από 0.25cm έως 0.33cm μακρύ και ζυγίζει μεταξύ 1.9mg. και 4.3 mg [3].

1.2.1 Ανατομία του ακουστικού συστήματος

Το ακουστικό σύστημα ανιχνεύει ηχητικά κύματα, τα οποία είναι μεταβολές στην πίεση του αέρα, και μετατρέπει αυτές τις μεταβολές σε ηλεκτρικά σήματα. Αυτά τα ηλεκτρικά σήματα μπορούν στην συνέχεια να επεξεργαστούν, να αναλυθούν και να εξηγηθούν από τον εγκέφαλο. Το ακουστικό σύστημα αποτελείται από δύο κύρια μέρη: Το αυτί και το ακουστικό νευρικό σύστημα (ή αλλιώς και κεντρικό ακουστικό σύστημα). Το αυτί είναι το όργανο όπου γίνεται η πρώτη επεξεργασία του ήχου και εκεί όπου βρίσκονται οι αισθητήριοι υποδοχείς. Αποτελείται από τρία βασικά μέρη:



Εικόνα. 1: Ανατομία του ανθρώπινου αυτιού (πράσινο: εξωτερικό αυτί / κόκκινο: μεσαίο αυτί / μωβ: εσωτερικό αυτί)

α) Εξωτερικό αυτί

Η λειτουργία του εξωτερικού αυτιού είναι η συλλογή της ακουστικής ενέργειας και παράλληλα η ενίσχυση της ακουστικής πίεσης. Οι πτυχές του χόνδρου που πλαισιώνουν το κανάλι του αυτιού (ή εξωτερικός πόρος αυτιού) ονομάζεται ακουστικό πτερύγιο και είναι το ορατό μέρος του αυτιού. Τα ηχητικά κύματα ανακλώνται και εξασθενούνται όταν κρούουν το πτερύγιο, και αυτές οι αλλαγές παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες που βοηθούν τον εγκέφαλο να καθορίσει την κατεύθυνση από την οποία προέρχονται οι ήχοι. Τα ακουστικά κύματα εισέρχονται στο ακουστικό κανάλι το οποίο ενισχύει τους ήχους μεταξύ 3 kHz και 12 kHz. Στο τέλος του ακουστικού καναλιού βρίσκεται το τύμπανο (ή τυμπανική μεμβράνη), το οποίο σηματοδοτεί την αρχή του μεσαίου τμήματος του αυτιού [3].

β) Μέσο αυτί

Ο ρόλος του μέσου αυτιού είναι η μετάδοση της ακουστικής ενέργειας από τον αέρα στον κοχλία. Τα ηχητικά κύματα που ταξιδεύουν μέσω του ακουστικού καναλιού θα κρούσουν την μεμβράνη του τυμπάνου. Αυτή η ακουστική πληροφορία ταξιδεύει κατά μήκος της γεμάτης με αέρα ακουστικής κοιλότητας (ή μεσαία ακουστική κοιλότητα) μέσω μιας σειράς από κόκαλα: τη **σφύρα**, οστό του αυτιού στο είδος του **άκμονα** και το εσώτατο οστέριον του ωτός, τον **αναβολέα**. Αυτά τα οστά μετατρέπουν τις δονήσεις ήχου χαμηλής πίεσης του τυμπάνου σε δονήσεις υψηλότερης πίεσης σε μία άλλη μικρότερη μεμβράνη που καλείται οβάλ ή ελλειπτικό παράθυρο, το οποίο είναι ένα από τα δύο ανοίγματα στον κοχλία του εσωτερικού αυτιού. Το δεύτερο άνοιγμα καλείται κυκλικό παράθυρο και επιτρέπει στο υγρό του κοχλία να κινείται. Η σφύρα αρθρώνεται με την τυμπανική μεμβράνη μέσω ενός ειδικού οστού σε σχήμα σκουπόξυλου, ενώ ο αναβολέας αρθρώνεται με το οβάλ παράθυρο μέσω της πλατφόρμας του. Το μεσαίο αυτί περιλαμβάνει ακόμη πληροφορίες σε κυματική μορφή, οι οποίες μετατρέπονται σε νευρικούς παλμούς στον κοχλία [3].

γ) Εσωτερικό αυτί

Η λειτουργία του εσωτερικού αυτιού είναι η μετατροπή των μηχανικών κυμάτων (ήχους) σε ηλεκτρικά σήματα (νευρικά σήματα). Το εσωτερικό του αυτιού αποτελείται από τον κοχλία και αρκετές μη-ακουστικές δομές. Ο κοχλίας είναι ένα μέρος σε σχήμα κελύφους σαλιγκαριού στο εσωτερικό του αυτιού και έχει τρία μέρη τα οποία περιέχουν υγρό: την τυμπανιαία κλίμακα, την μεσαία κλίμακα και την αιθουσαία κλίμακα. Ο κοχλίας βοηθά το ρευστό κύμα το οποίο καθοδηγείται από την πίεση κατά μήκος της βασικής μεμβράνης διαχωρίζοντας τα δύο μέρη (τυμπανιαία και μεσαία μεμβράνη). Η βασική μεμβράνη είναι 3 εκατοστά μήκος και μεταξύ 0.5 και 0.04 χιλιοστά πλάτος. Η μεμβράνη του Reissner (αιθουσαία μεμβράνη) διαχωρίζει την μεσαία μεμβράνη και την αιθουσαία μεμβράνη. Το όργανο του Κόρτι βρίσκεται σε αυτόν τον αγωγό και μετατρέπει τα

μηχανικά κύματα σε ηλεκτρικά σήματα στους νευρώνες. Από αυτό το σημείο, η περαιτέρω επεξεργασία οδηγεί σε μία σειρά από ακουστικές αντιδράσεις και αισθήσεις [3].

1.2.2 Μετάβαση από το αυτί στο ακουστικό νευρικό σύστημα

Η μετάβαση από το αυτί στο ακουστικό νευρικό σύστημα είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία πραγματοποιείται με την βοήθεια των κυττάρων –τριχιδίων και των νευρώνων.

α) Κύτταρα-τριχίδια

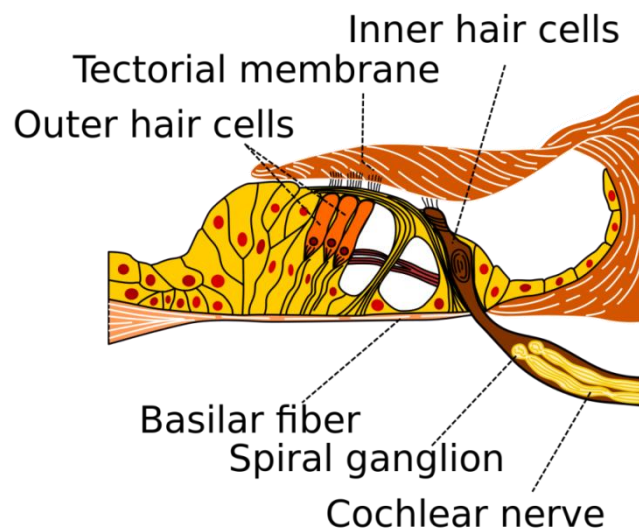
Τα κύτταρα-τριχίδια είναι κολονοειδή κύτταρα, το καθένα αποτελούμενο από μία δεσμίδα 100-200 εξειδικευμένων «βλεφαρίδων» από τα οποία προκύπτει και το όνομά τους. Αυτές οι «βλεφαρίδες» θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν επίσης ως οι «μηχανικοί αισθητήρες» της ακοής. Οι κοντύτερες ονομάζονται στέρεο-βλεφαρίδες και οι μακρύτερες στην μία άκρη της δεσμίδας τριχιδίων ονομάζονται κινούμενες βλεφαρίδες. Η τοποθεσία των κινούμενων βλεφαρίδων καθορίζει την κατεύθυνση της απομάκρυνσης που προκαλείται από την μέγιστη διέγερση του τριχιδίου. Ακριβώς επάνω από την κινούμενη βλεφαρίδα είναι η καλυπτήρια μεμβράνη, η οποία κινείται εμπρός και πίσω με κάθε κύκλο του ήχου, γέρνοντας τις βλεφαρίδες και αφήνοντας ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο κύτταρο τριχίδιο. Ο ρόλος των κυττάρων-τριχιδίων δεν είναι επακριβώς γνωστός. Το τρέχον επιστημονικό μοντέλο υποστηρίζει πως η μία βλεφαρίδα έλκεται από την άλλη με μια σύνδεση επιστόμιου. Επιμηκύνοντας και συμπιέζοντας, οι σύνδεσμοι αυτοί ανοίγουν ένα «κανάλι ιόντων» και παράγουν δυναμικό στον υποδοχέα του κυττάρου τριχιδίου [4].

β) Νευρώνες

Το νευρικό σύστημα διακρίνεται στις νευρικές ίνες που μεταφέρουν πληροφορίες προς το κεντρικό νευρικό σύστημα και τις νευρικές ίνες που μεταφέρουν την πληροφορία μακριά από αυτό. Οι σχετικοί νευρώνες (αισθητήριοι ή νευρώνες υποδοχέα) φέρουν νευρικούς παλμούς από τους υποδοχείς (όργανα αίσθησης) προς το κεντρικό νευρικό σύστημα. Οι εξελικτικοί νευρώνες (κινητοί ή τελεστικοί νευρώνες) φέρουν νευρικούς παλμούς μακριά από το κεντρικό νευρικό σύστημα σε τελεστές όπως μύες ή αδένες (και επίσης τα κυλινδρικά κύτταρα του εσωτερικού αυτιού). Οι ηχητικές πληροφορίες, οι οποίες πλέον κωδικοποιούνται με τη μορφή ηλεκτρικών σημάτων, ταξιδεύουν διαμέσου του ακουστικού νεύρου και υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία. Οι επεξεργασμένες ηχητικές πληροφορίες φθάνουν τελικά στον θάλαμο, και από εκεί μεταδίδονται στον φλοιό. Στον ανθρώπινο εγκέφαλο, ο πρωταρχικός ακουστικός φλοιός βρίσκεται στον κροταφικό λοβό [4].

Ο πρωταρχικός ακουστικός φλοιός είναι η πρώτη περιοχή του εγκεφαλικού φλοιού που δέχεται ακουστικές εισροές. Η αντίληψη του ήχου συνδέεται με την δεξιά οπίσθια ανώτερη χρονική έδρα

(STG). Ο ανώτερος χρονικός γύρος περιέχει αρκετές σημαντικές δομές του εγκεφάλου, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών Brodmann 41 και 42, σηματοδοτώντας τη θέση του πρωταρχικού ακουστικού φλοιού, την περιοχή του φλοιού που είναι υπεύθυνη για την αίσθηση βασικών χαρακτηριστικών του ήχου, όπως το βήμα και ο ρυθμός. Η περιοχή ακουστικής συσχέτισης βρίσκεται εντός του κροταφικού λοβού του εγκεφάλου, σε μια περιοχή που ονομάζεται περιοχή Wernicke ή περιοχή 22. Αυτή η περιοχή, κοντά στο πλευρικό εγκεφαλικό μέρος, είναι μια σημαντική περιοχή για την επεξεργασία ακουστικών σημάτων, ώστε να μπορούν να διακριθούν ως ομιλία, μουσική ή θόρυβος [4].



Εικόνα 2: Τομή του σπειροειδούς οργάνου του Κόρτι

1.2.3 Ακουστική επεξεργασία σημάτων

Η ακουστική επεξεργασία σημάτων αφορά τις φυσιολογικές διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα όταν γίνονται αντιληπτές οι ακουστικές πληροφορίες και μετατρέπονται σε δεδομένα που μπορούν να διαχειριστούν και να ερμηνευτούν από τον εγκέφαλο. Η ακοή ξεκινά με τα κύματα πίεσης τα οποία κρούουν τον ακουστικό πόρο και τελικά γίνεται αντιληπτός ο ήχος από τον εγκέφαλο. Τα ηχητικά κύματα με μήκος κύματος μικρότερο από το μέσο ανθρώπινο κεφάλι παράγουν μια «ηχητική σκιά» στο αυτί, πιο μακριά από την πηγή ήχου. Όταν το μήκος κύματος είναι μικρότερο από το ανθρώπινο κεφάλι, η περίθλαση του ήχου οδηγεί σε περίπου ίσες εντάσεις ήχου και στα δύο αυτιά. Στην επόμενη φάση, το πτερύγιο συλλέγει ηχητικά κύματα στον αέρα που επηρεάζουν τον ήχο που προέρχεται από πίσω και εμπρός ανάλογα με το κυματοειδές του σχήμα. Τα ηχητικά κύματα ανακλώνονται και εξασθενούν ή ενισχύονται, συμβάλλοντας στον εντοπισμό του ήχου. Στο εξωτερικό ακουστικό κανάλι ενισχύονται οι ήχοι μεταξύ 3 kHz και 12 kHz - μιας κλίμακας ζωτικής σημασίας για την ανθρώπινη επικοινωνία και ουσιαστικά λειτουργεί ως συντονιστής που ενισχύει τις

εισερχόμενες συχνότητες [4]. Ο ήχος που εισέρχεται στο περύγιο με τη μορφή κυμάτων ταξιδεύει κατά μήκος του ακουστικού καναλιού μέχρι να φτάσει στην αρχή του μεσαίου ωτός που χαρακτηρίζεται από την τυμπανική μεμβράνη. Δεδομένου ότι το εσωτερικό αυτί είναι γεμάτο με υγρό, το μέσο αυτί είναι ένα είδος συσκευής αντιστοίχισης σύνθετης αντίστασης προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα της αντανάκλασης της ηχητικής ενέργειας στη μετάβαση από τον αέρα στο ρευστό. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{I_r}{I_1} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad (1.1)$$

Όπου:

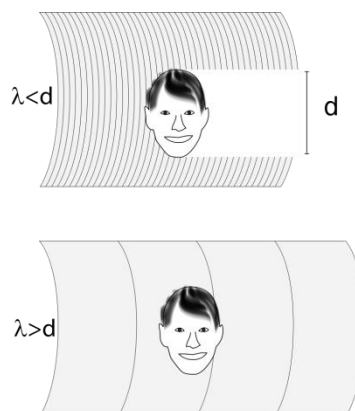
I_r είναι η ένταση του ανακλώμενου ήχου, δηλαδή η ένταση του εισερχόμενου ήχου και

Zk η αντίσταση κύματος των δύο μέσων ($Z_{air} = 414 \text{ kgm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $Z_{water} = 1.48 * 10^6 \text{ kgm}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Τρεις παράγοντες που συμβάλλουν στην αντιστοίχιση της σύνθετης αντίστασης είναι:

- η σχετική διαφορά μεγέθους μεταξύ τυμπάνου και ωοειδούς παραθύρου
- το αποτέλεσμα του μοχλού των μέσων αυτιών και του
- το σχήμα του τυμπάνου

Οι διαμήκεις μεταβολές της πίεσης του ήχου του ηχητικού κύματος προκαλούν τη δόνηση της τυμπανικής μεμβράνης η οποία, με τη σειρά της, κάνει τα τρία αλυσιδωτά οστά (*ossicles malleus* / σφύρα, *incus* / άκμονας και *stirrup* / αναβολέας) να ταλαντώνονται συγχρονισμένα. Αυτά τα οστάρια δονούνται σαν μονάδα, ανεβάζοντας την ενέργεια από την τυμπανική μεμβράνη στο ωοειδές παράθυρο. Επιπλέον, η ενέργεια του ήχου ενισχύεται περαιτέρω από την επιφανειακή διαφορά μεταξύ της μεμβράνης και του αναβολέα. Το μεσαίο αυτί λειτουργεί ως μετασχηματιστής σύνθετης αντίστασης αλλάζοντας την ενέργεια του ήχου που συλλέγεται από την τυμπανική μεμβράνη σε μεγαλύτερη δύναμη και λιγότερη έκταση κίνησης [4].



Εικόνα 2: Η διαφορά στην ένταση και το χρονοδιάγραμμα βοηθούν στον εντοπισμό της πηγής ενός ηχητικού σήματος.

Αυτός ο μηχανισμός διευκολύνει τη μετάδοση ηχητικών κυμάτων στον αέρα με την μορφή δονήσεων του υγρού στον κοχλία. Ο μετασχηματισμός προκύπτει από το έμβολο που εισέρχεται και εξέρχεται από το πέλμα του αναβολέα που βρίσκεται στο ωειδές παράθυρο. Αυτή η κίνηση που εκτελείται από το πέλμα θέτει σε κίνηση το υγρό στον κοχλία. Τα τρία συγκροτήματα που, όπως προαναφέρθηκε, είναι γεμάτα με υγρό του κοχλία (τυμπανιαία κλίμακα, μεσαία κλίμακα και αιθουσαία κλίμακα) διαχωρίζονται από τη βασική μεμβράνη και τη μεμβράνη του Reissner. Η λειτουργία του κοχλία είναι να διαχωρίζει τους ήχους ανάλογα με το φάσμα τους και να τους μετατρέπει σε νευρικό κώδικα. Όταν το πέλμα του αναβολέα σπρώχνει προς το περίγραμμα της αιθουσαίας κλίμακας, η μεμβράνη του Reissner λυγίζει προς την μεσαία κλίμακα [4]. Αυτή η επιμήκυνση της μεμβράνης Reissner προκαλεί την κίνηση του ενδολύμφιου μέσα στην μεσαία κλίμακα και κατα συνέπεια, την μετατόπιση της βασικής μεμβράνης. Ο διαχωρισμός των ηχητικών συχνοτήτων στον κοχλία οφείλεται στις ειδικές ιδιότητες της βασικής μεμβράνης. Το υγρό στον κοχλία δονείται (εξαιτίας της εισχώρησης και εξώθησης του αναβολέα), θέτοντας την μεμβράνη σε κίνηση σαν ένα κύμα. Το κύμα αρχίζει από τη βάση και προχωρά προς την κορυφή του κοχλία.

Τα εγκάρσια κύματα στη βασική μεμβράνη διαδίδονται με:

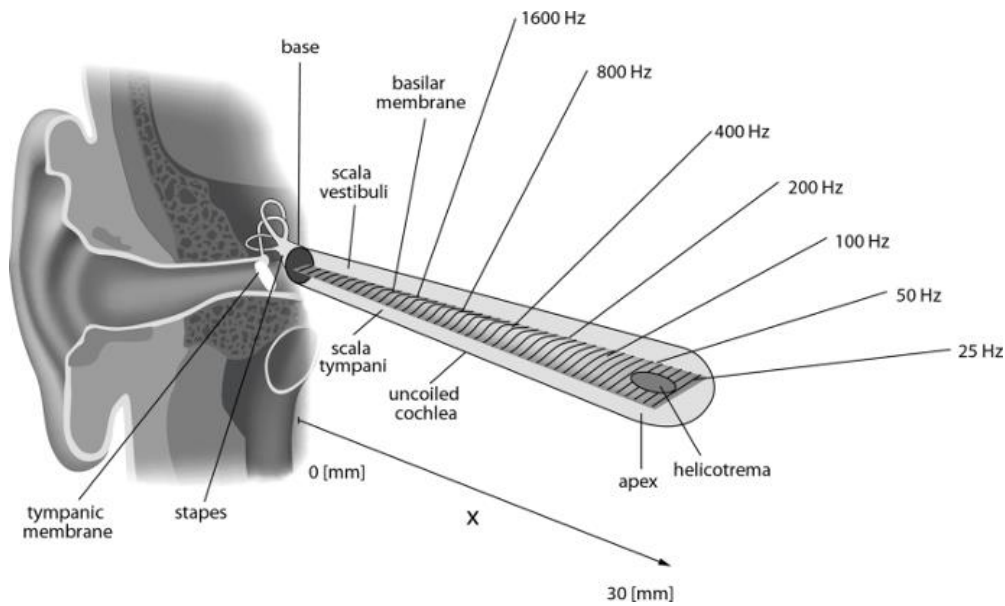
$$c_{trans} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (1.2)$$

Όπου:

μ είναι ο συντελεστής διάτμησης και

ρ είναι η πυκνότητα του υλικού

Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται τις διακριτές συχνότητες, όχι τους πλήρεις ήχους. Λόγω των ανομοιογενών ιδιοτήτων της, η βασική μεμβράνη πραγματοποιεί μια προσέγγιση σε ένα μετασχηματισμό Fourier. Έτσι, ο ήχος χωρίζεται σε διαφορετικές συχνότητες και κάθε κύτταρο τρίχας στη μεμβράνη αντιστοιχεί σε μια ορισμένη συχνότητα. Η ένταση της συχνότητας κωδικοποιείται από την ταχύτητα πυροδότησης των αντίστοιχων προσαγωγών ιών. Αυτό οφείλεται στο πλάτος του ταξιδεύοντος κύματος στη βασική μεμβράνη, το οποίο εξαρτάται από την ένταση του εισερχόμενου ήχου [5].



Εικόνα 3: Η θέση χ του μέγιστου πλάτους του κινούμενου κύματος αντιστοιχεί σε αναλογία 1 προς 1 σε μια συχνότητα διέγερσης.

Τα αισθητήρια κύτταρα του ακουστικού συστήματος, βρίσκονται κατά μήκος της βασικής μεμβράνης στο όργανο του Κόρτι. Κάθε όργανο του Κόρτι περιέχει περίπου 16.000 τέτοια κύτταρα-νευρώνες και αποτελούνται από περίπου 30.000 προσαγωγούς-νευρικές ίνες. Υπάρχουν δύο ανατομικά και λειτουργικά διαφορετικά είδη κυττάρων τρίχας: τα εσωτερικά και εξωτερικά κύτταρα τρίχας. Κατά μήκος της βασικής μεμβράνης αυτοί οι δύο τύποι είναι διατεταγμένοι σε μία σειρά εσωτερικών κυψελίδων και τρεις έως πέντε σειρές εξωτερικών κυττάρων. Το μεγαλύτερο μέρος της προσαγωγικής εννεύρωσης προέρχεται από τα εσωτερικά κύτταρα τρίχας, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της απότομης εννεύρωσης πηγάζει στα εξωτερικά κύτταρα τρίχας. Τα εσωτερικά κύτταρα τρίχας επηρεάζουν τον ρυθμό εκκένωσης των επιμέρους ακουστικών νευρικών ινών που συνδέονται με αυτά τα κύτταρα τρίχας. Επομένως, τα εσωτερικά κύτταρα τρίχας μεταφέρουν πληροφορίες ήχου σε υψηλότερα ακουστικά νευρικά κέντρα. Τα εξωτερικά κύτταρα τρίχας, αντίθετα, ενισχύουν την κίνηση της βασικής μεμβράνης με έγχυση ενέργειας στην κίνηση της μεμβράνης και μειώνοντας τις απώλειες τριβής αλλά δεν συνεισφέρουν στη μετάδοση πληροφοριών ήχου [5].

1.2.4 Αντίληψη της έντασης

Η ένταση είναι μια υποκειμενική αντίληψη, που προκαλείται από ήχους που έχουν περίπου περιοδικό χαρακτήρα. Συγκεκριμένα, η ένταση είναι αρκετά ανθεκτική σε μεταβολές σε σχέση με άλλες ακουστικές παραμέτρους οι οποίες μπορούν να μεταβάλουν σημαντικά τις φυσικές ιδιότητες μιας ακουστικής κυματομορφής. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε περιπτώσεις όπου για παράδειγμα, οι ήχοι χωρίς κοινά φασματικά στοιχεία μπορούν να προκαλέσουν την ίδια ένταση. Συνεπώς, οι

πληροφορίες που σχετίζονται με την ένταση πρέπει να εξάγονται από φασματικές και / ή χρονικές παραστάσεις που αντιπροσωπεύονται σε πολλαπλά κανάλια συχνότητας [5].

Η ένταση είναι μια ψυχοφυσική ιδιότητα. Η κλίση και το ύψος της έντασης εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, αλλά μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος αρμονικών και θεμελιωδών συχνοτήτων, που ονομάζεται «περιφέρεια ύπαρξης», η κλίση της έντασης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την κανονικότητα της επανάληψης του ηχητικού τμήματος, το ύψος της έντασης με το ρυθμό επανάληψης, που ονομάζεται επίσης συχνότητα διαμόρφωσης. Η αντίληψη της έντασης έχει επίσης βρεθεί ότι επηρεάζεται από το φύλο [6]. Το σύνολο των ήχων που μπορούν να προκαλέσουν αντίληψη της έντασης είναι διαφορετικό και φαινομενικά ετερογενές ενώ άλλα ακουστικά σήματα, ακόμη και με παρόμοια φυσικά χαρακτηριστικά με τέτοια ερεθίσματα, μπορούν να μην προκαλέσουν. Οι περισσότεροι φυσιολογικοί ήχοι που προκαλούν την αίσθηση της έντασης είναι αρμονικά σύμπλοκα-ήχοι που περιέχουν ένα φάσμα συχνοτήτων, οι οποίες είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας f_0 . Οι έρευνες για την κωδικοποίηση της έντασης στο ακουστικό σύστημα έχουν επικεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό στον εντοπισμό νευρικών διεργασιών που αντικατοπτρίζουν αυτές τις διεργασίες εξαγωγής ή στην εύρεση του «τελικού σημείου» μιας τέτοιας διαδικασίας: μια ρητή και ισχυρή αναπαράσταση του έντασης όπως την αντιλαμβάνεται το άτομο. Αυτό το «τελικό σημείο» είναι σημαντικό γιατί αποτελεί σημαντικό σημείο αναφοράς για να εκτιμηθεί κατά πόσο συγκεκριμένοι νευρώνες ή περιοχές του εγκεφάλου είναι εξειδικευμένοι στην επεξεργασία εντάσεων, καθώς οι μονάδες αυτές αναμένεται να παρουσιάσουν δραστηριότητα ανάλογη του f_0 (και έτσι και της εντάσεως), ανεξάρτητα από την παρουσία του στις ηχητικές και άλλες ακουστικές παραμέτρους [5].

1.3 Σύστημα Γεύσης

Η αίσθηση της γεύσης αποτελεί, κατά κύριο λόγο, λειτουργία των γευστικών καλύκων της στοματικής κοιλότητας. Τα γευστικά κύτταρα συνδέονται με τα μόρια των τροφών που καταναλώνονται και στέλνουν μηνύματα στον εγκέφαλο, ο οποίος διακρίνει και αξιολογεί το ερέθισμα, οδηγώντας σε μια εμπειρία γνωστή ως «γεύση» [7]. Είναι ωστόσο κοινά αποδεκτό ότι η αίσθηση της όσφρησης επίσης συμβάλλει σημαντικά στην αντίληψη της γεύσης. Επιπλέον, η υφή της τροφής, όπως ανιχνεύεται από την απτική αίσθηση της στοματικής κοιλότητας, καθώς και η παρουσία ουσιών στην τροφή που διεγείρουν νευρικές απολήξεις πόνου, όπως το πιπέρι, μεταβάλλουν σε μεγάλο βαθμό τη γευστική εμπειρία. (Guyton, 2006). Πέντε βασικές γεύσεις γίνονται αντιληπτές από τον άνθρωπο και τα περισσότερα ζώα: η πικρή, η γλυκιά, η όξινη, η αλμυρή και η «ουμάμι» γεύση, επιστημονικά γνωστή ως η γεύση του γλουταμινικού μονονατρίου (*Monosodium Glutamate, MSG*) [8].

Η αίσθηση της γεύσης εξυπηρετεί κυρίως δύο λειτουργίες. Αφενός, επιτρέπει την αξιολόγηση των τροφίμων ως προς την τοξικότητα και τα θρεπτικά συστατικά και αφετέρου μπορεί να έχει

μεταβολική λειτουργία, προετοιμάζοντας τον οργανισμό να απορροφήσει καλύτερα τα επεξεργασμένα θρεπτικά συστατικά. Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να αντιληφθεί πέντε διαφορετικές γεύσεις, καθμία από τις οποίες είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση συγκεκριμένων θρεπτικών και δηλητηριωδών συστατικών στις καταναλισκόμενες τροφές [9].

Αρχικά, η γλυκιά γεύση είναι ενδεικτική πηγών πλούσιων σε υδατάνθρακες, ενώ η γεύση umami είναι χαρακτηριστική τροφίμων με μεγάλη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και αμινοξέα [10]. Η αλμυρή γεύση, είναι υπεύθυνη για τον εντοπισμό αλάτων, των οποίων η πρόσληψη είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ισορροπίας των υγρών του σώματος. Η πικρή γεύση, όταν έχει αυξημένη ένταση, οδηγεί σε απόρριψη της τροφής, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς πολλές θανατηφόρες τοξίνες που εντοπίζονται σε δηλητηριώδη φυτά είναι αλκαλοειδή, και στο σύνολό τους προκαλούν μια ιδιαίτερα έντονη πικρή γεύση. Τέλος, η ξινή γεύση είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση του βαθμού ωρίμανσης των φρούτων, καθώς και για τον εντοπισμό αλλοιωμένων τροφών [11].

Από την άλλη πλευρά, η αίσθηση της γεύσης μπορεί να συμμετέχει και στο μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών, μέσω ενός συνόλου αντιδράσεων, γνωστές ως «κεφαλική φάση», οι οποίες πυροδοτούνται από την αισθητηριακή αναγνώριση του φαγητού (εμφάνιση, οσμή, γεύση). Μερικές από τις αντιδράσεις αυτές είναι η έκκριση σιέλου, η αύξηση των καρδιακών παλμών και της μεσεντερικής ροής, η έκκριση πεπτικών ενζύμων, ορμονών και οξέων, καθώς και η αύξηση της κινητικότητας του εντέρου [12]. Οι φυσιολογικές αυτές αντιδράσεις είναι ραγδαίες (συμβαίνουν εντός ολίγων λεπτών από τη στιγμή της αισθητηριακής διέγερσης), μικρές σε ένταση (σε σχέση με τις διαστάσεις που λαμβάνουν κατά τον μεταβολισμό της τροφής) και παροδικές [13]. Ωστόσο, διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην καλύτερη απορρόφηση και αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών από τον οργανισμό. Το φαινόμενο της γευστικής προτίμησης είναι σχεδόν με βεβαιότητα αποτέλεσμα κάποιου μηχανισμού που εντοπίζεται στο κεντρικό νευρικό σύστημα και όχι από μηχανισμό στους ίδιους τους υποδοχείς γεύσης. Ένας σημαντικός λόγος που καταδεικνύει ότι η γευστική προτίμηση είναι κυρίως ένα φαινόμενο του κεντρικού νευρικού συστήματος είναι ότι η προηγούμενη εμπειρία με δυσάρεστες ή ευχάριστες γεύσεις παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των γευστικών προτιμήσεων του ατόμου. Για παράδειγμα, εάν ένα άτομο έχει δυσάρεστα συμπτώματα μετά την κατανάλωση ενός συγκεκριμένου τροφίμου, το άτομο έπειτα αναπτύσσει μια αρνητική γευστική προτίμηση, γνωστή και ως αποστροφή, για το συγκεκριμένο τρόφιμο [14].

Η γεύση umami, εκτός του εξελικτικού της ρόλου, εμπλέκεται και σε πολλές διεργασίες του ανθρώπινου οργανισμού [10]. Αρχικά, οι ουσίες umami διεγείρουν την παγκρεατική εξωκρινή λειτουργία, την έκκριση γαστρικών υγρών και οξέων, καθώς και την απελευθέρωση ινσουλίνης, συμβάλλοντας έτσι στην βελτίωση της πέψης [15]. Μια από αυτές τις ουσίες, το MSG (γλουταμινικό μονονάτριο), προάγει τη γαστρική κένωση και την περισταλτικότητα του εντέρου, ενώ παράλληλα ρυθμίζει την απελευθέρωση διττανθρακικών και την έκκριση γαστρικής βλέννας [16], [12]. Επιπλέον, η γεύση του umami επάγει την έκκριση σιέλου [17].

Παραδόξως, η συνολική ποσότητα σιέλου που εκκρίνεται λόγω του ερεθίσματος των ουσιών της συγκεκριμένης γεύσης, είναι μεγαλύτερη από εκείνη που προκύπτει από τη διέγερση που προκαλεί ένα «στυφό» γεύμα [18]. Η λειτουργία αυτή είναι αρκετά σημαντική, εφόσον όλες οι ουσίες της τροφής πρέπει να διαλυθούν πρώτα με τη βοήθεια του σιέλου προκειμένου να συνδεθούν στη συνέχεια με τους γευστικούς υποδοχείς. Αξιοσημείωτο είναι, επίσης, το γεγονός ότι οι ουσίες της γεύσης umami αυξάνουν την όρεξη και βελτιώνουν την αίσθηση ικανοποίησης που προσφέρουν τα τρόφιμα, οδηγώντας έτσι σε αύξηση της πρόσληψης τροφής. Τέλος, η προσθήκη των συγκεκριμένων ουσιών μπορεί να μειώσει την επιθυμία για αλάτι, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας της διατροφής [19].

Στην ψυχοφυσική, ως όριο ανίχνευσης ενός γευστικού ερεθίσματος αναφέρεται η ελάχιστη ποσότητα του ερεθίσματος που απαιτείται ώστε το αισθητήριο σύστημα να προκαλέσει μια συμπεριφορική απόκριση. Το κατώφλι αυτό ποικίλλει αναλόγως με το είδος του οργανισμού και του υπό εξέταση ερεθίσματος [20]. Συγκεκριμένα, το όριο ανίχνευσης της όξινης γεύσης του υδροχλωρικού οξέος έχει δείκτη 1 (0.0009M). Σε σύγκριση με αυτό, το τρυγικό οξύ, το κιτρικό και το ανθρακικό, έχουν δείκτες ανίχνευσης 0.7, 0.46 και 0.06 αντίστοιχα. Για τη διέγερση της αλμυρής γεύσης με χλωριούχο νάτριο, το κατώφλι ανίχνευσης είναι 0.01M (δείκτης 1), ενώ το χλωριούχο κάλιο έχει δείκτη 0.6. Το κατώφλι ανίχνευσης της γλυκιάς γεύσης που προκαλεί η σακχαρόζη είναι 0.01M (δείκτης 1), ενώ η γλυκόζη, η φρουκτόζη και η λακτόζη έχουν δείκτες 0.8, 1.7 και 0.3 αντίστοιχα. Το κατώφλι ανίχνευσης της umami γεύσης του γλουταμινικού μονονατρίου είναι 0.000625M (Boudreau 1979), και τέλος, για την πικρή γεύση που προκαλείται από κινίνη, το κατώφλι ανίχνευσης είναι 0.000008M, φανερώνοντας έτσι τη μεγάλη ευαισθησία της πικρής γεύσης, η οποία οφείλεται στον προστατευτικό της ρόλο κατά των τοξινών [14].

1.3.1 Ανατομία και φυσιολογία της γεύσης

α) Γευστικοί κάλυκες και γευστικές θηλές

Η γλώσσα αποτελεί το κύριο αισθητηριακό όργανο της γεύσης. Το περιφερικό όργανο του γευστικού συστήματος βρίσκεται κυρίως στη ραχιαία επιφάνεια της γλώσσας και είναι η θηλή της γλώσσας. Η βασική λειτουργική μονάδα της γεύσης βρίσκεται στις θηλές της γλώσσας και είναι ο γευστικός κάλυκας [21]. Γενικά, φαίνεται να υπάρχουν τουλάχιστον 4 διαφορετικά είδη γευστικών θηλών, οι οποίες, εκτός της γλώσσας, εντοπίζονται και στη μαλακή και σκληρά υπερώα, στην επιγλωττίδα, στο φάρυγγα και το λάρυγγα [22]. Οι μυκητοειδείς θηλές καλύπτουν τα 2/3 της πρόσθιας επιφάνειας της γλώσσας και έχουν σχήμα μανιταριού. Στον άνθρωπο, οι θηλές αυτές είναι περίπου 50-200 και κατανέμονται διάσπαρτα μεταξύ των πολυάριθμων τριχοειδών θηλών, οι οποίες καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση της γλώσσας και δεν φέρουν γευστικούς κάλυκες [23]. Στα πλάγια χείλη του οπίσθιου τριτημορίου της γλώσσας υπάρχει ένα άλλο είδος γευστικών θηλών, οι φυλλοειδείς θηλές, 4-5 στον αριθμό, που σχηματίζουν αναδιπλώσεις μέσα στις οποίες βρίσκονται οι γευστικοί κάλυκες. Τέλος, οι περιχαρακωμένες θηλές εντοπίζονται στις πλάγιες και κεντρικές

περιοχές της οπίσθιας επιφάνειας της γλώσσας και έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από τα υπόλοιπα είδη γευστικών θηλών. Στον άνθρωπο παρατηρούνται περίπου 3-13 περιχαρακωμένες θηλές, διατεταγμένες κατά μήκος μιας γραμμής που σχηματίζει το ελληνικό γράμμα «Λ» και ονομάζεται γευστικό λάμδα [24]. Όπως προαναφέρθηκε, η λειτουργική μονάδα της γεύσης, δηλαδή οι γευστικοί κάλυκες της γλώσσας, εντοπίζονται στις περιχαρακωμένες, τις φυλλοειδείς και τις μυκητοειδείς θηλές. Στον άνθρωπο, μια μυκητοειδής θηλή περιέχει 1-10 γευστικούς κάλυκες, μια φυλλοειδής θηλή από μερικές εκατοντάδες έως μερικές χιλιάδες γευστικούς κάλυκες, ενώ μια περιχαρακωμένη θηλή 100-200 [24]. Συνολικά υπολογίζεται ότι ένας ενήλικος άνθρωπος έχει περίπου 3.000 με 10.000 γευστικούς κάλυκες, ενώ τα παιδιά διαθέτουν ακόμη περισσότερους [14]. Οι γευστικοί κάλυκες αποτελούν σχηματισμούς που δημιουργούνται από 30-100 δίπολα νευροεπιθηλιακά κύτταρα (τα κύτταρα των γευστικών υποδοχέων), μαζί με υποστηρικτικά κύτταρα. Οι εξωτερικές άκρες των γευστικών κυττάρων είναι διευθετημένες γύρω από τον γευστικό πόρο, και διαθέτουν μικρολάχνες που προεξέχουν με κατεύθυνση προς τη στοματική κοιλότητα [25].

Σε αντίθεση με άλλα αισθητήρια συστήματα που έχουν περιφερικούς νευρικούς υποδοχείς, το σύστημα της γεύσης έχει επιθηλιακά κύτταρα-υποδοχείς που ανανεώνονται συνεχώς και με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η άμεση αντικατάσταση των γευστικών κυττάρων που έχουν υποστεί καταστροφή ή εκφύλιση. Τα γευστικά κύτταρα χαρακτηρίζονται από ταχεία αναγέννηση σε διάστημα 10 ημερών, σχεδόν δύο φορές πιο γρήγορα σε σύγκριση με άλλα επιθηλιακά κύτταρα [26]. Οι γευστικοί κάλυκες αποτελούνται από αισθητήρια νεύρα των οποίων τα σώματα βρίσκονται σε αθροίσματα κοντά στον εγκέφαλο (γονάτιο, λιθοειδές και οζώδες γάγγλιο). Στους ενήλικες, κάθε γευστικός κάλυκας νευρώνεται από 3-14 αισθητήριους γαγγλιακούς νευρώνες, ανάλογα με το είδος του οργανισμού και την περιοχή του στόματος (γλώσσα, ουρανίσκος). Οι νευρικές ίνες αναμειγνύονται με ένα πλούσιο πλέγμα από άλλες νευρικές ίνες κάτω από το γλωσσικό επιθήλιο. Λόγω της απουσίας κατάλληλων ιχνηθετών, είναι δύσκολο να διαπιστωθεί αν κάποια ίνα μεταφέρει πληροφορίες γεύσης, πόνου, αφής ή θερμικών σημάτων. Ορισμένες από τις νευρικές ίνες διεισδύουν τη βασική μεμβράνη και εισέρχονται στους γευστικούς κάλυκες. Παρόλο που μερικές ίνες καταλήγουν στις συναπτικές δομές των κυττάρων τύπου III, άλλες πορεύονται πολύ κοντά στα γευστικά κύτταρα χωρίς όμως να σχηματίζουν εξειδικευμένες συνάψεις. Από τη συντονισμένη δράση των κυττάρων τύπου I, II και III πραγματοποιείται η αντίληψη της γεύσης [25].

β) Τα γευστικά κύτταρα

Τα βασικά είδη των κυττάρων που απαρτίζουν το γευστικό κάλυκα είναι τέσσερα (κύτταρα τύπου I,II,III και IV) και κάθε γευστικός κάλυκας περιλαμβάνει 50 έως 150 γευστικά κύτταρα. Η μεταξύ τους διάκριση γίνεται με βάση τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά, τα πρότυπα της γονιδιακής έκφρασης και το λειτουργικό ρόλο για κάθε τύπο. Τα κύτταρα τύπου I,II,III είναι διαφοροποιημένα, βρίσκονται εκτεθειμένα στη στοματική κοιλότητα και αλληλεπιδρούν με το γευστικό ερέθισμα, μέσω πρωτεϊνικών υποδοχέων [27].

i) Κύτταρα τύπου I

Τα κύτταρα τύπου I είναι τα πιο άφθονα στους γευστικούς κάλυκες με εκτενείς κυτταροπλασματικές προεκτάσεις που εγκολώνουν άλλα, γειτονικά κύτταρα. Στα τύπου I κύτταρα εκφράζεται ο GLAST, μεταφορέας του γλουταμινικού, γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι μπορεί να εμπλέκονται στη μεταφορά του γλουταμινικού [28]. Επίσης, στα κύτταρα αυτά εκφράζεται η NTPDάση 2, μια νουκλεοτιδάση προσδεμένη στην κυτταρική μεμβράνη που υδρολύει το εξωκυτταρικό ATP [29]. Το ATP δρα ως νευροδιαβιβαστής στα γευστικά κύτταρα, ενώ και το γλουταμινικό είναι ένας υποψήφιος νευροδιαβιβαστής. Επομένως, τα κύτταρα τύπου I φαίνεται να εμπλέκονται στην τερματική συναπτική μετάδοση καθώς και στον περιορισμό της εξάπλωσης των νευροδιαβιβαστών, ένας ρόλος που, στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα, εκτελείται από τα νευρογλοιακά κύτταρα [9].

ii) Κύτταρα τύπου II

Τα κύτταρα τύπου II εμφανίζουν ενσωματωμένους στη μεμβράνη τους υποδοχείς της πικρής, γλυκιάς και umami γεύσης. Οι γευστικοί αυτοί υποδοχείς είναι συζευγμένοι με πρωτεΐνες G (G protein-coupled receptors, GPCR) με 7 διαμεμβρανικά τμήματα. Επιπλέον, στα συγκεκριμένα κύτταρα φαίνεται να εκφράζονται διάλυτοι Na^+ και K^+ , ευαίσθητοι στην τάση, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την παραγωγή δυναμικών ενεργείας, καθώς και υπομονάδες ημιδιαύλων που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην έκκριση ATP που προκαλείται από γευστικό ερέθισμα [30]. Τα σήματα μεταδίδονται με αντισυμβατικούς μηχανισμούς από τα κύτταρα-υποδοχείς στις προσαγωγές νευρικές ίνες ή σε άλλα κύτταρα εντός του γευστικού κάλυκα, δηλαδή χωρίς τη μεσολάβηση συναπτικών κυστιδίων [25].

iii) Κύτταρα τύπου III

Στα κύτταρα τύπου III εκφράζονται πρωτεΐνες, οι οποίες σχετίζονται με τη δημιουργία συνάψεων, και ότι τα ίδια σχηματίζουν συναπτικές συνδέσεις με νευρικές απολήξεις. Λόγω της έκφρασης συναπτικών πρωτεϊνών και της εκπόλωσης που εμφανίζουν, η οποία σχετίζεται με το Ca^{2+} , τα κύτταρα τύπου III ονομάζονται «προσυναπτικά» [31]. Τα κύτταρα αυτά, εκφράζουν ποικιλία γονιδίων που προσομοιάζουν νευρώνες, όπως το NCAM, μιας πρωτεΐνης που σχετίζεται με την προσκόλληση κυττάρων. Επίσης, εκφράζουν ένζυμα για τη σύνθεση δύο τουλάχιστον νευροδιαβιβαστών καθώς και τασεο-εξαρτώμενων διαύλων Ca^{2+} που σχετίζονται με την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών [31]. Τα κύτταρα αυτά αποκρίνονται άμεσα σε όξινα γευστικά ερεθίσματα καθώς και σε ανθρακούχα διαλύματα και είναι υπεύθυνα για την ανίχνευση αυτών των αισθήσεων [32]. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των προσυναπτικών κυττάρων είναι ότι δέχονται και ενσωματώνουν εισερχόμενα σήματα από τα κύτταρα τύπου II. Για το λόγο αυτό, στον ακέραιο γευστικό κάλυκα, σε αντίθεση με τους γευστικούς υποδοχείς, τα προσυναπτικά κύτταρα δεν ρυθμίζουν συγκεκριμένες γεύσεις αλλά αποκρίνονται ευρέως σε γλυκίες, αλμυρές, πικρές και umami

ουσίες. Παρόλο που τα κύτταρα αυτά διαθέτουν αρκετές ιδιότητες νευρώνων, δεν ανήκουν σε αυτή την κατηγορία [33].

iv) Κύτταρα τύπου IV

Τα κύτταρα τύπου IV ή βασικά κύτταρα είναι σφαιρικά ή ωοειδή κύτταρα που δεν επεκτείνουν τις δραστηριότητές τους εντός του γευστικού πόρου. Συνήθως πρόκειται για αδιαφοροποίητα ή ανώριμα γευστικά κύτταρα. Δεν είναι ξεκάθαρο αν τα βασικά κύτταρα εντός των γευστικών καλύκων αντιπροσωπεύουν μία κοινή ομάδα αδιαφοροποίητων κυττάρων. Ο ακριβής ρόλος τους παραμένει αδιευκρίνιστος [33].

1.3.3 Γευστικοί υποδοχείς

Οι γευστικοί υποδοχείς λειτουργούν ως χημειούποδοχείς που αλληλοεπιδρούν με ένα γευστικό ερέθισμα, ή ως προσδέτες για τη μετάδοση μηνυμάτων στον εγκέφαλο, με αποτέλεσμα την αντίληψη γεύσης. Ανάμεσα στα γευστικά ερεθίσματα που μπορούν να διαπεράσουν την κυτταροπλασματική μεμβράνη των γευστικών κυττάρων βρίσκεται το νάτριο, τα πρωτόνια καθώς και κάποιες πικρές και γλυκές ουσίες.

a) Υποδοχείς της γλυκιάς γεύσης

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα πραγματοποιήθηκε μια σημαντική ανακάλυψη, σύμφωνα με την οποία η ανίχνευση της γλυκιάς γεύσης πραγματοποιείται, κατά κύριο λόγο, από έναν μόνο υποδοχέα. Ο υποδοχέας αυτός αποτελείται από δύο διακριτούς υποδοχείς, συζευγμένους με Gπρωτεΐνες (GPCR), τους T1R2 και T1R3 [8]. Ο υποδοχέας της γλυκιάς γεύσης T1R2 / T1R3 ανταποκρίνεται σε διάφορες χημικά διακριτές ενώσεις, όπως φυσικά σάκχαρα, μη θερμιδικά τεχνητά και φυσικά γλυκαντικά, μερικά D-αμινοξέα και πρωτεΐνες γλυκιάς γεύσης [34]. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι το T1R3 έχει την ικανότητα να σχηματίζει ένα ομοδιμερές T1R3/ T1R3, το οποίο είναι ευαίσθητο σε μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες, αλλά μόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η υπομονάδα T1R3 φαίνεται να συνδέεται με το T1R1 για να σχηματιστεί ο ετεροδιμερής υποδοχέας του umami (T1R1 / T1R3), το οποίο είναι ευαίσθητο σε L-αμινοξέα, όπως το γλουταμινικό μονονάτριο. Οι υπομονάδες T1R1, T1R2 και T1R3 είναι μέλη της μικρής οικογένειας της κατηγορίας C των GPCRs [35]. Παρόλο που οι T1R είναι σχεδόν κοινοί στα περισσότερα είδη (με περίπου 70% αντιστοιχία της αλληλουχίας των αμινοξέων μεταξύ ανθρώπων και τρωκτικών), αρκετές μελέτες αποκάλυψαν διαφορές στην αντίληψη της γλυκιάς γεύσης μεταξύ των ειδών [36]. Στη στοματική κοιλότητα, οι γλυκές ενώσεις αλληλοεπιδρούν με τους ανιχνευτές γεύσης που εκφράζονται στις μεμβράνες κυττάρων των γευστικών υποδοχέων. Αυτά τα γευστικά κύτταρα βρίσκονται ως σύμπλοκα εντός των γευστικών καλύκων. Η ενεργοποίηση του υποδοχέα γλυκιάς

γεύσης στους γευστικούς κάλυκες από γλυκές ενώσεις προκαλεί μια σειρά ενδοκυτταρικών αντιδράσεων που οδηγούν στην εκπόλωση των κυττάρων των γευστικών υποδοχέων [36].

Τα κύρια συμβάντα της μεταγωγής του σήματος έχουν αναγνωρισθεί και είναι τα ακόλουθα: Η δέσμευση γλυκών ενώσεων από τον υποδοχέα T1R2 / T1R3 έχει ως αποτέλεσμα τη διάσταση της ετεροτριμερούς G πρωτεΐνης, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση των υπομονάδων Gβγ από τους GPCR και την αλληλεπίδρασή τους με τη φωσφολιπάση C (PLCβ2). Στη συνέχεια, η PLC-β2 διεγείρει τη διακυλογλυκερόλη και τη σύνθεση δεύτερων διαβιβαστών, όπως η 1,4,5-τριφωσφορική ινοσιτόλη (IP3). Η IP3 ανοίγει IP3R3 διαύλους ιόντων στο ενδοπλασματικό δίκτυο, απελευθερώνοντας Ca²⁺ στο κυτταρόπλασμα των γευστικών κυττάρων. Το Ca²⁺ ανοίγει τους διαύλους TRPM5 και επιτρέπει την εισροή κατιόντων στο κύτταρο, τα οποία το εκπολώνουν, με αποτέλεσμα την έκκριση του ATP, μέσω των ημιδιαύλων στον εξωκυττάριο χώρο [26]. Αυτός ο μηχανισμός μεταγωγής, είναι κοινός για την ανίχνευση της γλυκιάς, της πικρής και της umami γεύσης [37].

β) Υποδοχείς της πικρής γεύσης

Η πικρή γεύση είναι η πιο πολύπλοκη από τις πέντε βασικές γεύσεις και είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση τοξικών ουσιών. Ως υποδοχείς πικρής γεύσης στα θηλαστικά, λειτουργούν υποδοχείς συζευγμένοι με G-πρωτεΐνες (GPCRs) από την οικογένεια των T2R υποδοχέων, οι οποίοι έχουν συγγενική δομή με τη ροδοψίνη και το πλήθος τους κυμαίνεται από 3 έως 49, αναλόγως με το είδος [27], [8]. Οι υποδοχείς αυτοί είναι πρωτεΐνες με 7 διαμεμβρανικές έλικες (7TM receptors) και βραχεία αμινοτελικά άκρα [26]. Μερικά είδη διαθέτουν και ψευδογονίδια, εκτός από τα λειτουργικά γονίδια T2R. Στον άνθρωπο υπάρχουν 25 πιθανώς λειτουργικά T2R γονίδια και αρκετά ψευδογονίδια, τα οποία διαφοροποιούνται μεταξύ τους κατά 25-89% της αλληλουχίας των αμινοξέων τους και εντοπίζονται σε 3 διαφορετικές χρωμοσωμικές θέσεις (12p13, 7q31 και 5p15) [26]. Τα γονίδια T2R δεν διαθέτουν ιντρόνια, τουλάχιστον στην κωδικοποιητική περιοχή τους, και κωδικοποιούν πρωτεΐνες GPCR που αποτελούνται από περίπου 300-330 αμινοξέα και έχουν ένα βραχύ εξωκυτταρικό αμινοτελικό άκρο. Ο αριθμός των ενώσεων που αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι ως πικρές είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των ανθρώπινων γονιδίων TAS2R, υπονοώντας ότι κάθε ανθρώπινο T2R ανταποκρίνεται σε περισσότερους από έναν προσδέτες της πικρής γεύσης [22]. Σύμφωνα με αυτό, αρκετοί T2Rs είναι ευρέως συντονισμένοι για την ανίχνευση ερεθισμάτων διαφορετικών κατηγοριών χημικών ουσιών, ενώ άλλοι φαίνεται να έχουν πιο εξειδικευμένη δράση [38].

γ) Υποδοχείς της αλμυρής γεύσης

Μελέτες στο παρελθόν είχαν προτείνει ότι υπάρχουν τουλάχιστον δύο μεταγωγικές οδοί για την αλμυρή γεύση. Αυτή η υπόθεση βασίστηκε σε ευρήματα που έδειχναν ότι η αμιλορίδη, ένα καλιοσυντηρητικό διουρητικό, μερικώς καταστέλλει τις γευστικές αποκρίσεις σε άλατα νατρίου και

λιθίου. Επειδή η αμιλορίδη παρεμποδίζει τον επιθηλιακό διάυλο νατρίου (ENaC), το τμήμα των γευστικών αποκρίσεων που καταστέλλεται από την αμιλορίδη (ευαίσθητο σε αμιλορίδη), φαίνεται ότι μεσολαβείται από τον ENaC. Το τμήμα της γευστικής απόκρισης που δεν αναστέλλεται από την αμιλορίδη θεωρείται ότι δεν είναι ευαίσθητο σε αυτή. Οι ευαίσθητες και μη σε αμιλορίδη μεταγωγικές οδοί της αλμυρής γεύσης έχουν διαφορετικές μεταξύ τους ιδιότητες [38].

Ο διάυλος ENaC είναι ένα ετερομερές που αποτελείται από διάφορες υπομονάδες: α, β, γ και / ή δ. Κάθε υπομονάδα έχει δύο διαμεμβρανικές περιοχές και κωδικοποιείται από ένα ξεχωριστό γονίδιο. Στους ανθρώπους, οι διάυλοι ENaC έχουν τέσσερις υπομονάδες, τις α, β, γ και δ, που κωδικοποιούνται από τα γονίδια SCNN1A, SCNN1B, SCNN1G και SCNN1D και SCNN1D αντίστοιχα. Τα γονίδια για τις υπομονάδες ENaC β και γ συνδέονται στενά μεταξύ τους και εντοπίζονται σε ανθρώπους στο χρωμόσωμα 16. Το γονίδιο ENaCα βρίσκεται στο ανθρώπινο χρωμόσωμα 12 και τέλος, το ανθρώπινο ENaCδ βρίσκεται στο χρωμόσωμα 1 [38].

Ο ENaC εμπλέκεται στην επιθηλιακή μεταφορά ιόντων σε διάφορους ιστούς (π.χ. στο νεφρό, πνεύμονα). Κατά αντιστοιχία, οι υπομονάδες του συγκεκριμένου διαύλου εκφράζονται σε πολλούς επιθηλιακούς ιστούς, συμπεριλαμβανομένων των γευστικών και μη κυττάρων της γλώσσας. Με βάση την καταστολή των γευστικών αποκρίσεων στο νάτριο από την αμιλορίδη, σε ορισμένα είδη, και με βάση την έκφραση του ENaC στους γευστικούς ιστούς, προτάθηκε ο επιθηλιακός διάυλος νατρίου ENaC ως υποψήφια συνιστώσα του συστήματος μεταγωγής της αλμυρής γεύσης. Πρόσφατες μελέτες σε γενετικά τροποποιημένα ποντίκια, στα οποία έλειπε ο ENaC στα γευστικά κύτταρα επιβεβαίωσαν οριστικά τη σημασία αυτού του διαύλου στην αντίληψη της αλμυρής γεύσης. Ωστόσο, δεν είναι ακόμη σαφές ποιοι άλλοι παράγοντες εμπλέκονται ή πώς αλληλεπιδρούν με τον ENaC [39].

Ένας υποψήφιος υποδοχέας της αλμυρής γεύσης είναι ο TRPV1 (transient receptor potential). Ο υποδοχέας αυτός λαμβάνει και επεξεργάζεται επώδυνα θερμικά ερεθίσματα και ενεργοποιείται επίσης από την καψαϊκίνη, ένα πικάντικο συστατικό. Είναι πιθανό ότι το TRPV1 συμβάλλει στην αισθητηριακή απόκριση της στοματικής κοιλότητας στις αλμυρές ουσίες μέσω της έκφρασής του σε νευρικές απολήξεις του τριδύμου νεύρου, αλλά όχι σε κύτταρα γεύσης. Ένας δεύτερος υποψήφιος υποδοχέας της αλμυρής γεύσης που δεν είναι ευαίσθητος στην αμιλορίδη είναι ο TRPML3, ο οποίος, όπως και ο TRPV1, ανήκει στην οικογένεια των διαύλων κατιόντων. Ωστόσο, τα κύτταρα γευστικών υποδοχέων ποντικού δεν φαίνεται να εκφράζουν φυσιολογικά σημαντική ποσότητα TRPML3 [39].

δ) Υποδοχείς της όξινης γεύσης

Η όξινη γεύση ανιχνεύεται από ένα υποσύνολο κυττάρων των γευστικών υποδοχέων του επιθηλίου της γλώσσας και του ουρανίσκου, τα οποία αποκρίνονται σε όξινο pH και ασθενή οργανικά οξέα με ηλεκτρική δραστηριότητα. Με την πάροδο των χρόνων, έχουν προταθεί αρκετές ουσίες ως υποψήφιοι υποδοχείς της όξινης γεύσης, συμπεριλαμβανομένων των ASIC (οξεο-ευαίσθητο κανάλι ιόντων), των διαύλων HCNs (hyperpolarization and nucleotide gated channels), των διαύλων καλίου και, πιο πρόσφατα, των διαύλων TRP (transient receptor potential), PKD2L1 και

PKD1L3 [39]. Ωστόσο, προς το παρόν δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι κάποια από αυτές τις πρωτεΐνες μεσολαβεί στη αντίληψη της όξινης γεύσης. Εντούτοις, τα κύτταρα που εκφράζουν PKD2L1 γονίδια ανταποκρίνονται στο όξινο ερέθισμα και απαιτούνται για την αντίληψή του. Η απόκριση των κυττάρων που εκφράζουν PKD2L1 γονίδια, παρουσία οξέων, μεσολαβείται από έναν ασυνήθιστο διάλυο ιόντων, εκλεκτικό πρωτονίων. Η εκλεκτικότητα πρωτονίων επιτρέπει στα κύτταρα να αποκρίνονται σε οξέα, χωρίς παρεμβολή από Na^+ , η οποία μπορεί να ποικίλει ανεξάρτητα από τη συγκέντρωση. Η μοριακή ταυτότητα της αντλίας πρωτονίων είναι προς το παρόν άγνωστη [8]. Η είσοδος πρωτονίων σε κύτταρα της όξινης γεύσης προκαλεί κυτταρική οξειδωση, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ικανότητά τους να στέλνουν σήματα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η ενδοκυτταρική οξειδωση μπορεί να μπλοκάρει τη λειτουργία αρκετών K^2P , οι οποίοι είναι παθητικοί διάλυοι διαρροής, απαραίτητοι για τον καθορισμό του δυναμικού ηρεμίας της κυτταρικής μεμβράνης, προκαλώντας έτσι περαιτέρω εκπόλωση του κυττάρου. Εκτός από την ύπαρξη όξινων ερεθισμάτων, απαραίτητα είναι και τα κύτταρα που εκφράζουν PKD2L1 γονίδια, για την γευστική απόκριση στην ενανθράκωση (CO_2). Αυτή η απόκριση εξαρτάται από την παρουσία μιας καρβονικής ανυδράσης 4 (Car4), η οποία καταλύει την αντίδραση $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. Ο μηχανισμός με τον οποίο η Car4 συμβάλλει στην ενεργοποίηση των κυττάρων της ξινή γεύσης δεν είναι γνωστός [40].

ε) Υποδοχείς της γεύσης *umami*

Το *umami* («εύγεστο» στα Ιαπωνικά) είναι η γεύση που προκαλείται από το γλουταμινικό μονοάτιο, από ορισμένα αμινοξέα (κυρίως το ασπαρτικό) και πιθανώς από άλλες ουσίες (Liman et al., 2014). Αρκετοί υποδοχείς που δεσμεύουν το γλουταμινικό και / ή νουκλεοτίδια έχουν εντοπιστεί σε γευστικά κύτταρα γεύσης, συμπεριλαμβανομένου του ετεροδιμερούς T1R1/T1R3 , των ισομορφών των μεταβοτροπικών υποδοχέων του γλουταμινικού mGluR4 , mGluR1 (San Gabriel et al., 2009a), mGluR2 και mGluR3 (Toyono et al., 2007) και αρκετών ιοντοτρόπων υποδοχέων γλουταμινικού οξέος, όπως οι υποδοχείς του NMDA (N-μεθυλο-D-ασπαρτικό) και του καϊνικού οξέος. Ένα πρόβλημα στον προσδιορισμό του πιθανού ρόλου αυτών των υποδοχέων στη μεταγωγή της γεύσης είναι ότι, αφενός το γλουταμινικό λειτουργεί και ως νευροδιαβιβαστής, και αφετέρου ότι, προκειμένου οι υποδοχείς να μπορέσουν να θεωρηθούν ειδικοί για αναγνώριση γεύσης, πρέπει να εκφράζονται στην ακραία μεμβράνη των γευστικών κυττάρων (apical membrane) ώστε να έρχονται σε επαφή με το γλουταμινικό στη στοματική κοιλότητα. Από την άποψη αυτή, τόσο οι NMDA υποδοχείς όσο και οι υποδοχείς του καϊνικού έχουν εντοπιστεί στη μεμβράνη των γευστικών κυττάρων, όπου πιθανώς αποκρίνονται στο γλουταμινικό οξύ ως νευροδιαβιβαστή. Ο καθοριστικός ρόλος ενός συγκεκριμένου υποδοχέα στη μεταγωγή της *umami* γεύσης απαιτεί να τροποποιείται η γεύση όταν ο υποδοχέας αφαιρείται γενετικά. Ο μόνος υποδοχέας για τον οποίο υπάρχουν αντίστοιχα γενετικά δεδομένα, είναι ο ετεροδιμερής T1R1/T1R3 . Οι υποδοχείς T1R1/T1R3 της γεύσης *umami* ανήκουν στην κατηγορία C των GPCR και αντιδρούν ειδικά στο L-γλουταμινικό οξύ, ενώ δρουν

συνεργατικά με ριβονουκλεοτίδια όπως η 5-μονοφωσφορική ινοσίνη (IMP) και 5-μονοφωσφορική γουανοσίνη (GMP) [39].

1.3.4 Μηχανισμός διέγερσης των γευστικών καλύκων

Η μεμβράνη των γευστικών κυττάρων, όπως συμβαίνει με τις μεμβράνες των περισσότερων αισθητηριακών κυττάρων, είναι αρνητικά φορτισμένη στο εσωτερικό, σε σχέση με το εξωτερικό μέρος της. Η εφαρμογή μιας γευστικής ουσίας στην επιφάνεια των γευστικών κυττάρων προκαλεί μερική απώλεια αυτού του αρνητικού δυναμικού, δηλαδή το κύτταρο γίνεται εκπολωμένο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η πτώση του δυναμικού σχετίζεται με τη συγκέντρωση της διεγερτικής ουσίας. Αυτή η αλλαγή στο ηλεκτρικό δυναμικό των γευστικών κυττάρων ονομάζεται παραγωγικό δυναμικό ή δυναμικό του υποδοχέα [14].

Ο μηχανισμός με τον οποίο οι περισσότερες διεγερτικές ουσίες αντιδρούν με τους γευστικούς κάλυκες για να δημιουργήσουν το δυναμικό του υποδοχέα είναι η σύνδεση της ουσίας με έναν πρωτεϊνικό υποδοχέα, ο οποίος βρίσκεται στην εξωτερική επιφάνεια κυττάρων των γευστικών υποδοχέων. Αυτό, με τη σειρά του, ανοίγει διαύλους ιόντων, οι οποίοι επιτρέπουν θετικά φορτισμένα ιόντα νατρίου ή υδρογόνου να εισέλθουν και να εκπολώσουν το φυσιολογικό αρνητικό φορτίο του κυττάρου. Στη συνέχεια, η ίδια η γευστική ένωση απομακρύνεται σταδιακά από τους γευστικούς κάλυκες με τη βοήθεια του σιέλου, ο οποίος απομακρύνει το ερέθισμα. Ο τύπος του γευστικού υποδοχέα καθορίζει τον τύπο γεύσης που θα γίνει αντιληπτή. Για ιόντα νατρίου και υδρογόνου, τα οποία προκαλούν αλμυρή και όξινη γεύση, αντίστοιχα, οι πρωτεϊνικοί υποδοχείς ανοίγουν συγκεκριμένους διαύλους ιόντων στις μεμβράνες των γευστικών κυττάρων, ενεργοποιώντας έτσι τους υποδοχείς. Ωστόσο, για την γλυκιά και πικρή γεύση, τα πρωτεϊνικά μόρια-υποδοχείς βασίζονται, για τη μετάδοση του γευστικού σήματος, σε δεύτερους αγγελιοφόρους, οι οποίοι τα δημιουργούν μέσω ενδοκυτταρικών χημικών αλλαγών που επάγουν [14].

1.3.5 Μετάδοση των γευστικών μηνυμάτων στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Κατά την πρώτη εφαρμογή του ερεθίσματος της γεύσης, ο ρυθμός εκφόρτισης των νευρικών ινών από τους γευστικούς κάλυκες αυξάνεται κατακόρυφα σε κλάσματα του δευτερολέπτου, αλλά στη συνέχεια προσαρμόζεται μέσα στα επόμενα δευτερόλεπτα σε ένα χαμηλότερο, σταθερό επίπεδο, όσο διαρκεί το γευστικό ερέθισμα. Έτσι, ένα ισχυρό άμεσο σήμα μεταδίδεται από το γευστικό νεύρο και ένα ασθενέστερο, συνεχές σήμα μεταδίδεται όσο ο γευστικός κάλυκας είναι εκτεθειμένος στο γευστικό ερέθισμα [39].

Αισθητηριακά σήματα από τους γευστικούς κάλυκες μεταδίδονται αρχικά στο υπογλώσσιο νεύρο, στη συνέχεια μέσα από τη χορδή του τυμπάνου (chorda tympani) στο προσωπικό νεύρο (VII), και τελικά στο εγκεφαλικό στέλεχος, μέσω της μονήρους δεσμίδας (NTS). Γευστικά σήματα από τις περιχαρακωμένες θηλές στο οπίσθιο μέρος της γλώσσας, καθώς και από άλλες περιοχές του

στόματος και του λάρυγγα μεταδίδονται μέσω του γλωσσοφαρυγγικού νεύρου (IX) και καταλήγουν επίσης στο εγκεφαλικό στέλεχος. Τέλος, μερικά σήματα μεταδίδονται στη μονήρη δεσμίδα από τη βάση της γλώσσας και από μέρη της περιοχής του φάρυγγα μέσω του πνευμονογαστρικού νεύρου (X). Όλες οι γευστικές ίνες δημιουργούν συνάψεις στο οπίσθιο τμήμα του εγκεφαλικού στελέχους, στον πυρήνα της μονήρους δεσμίδας. Αυτός ο πυρήνας αποστέλλει νευρώνες δεύτερης τάξης σε μια μικρή περιοχή του οπίσθιου έσω κοιλιακού πυρήνα του θαλάμου (VPM), από όπου μεταδίδονται τρίτης τάξης νευρώνες στο κατώτερο άκρο της περιοχής του βρεγματικού λοβού του εγκεφάλου. Στη συνέχεια, εισχωρούν στην πλάγια σχισμή (του Sylvius) και καταλήγουν στον πρόσθιο νησιδιακό φλοιό (insula), ο οποίος αποτελεί κομμάτι του γευστικού φλοιού του εγκεφάλου G1 [14].

1.3.6 Ο γευστικός κώδικας

Γευστικές προσαγωγές νευρικές ίνες μεταδίδουν πληροφορίες από τους γευστικούς κάλυκες, στον εγκέφαλο. Ο τρόπος με τον οποίο η ενεργοποίηση των γευστικών υποδοχέων και των προσυναπτικών κυττάρων κατά τη διάρκεια της γευστικής διέγερσης μεταφράζεται σε κώδικα που καθορίζει διαφορετικές γευστικές ποιότητες (γλυκιά, πικρή, κ.λπ.), παραμένει ασαφής. Από τη μία πλευρά, έχει προταθεί ότι, εξειδικευμένες νευρικές ίνες είναι υπεύθυνες για τη μετάδοση κάθε γευστικής ποιότητας, για παράδειγμα συγκεκριμένα «πικρά» κύτταρα, ίνες και νευρώνες μεταφέρουν διαδοχικά τα μήνυμα της πικρής γεύσης στον εγκέφαλο. Από την άλλη πλευρά, έχει προταθεί η λειτουργία ενός συνδυαστικού συστήματος, στο οποίο περισσότερες από μία γευστικές ποιότητες κωδικοποιούνται από κάθε νευρική [25].

Το ερώτημα της κωδικοποίησης έχει απαντηθεί μέσω χειρισμών της γενετικής και με την αξιοποίηση διάφορων δοκιμών. Ηλεκτροφυσιολογικές καταγραφές από μονές προσαγωγές ίνες ή τα γονικά τους αισθητηριακά γάγγλια φανέρωσαν ότι ορισμένοι νευρώνες ανταποκρίνονται έντονα σε μια μοναδική ποιότητα γεύσης (συνήθως γλυκιά), αλλά έχουν πιο αδύναμες αποκρίσεις σε άλλες γεύσεις. Αντίθετα, άλλοι προσαγωγοί νευρώνες διεγείρονται από πολλαπλά γευστικά ερεθίσματα, δηλαδή είναι ευρέως αποκρινόμενοι. Έτσι, οι προσαγωγοί γευστικοί νευρώνες παρουσιάζουν προφίλ απόκρισης παρόμοιο τόσο με εκείνο των λειτουργικά εξειδικευμένων κυττάρων των γευστικών υποδοχέων, όσο και με εκείνο των ευρέως αποκρινόμενων προσυναπτικών κυττάρων. Το μοτίβο της δραστηριότητας του προσαγωγού νευρώνα αντανάκλα την ετερογένεια των αποκρίσεων των κυττάρων των γευστικών υποδοχέων και υποδεικνύει ότι, η νευρωνική δραστηριότητα που είναι υπεύθυνη για την κωδικοποίηση της γεύσης δεν ακολουθεί τη λογική μιας απλής επισημασμένης γραμμής που προαναφέρθηκε [33].

Εν ολίγοις, όλα τα κύτταρα της γλυκιάς, πικρής και umami γεύσης εκκρίνουν τον ίδιο νευροδιαβιβαστή (ATP) σε προσαγωγές νευρικές ίνες. Διακριτές συνάψεις, οι οποίες θα μπορούσαν να συνδέσουν κύτταρα γευστικών υποδοχέων με αισθητηριακές προσαγωγές ίνες για τη μετάδοση μίας μόνο γευστικής ποιότητας ανά περίπτωση, δεν έχουν βρεθεί. Αν και μερικά γευστικά κύτταρα

είναι αρκετά συντονισμένα με τη λειτουργία αισθητηριακών προσαγωγών νευρώνων, άλλα αποκρίνονται σε περισσότερες από μία γεύσεις. Έτσι, παραμένει ανοιχτό το ερώτημα για το πώς ακριβώς πληροφορίες που συλλέγονται από καλά διαφοροποιημένα κύτταρα-υποδοχείς των γευστικών καλύκων «κωδικοποιείται» για την τελική αντίληψη ξεχωριστών γευστικών ποιοτήτων [25].

1.4 Σύστημα όσφρησης και αλληλεπίδραση με το Σύστημα Ακοής

Η αίσθηση της όσφρησης εξυπηρετείται από το οσφρητικό νεύρο ή πρώτη εγκεφαλική συζυγία. Χονδρικά το οσφρητικό νεύρο, που αποτελείται από τους οσφρητικούς νευρώνες ή οσφρητικά κύτταρα ξεκινάει από το μεταιχμιακό σύστημα του εγκεφάλου και καταλήγει στην εσωτερική οροφή της μύτης. Εκεί οι νευρώνες καταλήγουν στα οσφρητικά τριχίδια, τα οποία στην άκρη τους φέρουν τους οσφρητικούς υποδοχείς. Ο κάθε οσφρητικός υποδοχέας είναι προγραμματισμένος να υποδεχτεί ένα οσμογόνο μόριο που εκπέμπεται από την κάθε ουσία. Το ερέθισμα αυτό προωθείται τελικά στον οσφρητικό φλοιό όπου υπάρχει αποθηκευμένη η οσφρητική μνήμη για την κάθε οσμή που έμαθε, στην πορεία της ζωής του το κάθε άτομο. Παρ' όλ' αυτά, ο ακριβής μηχανισμός, με τον οποίο τα μόρια των ουσιών που προκαλούν οσμή (οσμηγόνα μόρια) διεγείρουν τα οσφρητικά κύτταρα είναι άγνωστος. Έχουν προταθεί διάφορες θεωρίες εξήγησης, του πως λειτουργεί η όσφρηση, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται οι ειδικές περιοχές των μοριακών υποδοχέων του οσφρητικού νεύρου, τα συστήματα αναστολής ενζύμων, η ηλεκτρονική πόλωση, η εκλεκτική απορρόφηση, η σύνδεση του υδρογόνου, η τροποποίηση των ηλεκτρικών δυναμικών της κυτταρικής μεμβράνης και η κυματική θεωρία. Οποιαδήποτε θεωρία για την όσφρηση κι αν έχει προταθεί σίγουρα στηρίζεται στη νευροανατομική του οσφρητικού συστήματος [25].

α) Οσφρητικός φλοιός

Στα ανώτερα θηλαστικά, όπως και στον άνθρωπο, η οσφρητική περιοχή του εγκεφάλου βρίσκεται στη βάση του μετωπιαίου λοβού στις κάτω επιφάνειες του εγκέφαλου ή πρόσθιου εγκέφαλου και υπερκαλύπτεται από την υπερβολική ανάπτυξη του νεοφλοιού (η εξωτερική στιβάδα του εγκεφάλου που αποτελείται από 6 επιμέρους υποστιβάδες και συμμετέχει σε υψηλές λειτουργίες, όπως η πρόσληψη της αισθητικότητας, η δημιουργία κινητικών εντολών, αντίληψη του χώρου, συνειδητή σκέψη, και στους ανθρώπους η ανάπτυξη της γλώσσας). Με τον όρο ρινεγκεφαλος αρχικά δήλωναν εκείνες τις περιοχές που φαίνονταν ότι ελάμβαναν οσφρητικές πληροφορίες και σήμερα γνωρίζουμε ότι είναι ο οσφρητικός βολβός, η οσφρητική κοιλότητα, το οσφρητικό όγκωμα, ο απιοειδής φλοιός και οι φλοιοαμυγδαλοειδείς πυρήνες που προσλαμβάνουν οσφρητικές ώσεις, ενώ τώρα είναι γνωστόν ότι σχηματίζουν τις φλοιώδεις περιοχές του συναισθηματικού εγκεφάλου [25].

β) Οσφρητικό νεύρο

Ο οσφρητικός βλεννογόνος και η οσφρητική σχισμή, όπως διακρίνεται με το άκαμπτο ρινικό ενδοσκόπιο: Ο ρινικός βλεννογόνος της κάθε ρινικής θαλάμης ανάλογα με τη δομή και τη λειτουργία του διακρίνεται στην οσφρητική μοίρα, που είναι υπεύθυνη για την όσφρηση και την αναπνευστική μοίρα, που είναι υπεύθυνη για την αναπνοή. Η οσφρητική μοίρα του ρινικού βλεννογόνου καταλαμβάνει μικρή έκταση και εντοπίζεται στην οσφρητική σχισμή. Το οσφρητικό νεύρο ξεκινάει από την οσφρητική σχισμή που αφορίζεται από την έσω επιφάνεια της άνω ρινικής κόγχης και την απέναντι περιοχή του παρακείμενου ρινικού διαφράγματος. Ο οσφρητικός ρινικός βλεννογόνος καλύπτεται από ειδικό ψευδοπολύστιβο μη κροσσωτό αισθητηριακό επιθήλιο, το οποίο αποτελείται από περισσότερα από 100 εκατομμύρια διπολικά νευρικά οσφρητικά κύτταρα, που παρεμβάλλονται ανάμεσα σε ερειστικά και βασικά κύτταρα. Τα ερειστικά κύτταρα μπορεί να υποστηρίζουν την επιβίωση και λειτουργία των οσφρητικών νευρώνων που φέρουν οσφρητικούς υποδοχείς [25].

Η περιφερική αποφυάδα των οσφρητικών κυττάρων παρεμβάλλεται μεταξύ των ερειστικών κυττάρων στην ελεύθερη επιφάνεια του βλεννογόνου, όπου τελειώνουν σε μια πάχυνση, από τη οποία ξεκινούν 6-8 λεπτά ινίδια ή οσφρητικά τριχίδια ή κροσσοί. Τα οσφρητικά τριχίδια ή κροσσοί φέρουν υποδοχείς για την πρόσληψη των οσφρητικών ερεθισμάτων και είναι βυθισμένα στις εκκρίσεις του οσφρητικού επιθηλίου, οι οποίες απορροφούν τις εισπνεόμενες οσμές. Οι εκκρίσεις αυτές εκκρίνονται από τους αδένες του Bowman του οσφρητικού βλεννογόνου. Οι νευράξονες των οσφρητικών νευροϋποδοχικών κυττάρων είναι αμύελοι και δημιουργούν 20 δεμάτια, τα λεγόμενα οσφρητικά νημάτια του οσφρητικού νεύρου. Τα οσφρητικά νημάτια διέρχονται από τα τρήματα του τετρημένου πετάλου του ηθμοειδούς οστού και καταλήγουν στον οσφρητικό βολβό, από τον οποίο στη συνέχεια τα οσφρητικά ερεθίσματα οδεύουν προς τα οσφρητικά κέντρα του εγκεφάλου.

Τα οσφρητικά νημάτια δεν έχουν νευρικό περίβλημα, αλλά καλύπτονται από προσεκβολές της σκληράς μήνιγγος. Αυτό συμβάλλει στην επέκταση μιας φλεγμονής της περιοχής προς το ενδοκράνιο. Επίσης, σε κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις με τραυματισμό του τετρημένου πετάλου του ηθμοειδούς μπορεί να υποστούν κάκωση τα οσφρητικά νημάτια και να προκληθεί μετατραυματική ανοσμία. Στο χόριο του οσφρητικού βλεννογόνου υπάρχουν οι οσφρητικοί αδένες του Bowman, οι οποίοι είναι ορογόνοι σωληνοκυψελοειδείς που εκβάλλουν στην ελεύθερη επιφάνεια του οσφρητικού βλεννογόνου. Οι εκκρίσεις αυτών των αδένων εφυγραίνουν τον οσφρητικό βλεννογόνο και διαλύουν της οσμηρές ουσίες για να προσληφθούν από τους υποδοχείς των οσφρητικών τριχιδίων. Οι νευρικές απολήξεις του οσφρητικού νεύρου (οσφρητικά τριχίδια) διαφέρουν από τις νευρικές απολήξεις των λοιπών νεύρων του σώματος, διότι ξεκινάνε κατ' ευθείαν από το εξωτερικό περιβάλλον και καταλήγουν στον εγκέφαλο, έχοντας τη δυνατότητα του συνεχούς πολλαπλασιασμού. Τα μόρια των οσμών συνδέονται με υποδοχείς που βρίσκονται στους θυσάνους των νευρικών απολήξεων (οσφρητικά τριχίδια). Από εκεί τα οσμικά ερεθίσματα μεταβιβάζονται στους οσφρητικούς βολβούς [25].

γ) Οσφρητικός βολβός

Οσφρητικοί βολβοί είναι δύο κορνοειδείς απολήξεις ή τα άπω άκρα του οσφρητικού λοβού του εγκεφάλου, απ' όπου ξεκινάει το οσφρητικό νεύρο. Οι οσφρητικοί βολβοί έρχονται σε επαφή με το τετρημένο πέταλο του ηθμοειδούς. Ο οσφρητικός βολβός υποδέχεται στην κάτω επιφάνειά του τα οσφρητικά νηματίδια (οσφρητικά νεύρα), των οποίων οι ίνες εκφύονται από τα οσφρητικά κύτταρα του βλεννογόνου της ρινός. Ο οσφρητικός βολβός συνίσταται εκ των έξω προς τα έσω από:

- Τη στιβάδα των οσφρητικών ινών
- Τη στιβάδα των οσφρητικών σπειραμάτων
- Τη μοριώδη στιβάδα
- Τη στιβάδα των μιτροειδών κυττάρων
- Την κοκκώδη και μυελώδη στιβάδα

Ο οσφρητικός βολβός εμφανίζει στο κέντρο του κατά τόπους σχισμοειδείς κοιλότητες, που επαλείφονται ή αποφράσσονται με επένδυμα [25].

i) Η στιβάδα των οσφρητικών ινών

Η στιβάδα αυτή αποτελείται από τη διαπλοκή των ινών των οσφρητικών νηματίων, τα οποία δημιουργούν ένα πυκνό πλέγμα. Από αυτό εκπορεύονται ίνες, οι οποίες εισδύουν στη στιβάδα των σπειραμάτων του οσφρητικού βολβού. Η στιβάδα αυτή αποτελείται από τη διαπλοκή των ινών των οσφρητικών νηματίων, τα οποία αποτελούν πυκνό πλέγμα. Από αυτό εκπορεύονται ίνες, οι οποίες εισδύουν στη στιβάδα των σπειραμάτων του οσφρητικού βολβού [25].

ii) Η στιβάδα των οσφρητικών σπειραμάτων

Η στιβάδα αυτή λέγεται σπειραματική στιβάδα, διότι περιέχει νευρικούς σχηματισμούς, οι οποίοι λέγονται σπειράματα (glomeruli). Το κάθε σπείραμα συνίσταται από τη διαπλοκή ενός ή περισσοτέρων οσφρητικών ινών της προηγούμενης στιβάδας (δηλαδή του οσφρητικού νεύρου) και των τελικών αποσχίσεων του έξω δενδρίτη ενός μιτροειδούς κυττάρου (mitral cell) και ενός θυσανωτού κυττάρου (tufted cell) της μεθεπόμενης στιβάδας. Τα μιτροειδή κύτταρα είναι νευρώνες του οσφρητικού συστήματος. Εντοπίζονται στον οσφρητικό βολβό στη στιβάδα των οσφρητικών σπειραμάτων. Τα μιτροειδή κύτταρα προσλαμβάνουν πληροφορίες από τους νευράξονες των νευρώνων των οσφρητικών κυττάρων, που φέρουν στις απολήξεις τους υποδοχείς των οσφρητικών ερεθισμάτων (οσμών) δημιουργώντας συνάψεις σε νευροπλήματα, που ονομάζονται σπειράματα. Οι νευράξονες των μιτροειδών κυττάρων μεταβιβάζουν πληροφορίες σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου, όπως ο απιοειδής φλοιός, ο ενδορρινικός φλοιός (σημαντικό κέντρο μνήμης του εγκεφάλου) και οι αμυγδαλές [25].

iii) Η μοριώδης στιβάδα

Αυτή η στιβάδα αποτελείται από 'ένα πλέγμα ινών που συνίσταται από:

- Το στέλεχος του έξω δενδρίτη των μιτροειδών κυττάρων
- Από τελικές αποσχίσεις των έξω αποφυάδων των κυττάρων της κοκκώδους στιβάδας
- Από παλίνδρομους παράπλευρους νευρίτες των μιτροειδών κυττάρων και

από τα θυσσανωτά κύτταρα, των οποίων ο μεν δενδρίτης καταλήγει με ένα τελικό θύσανο σε ένα από τα σπειράματα, ο δε λεπτός νευρίτης οδεύει κεντρικώς.

Τα μιτροειδή κύτταρα υποβοηθούνται από τα θυσσανωτά κύτταρα και μετατρέπουν τις πολύπλοκες οσμές σε απλούστερες. Σε κάθε σπείραμα καταλήγουν οι νευράζονες περίπου 20-30.000 οσφρητικών κυττάρων. Επιπροσθέτως, οι νευράζονες μιτροειδών και των θυσσανωτών κυττάρων συγκλίνουν πάνω σε έναν μόνο σπείραμα. Στα σπειράματα απολήγουν ίνες του αντίθετου βολβού, οι οποίες φέρονται δια του προσθίου συνδέσμου [25].

iv) Η στιβάδα των μιτροειδών κυττάρων

Αυτή η στιβάδα αποτελείται από 1-3 στοιχούς τριγώνων κυττάρων, που λέγονται μιτροειδή . Από τη βάση των μιτροειδών κυττάρων εκφύονται πολλοί δενδρίτες. Από αυτούς τους δενδρίτες ο παχύτερος και μακρότερος καταλήγει σε ένα ή περισσότερα οσφρητικά σπειράματα. Από τον έσω πόλο του μιτροειδοδούς κυττάρου εκφύεται ο νευρίτης, ο οποίος αφού χορηγήσει μερικά παλίνδρομα ινίδια στη μοριώδη στιβάδα εισδύει στην οσφρητική ταινία. Η κοκκώδης και μυελώδης στιβάδα συνίσταται από:

- Από ομόκεντρες δεσμίδες εμμέλων ινών, που αποτελούνται από νευρίτες των μιτροειδών κυττάρων
- Από βραχυαξόνια κύτταρα και
- Από κοκκοειδή κύτταρα

Ο υπόλοιπος εγκέφαλος στέλνει επίσης μηνύματα πίσω, προς τους οσφρητικούς βολβούς μέσω των κοκκωδών κυττάρων (granule neurons or cells), τροποποιώντας τις αντιδράσεις των βολβών προς τις οσμές, όταν φερ'επειν έχει υπερκορεστεί η όρεξη για φαγητό [25].

δ) Οσφρητική ταινία

Οι νευρικές ίνες που διατρέχουν τον οσφρητικό βολβό συνάπτονται τελικά με νευρώνες του μεταχιακού συστήματος (limbic system). Οι νευρικές ίνες που διατρέχουν τον οσφρητικό βολβό συνάπτονται τελικά με νευρώνες του μεταχιακού συστήματος (limbic system). Όπως περιγράφηκε πιο πάνω, τα πρωτογενή κύτταρα του οσφρητικού συστήματος είναι τα οσφρητικά κύτταρα (οσφρητικό όργανο), που βρίσκονται στην ανωτάτη μοίρα του ρινικού βλεννογόνου. Τα κύτταρα αυτά είναι δίπολα και εμφανίζουν σώμα και δύο αποφυάδες, την περιφερική και την κεντρική. Η περιφερική είναι μικρού μήκους, ραβδοειδής, περισσότερο παχιά από την κεντρική και φθάνει μέχρι το οσφρητικό επιθήλιο, όπου αναλύεται σε θύσανο από βραχεία άκαμπτα ινίδια τα οσφρητικά τριχίδια. Η κεντρική αποφυάδα είναι λεπτή και κισώδης, γίνεται οσφρητική ίνα και φθάνει στον οσφρητικό βολβό, καταλήγοντας σε κάποιο από τα σπειράματά του. Οι δευτερογενείς νευράζονες

του οσφρητικού συστήματος ξεκινάνε από τα μιτροειδή και τα θυσανωτά κύτταρα και πορεύονται προς τα πίσω ως οσφρητικός μίσχος. Στη συνέχεια εισέρχονται στη βάση του ημισφαιρίου και υποδιαίρονται στην έξω, έσω και ο ενδιάμεση οσφρητική ταινία. Ο χώρος, στον οποίο η οσφρητική οδός εισέρχεται στην κοιλιακή επιφάνεια του τηλεγκεφάλου και διαιρείται λέγεται οσφρητικό τρίγωνο. Πίσω από αυτό το τρίγωνο βρίσκεται η πρόσθια διάτρητη ουσία ή οσφρητικό φύμα (olfactory tubercle), η οποία χαρακτηρίζεται έτσι, διότι προκύπτει, όταν από ανατομικά παρασκευάσματα του εγκεφάλου αφαιρεθούν μικρά διατιτραίνοντα αγγεία σε αυτήν την περιοχή. Η ενδιάμεση οσφρητική ταινία καταλήγει στο οσφρητικό φύμα. Η έσω οσφρητική ταινία καταλήγει κυρίως στην περιοχή του διαφανούς διαφράγματος ή συνεχίζει προς τον πρόσθιο σύνδεσμο (anterior commissure) και συνδέεται με τον αντίθετο οσφρητικό βολβό. Η έξω οσφρητική ταινία καταλήγει στον οσφρητικό φλοιό του αγκίστρου (uncus) και έσω φλοιώδεις αμυγδαλοειδείς πυρήνες [25].

1.4.1 Λειτουργία της όσφρησης

Οι οσμές είναι πτητικά μόρια που απελευθερώνονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο εγκέφαλος προσλαμβάνει τις οσμές, όταν τις εισπνέουμε από τα ρουθούνια ή από το ρινοφάρυγγα, όπως όταν τρώμε ή πίνουμε.

α) Οσφρητικοί υποδοχείς

Οσφρητικός υποδοχέας είναι ένας νευρικός υποδοχέας που περιβάλλεται από μια G-πρωτεΐνη. Ένας οσφρητικός υποδοχέας ανιχνεύει μια οσμή και έτσι δημιουργείται η αίσθηση της όσφρησης. Οι οσφρητικοί υποδοχείς βρίσκονται στους οσφρητικούς αισθητικούς νευρώνες, οι οποίοι εντοπίζονται στο επιθήλιο της οπίσθιας ραχιαίας περιοχής της ρινικής κοιλότητας. Αυτοί οι υποδοχείς εντοπίζονται στην εξωτερική επιφάνεια των κυττάρων των νευρικών απολήξεων, όπου οι πτητικές χημικές ουσίες με την εισπνοή συνδέονται μαζί τους. Η σύνδεση αυτή είναι το πρώτο βήμα του καταρράκτη των χημικών διαδικασιών που οδηγούν τελικά στην κυτταρική ανταπόκριση. Στην περίπτωση των οσφρητικών υποδοχέων αυτός ο καταρράκτης οδηγεί στην αντίληψη της όσφρησης. Στους ανθρώπους εκφράζονται περισσότεροι από 300 διαφορετικοί οσφρητικοί υποδοχείς. Κάθε οσφρητικός νευρώνας εκφράζει μόνον ένα τύπο οσφρητικού υποδοχέα, αλλά κάθε υποδοχέας μπορεί να συνδεθεί με περισσότερες της μίας οσμές. Οι οσφρητικοί νευρώνες συνάπτονται με τα μιτροειδή κύτταρα στα συσσωρευμένα σπειράματα στον οσφρητικό βολβό. Τα μιτροειδή κύτταρα στη συνέχεια προβάλλονται σε υψηλότερα νευρικά κέντρα του μεταχιακού συστήματος και του εγκεφαλικού φλοιού, επιτρέποντας στους ανθρώπους να εντοπίζουν εκατομμύρια μοναδικών οσμών. Η ενεργοποίηση ενός οσφρητικού υποδοχέα προκαλεί ηλεκτρικά δυναμικά στους οσφρητικούς αισθητικούς νευρώνες, οι οποίοι αναμεταδίδουν την πληροφορία από τον οσφρητικό βολβό προς τον εγκέφαλο. Στην παρακάτω εικόνα διακρίνεται η οργάνωση του οσφρητικού συστήματος [41].

β) Ενεργοποίηση ενός οσφρητικού υποδοχέα

Όταν ένα μόριο οσμής συνδέεται με έναν οσφρητικό υποδοχέα ενεργοποιεί τον καταρράκτη της G πρωτεΐνης, που οδηγεί στην ενεργοποίηση της αδενυλκυκλάσης από τη υποομάδα μια GTP-άλφα πρωτεΐνης. Η ενεργοποίηση της αδενυλκυκλάσης αυξάνει την παραγωγή του cAMP, το οποίο δρα ως δεύτερος αγγελιοφόρος που ανοίγει την πύλη του διαύλου του κυκλικού νουκλεοτιδίου [Cyclic nucleotide-gated ion channel (CNG)]. Η ανοιγμένη πύλη CNG εισάγει ιόντα Ca^{++} . Η είσοδος του Ca^{++} όχι μόνον αποπολώνει ελαφρώς το κύτταρο, αλλά ανοίγει έναν διάυλο που ενεργοποιείται από τα ιόντα ασβεστίου, που οδηγεί σε έξοδο χλωρίου και περαιτέρω αποπόλωση. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η πυροδότηση πρόκλησης ενός ηλεκτρικού δυναμικού. Αυτό σημαίνει ότι η ρινική κοιλότητα υποδιαιρείται σε σειρές ζωνών. Αυτός ο σχεδιασμός θα μπορούσε να τα πρώτα βήματα της κωδικοποίησης της οργάνωσης της οσφρητικής πληροφορίας. Αν και όλοι οι οσφρητικοί υποδοχείς μοιράζονται την ίδια βασική μοριακή δομή και έχουν διάφορες διατηρημένες αλληλουχίες, ο καθένας αποτελεί μια μοναδική οντότητα. Το πλείστον της ποικιλότητας των οσφρητικών υποδοχέων οφείλεται στην ποικιλότητα της αλληλουχίας των αμινοξέων των διαμεμβρανικών περιοχών τους [41].

γ) Απευαισθητοποίηση και προσαρμογή της όσφρησης

Μετά από μια παρατεταμένη έκθεση σε κάποια ιδιαίτερη οσμολόγο ουσία μπορεί να προκληθεί απευαισθητοποίηση και προσαρμογή σε αυτή την οσμή. Η προσαρμογή και η απευαισθητοποίηση μπορεί να συμβούν μετά από συνεχή ή επαναλαμβανόμενη έκθεση σε κάποια ιδιαίτερη οσμή. Η προσαρμογή ορίζεται ως η ανικανότητα να αισθανθεί κανείς μίαν οσμή μετά από συνεχή έκθεση σε αυτήν. Η προσαρμογή μπορεί να συμβεί με δύο μηχανισμούς.

Απευαισθητοποίηση: Μετά από συνεχή έκθεση στην οσμή προκαλείται φωσφορυλίωση και εν συνεχεία αδρανοποίηση των υποδοχέων όσφρησης. Αυτές οι διαδικασίες διασπών κυρίως τα στοιχεία κλειδιά της σηματοδοτικής οδού του συστήματος της όσφρησης. Παραδείγματος χάριν χρησιμοποιώντας μεμονωμένα οσφρητικά νημάτια έχει αποδειχτεί ότι η δευτερογενής σηματοδότηση που δημιουργείται από μια οσμολόγο ουσία μέσα σε χρονικό εύρος της τάξεως του ενός millisecond σταματάει μέσω αντιδράσεων φωσφορυλίωσης από ειδικές πρωτεϊνικές κινάσες.

Προσαρμογή: Η προσαρμογή σε κάποιο οσμολόγο ερέθισμα προκαλείται με την τροποποίηση του διαύλου για το cAMP [cAMP-gated channel] από την αλληλορρύθμιση του Ca^{++} . Έχει αποδειχτεί ότι το Ca^{++} ελαττώνει την εμφανή χημική συγγένεια του διαύλου για το cAMP μέχρι 20 φορές, παρουσία της καλμοδουλίνης, η οποία αφθονεί στους οσφρητικούς κροσσούς.

Ο εισπνεόμενος αέρας θερμαίνεται και υγραίνεται, καθώς έρχεται σε επαφή με το βλεννογόνο της μύτης και των ρινικών κογχών. Οι κλάδοι του τριδύμου που δίδουν νεύρωση στο ρινικό βλεννογόνο, πυροδοτούν το φτάρνισμα και οι απολήξεις τους αντιδρούν με την εισπνοή ερεθιστικών οσμών (π.χ. αμμωνίας, ξυδιού, κλπ). Τα μόρια των οσμών προσεγγίζουν το οσφρητικό επιθήλιο που είναι επιστρωμένο με βλέννη. Εκεί καταλήγουν, προερχόμενες κατ'ευθείαν από τον εγκέφαλο, οι

νευρικές απολήξεις κλαδιών του οσφρητικού νεύρου, στις νευρικές απολήξεις του οποίου υπάρχουν οι οσφρητικοί υποδοχείς. Κάθε οσφρητικός νευρώνας εκφράζει μόνον ένα τύπο οσφρητικού υποδοχέα, αλλά κάθε υποδοχέας μπορεί να συνδεθεί με περισσότερες της μιας οσμές [41].

Οι οσφρητικοί νευρώνες συνάπτονται με τα μιτροειδή κύτταρα στα συσσωρευμένα σπειράματα εντός του οσφρητικού βολβού. Τα μιτροειδή κύτταρα στη συνέχεια προβάλλονται σε υψηλότερα νευρικά κέντρα του μεταιχμιακού συστήματος και του εγκεφαλικού φλοιού, επιτρέποντας στους ανθρώπους να εντοπίζουν εκατομμύρια μοναδικών οσμών. Οι μιτροειδείς νευρώνες στέλνουν κατ'ευθείαν μηνύματα στο μεταιχμιακό σύστημα (limbic system), το οποίο είναι η έδρα των συναισθημάτων και της μνήμης, όπως π.χ. η μνήμη του αρώματος που σκορπίζεται στην ατμόσφαιρα, όταν πέφτει η βροχή σ' ένα χωματόδρομο. Οι οσφρητικοί νευρώνες, στους οποίους υπάρχουν υποδοχείς των οσμηρών ουσιών, ξεκινάνε από το ρινικό επιθήλιο διέρχονται από τις τρύπες του τετρημένου πετάλου του ηθμοειδούς οστού, προς τον οσφρητικό βολβό. Μέσα στον οσφρητικό βολβό οι νευράξονες των οσφρητικών υποδοχέων συνάπτονται με τους στους δενδρίτες της δεύτερης σειράς νευρώνων. Τα νεύρα από τον οσφρητικό βολβό συνδέονται με το μεταιχμιακό σύστημα [41].

Το μεταιχμιακό σύστημα περιέχει ιδιαίτερους νευρικούς σχηματισμούς, όπως ο υποθάλαμος, ο ιππόκαμπος, η αμυγδαλή κλπ, που ευθύνονται για τα συναισθήματα και παίζουν σημαντικό ρόλο για τη διαμόρφωση των διαφόρων τύπων μνήμης. Μερικές οσμές κάνουν το μεταιχμιακό σύστημα να ενεργοποιήσει τον υποθάλαμο και την υπόφυση. Ο υποθάλαμος είναι νευρικός σχηματισμός του μεταιχμιακού συστήματος, που ρυθμίζει το αυτόνομο νευρικό σύστημα μέσω της παραγωγής και έκκρισης ορμονών, επηρεάζοντας και ρυθμίζοντας την αρτηριακή πίεση, τον καρδιακό ρυθμό, τη δίψα, τη σεξουαλική διέγερση, και τον κύκλο ύπνου/αφύπνισης. Ο υποθάλαμος ρυθμίζει τις εκκρίσεις της υπόφυσης και συνδέει τα οσφρητικά μηνύματα με το αυτόνομο νευρικό σύστημα και το ενδοκρινικό ρυθμίζοντας την εσωτερική χημεία του σώματος. Η υπόφυση (ενδοκρινής αδένας) παίρνει νευρικά μηνύματα από τον υποθάλαμο παράγει και εκκρίνει ορμόνες προς την κυκλοφορία του αίματος, όπως αυτές, που ελέγχουν τη σεξουαλική διάθεση και διέγερση, την όρεξη για φαγητό, τη θερμοκρασία του σώματος και άλλες λειτουργίες. Το μεταιχμιακό σύστημα φθάνει επίσης και μέσα στον οσφρητικό ή απιοειδή φλοιό του εγκεφάλου (olfactory cortex or piriform cortex), στο θάλαμο (thalamus) και στο νεοφλοιό (neocortex) [41].

δ) Ο κύριος οσφρητικός φλοιός

Οι φλοιώδεις και υποφλοιώδεις κατασκευές του εγκεφάλου που προσλαμβάνουν άμεσες προβολές από τους κύριους νευρώνες του οσφρητικού βολβού, συμμετέχουν επίσης, στην κεντρική ολοκλήρωση των οσφρητικών ερεθισμάτων. Η ευρύτερη υποδιαίρεση του κύριου οσφρητικού φλοιού είναι ο οσφρητικός ή απιοειδής φλοιός του εγκεφάλου [41].

1.4.2 Ποιότητα της όσφρησης

Οι περισσότεροι θεωρούμε την όσφρηση ως τη λιγότερο σημαντική από τις πέντε αισθήσεις. Η όραση, η ακοή, η αφή και η γεύση φαίνονται σημαντικότερες, ωστόσο τι θα έλεγε κανείς για τη σημασία της όσφρησης εάν είχε χάσει εντελώς αυτή την αίσθηση; Στην πραγματικότητα η απώλεια της όσφρησης έχει μεγάλο κόστος καθώς η αίσθηση αυτή εξυπηρετεί σε πτυχές της ζωής μας που επηρεάζουν την ποιότητα διαβίωσης και την ασφάλειά μας, κάποιες εκ των οποίων είναι: η ενεργοποίηση της όρεξης για φαγητό, η ένταση στη γεύση, η αποτροπή κατανάλωσης αλλοιωμένων τροφίμων και η προειδοποίηση πιθανού κινδύνου σε περίπτωση διαρροής αερίου ή πυρκαγιάς [41].

Επίσης η μείωση ή απώλεια της όσφρησης συχνά αποτελεί ένδειξη κάποιας νόσου, όπως είναι για παράδειγμα οι γυναικολογικές λοιμώξεις και οι νευρολογικές ασθένειες. Μία κακή συνήθεια που επηρεάζει την όσφρησή μας είναι και το τσιγάρο, το οποίο καταστρέφει τα οσφρητικά κύτταρα. Γι' αυτό και οι καπνιστές συχνά παραπονούνται ότι δεν μυρίζουν καλά, ενώ από την άλλη πλευρά άτομα που σταματούν το κάπνισμα αναφέρουν ότι έχουν καλύτερη όσφρηση. Ωστόσο υπάρχουν και φάρμακα όπως είναι για παράδειγμα τα αιμοστατικά σκευάσματα και η ερυθρομυκίνη στα αντιβιοτικά που μπορούν να επηρεάσουν την όσφρησή μας. Η μειωμένη ικανότητα όσφρησης είναι επίσης μία ένδειξη για μελλοντικές νόσους όπως είναι για παράδειγμα το Parkinson και το Alzheimer. Ειδικότερα η κακή όσφρηση θεωρείται ένδειξη ότι το υποκείμενο είναι περισσότερο πιθανό να εμφανίσει στο μέλλον τις συγκεκριμένες ασθένειες [41].

Μάλιστα μία νέα έρευνα που ανέλυσε την σχέση της μειωμένης όσφρησης με την μελλοντική εμφάνιση ασθενειών και πραγματοποίησε δοκιμές σε 2300 ηλικιωμένους για μεγάλο χρονικό διάστημα, έδειξε ότι αυτοί με την μεγαλύτερη απώλεια όσφρησης (κυρίως άνδρες) που είτε κάπνιζαν, είτε κατανάλωναν περισσότερο αλκοόλ, ήταν πιθανότερο να πάσχουν από άνοια, Parkinson, νεφρική ανεπάρκεια ή καρδιαγγειακά προβλήματα και ως εκ τούτου είχαν 46% μεγαλύτερη πιθανότητα θανάτου εντός των επομένων δέκα ετών. Συνεπώς η ποιότητα της όσφρησης συνδέεται με την κατάσταση της υγείας. Κατά συνέπεια εάν παρατηρηθεί απώλεια αυτής της αίσθησης καλό θα είναι να μην αγνοηθεί αυτό το γεγονός, προκειμένου να προληφθεί οποιοδήποτε πρόβλημα υγείας ενδέχεται να παρουσιαστεί στην πορεία της ζωής του ατόμου [41].

1.4.3 Αλληλεπίδραση με το σύστημα της ακοής – Συναισθησία

Με τον όρο «Συναισθησία» ορίζεται η νευρολογική ανάμιξη των αισθήσεων. Ένας άνθρωπος που χαρακτηρίζεται από συναισθησία (συναισθητικός) είναι δυνατό, για παράδειγμα: α) να «ακούει» τις οσμές, β) να «βλέπει» τους ήχους και γ) να «μυρίζει» τις εικόνες. Το συχνότερο είδος συναισθησίας είναι το να «βλέπει» κάποιος ήχους και το να συνδυάζει αυτόματα αριθμούς, με συγκεκριμένα χρώματα.

Στην συναισθησία εμφανίζεται πιο έντονα το φαινόμενο της ανάμιξης των αισθήσεων, το οποίο είναι φυσιολογικό και αναπόφευκτο. Επί παραδείγματι, σε όλους τους ανθρώπους η γεύση επηρεάζεται από την ακοή. Σε έρευνες που έχουν κατά καιρούς διεξαχθεί, ο ήχος που παράγεται κατά την κατανάλωση τροφής και η αναμετάδοση αυτού του ήχου από ένα μικρόφωνο σε τρίτα άτομα, ενισχύει έως και κατά 15% την επιθυμία να καταναλωθεί ξανά η ίδια τροφή, ειδικά εάν στα τα άτομα φέρουν ακουστικά μέσω των οποίων αντιλαμβάνονται την κατανάλωση της συγκεκριμένης τροφής και έχουν παράλληλα ενισχυθεί οι υψηλές συχνότητες έναντι των χαμηλών. Στα άτομα στα οποία αποδίδεται πως έχουν συναισθησία, η επίδραση της μιας αίσθησης στην άλλη είναι ιδιαίτερα έντονη και η γενική αίσθηση του παρατηρούμενου εμφανίζεται πιο πλούσια. Η συναισθησία συναντάται συχνά ως σύμπτωμα του αυτισμού και του συνδρόμου Άσπεργκερ, αλλά όχι αποκλειστικά. Μπορεί να είναι αποτέλεσμα της χρήσης παραισθησιογόνων ψυχοενεργών, όπως το L.S.D. και η μεσκαλίνη, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις ανθρώπων οι οποίοι είναι συναισθητικοί χωρίς να πάσχουν από κάποια ασθένεια και χωρίς να κάνουν χρήση ψυχοενεργών [42].

Οι συσχετίσεις αυτές των αισθήσεων για τους συναισθητικούς δεν είναι καθόλου μεταφορικές. Για αυτούς «πραγματικά» τα χρώματα έχουν γεύση, οι οσμές ηχούν κ.λπ. και η εμπειρία τους αυτή είναι διαρκής σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Ωστόσο, κάποιες φορές η περιέργη αυτή ιδιαιτερότητα χάνει την έντασή της κατά την ενηλικίωση ή μετά από αυτήν. Ένα ακόμα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της συναισθησίας είναι το ότι συνεχίζει να υπάρχει ακόμα και όταν το άτομο χάνει την ικανότητα μιας αίσθησης. Για παράδειγμα ένα άτομο που μπορεί να δει τους ήχους εξακολουθεί να το κάνει αυτό ακόμα και αν τυφλωθεί κάποια στιγμή στη ζωή του [42].

Η συναισθησία συναντάται σε κάποια μορφή της σε αναλογία 1 ανά 2.000 άτομα, ενώ η εμφάνισή της είναι σε μεγάλο βαθμό κληρονομική. Σχετική έρευνα που έγινε από τον νευρολόγο V. S. Ramachandran στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια-Σαν Ντιέγκο έχουν δείξει σύμφωνα με επιστήμονες ότι διαδικασίες παρόμοιες με τη συναισθησία ίσως είναι βασικές στην ικανότητά μας να αντιλαμβανόμαστε μεταφορές και στο να είμαστε δημιουργικοί. Σύμφωνα με τον παραπάνω ερευνητή δεν είναι σύμπτωση το ότι η συναισθησία είναι οχτώ φορές περισσότερο συνηθισμένη ανάμεσα στους συγγραφείς και στους καλλιτέχνες. Το μοτίβο της συσχέτισης διαφέρει από άτομο σε άτομο. Οι ίδιοι οι συναισθητικοί συχνά αγνοούν το ότι οι υπόλοιποι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται τον κόσμο με τον ίδιο τρόπο [42].

Το σύστημα της όσφρησης παρέχει πολυάριθμες λειτουργίες. Η οσφρητική ικανότητα επηρεάζει την πεπτική συμπεριφορά, προειδοποιεί για περιβαλλοντικούς κινδύνους και επιτρέπει την ασφαλή κοινωνική επικοινωνία. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι περίπου το ένα πέμπτο του γενικού πληθυσμού έχει διαταραχή της αίσθησης της όσφρησης. Παρά τούτο δεν παραπονούνται όλοι όσοι έχουν διαταραγμένη οσφρητική ικανότητα για το έλλειμμα τους. Αυτή η ανεπάρκεια της όσφρησης, συνοδεύεται και από ανεπαρκή γεύση. Πολλά άτομα δεν δίδουν σημασία για την ελαττωματική τους όσφρηση και αρκετοί άλλα άτομα έχουν προβλήματα στην καθημερινή τους ζωή, καθώς ζουν με αυξημένη κοινωνική ανασφάλεια, έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να εκδηλώσουν

καταθλιπτικά συμπτώματα και έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να κάνουν οικιακά ατυχήματα. Όμως η όσφρηση, αλληλοεπιδρά με το σύστημα της ακοής [42].

Υπάρχουν φορές όπου άτομα ακούν επί παραδείγματι λέξεις που περιέχουν το γράμμα «ρ» και η γεύση που λαμβάνουν μοιάζει περισσότερο με εκείνη του καφέ ή των ροδάκινων. Υπάρχουν άτομα τα οποία όταν σκεφτούν επί παραδείγματι το μήνα Νοέμβριο, «βλέπουν» ένα έντονο κόκκινο ή μια βαθύτερη απόχρωση του μπλε. Εάν τα ανωτέρω παραδείγματα φαίνονται παράλογα, είναι απολύτως λογικά και υπαρκτά στα άτομα που έχουν «συναισθησία». Για αυτά τα άτομα τους η αντιληπτική εμπειρία που δημιουργείται από τη διέγερση μιας αίσθησης - απλώς ακούγοντας έναν ήχο ή βλέποντας ένα θέαμα - συνοδεύεται και από άλλα αλληλεπιδραστικά ερεθίσματα μιας και οι ήχοι μπορούν να μυριστούν, τα αξιοθέατα μπορούν να ακουστούν και οι γεύσεις γίνονται αισθητές ως «υφές» στο δέρμα [42].

Οι επιστήμονες ενδιαφέρονται για αυτές τις «ζωντανές» συνενώσεις των αισθήσεων για αιώνες, με αρκετές μελέτες που δημοσιεύθηκαν στα τέλη του 1800 από επιστήμονες όπως ο Francis Galton, ξάδελφος του Κάρολου Δαρβίνου. Όμως, μια ιστορική μετατόπιση προς τη μελέτη παρατηρήσιμης συμπεριφοράς παρά υποκειμενικών αναφορών για τις ψυχικές εμπειρίες κάποιου, σήμαινε ότι η συναισθησία αγνοήθηκε σε μεγάλο βαθμό έως ότου έγινε και πάλι θέμα σοβαρής επιστημονικής έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία σάρωσης εγκεφάλου επέτρεψαν στους νευροεπιστήμονες να εκτιμήσουν τις λεπτές διαφορές στους εγκεφάλους αυτών με συναισθησία. Αυτά πιστεύεται ότι περιλαμβάνουν επιπλέον συνδέσεις μεταξύ των νευρικών περιοχών που είναι υπεύθυνες για την επεξεργασία διαφορετικών τύπων αισθήσεων και άλλων αντιληπτικών πληροφοριών. Η παρουσία επιπλέον συνδεσιμότητας σε όλους τους εγκεφάλους με συναισθησία μπορεί επίσης να τους δώσει ένα πλεονέκτημα στην αναγνώριση συσχετίσεων μεταξύ ιδεών και εμπειριών που διαφορετικά θα μπορούσαν να θεωρηθούν άσχετες. Πράγματι, αυτή η έννοια μπορεί να εξηγήσει τη σχέση μεταξύ συναισθησίας και δημιουργικότητας, και γιατί οι καλλιτέχνες και οι μουσικοί είναι πολύ πιο πιθανό να έχουν συναισθησία από τους λιγότερο δημιουργικούς τύπους. Υπάρχει επίσης σε οικογένειες, αντανakλώντας ένα πιθανό γενετικό συστατικό [42].

Η ανάπτυξη νέων τρόπων μελέτης της συναισθησίας έχει επίσης τροφοδοτήσει την έρευνα για τους διάφορους τρόπους με τους οποίους οι διαφορετικές αισθήσεις συνδέονται σε όλους. Μερικές από αυτές τις ανακαλύψεις φαίνονται διαισθητικές: Σχεδόν όλοι, για παράδειγμα, συσχετίζουν ήχους υψηλού τόνου με μικρά οπτικά αντικείμενα και συνδέουν φωτεινότερα αντικείμενα με δυνατούς ήχους ή οι αλλαγές στο χρώμα των τροφίμων μπορούν να επηρεάσουν δραματικά την αντίληψη για τη γεύση του. Υπάρχει όμως και η σύνδεση μεταξύ των ήχων και των μυρωδιών. Πρόσφατες μελέτες διαπίστωσαν ότι οι φρουτώδεις μυρωδιές, συνδέονται σταθερά με υψηλές νότες. Επί παραδείγματι, σε διάφορα πειράματα που έχουν διεξαχθεί κατά καιρούς, η μυρωδιά των βατόμουρων ταιριάζει συχνότερα από τους συμμετέχοντες με τον ήχο ενός πιάνου. Οι ίδιες ερευνητικές ομάδες ανακάλυψαν παρόμοιους δεσμούς μεταξύ ήχου και γεύσης, με τις γλυκές και τις ξινές γεύσεις να

συσχετίζονται σταθερά με ήχους υψηλής πίεσης και πιάνου, και τις πικρές γεύσεις που συνδέονται με ήχους χαμηλού τόνου και μουσικά όργανα ορειχάλκου [43].

Επιπλέον, οι συμμετέχοντες που άκουγαν μουσική χαμηλού τόνου από ορειχάλκινα όργανα, ανέφεραν ότι ένα επιδόρπιο που τους δόθηκε είχε πολύ πιο πικρή γεύση από τα άτομα που έτρωγαν το ίδιο επιδόρπιο ενώ άκουγαν μουσική με πιάνο. Αυτή η συσχέτιση μπορεί στο μέλλον να δημιουργήσει επί παραδείγματι πιάτα σε εστιατόρια τα οποία θα συνδυάζουν το χρώμα του πιάτου και την μουσική με την οποία οι πελάτες θα απολαμβάνουν το φαγητό τους, με τον ίδιο τρόπο όπου εδώ και αιώνες γίνεται η σύζευξη του σωστού κρασιού με το ανάλογο έδεσμα. Έτσι λοιπόν τα σύγχρονα εστιατόρια αρχίζουν να στρέφονται στην αναζήτηση ξεχωριστών μυρωδιών ή ήχων και μουσικής περιβάλλοντος στην προσπάθειά τους να κάνουν πιο ελκυστικά τα εδέσματά τους. Όλες οι προσπάθειες αποσκοπούν στο να αποσπάσουν περισσότερο τον πολύ-αισθητηριακό ανθρώπινο κόσμο και να εισάγουν το άτομο σε μια ξεχωριστή, μοναδική γευστική εμπειρία, όπως πολλά κορυφαία εστιατόρια αναφέρουν και εργάζονται επάνω σε αυτό. Τα ανωτέρω θεμελιώδη ερωτήματα, τα οποία απασχόλησαν τους ερευνητές εδώ και αιώνες, μπόρεσαν να βρουν απαντήσεις μόλις πολύ πρόσφατα [43].

Με εξαίρεση την όραση, η όσφρηση και η ακοή παρέμειναν μεγάλα μυστήρια ως τη δεκαετία του '80. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι οι πρόοδοι που είχαν γίνει στην κατανόηση του μοριακού μηχανισμού της όρασης βοήθησαν στη διαλεύκανση του μηχανισμού της όσφρησης και της ακοής, καθώς ο εγκέφαλος χρησιμοποιεί παραλλαγές της ίδιας βασικής αρχής για να μετατρέψει την ηλεκτρομαγνητική, τη μηχανική ή την χημική ενέργεια στην ηλεκτροχημική ενέργεια των νευρικών ώσεων. Δεν είναι τυχαίο ότι η όραση προκάλεσε το ενδιαφέρον των ερευνητών από πολύ νωρίς: στην πράξη ο αμφιβληστροειδής χιτώνας του ματιού αποτελεί τη μόνη ορατή-με οφθαλμοσκόπιο-και σχετικά προσβάσιμη περιοχή του εγκεφάλου [43].

Η αρχή για την αντίληψη του περιβάλλοντός μας γίνεται μέσω ενός ή περισσότερων, εξειδικευμένων στην πρόσληψη, ερεθισμάτων κυττάρων: έτσι, τα ραβδία και τα κωνία του ματιού λαμβάνουν τα φωτεινά ερεθίσματα, τα κύτταρα του οσφρητικού επιθηλίου της μύτης «συλλαμβάνουν» τα χημικά μόρια, ενώ τα ακουστικά κύτταρα στον κοχλία του αφτιού ανταποκρίνονται στη μηχανική πίεση που ασκείται από την είσοδο του αέρα. Ο ρόλος των παραπάνω κυττάρων δεν περιορίζεται στη λήψη των ερεθισμάτων, αλλά επεκτείνεται και στη μετατροπή αυτών σε ηλεκτρικά σήματα κατανοητά για τον εγκέφαλο. Με άλλα λόγια, τα κύτταρα που προσλαμβάνουν τα εξωτερικά ερεθίσματα «μεταφράζουν» την πληροφορία που δέχονται σε μια γλώσσα που ο εγκέφαλος μπορεί να αντιληφθεί [43].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΑ & ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Επεξήγηση σημαντικών εννοιών

Υπάρχουν τέσσερα χαρακτηριστικά του ερεθίσματος: ο τρόπος, η ένταση, η τοποθεσία και η διάρκεια. Ο φλοιός του εγκεφάλου των θηλαστικών έχει σχηματισμούς που επεξεργάζονται κυρίως την αισθητηριακή είσοδο από μία τροπικότητα. Για παράδειγμα, η πρωτεύουσα οπτική περιοχή, γνωστή ως “V1” ή η πρωτεύουσα σωματοαισθητηριακή περιοχή, γνωστή ως “S1”. Αυτές οι περιοχές έχουν εκτεταμένες διασυνδέσεις μεταξύ τους καθώς και με περιοχές υψηλότερης συσχέτισης που επεξεργάζονται περαιτέρω τα ερεθίσματα και πιστεύεται ότι ενσωματώνουν την αισθητηριακή είσοδο από διάφορες μεθόδους. Αυτές οι περιοχές ασχολούνται κυρίως με χαρακτηριστικά ερεθίσματος χαμηλού επιπέδου, όπως η φωτεινότητα, ο προσανατολισμός, η ένταση κ.ά. Ωστόσο, πρόσφατα έχουν αποδειχθεί ότι έχουν επιπτώσεις πολυαισθητήρα σε πρωτογενείς αισθητηριακές περιοχές.

2.2 Είδη ερεθισμάτων και χαρακτηριστικά ήχου

Το αίσθημα του ήχου, το οποίο γίνεται αντιληπτό μέσω της ανθρώπινης ακοής, είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής εμπειρίας. Όπως και το αίσθημα του χρώματος, το ακουστικό αίσθημα είναι αποτέλεσμα συνδυασμού φυσικών φαινομένων, βιολογικών και ψυχολογικών διεργασιών. Αυτό που προκαλεί το ακουστικό αίσθημα είναι το φυσικό φαινόμενο του ήχου. Για να γίνει κατανοητός ο ψηφιακός ήχος είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η φύση του ήχου και η γραφική του αναπαράσταση ως κυματομορφή. Η κυματομορφή (waveform) είναι ένα γράφημα με ποσοτικά χαρακτηριστικά που μας βοηθάστο να γίνει οπτικοποίηση του ήχου [44].

Το φαινόμενο του ήχου δημιουργείται όταν ένα αντικείμενο μετατοπίζεται, μεταβάλλοντας τη θέση ισορροπίας του μέσα σε ένα υλικό μέσο, όπως ο αέρας, το νερό ή γενικά ένα ελαστικό σώμα. Τέτοια αντικείμενα μπορεί να είναι οι φωνητικές χορδές, η χορδή ενός μουσικού οργάνου, η μεμβράνη ενός τυμπάνου κ.ά. Το μέσο είναι συνήθως ο αέρας. Όταν ο αέρας διαταράσσεται από τη μετακίνηση ή δόνηση του αντικειμένου μέσα σε αυτόν, δημιουργείται μια τοπική πύκνωση των μορίων του, η οποία και αρχίζει να διαδίδεται μέσα σε αυτόν με τη μορφή κύματος. Το χτύπημα μιας τεντωμένης χορδής μετατοπίζει τη χορδή από την αρχική θέση ισορροπίας της, διαταράσσοντας τη θέση των μορίων του αέρα που την περιβάλλουν. Όταν η χορδή κινείται προς μια κατεύθυνση, αναγκάζει τα μόρια του αέρα να συμπιεστούν σε ένα μικρότερο χώρο, αυξάνοντας ελαφρά την πίεση

του αέρα σε αυτή την περιοχή. Ακολούθως, τα μόρια του αέρα που βρίσκονται υπό υψηλότερη πίεση σε αυτό το χώρο, ωθούν τα άλλα μόρια του αέρα που τα περιβάλλει, και ούτω καθεξής. Όταν η δονούμενη χορδή κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση, δημιουργεί ένα χάσμα μεταξύ της χορδής και των μορίων του αέρα, προκαλώντας τη μείωση της πίεσης στην εν λόγω περιοχή, αναγκάζοντας τα γύρω μόρια του αέρα να μετακινηθούν προς αυτή. Οι μετατοπίσεις των μορίων του αέρα δημιουργούν ένα κύμα (μέτωπο) περιοδικών διακυμάνσεων της πίεσης το οποίο διαδίδεται απομακρυνόμενο από τη χορδή. Η διεύθυνση διάδοσης του κύματος είναι παράλληλη με την κίνηση (ταλάντωση) των μορίων του αέρα. Όταν το κύμα φτάσει στα αυτιά, ο μηχανισμός του αυτιού μετατρέπει αυτές τις μεταβολές της θέσης του τυμπάνου σε νευρικά ερεθίσματα και ο εγκέφαλος με τη σειρά του τις αναγνωρίζει ως ήχο [44].

Το ηχητικό κύμα δεν είναι ταυτόσημο με το ακουστικό αποτέλεσμα, με αυτό δηλαδή που γίνεται αντιληπτό και αναφερόμαστε σε αυτό ως ήχο. Επειδή το ηχητικό κύμα βασίζεται στο μηχανισμό της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων του αέρα, η συμπεριφορά του διέπεται από κανόνες της μηχανικής. Σαν τέτοιο μπορεί να:

- Ανακλάται, να αλλάζει δηλαδή διεύθυνση όταν προσπίπτει σε ένα σώμα και να δημιουργεί φαινόμενα όπως η ηχώ και η αντήχηση.
- Απορροφάται: να εισχωρεί στις μικρές οπές επιφανειών με αφρώδη/πορώδη σύσταση με αποτέλεσμα τη μείωση της έντασής του. Το φαινόμενο αφορά στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες των ήχων.
- Περιθλάται: να μεταβάλλει την ευθύγραμμη διεύθυνσή του και να «γεμίζει» το χώρο γύρω από ένα εμπόδιο που συναντά.
- Διαθλάται: να αλλάζει γωνία διεύθυνσης όταν αλλάζει η πυκνότητα του μέσου διάδοσης (αέρα)[44].

Τα ακουστικά φαινόμενα που προκύπτουν από τη μηχανική φύση του ηχητικού κύματος είναι καθοριστικά για την ποιότητα και τον χαρακτήρα του ήχου που μπορεί να γίνει αντιληπτός. Τέτοια φαινόμενα είναι η ηχώ (echo) και η αντήχηση (reverberation). Ηχώ ή κοινώς αντίλαλος είναι το φαινόμενο της ακουστικής επανάληψης του κυρίως ήχου που εκπέμπει μία πηγή. Ο ήχος που φτάνει στον ακροατή είναι ο συνδυασμός του κυρίως ήχου που φτάνει σε αυτόν απευθείας και διαφορετικών εκδοχών του ίδιου ήχου, που φτάνουν σε αυτόν καθυστερημένα μετά από ανακλάσεις σε φυσικά εμπόδια. Η ηχώ είναι ευδιάκριτη, επειδή η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα είναι σχετικά αργή (περίπου 340 μέτρα/δευτερόλεπτο). Η ανθρώπινη ακοή μπορεί σε ένα δευτερόλεπτο να διακρίνει το πολύ 10 διαδοχικούς επάλληλους ήχους. Αφού η ταχύτητα του ήχου στο 1/10 του δευτερολέπτου είναι 34 μέτρα, όταν το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 17 μέτρων, τότε το αυτί αντιλαμβάνεται ξεχωριστά τον απευθείας ήχο και τον εξ ανακλάσεως, ο οποίος και λέγεται ηχώ (αντίλαλος). Αν το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 17 μέτρων, τότε ο εξ

ανακλάσεως ήχος φτάνει νωρίτερα, επικαλύπτεται χρονικά με τον απευθείας, τον ενισχύει και έχουμε το φαινόμενο της αντήχησης (reverberation) [44].

Μια πρακτική επινόηση για να γίνει αντιληπτό οπτικά το ηχητικό κύμα είναι η κυματομορφή (waveform). Σημειώνοντας τις μεταβολές της ηχητικής πίεσης σε σχέση με τον χρόνο, σε ένα σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων, μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα γράφημα δύο διαστάσεων το στιγμιότυπο ενός ηχητικού κύματος στο χρόνο. Το γράφημα της κυματομορφής δεν πρέπει να συγχέεται με την αναπαράσταση του ηχητικού κύματος στο χώρο. Η κυματομορφή αναπαριστά τις μεταβολές της ηχητικής πίεσης στο χρόνο και αποτυπώνει το φάσμα συχνοτήτων του ήχου.

Με βάση τα ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά τους, οι ήχοι μπορούν να καταταχθούν σε: απλούς, σύνθετους, σε θορύβους και σε κρότους. Οι απλοί ήχοι είναι σπάνιοι στο φυσικό περιβάλλον και παράγονται συνήθως από εργαστηριακά όργανα (μουσικό διαπασών, γεννήτρια ήχων, κλπ.). Οι ήχοι αυτοί έχουν μία μόνο χαρακτηριστική συχνότητα και η αυξομείωση της έντασής τους είναι αρμονική σε συνάρτηση με τον χρόνο. Σύνθετοι ήχοι είναι οι ήχοι που συνθέτονται από πολλούς απλούς ήχους διαφορετικών τόνων (μουσική, ανθρώπινη φωνή, κλπ.). Η αυξομείωση της έντασης των σύνθετων ήχων είναι περιοδική, όχι όμως αρμονική σε συνάρτηση με τον χρόνο. Οι κρότοι είναι ήχοι με υψηλή ένταση, η οποία φθίνει σε πολύ μικρό χρόνο. Κρότος μπορεί να χαρακτηριστεί ο ήχος ενός πυροβολισμού. Οι θόρυβοι αποτελούνται από διάφορους σύνθετους ήχους. Η αυξομείωση της έντασης των θορύβων είναι μη περιοδική και μη αρμονική σε συνάρτηση με τον χρόνο. Θόρυβος είναι ο ήχος ενός πολυσύχναστου δρόμου, το θρόισμα των φύλλων, ο ήχος της βελόνας ενός γραμμόφωνου καθώς σύρεται στην επιφάνεια του δίσκου, κλπ.

α) Συχνότητα και Ύψος

Η ηχητική πίεση (sound pressure) μέσα σε ένα ηχητικό κύμα δεν είναι πάντοτε σταθερή και μπορεί να μεταβάλλεται διαρκώς τοπικά και χρονικά. Αυτό που κυρίως διαφέρει σε ότι αφορά την καταγραφή του ηχητικού κύματος, η οποία είναι η μέγιστη και ελάχιστη τιμές πίεσης που υπάρχει κατά τη μέγιστη πύκνωση και τη μέγιστη αραιώση και το πόσο συχνά συμβαίνει αυτό στη μονάδα του χρόνου. Η συχνότητα των αλλαγών της ακουστικής πίεσης μετριέται σε κύκλους ή επαναλήψεις ανά δευτερόλεπτο και περιγράφει το μέγεθος που ονομάζουμε συχνότητα. Η συχνότητα ενός κύματος μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (Hertz) [44].

Περίοδος χαρακτηρίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί για την ολοκλήρωση ενός κύκλου μιας πλήρους επανάληψης της ταλάντωσης των μορίων του ελαστικού μέσου από την αρχική θέση ισορροπίας τους. Η περίοδος αποτελεί μέγεθος αντίστροφο της συχνότητας, συμβολίζεται με το γράμμα T ($T = \frac{1}{f}$) και μετριέται σε δευτερόλεπτα. Η συχνότητα (f) ή οι συχνότητες που χαρακτηρίζουν ένα απλό ή περίπλοκο αντίστοιχα ηχητικό κύμα, μας ενδιαφέρουν γιατί χαρακτηρίζουν τον ήχο δίνοντας τη δυνατότητα καταγραφής, επεξεργασίας, σύγκρισής του με άλλους ήχους κ.ά. Στην ανθρώπινη ακοή υπάρχουν όρια πέραν των οποίων δεν υπάρχει χρήσιμη

ακουστή πληροφορία. Σε γενικές γραμμές το φάσμα των συχνοτήτων που είναι ακουστό από τον άνθρωπο κυμαίνεται από 20Hz έως 20kHz. Το ανώτατο όριο συνήθως μειώνεται με την ηλικία. Το μέγεθος που συνδέει τη συχνότητα και την περίοδο με τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων ονομάζεται μήκος κύματος, συμβολίζεται με το γράμμα λ και είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή δυο διαδοχικών αραιωμάτων της ηχητικής πίεσης. Είναι η απόσταση που διανύει το ηχητικό κύμα μέσα σε χρόνο μιας περιόδου και συνδέεται με την ταχύτητα (c) του ηχητικού κύματος με τη σχέση $c = \frac{\lambda}{T}$. Το μήκος κύματος μας ενδιαφέρει γιατί είναι άμεσα συνδεδεμένο με τα φυσικά φαινόμενα διάδοσης του ήχου, όπως η ανάκλαση η διάθλαση και η περίθλαση [44].

Ένα χαρακτηριστικό του ακουστού ήχου που συνδέεται με τη συχνότητα είναι το ύψος ή τόνος (pitch). Αυτό μας επιτρέπει να αντιληφθούμε έναν ήχο ως οξύ (υψηλός ήχος) ή ως βαρύ (χαμηλός ή μπάσος ήχος). Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα ενός ήχου, τόσο πιο λεπτός ακούγεται. Το ύψος δεν πρέπει να συγχέεται με την ένταση του ήχου. Ένας ήχος μπορεί να είναι υψηλός ή βαθύς και ταυτόχρονα να είναι είτε αδύναμος, είτε έντονος. Σε ό,τι αφορά μουσικούς ήχους για παράδειγμα, ο ήχος του κοντραμπάσου είναι πάντοτε πιο βαθύς από αυτόν ενός βιολιού, ανεξάρτητα με το πόσο δυνατά παίζει ο μουσικός. Η συχνότητα είναι ένα φυσικό, μετρήσιμο χαρακτηριστικό του ήχου και μας βοηθά να προσδιορίσουμε τη θέση των ήχων στο ακουστικό φάσμα συχνοτήτων. Το ύψος του ήχου, ή αλλιώς τονικότητα του ήχου, είναι ένα υποκειμενικό εμπειρικό μέγεθος που εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου και μας επιτρέπει να χαρακτηρίσουμε τους ήχους ως υψηλούς ή χαμηλούς.

β) Ένταση και Ηχηρότητα

Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της ταλάντωσης μιας παλλόμενης χορδής, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ένταση (amplitude) του ηχητικού κύματος. Το τελικό ακουστικό αποτέλεσμα του κύματος, το αίσθημα του ήχου, δεν είναι ανάλογο με τη φυσική ένταση του ηχητικού κύματος. Αν δηλαδή διπλασιαστεί η ένταση του ηχητικού κύματος αυτό δεν σημαίνει ότι θα ακούσουμε ένα διπλάσιο σε ισχύ ήχο. Η υποκειμενική αντίληψη της έντασης ενός ήχου λέγεται ηχηρότητα ή ακουστότητα. Η ηχηρότητα ενός ήχου δεν είναι ευθέως ανάλογη με τη φυσική ένταση του ηχητικού κύματος. Η στάθμη της έντασης του ήχου μετριέται σε μονάδες της κλίμακας Ντεσιμπέλ (decibels, dB) και ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$dB = 10 * \log\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (2.1)$$

γ) Η Αντίληψη του Ηχου

Η αντίληψη του ήχου αφορά τον τρόπο με τον οποίο τα φυσικά φαινόμενα του ήχου γίνονται αντιληπτά από την ανθρώπινη ακοή. Τέτοια χαρακτηριστικά που καθορίζουν αυτή την αντίληψη είναι το ύψος και η ηχηρότητα. Ένα τρίτο υποκειμενικό γνώρισμα του ήχου είναι η χροιά (timbre) ή αλλιώς ηχώχρωμα. Η χροιά αφορά σύνθετους ήχους και είναι το χαρακτηριστικό που επιτρέπει στον εγκέφαλο του ανθρώπου να ξεχωρίσει δύο ήχους της ίδιας συχνότητας από διαφορετικές πηγές. Τα

φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου καθορίζουν τα ερεθίσματα, αλλά ο ήχος είναι μια εμπειρία που δημιουργείται και υπάρχει πραγματικά μόνο μέσα στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η καταγραφή των φυσικών χαρακτηριστικών του δεν αποτυπώνει πάντοτε και τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτός. Οι περισσότεροι άνθρωποι με καλή ακοή για παράδειγμα, μπορούν συνήθως να ξεχωρίσουν τον ήχο του ονόματός τους μέσα σε ένα θορυβώδες περιβάλλον ή να «εστιάσουν» την προσοχή τους σε ένα συνομιλητή άσχετα με τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Στο πεδίο της εφαρμογής λοιπόν, οι θόρυβοι δεν είναι πάντοτε «άχρηστοι» ήχοι. Μπορεί να είναι ενοχλητικοί όταν καλύπτουν ή παραμορφώνουν άλλους ήχους που ενδιαφέρουν αλλά και απαραίτητοι όταν χρησιμοποιούνται για να οδηγήσουν τον ακροατή σε ένα ακουστικό αποτέλεσμα. Ένα χρήσιμο φαινόμενο που αφορά την αντίληψη του ήχου είναι η στερεοφωνία [44]. Ο εγκέφαλος μπορεί να προσδιορίσει την πηγή ενός ήχου με βάση τις διαφορές στην ένταση (ηχητική πίεση) και στη χρονική διαφορά άφιξης του ήχου στο αριστερό και δεξιό αυτί αντίστοιχα. Για τις χαμηλές συχνότητες ο εντοπισμός της θέσης της ηχητικής πηγής γίνεται αντιληπτός από τη χρονική διαφορά άφιξης του ήχου στα αυτιά του ακροατή, ενώ για τις υψηλές συχνότητες ο εντοπισμός γίνεται μέσω της διαφοράς της πίεσης των δύο αφίξεων. Αν στο κάθε αυτί φτάσουν πανομοιότυπα ηχητικά σήματα στον ίδιο χρόνο, ο εγκέφαλος προσδιορίζει την πηγή του ήχου ως μια πηγή που βρίσκεται μπροστά του. Αν, λοιπόν, ηχογραφηθεί ένας ήχος σε δύο μονοφωνικά κανάλια χρησιμοποιώντας δύο μικρόφωνα (στερεοφωνικά μικρόφωνα) και τροφοδοτηθούν τα δύο κανάλια σε δύο διαφορετικά ανεξάρτητα ηχεία, η αντιληπτή αίσθηση της θέσης της ηχητικής πηγής θα εξαρτάται από την σχετική ένταση των δύο ήχων. Αν η ένταση είναι ίδια, η πηγή θα βρίσκεται μπροστά από τον ακροατή. Αν κατά την ηχογράφιση το δεξί μικρόφωνο ήταν πιο κοντά στην πηγή του ήχου, το δεξί κανάλι θα ακούγεται πιο δυνατό και ο ήχος θα φαίνεται να προέρχεται από τα δεξιά του ακροατή. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί η ψευδαίσθηση μιας ολόκληρης μουσικής σκηνής όπου ο ακροατής αντιλαμβάνεται τις θέσεις των μουσικών οργάνων επάνω σε αυτή. Τέλος, δύο ιδιαίτεροι τύποι ήχου είναι η μουσική και ο λόγος. Τα πολιτισμικά χαρακτηριστικά της μουσικής και το γλωσσικό περιεχόμενο του λόγου διαδραματίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην δημιουργία συγκεκριμένων ερεθισμάτων [44].

2.3 Είδη ερεθισμάτων και χαρακτηριστικά γεύσης

Η λειτουργία της γεύσης αποτελεί μια σύνθετη αίσθηση που χαρακτηρίζει όλα τα θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, αποτελώντας ένα εργαλείο μέγιστης σημασίας για την επιλογή της τροφής, τη διατροφή γενικότερα, καθώς και την εκτίμηση και αποφυγή των δυνητικά τοξικών προϊόντων. Αποτελεί μια σημαντική αίσθηση που συμμετέχει ενεργά και συνεχόμενα στην ποιότητα της ζωής του ανθρώπου. Η γεύση μαζί με την όσφρηση λειτουργούν αλληλένδετα, επιτρέπουν την αναγνώριση των χημικών σημάτων του περιβάλλοντος και την αντίληψη των ευχάριστων ή δυσάρεστων ερεθισμάτων. Εκτός, όμως, από τη φυσιολογική τους αποστολή σαν αισθήσεις, οι διαταραχές της γεύσης και της όσφρησης, αποτελούν σημαντικές ενδείξεις και

προμηνύματα για πιθανές τοπικές ή συστηματικές νόσους, όπως εκτενώς θα αναφερθεί παρακάτω. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι η νόσος Parkinson, η νόσος Alzheimer, ο διαβήτης και η υπέρταση, καθώς και άλλες διαταραχές όπως η κατάθλιψη, λόγω μη ικανοποίησης από τη λήψη τροφής από απώλεια γεύσης [45].

Η γεύση μαζί με την όσφρηση αποτελούν τις χημικές αισθήσεις και η γευστική ουσία για να γίνει αντιληπτή από τους γευστικούς υποδοχείς πρέπει να διαλυθεί στο σάλιο ώστε να γίνει προσρόφησή της από τα γευστικά τριχίδια. Πιο συγκεκριμένα, η αίσθηση της γεύσης επάγεται από απλά χημικά ιόντα όπως το ιώδιο, το νάτριο και το κάλιο μέχρι πιο σύνθετες χημικές ουσίες τύπου υδατανθράκων κ.α. Τα βασικά γευστικά είδη που είναι αποδεκτά σήμερα είναι πέντε: το πικρό, το ξινό, το αλμυρό, το γλυκό και η γεύση ουμάμι. Η τελευταία περιγράφεται σαν πικάντικη γεύση ζωμού ή κρέατος, που δίνει αίσθημα πληρότητας. Η αρχή του γευστικού ερεθίσματος γίνεται με την αλληλεπίδραση του με την κυτταρική επιφάνεια ή με ενδοκυττάρια πρωτεΐνες-υποδοχείς. Γενικά, οι υποδοχείς αυτοί εντοπίζονται στο κορυφαίο τμήμα της κυτταρικής μεμβράνης του γευστικού κυττάρου. Η πρόσδεση, στη συνέχεια, της χημικής ουσίας στους υποδοχείς προκαλεί μια μεταβολή στην ισορροπία των ιόντων κατά μήκος της κυτταρικής επιφάνειας, που με τη σειρά της έχει ως αποτέλεσμα την εκπόλωση του κυττάρου και την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών από το υποδοκτικό κύτταρο. Οι αλλαγές που επισυμβαίνουν στις νευρικές ίνες μεταβιβάζονται στον πρωτεύοντα γευστικό φλοιό και το «μήνυμα» αποκωδικοποιείται σε αντίληψη αισθητικού ερεθίσματος [45].

Οι υποδοχείς που ευθύνονται για τη σειρά των μεταβολών αυτών είναι κατά βάση κανάλια ιόντων, διάλυτοι ιόντων που ενεργοποιούνται με τη σύνδεση συναρμοστών (ligand-gated channels), ένζυμα και ζεύγη υποδοχέων με G-πρωτεΐνη. Η κατανομή αυτών στις γευστικές θηλές δεν είναι αποκλειστική σε μια περιοχή της γλώσσας για ένα συγκεκριμένο είδος γεύσης. Ωστόσο, κάποιοι υποδοχείς εντοπίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό σε μια ή περισσότερες περιοχές της γλώσσας, καθιστώντας την περιοχή αυτή περισσότερο ευαίσθητη σε έναν τύπο γεύσης. Έτσι, το αίσθημα του γλυκού είναι πιο έντονο στην κορυφή της γλώσσας, του πικρού στην οπίσθια μοίρα της ράχης της γλώσσας και την επιγλωττίδα (ιδιαίτερα στις περιχαρακωμένες θηλές), του ξινού γίνεται καλύτερα αντιληπτό στα πλάγια χείλη της γλώσσας και το αίσθημα του αλμυρού είναι πιο έντονο στην κορυφή και σχεδόν σε όλη την ραχιαία επιφάνεια και τα πλάγια χείλη της γλώσσας. Παρατηρήθηκε, ωστόσο, πως ορισμένα από τα γευστικά κύτταρα, παρά την ειδική κατανομή και ευαισθησία τους στα βασικά γευστικά αισθήματα, αντιδρούν σε περισσότερα (δυο ή τρία) βασικά γευστικά ερεθίσματα [45].

Στη δεκαετία του '60, ξεκίνησαν οι μελέτες για την κατανόηση των ενδοκυττάρων μηχανισμών που μεσολαβούν στην αντίληψη της γεύσης στα θηλαστικά. Οι δυσκολίες που υπήρχαν για την απομόνωση των γευστικών καλύκων από το περιβάλλον κερατινοποιημένο επιθήλιο και τη διεύθυνση αυτών μέσω του γευστικού πόρου, κατέστησαν τις πρώτες προσπάθειες αποτυχημένες. Την τελευταία δεκαετία χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της ηλεκτροφυσιολογίας (*patch clamp technique*) κατά την οποία επιτυγχάνεται πολύ στενή επαφή μεταξύ του ηλεκτροδίου και της

κυτταρικής μεμβράνης του γευστικού κυττάρου, καθιστώντας δυνατή την ανάλυση μικρών διαμεμβρανικών ηλεκτρικών σημάτων. Τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής περιλαμβάνουν την ανάγκη απομόνωσης των γύρω από τα γευστικά κύτταρα ιστών με την επιλεκτική ενζυματική πέψη, μια διαδικασία που υποτίθεται πως δεν επηρεάζει την ακεραιότητα των μεμβρανών ενώ, επίσης, τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τους υποδοχείς της γεύσης και γενικότερα για τη φυσιολογία αυτής, προκύπτουν από τη μελέτη μεμονωμένων γευστικών θηλών αν και υπάρχουν ενδείξεις για αλληλεπίδραση των δυναμικών των γευστικών κυττάρων με δυναμικά που δημιουργούνται σε κύτταρα κατά μήκος ολόκληρου του γευστικού επιθηλίου [45].

α) Μηχανισμοί γεύσης

Το ξινό σαν γεύση, λειτουργεί και σαν προστατευτικό ή προειδοποιητικό σήμα εξαιτίας του γεγονότος ότι τα πρωτόνια (H^+), που ευθύνονται για την αίσθηση του ξινού, ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά τους μαλακούς και σκληρούς ιστούς του στόματος, όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο, αλλά και σε συστηματικό όταν η οξύτητα οφείλεται σε αλλοιωμένη τροφή. Πιο συγκεκριμένα, η ένταση του ξινού είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση των ογκομετρούμενων οξέων που έρχονται σε επαφή με τους γευστικούς κάλυκες. Οι υπεύθυνοι υποδοχείς που έχουν αναγνωρισθεί για το ξινό είναι ποικίλοι, όπως και οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στη μετάδοση του αντίστοιχου σήματος. Το κανάλι νατρίου του επιθηλίου (epithelial sodium channel-ENaC), τα κανάλια πρωτονίων (κανάλια καλίου), τα ευαίσθητα σε οξέα κανάλια (Acid Sensing Ion Channel-ASICs) κ.α. Γενικά, όλοι οι δυνατοί μηχανισμοί οδηγούν τελικά σε αύξηση του ενδοκυττάρου θετικού φορτίου που έχει ως αποτέλεσμα την άμεση εκπόλωση των υποδεκτικών κυττάρων. Οι μηχανισμοί της έκκρισης σάλιου και της γεύσης είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι. Το ξινό είναι το πιο ισχυρό ερέθισμα για την έκκριση σάλιου και καθώς ο ρυθμός αυτός αυξάνεται, εκκρίνονται υψηλότερα επίπεδα δικαρβονικών οξέων τα οποία εξουδετερώνουν τα ιόντα πρωτονίων προστατεύοντας τους ιστούς του στόματος από βλάβη. Ακόμα και η ισχυρή σύσπαση των μυών του προσώπου ως εκδήλωση της όξινης γεύσης έχει ως άμεσο στόχο τη λίμναση του σάλιου στην επιφάνεια της γλώσσας και εν συνεχεία την εξουδετέρωση των ιόντων πρωτονίων. Η ανωτέρω διαδικασία είναι απαραίτητη γιατί το pH των γευστικών ερεθισμάτων ανέρχεται σε τιμές που φτάνουν το 2. Επομένως, η εξουδετέρωση που παρέχει το σάλιο είναι υψίστης σημασίας [45].

Όπως συμβαίνει με το ξινό, έτσι και η αίσθηση του αλμυρού υποδεικνύει την παρουσία ιόντων που αλληλεπιδρούν άμεσα με ιοντικά κανάλια. Σε αντίθεση με το ξινό, όμως, η αλμυρή γεύση είναι απαραίτητη για την ανίχνευση των μετάλλων και συμμετέχει σημαντικά στο μηχανισμό της ομοιόστασης των ιόντων. Τα πιο σημαντικά ιόντα για τη διέγερση της αλμυρής γεύσης είναι το νάτριο (Na^+) και το χλώριο (Cl^-). Η γλυκιά γεύση προκαλείται από μια ποικιλία συστατικών όπως τα σάκχαρα και τα παράγωγά τους, τα D-αμινοξέα, ορισμένα από τα L-αμινοξέα (γλυκίνη και L-αλανίνη) και τεχνητά γλυκαντικά όπως η σακχαρίνη, η ασπαρτάμη και η σουκραλόζη. Ο μηχανισμός αναγνώρισης της γλυκιάς γεύσης μεσολαβείται από υποδοχείς G-πρωτεΐνης, καθώς και έναν

βοηθητικό υποδοχέα γλυκού, τον T1R3. Ο T1R3 είναι λειτουργικός παρουσία του ετεροδιμερούς υποδοχέα T1R2. Βρίσκονται στο 20% των γευστικών κυττάρων των γευστικών καλύκων του πρόσθιου, του οπίσθιου τμήματος και των πλάγιων χειλέων της γλώσσας. Οι T1R3/T1R2 συνεργάζονται μέσω της αύξησης του cGMP (cyclic Guanosine Monophosphate- κυκλική μονοφωσφορική γουανοσίνη) και ενεργοποίησης ενός καναλιού που οδηγεί σε εκπόλωση των υποδεκτικών κυττάρων μέσω της εισόδου ιόντων ασβεστίου [45].

Από τους πρωταρχικούς ρόλους της πικρής γεύσης είναι η αναγνώριση των πιθανών βλαπτικών και τοξικών συστατικών. Προκαλείται από ιόντα όπως το κάλιο, από τεχνητά σύμπλοκα ή φυσικά συστατικά όπως η καφεΐνη. Πολλές δηλητηριώδεις ουσίες έχουν πικρή γεύση, επομένως η σημασία της αναγνώρισης της πικρής γεύσης είναι σε αυτές τις περιπτώσεις ζωτικής σημασίας. Αυτό αποδεικνύεται και από την ουδό αντίληψης του πικρού που είναι η χαμηλότερη από όλες τις γεύσεις. Επιπλέον, υπάρχουν πολλοί περισσότεροι υποδοχείς για το πικρό από οποιαδήποτε άλλη γεύση, καθώς και ποικίλοι μηχανισμοί για τη μετάδοση της πικρής γεύσης.

Όπως συμβαίνει με την αντίληψη του γλυκού, η μετάδοση του πικρού συμπεριλαμβάνει υποδοχείς G-πρωτεΐνης στην κυτταρική επιφάνεια και μια οικογένεια της τάξης των 50-80 κυτταρικών υποδοχέων, που ονομάζονται TR2. Κωδικοποιούνται από 24 γονίδια και εντοπίζονται σε 3 χρωμοσώματα. Πιθανολογείται ότι όλοι οι υποδοχείς TR2 ανταποκρίνονται στο πικρό ερέθισμα. Η καθεαυτή μετάδοση του σήματος της πικρής γεύσης γίνεται με τη μεσολάβηση της ενεργοποιημένης φωσφολιπάσης Cβ2, η οποία απελευθερώνει δύο σηματοδοτικά μόρια, τη τριφωσφορική ινοσιτόλη (IP3) και τη διακυλογλυκερόλη (DAG).

Η DAG απελευθερώνει ενδοκυττάριο ασβέστιο προκαλώντας εκπόλωση του κυττάρου. Επιπρόσθετοι μηχανισμοί αναφέρεται πως συμμετέχουν στην αναγνώριση της πικρής γεύσης, όπως αναστολή των καναλιών καλίου, αναστολή των φωσφοδιεστερασών και διαφόρων τύπων πρωτεϊνικών κινασών [45].

Οι υποδοχείς της γεύσης ουμάμι είναι τα ετεροδιμερή T1R1/T1R3 που αντιδρούν ειδικά στο L-γλουταμικό οξύ και δρουν συνεργικά με ριβονουκλεοτίδια όπως η 5-μονοφωσφορική ινοσίνη (IMP) και 5-μονοφωσφορική γουανοσίνη (GMP). Ο μηχανισμός για τη μετάδοση του σήματος για τη γεύση ουμάμι χρησιμοποιεί τον υποδοχέα mGluR4 (metabotropic glutamate receptor-υποδοχέας του γλουταμινικού οξέος). Για τις 2 ομάδες υποδοχέων, επειδή υπάρχει συνέργεια μεταξύ IMP και T1R1/T1R3 καθώς και το ότι η IMP ενισχύει τη δράση των T1R1/T1R3, επικρατεί η άποψη ότι αυτοί είναι οι κύριοι υποδοχείς της γεύσης ουμάμι. Χαρακτηριστικό του ανωτέρω μηχανισμού είναι ότι τα επίπεδα της κυκλικής μονοφωσφορικής αδενοσίνης (cyclic adenosine monophosphate- cAMP) λειτουργούν ανασταλτικά στη μετάδοση της γεύσης ουμάμι. Όπως γίνεται αντιληπτό, η μετάδοση του σήματος για το ξινό και το αλμυρό δεν απαιτεί ειδικούς υποδοχείς της κυτταρικής μεμβράνης αλλά εξαρτάται από την άμεση δράση των ιόντων στα κανάλια της μεμβράνης με παθητικούς μηχανισμούς δράσης. Σε αντίθεση, η γεύση του γλυκού και πικρού, στο βαθμό που έχει μελετηθεί η μετάδοση του σήματός τους, σχετίζονται με εξειδικευμένους υποδοχείς που συνδέονται με

δευτερεύοντα σηματοδοτικά μόρια. Η επανειλημμένη έκθεση στο ίδιο είδος γεύσης προκαλεί τη γένεση ενός φαινομένου, γνωστό ως προσαρμοστικότητα. Σύμφωνα με αυτό, προκύπτει μειωμένη απόκριση από τα γευστικά κύτταρα στην ίδια συγκέντρωση ενός γευστικού ερεθίσματος. Εξαιτίας της ταχείας προσαρμοστικότητας, θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα κατά την πραγματοποίηση ελέγχων στη γεύση ώστε να αποφευχθούν λάθη από την παρατεταμένη και επαναλαμβανόμενη διέγερση [45].

β) Οδός γεύσης

Οι γευστικές πληροφορίες που συνέλεξαν τα γευστικά κύτταρα μεταφέρονται κατά μήκος της νευρικής γευστικής οδού με τη βοήθεια των αισθητικών νευρώνων. Τα νεύρα που εξυπηρετούν την αίσθηση της γεύσης είναι το γλωσσοφαρυγγικό, το πνευμονογαστρικό και κλάδος του προσωπικού νεύρου, η χορδή του τυμπάνου. Αναλυτικότερα, η χορδή του τυμπάνου χορηγεί νευρικές ίνες στους γευστικούς κάλυκες των μυκητοειδών θηλών της γλώσσας, στις μονήρεις γευστικές θηλές και σε τμήμα της μαλακής υπερώας. Το υπόλοιπο τμήμα αυτής δέχεται νευρικές ίνες από τα υπερώια νεύρα του τριδύμου νεύρου. Το γλωσσοφαρυγγικό νεύρο χορηγεί ίνες στους γευστικούς κάλυκες των φυλλοειδών και περιχαρακωμένων θηλών της γλώσσας ενώ το πνευμονογαστρικό, με το άνω λαρυγγικό νεύρο, στους γευστικούς κάλυκες του βλεννογόνου της επιγλωττίδας [45].

γ) Ο ρόλος του σιέλου

Ο σιέλος (σάλιο) αποτελεί το υδάτινο περιβάλλον μέσα στο οποίο το μόριο που προκαλεί τη γένεση του γευστικού ερεθίσματος, δρα πάνω στο κύτταρο-υποδοχέα του γευστικού κάλυκα. Ο ρόλος του στην αντίληψη της γεύσης είναι πολύ σημαντικός και η μεταξύ τους σχέση αμφίδρομη. Έτσι, το σάλιο αποτελεί το διαλύτη των τροφών και το μέσο μεταφοράς των γευστικών μορίων στα υποδεκτικά όργανα της γεύσης και αντίστροφα, ποικίλα γευστικά ερεθίσματα δίνουν το έναυσμα για παραγωγή σάλιου με ορισμένη σύσταση αναλόγως του σιαλογόνου αδένου προέλευσης (παρωτίδα, υπογνάθιος, υπογλώσσιος ή/και ελάσσονες σιαλογόνοι αδένες). Πρωταρχικός ρόλος του σάλιου στη γευστική λειτουργία είναι η διάλυση των τροφών και η μεταφορά τους στους γευστικούς κάλυκες. Όπως είναι αναμενόμενο, σε καταστάσεις που χαρακτηρίζονται από μείωση της ροής του σάλιου, πχ λόγω φαρμάκων, συστηματικών νόσων (σύνδρομο Sjögren), θεραπευτικής ακτινοβολίας νεοπλασμάτων κεφαλής-τραχήλου κ.α, επηρεάζεται και η γεύση. Ως προς τη σύσταση, οι πλούσιες σε προλίνη, πρωτεΐνες του σάλιου σχετίζονται με την ικανότητα αντίληψης του πικρού αφού λειτουργούν ως μέσο μεταφοράς μορίων όπως η κινίνη, η κυκλοεξαμίδη κ.α. Επίσης, οι ξινές γεύσεις αυξάνουν τη ροή του σάλιου και τα επίπεδα δικαρβονικών (το ανθρακικό ιόν HCO_3^- αποτελεί το κύριο ρυθμιστικό ιόν για τη διατήρηση του pH του σάλιου) με συνέπεια, όταν αυξηθεί το pH του σάλιου να αυξηθεί ο ουδός αντίληψης της ξινής γεύσης. Συμπερασματικά, χαμηλή ροή σάλιου οδηγεί σε χαμηλό ουδό αντίληψης του ξινού και αντίθετα, άτομα με μεγαλύτερη ροή σάλιου έχουν υψηλότερο ουδό αντίληψης του ξινού. Επομένως, γίνεται αντιληπτό γιατί υπάρχουν διαφορές στην

αντίληψη του ξινού και από τη ροή του σάλιου που διαφοροποιείται από άτομο σε άτομο. Επιπλέον, οι γευστικοί υποδοχείς διεγείρονται διαρκώς από τα συστατικά του σάλιου χωρίς, ωστόσο, να γίνεται αντιληπτή αυτή η συνεχόμενη γεύση εξαιτίας της προσαρμοστικότητας στη γεύση του σάλιου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, η αλμυρή γεύση που προκαλείται από το NaCl μόνο εφόσον η συγκέντρωση των ιόντων Na και Cl υπερβεί αυτή στην οποία έχουν προσαρμοσθεί οι υποδοχείς. Και πάλι υπάρχει υποκειμενικότητα στην αντίληψη του αλμυρού, αναλόγως των μεταβολών δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης που προκαλούν τα ιόντα Na⁺ και Cl⁻ [45].

δ) Μέθοδοι μέτρησης γεύσης

Απαραίτητη για τη διάγνωση και αντιμετώπιση των διαταραχών γεύσης είναι μια μέθοδος αντικειμενικής εκτίμησης της γευστικής ευαισθησίας. Έχουν προταθεί περισσότερες της μιας μεθόδου με τα αντίστοιχα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Βασικοί στόχοι της χρησιμοποιούμενης μεθόδου είναι η λήψη έγκυρων μετρήσεων που μπορούν να συγκριθούν μεταξύ των ατόμων του πληθυσμού, η ικανότητα διάγνωσης της παρέκκλισης από το φυσιολογικό, η αξιοπιστία, η ευκολία στη χρήση και η εξαγωγή άμεσων αποτελεσμάτων με τη μέθοδο που αρμόζει σε κάθε εξέταση (κλινική, στα πλαίσια έρευνας κλπ.). Μια αδρή ταξινόμηση των δοκιμασιών, αναλόγως της εξεταζόμενης περιοχής, είναι οι τμηματικές και αυτές που ελέγχουν συνολικά τη στοματική κοιλότητα. Οι περιοχικές συνήθως χρησιμοποιούνται από εξειδικευμένα κέντρα του εγκεφάλου και εκτιμάται η γευστική λειτουργία σε συγκεκριμένες περιοχές της γλώσσας για την προσεκτική εξέταση της νεύρωσης κάθε περιοχής από το εκάστοτε κρανιακό νεύρο. Άλλο κριτήριο ταξινόμησης είναι το μέσο ελέγχου της γεύσης. Υπάρχει η χημική γευσιομετρία που χρησιμοποιεί συγκεντρώσεις από κάθε είδος γεύσης σε εμποτισμένες ταινίες ή σε ταμπλέτες και η ηλεκτρογευσιομετρία που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό ρεύμα. Η χημική γευσιομετρία με τις γευστικές ταινίες (taste strips) αποτελεί ποιοτική μέθοδο μέτρησης. Πρόκειται για κομμάτια χαρτιού, τα οποία εμποτίζονται με τέσσερις ουσίες για κάθε είδος γεύσης: γλωριούχο νάτριο, σουκρόζη, κιτρικό οξύ και κινίνη για το αλμυρό, το γλυκό, το ξινό και το πικρό, αντίστοιχα. Στον έλεγχο συμπεριλαμβάνεται ενίοτε η γεύση ουμάμι με την ουσία γλουταμικό μονονάτριο (*monosodium glutamate*). Κάθε ουσία υπάρχει σε τέσσερις συγκεντρώσεις-διαβαθμίσεις ώστε κατά τον έλεγχο της γεύσης ο ασθενής δοκιμάζει δεκαέξι γευστικές ταινίες με κάποια από τις ουσίες και δύο ή τέσσερις χωρίς ουσία, δεκαοκτώ ή είκοσι στο σύνολο, αντίστοιχα. Κάθε γευστική ταινία τοποθετείται στη γλώσσα είτε σε κάθε ημιμόριο ξεχωριστά είτε ταυτόχρονα και στα δύο εφόσον απαιτείται να γίνει σύγκρισή τους ή όχι. Μεταξύ δύο δοκιμών ο ασθενής ξεπλένει με νερό για να απομακρυνθεί η προηγούμενη γεύση και καλείται να βαθμολογήσει σε μια κλίμακα 0-100 ή 0-10 την ένταση του κάθε ερεθίσματος. Εναλλακτικά καλείται απλά να αναγνωρίσει το είδος της γεύσης. Παραλλαγή των γευστικών ταινιών είναι οι βρώσιμες ταινίες οι οποίες κατά τη μάσηση διαλύονται με το σάλιο και απελευθερώνουν την γευστική ουσία. Η κατασκευή τους είναι παρόμοια με τις χάρτινες γευστικές ταινίες και το αποτέλεσμα της εξέτασης είναι σχετικά γρήγορο. Σε μελέτη χρησιμοποιήθηκαν γευστικά δισκία

(4mm σε διάμετρο) με έξι διαφορετικές συγκεντρώσεις για κάθε ουσία. Η τοποθέτηση στη γλώσσα έγινε με λαβίδα και ο ασθενής εκτιμούσε το είδος της γεύσης (γλυκό, πικρό, αλμυρό, ξινό ή χωρίς γεύση) αφού μασούσε το δισκίο. Μεταξύ των δοκιμών δύο δισκίων πραγματοποιούνταν στοματοπλύσεις με νερό [45].

Η ηλεκτρογευσιομετρία είναι αξιόπιστη, έγκυρη, ποσοτική και αντικειμενική μέθοδος μέτρησης της γεύσης και γίνεται με το ηλεκτρογευσιόμετρο. Η μέτρηση αυτή χρησιμοποιεί ελεγχόμενο ανοδικό ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο εφαρμόζεται στην ραχιαία επιφάνεια της γλώσσας και προκαλεί αίσθηση μεταλλικής γεύσης. Η διέγερση της γλώσσας γίνεται μέσω ενός ηλεκτροδίου από ανοξείδωτο ατσάλι διαμέτρου 5mm που εφαρμόζεται στην περιοχή του νεύρου που ελέγχεται π.χ για την χορδή του τυμπάνου 2 εκατοστά εκατέρωθεν του προσθίου τμήματος της μέσης γραμμής και 2 εκατοστά από την κορυφή της γλώσσας. Η μεταλλική αίσθηση που προκαλείται μόνο κατά την επαφή του ηλεκτροδίου στη γλώσσα δεν είναι η επιδιωκόμενη γεύση και είναι σημαντική η ενημέρωση του ασθενή. Η ένταση του χορηγούμενου ηλεκτρικού ρεύματος αυξάνεται σταδιακά σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και οι αντιδράσεις του εξεταζομένου καταγράφονται ώστε να προκύψει η τιμή του ουδού γεύσης. Ως ουδός ανίχνευσης (detection threshold) ορίζεται η ελάχιστη συγκέντρωση που απαιτείται για να ανιχνευθεί η ουσία ενώ ως ουδός αναγνώρισης (recognition threshold) η ελάχιστη συγκέντρωση της ουσίας που απαιτείται για να αναγνωρισθεί και να ταυτοποιηθεί από τον ασθενή [45].

2.4 Είδη ερεθισμάτων και χαρακτηριστικά όσφρησης

Η αίσθηση της όσφρησης προκαλεί την αντίληψη των οσμών, με τη μεσολάβηση του οσφρητικού νεύρου (olfactory nerve). Τα κύτταρα του οσφρητικού υποδοχέα είναι νευρώνες που υπάρχουν στο οσφραντικό επιθήλιο, ένα μικρό τμήμα ιστού πίσω από τις ρινικές κοιλότητες. Υπάρχουν εκατομμύρια νευρώνες οσφρητικών υποδοχέων που δρουν ως αισθητήρια κύτταρα σηματοδότησης. Κάθε νευρώνας έχει βλεφαρίδες (cilia) σε άμεση επαφή με τον αέρα. Το οσφρητικό νεύρο θεωρείται ως μεσολαβητής όσφρησης, ο νευράξονας που συνδέει τον εγκέφαλο με τον εξωτερικό αέρα. Τα οσμηρά μόρια δρουν ως χημικά ερεθίσματα. Τα μόρια που συνδέονται με τους εκτεταμένους υποδοχείς πρωτεϊνών από βλεφαρίδες, ξεκινούν το ηλεκτρικό σήμα [46].

Οι πρώτες συνέπειες των χιλιάδων οσφρητικών υποδοχέων έγιναν γνωστές από τα γονιδιώματα περισσότερων από δώδεκα οργανισμών: είναι επτά ελικοειδείς διαμεμβρανικές πρωτεΐνες, αλλά δεν υπάρχουν (μέχρι τον Ιούλιο του 2011) γνωστές δομές οποιουδήποτε οσφρητικού υποδοχέα (OR). Υπάρχει μια υψηλά διατηρούμενη σειρά σε σχεδόν τα τρία τέταρτα όλων των οσφρητικών υποδοχέων που είναι μια τρίποδη θέση δέσμευσης μεταλλικού ιόντος, και ο Kenneth S. Suslick έχει προτείνει ότι οι οσφρητικοί υποδοχείς είναι στην πραγματικότητα μεταλλοπρωτεΐνες (κατά πάσα πιθανότητα με ψευδάργυρο, χαλκό και πιθανόν ιόντα μαγγανίου) που χρησιμεύουν ως μια θέση οξέος Λιούις για πρόσδεση πολλών οσφρητικών μορίων. Ο Robert H. Crabtree, το 1978, είχε προτείνει

προηγουμένως ότι ο Cu(I) είναι «ο πιθανότερος υποψήφιος για μια θέση μεταλλοϋποδοχέα στην όσφρηση» για πτητικές ενώσεις έντονης οσμής, όπως οι θειόλες. Οι Zhuang, Matsunami και Block, το 2012, επιβεβαίωσαν την πρόταση των Crabtree/Suslick για την ειδική περίπτωση οσφρητικού υποδοχέα ποντικίου, MOR244-3, δείχνοντας ότι ο χαλκός είναι βασικός για την ανίχνευση συγκεκριμένων θειολών και άλλων ενώσεων που περιέχουν θείο. Συνεπώς, χρησιμοποιώντας μια χημική ουσία που προσδένεται με τον χαλκό στη μύτη του ποντικίου, έτσι ώστε ο χαλκός να μην είναι διαθέσιμος στους υποδοχείς, οι ερευνητές έδειξαν ότι τα ποντίκια δεν μπορούσαν να ανιχνεύσουν τις θειόλες. Όμως, οι ίδιοι επιστήμονες βρήκαν επίσης ότι το MOR244-3 στερείται την ειδική θέση πρόσδεσης του μεταλλικού ιόντος που προτάθηκε από τον Suslick και δείχνει αντίθετα ένα διαφορετικό μοτίβο στον τομέα EC2 [46].

Όταν το σήμα φτάνει ένα κατώφλι, ο νευρώνας στέλνει ένα σήμα που διατρέχει κατά μήκος του άξονα στον οσφρητικό βολβό (olfactory bulb), τμήμα του μεταιχμιακού συστήματος του εγκεφάλου. Η ερμηνεία της οσμής ξεκινά, συσχετίζοντας την οσμή με τις παλιές εμπειρίες και σε σχέση με τις εκπεμπόμενες ουσίες. Ο οσφρητικός βολβός δρα ως σταθμός αναμετάδοσης που συνδέει τη μύτη με τον οσφρητικό φλοιό στον εγκέφαλο. Οι οσφρητικές πληροφορίες επεξεργάζονται παραπέρα και οργανώνονται μέσω μιας οδού προς το κεντρικό νευρικό σύστημα (CNS), που ελέγχει συναισθήματα και συμπεριφορές καθώς και βασικές διεργασίες σκέψης. Η αίσθηση της οσμής εξαρτάται συνήθως από τη διαθέσιμη συγκέντρωση (τον διαθέσιμο αριθμό των μορίων) στους οσφρητικούς υποδοχείς. Ένας απλός τύπος οσφρητικού ερεθίσματος αναγνωρίζεται συνήθως από πολλαπλούς υποδοχείς και διαφορετικές οσμές αναγνωρίζονται με συνδυασμούς υποδοχέων, τα δείγματα των σημάτων του νευρώνα βοηθούν την ταυτοποίηση της οσμής. Το οσφρητικό σύστημα δεν ερμηνεύει μια απλή ένωση, αλλά το συνολικό οσμηρό μείγμα, που δεν αντιστοιχεί κατ' ανάγκην στη συγκέντρωση ή την ένταση οποιουδήποτε απλού συστατικού [46].

Η μεγαλύτερη περιοχή των οσμών αποτελείται από οργανικές ενώσεις, αν και μερικές απλές ενώσεις δεν περιέχουν άνθρακα, όπως το υδρόθειο και η αμμωνία, που είναι επίσης οσμηρές ουσίες. Η κατανόηση του αποτελέσματος μιας οσμής είναι μια διεργασία δύο σταδίων. Πρώτα, υπάρχει το φυσιολογικό κομμάτι· η ανίχνευση των ερεθισμών από τους υποδοχείς στη μύτη. Τα ερεθίσματα επεξεργάζονται από την περιοχή του ανθρώπινου εγκεφάλου που είναι υπεύθυνη για την όσφρηση. Λόγω αυτού, μια αντικειμενική και αναλυτική μέτρηση της οσμής είναι αδύνατη. Αν και η κατανόηση της αίσθησης της οσμής είναι πολύ προσωπική, οι περισσότερες ατομικές αντιδράσεις σχετίζονται με το φύλο, την ηλικία, την κατάσταση της υγείας και το προσωπικό ιστορικό. Οι συνηθισμένες οσμές στις οποίες είναι συνηθισμένα τα άτομα, όπως η δικιά τους σωματική οσμή, είναι λιγότερο παρατηρήσιμες στα άτομα παρά οι εξωτερικές ή οι ασυνήθιστες οσμές. Αυτό οφείλεται στον εθισμό· μετά από συνεχή έκθεση στην οσμή, η αίσθηση της οσμής κουράζεται γρήγορα, αλλά ανακτάται γρήγορα άμα αφαιρεθεί ο ερεθισμός. Οι οσμές μπορούν να αλλάξουν λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών, π.χ. οι οσμές τείνουν να είναι πιο ευδιάκριτες σε δροσερό ξηρό αέρα [46].

Ο εθισμός επηρεάζει την ικανότητα διάκρισης των οσμών μετά από συνεχή έκθεση. Η ευαισθησία και η ικανότητα διάκρισης οσμών μειώνεται με την έκθεση και ο εγκέφαλος τείνει να αγνοεί συνεχές ερεθίσμα και εστιάζει σε διαφορές και αλλαγές με μια ιδιαίτερη αίσθηση. Όταν αναμειγνύονται οσμές, η εξαρτημένη οσμή εμποδίζεται λόγω εθισμού. Αυτό εξαρτάται από την ισχύ των οσμηρών ουσιών στο μείγμα που μπορεί να αλλάξει την αντίληψη και την επεξεργασία μιας οσμής. Αυτή η διεργασία βοηθά στην ταξινόμηση παρόμοιων οσμών, καθώς και στη διόρθωση της ευαισθησίας σε διαφορές σε σύνθετα ερεθίσματα [46].

Για τα περισσότερα ανεκπαίδευτα άτομα, η διεργασία της όσφρησης δίνει λίγες πληροφορίες όσον αφορά τα ειδικά συστατικά μιας οσμής. Η αίσθηση της οσμής τους προσφέρει κυρίως πληροφορίες σχετικές με την συναισθηματική επίδραση. Έμπειρα άτομα, όμως, όπως οι αρωματοποιοί και οι δοκιμαστές οσμών, μπορούν να διακρίνουν μεμονωμένες χημικές ουσίες σε σύνθετα μείγματα μέσω μονάχα της οσμής. Η αίσθηση της οσμής είναι μια βασική αίσθηση. Η όσφρηση ενεργοποιεί την ευχαρίστηση, μπορεί να προειδοποιήσει υποσυνείδητα για κίνδυνο, να βοηθήσει στον εντοπισμό συντρόφων, στην εύρεση τροφής ή να ανιχνεύσει θηρευτές. Οι άνθρωποι έχουν μια εκπληκτικά καλή αίσθηση της όσφρησης, αν και έχουν μόνο 350 γονίδια λειτουργικών οσφρητικών υποδοχέων, ενώ τα ποντίκια έχουν 1.300. Η αξιοσημείωτη αίσθηση της όσφρησης στους ανθρώπους είναι εξίσου καλή με τα περισσότερα ζώα και μπορεί να διακρίνει μια ποικιλία από οσμές- περίπου 10.000 μυρουδιές. Όμως, οι Bushdid κ.α. αναφέρουν, ότι οι άνθρωποι μπορούν να ξεχωρίσουν περίπου ένα τρισεκατομμύριο οσμές. Αυτό συμβαίνει λόγω της αντίστροφης ρινικής οδού (retro nasal route) στους ανθρώπους που αυξάνει αυτήν την αίσθηση. Όμως, ζώα όπως οι σκύλοι εμφανίζουν μια μεγαλύτερη ευαισθησία στις οσμές από ό,τι οι άνθρωποι ιδιαίτερα σε μελέτες με χρήση ενώσεων με μικρή αλυσίδα. Εγκεφαλικοί μηχανισμοί υψηλότερης νόησης και περισσότερες εγκεφαλικές οσφρητικές περιοχές επιτρέπουν στον άνθρωπο να διακρίνει οσμές καλύτερα από πολλά άλλα θηλαστικά, αν και έχει λιγότερα γονίδια οσφρητικών υποδοχέων [46].

Έχουν προταθεί διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις των βασικών οσμών, μεταξύ των οποίων και οι παρακάτω, που βασίζονται σε επτά βασικές οσμές, με παραδείγματα:

- Μόσχου – αρώματα/προϊόντα για μετά το ξύρισμα
- Σάπιου – χαλασμένα αβγά
- Διαπεραστικές – ζύδι
- Καμφοροειδείς – ναφθαλίνη
- Αιθέρια έλαια – υγρό ξηρού καθαρισμού
- Λουλουδάτες – τριαντάφυλλα
- Δυόσμου – τσίχλα μέντας

Αν και πρόσφατα έχει γίνει κάποια πρόοδος, η έννοια των βασικών οσμών αμφισβητείται. Η ικανότητα ταυτοποίησης των οσμών ποικίλλει μεταξύ των ατόμων και μειώνεται με την ηλικία. Κάποιες μελέτες εμφανίζουν ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των φύλων στη διάκριση των οσμών, με

τις γυναίκες συνήθως να υπερτερούν των ανδρών. Οι έγκυες γυναίκες έχουν επίσης αυξημένη ευαισθησία όσφρησης, με αποτέλεσμα μερικές φορές να έχουν ασυνήθιστες αντιλήψεις των γεύσεων και των οσμών, που οδηγούν σε έντονη επιθυμία ή απέχθεια προς τροφές. Τα προβλήματα στην όσφρηση αυξάνονται επίσης με την ηλικία, καθώς και μια επικράτηση προβλημάτων γεύσης (η αίσθηση της οσμής τείνει να επικρατεί της αίσθησης της γεύσης). Χρόνια προβλήματα οσμής αναφέρονται σε μικρούς αριθμούς για εικοσάρηδες, με σταθερή αύξηση και τη γενική ευαισθησία να αρχίζει να υποχωρεί τη δεύτερη δεκαετία της ζωής και να χειροτερεύει σημαντικά καθώς η ηλικία ξεπερνά τα 70 έτη.

Για τον καθορισμό της συγκέντρωσης της οσμής, χρησιμοποιείται μια δοκιμή με οσφρησιόμετρο, που χρησιμοποιεί ανθρώπινες μύτες ως ανιχνευτές. Στη διεργασία ελέγχου της οσφρησιομετρίας, ένα αραιωμένο οσμηρό μείγμα και ένα άοσμο αέριο (ως αναφορά) παρουσιάζεται ξεχωριστά από αντίστοιχες θύρες σε μια ομάδα ατόμων, που βρίσκονται σε μια ουδέτερη, από πλευράς οσμής, αίθουσα. Από τα άτομα αυτά ζητείται να συγκρίνουν τα εκπεμπόμενα αέρια από κάθε θύρα και στη συνέχεια τους ζητείται να αναφέρουν την παρουσία της οσμής μαζί με ένα επίπεδο βεβαιότητας όπως μαντεσιά, υποψία, ή βεβαιότητα της εκτίμησής τους. Έπειτα ο λόγος αερίου προς διαλύτη μειώνεται κατά έναν παράγοντα δύο (δηλαδή η χημική συγκέντρωση αυξάνεται κατά έναν παράγοντα δύο). Στη συνέχεια ζητείται από τα μέλη της ομάδας να επαναλάβουν την αξιολόγησή τους. Αυτό συνεχίζεται για έναν αριθμό επιπέδων αραιώσης. Οι απαντήσεις για το εύρος της διάλυσης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης της οσμής με όρους Ευρωπαϊκών Μονάδων Οσμής (European Odour Units ή ουE/m³). Το κύριο αέριο βαθμονόμησης που χρησιμοποιείται είναι η 1-βουτανόλη, που σε συγκεκριμένη διάλυση δίνει 1 ουE/m³. Οι αναλυτικές μέθοδοι μπορούν να διαιρεθούν σε φυσικές, αεριοχρωματογραφικές και την χημειοαισθητηριακή μέθοδο [46].

Η μέτρηση της οσμής είναι βασική για τη ρύθμιση της οσμής και τον έλεγχό της. Η εκπομπή της οσμής αποτελείται από ένα σύνθετο μείγμα πολλών οσμηρών ενώσεων. Η αναλυτική παρακολούθηση των μεμονωμένων χημικών ενώσεων που βρίσκονται σε μια τέτοια οσμή δεν είναι, συνήθως, πρακτική. Ως αποτέλεσμα, οι αισθητήριες μέθοδοι της οσμής χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση τέτοιων οσμών, αντί για τις μεθόδους με όργανα. Οι αισθητήριες μέθοδοι της οσμής είναι διαθέσιμες για την παρακολούθηση της οσμής και από τις εκπομπές της πηγής και από τον αέρα του περιβάλλοντος. Αυτές οι δύο διαφορετικές περιπτώσεις απαιτούν διαφορετικές προσεγγίσεις για τη μέτρηση της οσμής. Η συλλογή των δειγμάτων οσμής ολοκληρώνεται πιο εύκολα για μια πηγή εκπομπής παρά για μια οσμή στον περιβάλλοντα αέρα. Διαφορετικές όψεις της οσμής μπορούν να μετρηθούν μέσω ποσοτικών μεθόδων, όπως η εκτίμηση της συγκέντρωσης ή φαινομενική ένταση [46].

i) *Μέτρηση της συγκέντρωσης*

Η συγκέντρωση της οσμής είναι μια διεισδυτική ικανότητα της όσφρησης. Για να μετρηθεί, μία εξεταζόμενη οσμή διαλύεται μέχρι να φτάσει στο κατώφλι ανίχνευσης ή αναγνώρισης. Το κατώφλι ανίχνευσης είναι η συγκέντρωση μιας οσμής στον αέρα, όπου το 50% ενός πληθυσμού μπορεί να την ανιχνεύσει μεταξύ ενός οσμηρού δείγματος και ενός τυφλού άοσμου δείγματος αναφοράς. Το κατώφλι αναγνώρισης είναι η συγκέντρωση μιας οσμής στον αέρα, στην οποία το 50% ενός πληθυσμού μπορεί να διακρίνει μεταξύ ενός οσμηρού δείγματος και ενός τυφλού, άοσμου δείγματος αναφοράς. Το κατώφλι αναγνώρισης της οσμής είναι συνήθως ένας συντελεστής 2 με 5 φορές μεγαλύτερος από το κατώφλι ανίχνευσης. Η μέτρηση της συγκέντρωσης της οσμής είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για ποσοτικοποίηση των οσμών. Έχει προτυποποιηθεί στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (European Committee for Standardization - CEN EN 13725:2003). Η μέθοδος βασίζεται στη διάλυση ενός δείγματος οσμής στο κατώφλι οσμής (odor threshold) (το σημείο στο οποίο είναι ανιχνεύσιμο από το 50% των δοκιμαστών). Η αριθμητική τιμή της συγκέντρωσης της οσμής ισούται με τον συντελεστή διάλυσης που είναι απαραίτητος για να φτάσει το κατώφλι της οσμής. Η μονάδα της είναι η Ευρωπαϊκή Μονάδα Οσμής (European Odour Unit ή OUE). Συνεπώς, η συγκέντρωση της οσμής στο κατώφλι οσμής είναι 1 OUE εξ ορισμού. Το κατώφλι ανίχνευσης της οσμής των ανθρώπων είναι μεταβλητό. Η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε μια οσμηρή ουσία οδηγεί σε βελτιωμένη οσφρητική ευαισθησία και μειωμένα κατώφλια ανίχνευσης για κάποιες διαφορετικές οσμηρές ουσίες. Μελέτες έχουν δείξει ότι άτομα που δεν μπορούσαν καθόλου να ανιχνεύσουν την οσμή της ανδροστενόνης, ανέπτυξαν την ικανότητα ανίχνευσης της μετά από επανειλημμένη έκθεση σε αυτή. Οι άνθρωποι μπορούν να ξεχωρίσουν μεταξύ δύο οσμηρών ουσιών που διαφέρουν στη συγκέντρωση ακόμα και 7%. Εντούτοις, υπάρχουν ζητήματα που πρέπει να ξεπεραστούν αναφορικά με τη δειγματοληψία, όπως: Εάν η πηγή είναι σε κενό, εάν η πηγή είναι σε υψηλή θερμοκρασία, εάν η πηγή έχει υψηλή υγρασία κ.α. [46].

ii) *Ένταση*

Η ένταση της οσμής είναι η αντιληπτή ισχύς της αίσθησης της οσμής. Αυτή η ιδιότητα της έντασης χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της πηγής των οσμών και ίσως σχετίζεται πιο άμεσα με ενόχληση λόγω οσμής. Η αντιληπτή ισχύς της αίσθησης της οσμής μετράται σε συνδυασμό με τη συγκέντρωσή της. Αυτή μπορεί να τυποποιηθεί από τον νόμο των Βέμπερ-Φέχνερ (Weber-Fechner):

$$dB = 10 * \log \left(\frac{E_2}{E_1} \right) \quad (2.2)$$

Όπου:

I είναι η αντιληπτή ψυχολογική ένταση στο βήμα της διάλυσης στην κλίμακα της βουτανόλης,

a είναι ο συντελεστής Βέμπερ-Φέχνερ,

C είναι οι χημικές συγκεντρώσεις και

b είναι η σταθερά του σημείου τομής (0,5 εξ ορισμού)

Η ένταση της οσμής μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας μια κλίμακα έντασης της οσμής, που είναι μια λεκτική περιγραφή μιας αίσθησης της οσμής στην οποία αποδίδεται μια αριθμητική τιμή. Η ένταση της οσμής μπορεί να διαιρεθεί στις παρακάτω κατηγορίες σύμφωνα με την ένταση:

0 – άοσμη

1 – πολύ ασθενής (κατώφλι οσμής)

2 – ασθενής

3 – διακριτή

4 – ισχυρή

5 – πολύ ισχυρή

6 – αφόρητη

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται στο εργαστήριο και εκτελείται από μια σειρά από κατάλληλα εκπαιδευμένους δοκιμαστές.

Υπάρχουν όμως και άλλα, επιμέρους χαρακτηριστικά της όσφρησης τα οποία έχουν σημαντικό ρόλο στην διαδικασία αναγνώρισης, διάκρισης και κατηγοριοποίησης των οσμών όπως η εκτίμηση ηδονικού τόνου και ο χαρακτήρας μιας οσμής. Πιο συγκεκριμένα, η ηδονική εκτίμηση είναι η διεργασία κλιμάκωσης των οσμών σε μια κλίμακα που κυμαίνεται από πολύ δυσάρεστη, μέσω της ουδέτερης, μέχρι την πολύ ευχάριστη. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η ένταση και ο ηδονικός τόνος, αν και είναι παρόμοιοι, αναφέρονται σε διαφορετικά πράγματα. Δηλαδή, στην ισχύ της οσμής (ένταση) και στην τερπνότητα μιας οσμής (ηδονικός τόνος). Επιπλέον, πρέπει να τονιστεί ότι η αίσθηση μιας οσμής μπορεί να αλλάξει από ευχάριστη σε δυσάρεστη με την αύξηση της συγκέντρωσης, της έντασης, του χρόνου, της συχνότητας και την προηγούμενη εμπειρία με μια συγκεκριμένη ορμή· όλοι οι παράγοντες καθορίζουν μια απάντηση. Το γενικό σύνολο των ιδιοτήτων ορίζεται μερικές φορές -στα αγγλικά- ως «παράγοντες FIDOL», (συντόμευση για συχνότητα, ένταση, διάρκεια, προσβλητικότητα και θέση (*Frequency, Intensity, Duration, Offensiveness και Locasion*) [46].

Ο χαρακτήρας μιας οσμής είναι ένα κρίσιμο στοιχείο στην εκτίμηση μιας οσμής. Αυτή η ιδιότητα είναι η ικανότητα διάκρισης διαφορετικών οσμών και είναι μόνο περιγραφική. Πρώτα, χρησιμοποιείται μια βασική περιγραφή όπως γλυκιά, έντονη, δριμεία, ευωδιαστή, ζεστή, ξηρή, ή ξινή. Η οσμή αναφέρεται, έπειτα, σε μια πηγή όπως λύματα ή μήλο, που μπορεί να ακολουθείται από μια αναφορά σε μια συγκεκριμένη χημική ουσία όπως οξέα ή βενζίνη. Κατά κανόνα, χρησιμοποιείται ένα σύνολο από τυπικές περιγραφές που μπορεί να κυμαίνεται από εύοσμη μέχρι δύσοσμη οσμή. Αν και η μέθοδος είναι αρκετά απλοϊκή, είναι σημαντικό να κατανοηθούν οι παράγοντες FIDOL από το άτομο που καταγράφει τον χαρακτήρα της οσμής. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για τον καθορισμό του χαρακτήρα μιας οσμής που μπορεί στη συνέχεια να συγκριθεί με άλλες οσμές. Είναι

συνηθισμένο τα εργαστήρια οσφρησιομετρίας να αναφέρουν τον χαρακτήρα ως έναν πρόσθετο παράγοντα μετά την ανάλυση του δείγματος [46].

Το ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει χιλιάδες μυρωδιές με βάση πολύ μικρές αιωρούμενες συγκεντρώσεις μιας χημικής ουσίας. Η μελέτη των οσμών μπορεί επίσης να γίνει περίπλοκη λόγω της σύνθετης χημείας που λαμβάνει χώρα τη στιγμή της αίσθησης μιας οσμής. Η κατανόηση της λειτουργίας της όσφρησης είναι μια σύνθετη διεργασία που περιλαμβάνει το κεντρικό νευρικό σύστημα και μπορεί να προκαλέσει ψυχολογικές και φυσιολογικές αποκρίσεις. Επειδή το οσφρητικό σήμα τελειώνει μέσα ή κοντά στις αμυγδαλές οι οσμές συνδέονται έντονα με τις μνήμες και μπορούν να προκαλέσουν συναισθήματα. Οι αμυγδαλές συμμετέχουν στην ηδονική ή συναισθηματική διεργασία των οσφρητικών ερεθισμάτων. Οι οσμές μπορούν να διαταράξουν τη συγκέντρωση, να μειώσουν την παραγωγικότητα, να προκαλέσουν συμπτώματα και γενικά αυξάνουν τη δυσφορία για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Οι οσμές μπορούν να επηρεάσουν την επιθυμία για ένα πρόσωπο, τόπο, τροφή ή προϊόν ως μια μορφή εξάρτησης. Οι αναμνήσεις που ανακαλούνται από τις οσμές είναι περισσότερο συναισθηματικές και ζωντανές από αυτές που ανακαλούνται από το ίδιο ερέθισμα με οπτική ή ηχητική μορφή. Οι οσμές μπορεί να εξαρτηθούν από εμπειρικές καταστάσεις και όταν αργότερα εμφανιστούν να έχουν κατευθυντήριες επιδράσεις στη συμπεριφορά [46].

Οι ανθρώπινες σωματικές οσμές επηρεάζουν και τις διαπροσωπικές σχέσεις. Οι οσμές του ανθρώπινου σώματος εμπλέκονται σε προσαρμοστικές συμπεριφορές, όπως η γονική προσκόλληση στα βρέφη ή η επιλογή συντρόφου στους ενήλικες. Οι μητέρες μπορούν να διακρίνουν την οσμή του παιδιού τους και τα βρέφη αναγνωρίζουν και προτιμούν την οσμή του σώματος της μητέρας τους αντί κάποιας άλλης οσμής άλλης γυναίκας. Αυτή η μητρική οσμή φαίνεται ότι οδηγεί τα βρέφη προς τον μαστό και έχει επίσης μια καταπραυντική επίδραση. Η σωματική οσμή εμπλέκεται στην ανάπτυξη της σύνδεσης βρέφους-μητέρας και είναι βασική για την κοινωνική και συναισθηματική ανάπτυξη μεταφέροντας αισθήματα ασφάλειας.

Η καθυσύχασση που δημιουργείται από τις γονικές οσμές του σώματος μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη διεργασία σύνδεσης. Μελέτες έχουν προτείνει ότι οι άνθρωποι μπορεί να χρησιμοποιούν τις ενδείξεις οσμής συσχετισμένες με το ανοσοποιητικό σύστημα για την επιλογή συντρόφων. Η σωματική οσμή είναι μια κρίσιμη ένδειξη για την επιλογή συντρόφου, επειδή είναι ένα σήμα υγείας. Οι γυναίκες προτιμούν άντρες με γονότυπους μείζονος συμπλόκου ιστοσυμβατότητας (MHC) και διαφορετικής οσμής από τη δικιά τους ιδιαίτερα κατά την ωορρηξία. Τα διαφορετικά αλληλόμορφα MHC προτιμώνται, επειδή διαφορετικοί συνδυασμοί αλληλόμορφων μεγιστοποιούν την προστασία από νοσήματα και ελαχιστοποιούν τις υπολειπόμενες μεταλλάξεις στους απογόνους. Βιολογικά, τα θηλυκά τείνουν να επιλέγουν συντρόφους που είναι πολύ πιθανό να εξασφαλίσουν επιβίωση των απογόνων και συνεπώς αύξηση της πιθανότητας για την γενετική τους συνεισφορά να είναι αναπαραγωγικά βιώσιμη [46].

Μια οσμή μπορεί να δώσει το σήμα ανάκλησης μιας μακρινής θύμησης. Οι περισσότερες θύμησες που σχετίζονται με την οσμή προέρχονται από την πρώτη δεκαετία της ζωής, ενώ οι

λεκτικές και οπτικές θύμησες προέρχονται κυρίως μεταξύ 10 και 30 ετών. Οι θύμησες που ανακαλούν οσμές είναι περισσότερο συναισθηματικές, συσχετισμένες με πιο ισχυρά συναισθήματα μεταφοράς στο παρελθόν και έχουν θεωρηθεί ως λιγότερο συχνές, συγκρινόμενες με τις ανακαλούμενες μνήμες από άλλα ερεθίσματα. Η αίσθηση της οσμής παραβλέπεται συχνά ως τρόπος εμπορίας προϊόντων. Η σκόπιμη και ελεγχόμενη εφαρμογή της μυρωδιάς χρησιμοποιείται από τους σχεδιαστές, τους επιστήμονες, τους καλλιτέχνες, τους αρωματοποιούς, τους αρχιτέκτονες και τους μάγειρες. Κάποιες εφαρμογές των μυρωδιών εμφανίζονται σε περιβάλλοντα όπως καζίνο, ξενοδοχεία, ιδιωτικές λέσχες και αυτοκίνητα. Επί παραδείγματι, οι ιατροί στο Κέντρο Καρκίνου Sloan-Kettering στην πόλη της Νέας Υόρκης προσθέτουν έλαια με οσμή βανίλιας στον αέρα για να βοηθήσουν τους ασθενείς να ανταπεξέλθουν τις κλειστοφοβικές επιπτώσεις των εξετάσεων MRI ενώ συγκεκριμένες μυρωδιές χρησιμοποιούνται στον Οργανισμό Εμπορίου στο Σικάγο για να χαμηλώσουν το επίπεδο της ηχητικής όχλησης (Ντεσιμπέλ) [46].

2.5 Συσχέτιση ακοής και όσφρησης

Οι διαταραχές της όσφρησης και της γεύσης παρουσιάζουν συχνότητα η οποία υπερβαίνει το 1% του γενικού πληθυσμού σε ηλικίες κάτω των 65 ετών, ενώ σε άτομα άνω των 65 ετών το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο 50% περίπου. Σύμφωνα με στοιχεία της National Health Interview Survey (έρευνα της Υπηρεσίας Εθνικής Υγείας των Η.Π.Α), μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 42.000 νοικοκυριά (αντιστοιχούν περίπου 80.000 ενήλικα άτομα), το 1,4% του πληθυσμού της χώρας είχε διαταραχές της όσφρησης και 0,6% διαταραχές της γεύσης. Το 1,65% είχε συνδυασμό διαταραχής της γεύσης και της όσφρησης. Το 40% των ατόμων που συμμετείχαν στην έρευνα και παρουσίασε τις ανωτέρω διαταραχές ήταν άνω των 65 ετών. Η γεύση και η όσφρηση, γνωστές ως οι χημικές αισθήσεις, συνδέονται άμεσα και αλληλοεπηρεάζονται. Η όσφρηση συμμετέχει στη γεύση με την οπισθορινική όσφρηση και είναι αυτή που ελέγχεται με ενδοσκόπηση της ρινός σε διαταραχές γεύσης. Ως οπισθορινική όσφρηση χαρακτηρίζεται ο ερεθισμός του οσφρητικού επιθηλίου από οσμηγόνες ουσίες που απελευθερώνονται κατά τη μάσηση τροφών, οι οποίες προωθούνται στη μύτη μέσω του ρινοφάρυγγα από τις κινήσεις της υπερώας. Αφ' ενός, λοιπόν, η όσφρηση συμμετέχει στην αντίληψη των γευστικών ερεθισμάτων και αφ' ετέρου, ενδέχεται οι χαρακτηριζόμενες ως διαταραχές της γεύσης, να είναι στην πραγματικότητα διαταραχές της όσφρησης.

Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι οι διαταραχές της όσφρησης είναι πιο συχνές από τις διαταραχές της γεύσης. Η οσφρητική δυσλειτουργία οφείλεται κατά κύριο λόγο σε παθήσεις της ρινός και των ιγμορείων άντρων (30%), σε λοιμώξεις του ανώτερου αναπνευστικού (19%) ή είναι ιδιοπαθής. Άλλα λιγότερο συχνά αίτια, είναι η χρόνια λήψη φαρμάκων, το κάπνισμα, η έκθεση σε χημικές ουσίες όπως το ακρυλικό και κάποια μέταλλα, η ακτινοβολία για θεραπευτικούς σκοπούς και νευρολογικές νόσοι, όπως η νόσος του Parkinson και η νόσος Alzheimer. Από το συνολικό ποσοστό

των ατόμων που αναζητούν ιατρική υποστήριξη για διαταραχές στη γεύση τους, μόνο ένας μικρός αριθμός αυτών έχει μετρήσιμες αποκλίσεις στη γεύση με τις διάφορες δοκιμασίες. Επίσης, το σύστημα της γεύσης γενικότερα είναι πιο επιρρεπές σε τραυματισμούς σε σύγκριση με αυτό της όσφρησης. Η οπισθορινική όσφρηση συσχετίζεται με τη γεύση και σε επίπεδο απόλαυσης των τροφών (hedonics). Η τελευταία υφίσταται ως όρος από το 1932 και αναφέρεται στον «ψυχολογικό καθορισμό του μέτρου στο οποίο μια εμπειρία προκαλεί ευχαρίστηση». Η άμεση ευχάριστη εμπειρία από την κατανάλωση τροφής αλλά και η όρεξη που δημιουργεί, είναι παράγοντες που επηρεάζουν την αντίληψη της γεύσης συνολικά σε συνδυασμό με το άρωμα των τροφών, την αίσθηση της αφής στη στοματική κοιλότητα και την οπισθορινική όσφρηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ (MULTISENSORY INTEGRATION)

3.1 Ορισμός της Πολυαισθητηριακής Ολοκλήρωσης

Η πολυαισθητηριακή ολοκλήρωση, επίσης γνωστή ως «πολυτροπική ολοκλήρωση», είναι η μελέτη του πώς οι πληροφορίες από τις διάφορες αισθητηριακές μεθόδους (όπως η όραση, ο ήχος, η αφή, η μυρωδιά, η κίνηση και η γεύση) μπορούν να ενσωματωθούν από το νευρικό σύστημα. Μια συνεκτική αναπαράσταση αντικειμένων που συνδυάζει τρόπους επιτρέπει στους ανθρώπους να έχουν ουσιαστική αντιληπτική εμπειρία. Πράγματι, η πολυαισθητική ενσωμάτωση είναι κεντρική για την προσαρμοστική συμπεριφορά, διότι επιτρέπει στον άνθρωπο να αντιλαμβάνεται έναν κόσμο συνεκτικών αντιληπτικών οντοτήτων. Η ενοποίηση πολλαπλών αισθητήρων ασχολείται επίσης με το πώς αλληλεπιδρούν οι διαφορετικοί αισθητηριακοί τρόποι μεταξύ τους και μεταβάλλουν την επεξεργασία του άλλου. Ουσιαστικά, η πολυαισθητική προσάρτηση είναι ο τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι σχηματίζουν συνεκτική, έγκυρη και ισχυρή αντίληψη με την επεξεργασία αισθητηριακών ερεθισμάτων από διάφορες μεθόδους. Περιτριγυρισμένος από πολλαπλά αντικείμενα και λαμβάνοντας πολλαπλά αισθητήρια ερεθίσματα, ο εγκέφαλος αντιμετωπίζει την απόφαση να κατηγοριοποιήσει τα ερεθίσματα που προκύπτουν από διαφορετικά αντικείμενα ή γεγονότα στον φυσικό κόσμο. Το νευρικό σύστημα είναι επομένως υπεύθυνο για το εάν θα ενσωματώσει ή θα διαχωρίσει συγκεκριμένες ομάδες αισθητηριακών σημάτων χρονικής σύμπτωσης βάσει του βαθμού χωρικής και δομικής συνάφειας αυτών των διεγέρσεων. Η πολυτροπική αντίληψη έχει μελετηθεί ευρέως στη γνωστική επιστήμη, στη συμπεριφορική επιστήμη και στη νευροεπιστήμη. Η ικανότητα χρήσης ερεθισμάτων από πολλές αισθήσεις είναι μια θεμελιώδης πτυχή της λειτουργίας του εγκεφάλου. Μεγιστοποιεί τη χρήση των πληροφοριών που διαθέτει ο εγκέφαλος ανά πάσα στιγμή και ενισχύει τη φυσιολογική παρουσία εξωτερικών συμβάντων. Επειδή κάθε αίσθηση μεταδίδει μια μοναδική προοπτική του εξωτερικού κόσμου, η σύνθεση πληροφοριών από όλες τις αισθήσεις παρέχει υπολογιστικά οφέλη που διαφορετικά δεν μπορούν να επιτευχθούν. Η ενοποίηση πολλαπλών αισθητήριων ερεθισμάτων όχι μόνο έχει σημαντική αξία για την ίδια την επιβίωση του ατόμου, αλλά μπορεί επίσης να δημιουργήσει μοναδικές εμπειρίες που προκύπτουν όταν τα σήματα από διαφορετικά αισθητήρια κανάλια συνδέονται μεταξύ τους [47].

Ωστόσο, οι νευρώνες στον εγκέφαλο ενός νεογέννητου δεν είναι ικανοί για πολυαισθητική ενσωμάτωση και μελέτες στο μεσαίο εγκέφαλο έχουν δείξει ότι η ανάπτυξη αυτής της διαδικασίας δεν είναι προκαθορισμένη. Αντίθετα, η εμφάνισή του και η ωρίμανσή του εξαρτώνται σημαντικά από

τις διατροφικές εμπειρίες που μεταβάλλουν το υποκείμενο νευρικό κύκλωμα με τέτοιο τρόπο που βελτιστοποιεί τις πολυαισθητικές ενσωματωτικές δυνατότητες για το περιβάλλον στο οποίο θα λειτουργεί ο οργανισμός [47].

Το περιβάλλον είναι γεμάτο με γεγονότα που εκπέμπουν πολλούς τύπους ενέργειας (για παράδειγμα, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κύματα πίεσης), αλλά όλα μπορούν να περιέχουν πληροφορίες για τρόφιμα, καταφύγια, συντρόφους ή / και κινδύνους. Ακόμη και μικρές βελτιώσεις στην ικανότητα ανίχνευσης τέτοιων σημάτων και αξιολόγησης αυτών των βιολογικά σημαντικών γεγονότων μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην επιβίωση ενός είδους. Έτσι, είναι ατελείωτα συναρπαστικό να εικάζεται πώς οι επιλεκτικές πιέσεις ώθησαν την εξέλιξη και τη συγκέντρωση διαφορετικών αισθητηριακών συστημάτων που μεγιστοποιούν τη συλλογή πληροφοριών μέσα σε διαφορετικές οικολογικές θέσεις [48].

Κάθε ένα από τα αισθητήρια συστήματα ενός οργανισμού είναι συντονισμένο σε μια διαφορετική μορφή ενέργειας και μπορούν να αντισταθμίσουν το ένα το άλλο όταν είναι απαραίτητο, όπως όταν η ακοή και η αφή αντισταθμίζουν την όραση υπό συνθήκες σε σκοτάδι. Δεδομένης της ποικιλίας των πιθανών οικολογικών θέσεων, ίσως δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η εξέλιξη έχει δημιουργήσει οργανισμούς με ευρέως αποκλίνουσες εμφανίσεις, αισθήσεις και αισθητηριακές δυνατότητες. Ωστόσο, ανεξάρτητα από το πόσο εξωτικές αυτές οι παραλλαγές μπορεί να φαίνονται, μοιράζονται μια κοινή καινοτομία, μια που πιθανότατα συντηρούσε ο μονοκύτταρος πρόγονος μας: η ικανότητα να χρησιμοποιούν τις αισθήσεις τους συνεργατικά (Stein [48]).

Τα βιολογικά σημαντικά γεγονότα καταγράφονται συχνά με περισσότερες από μία έννοιες. Επειδή κάθε αίσθηση προέρχεται ανεξάρτητα και μεταδίδει μια αναφορά του συμβάντος, μπορούν να γίνουν ακριβέστερες αντιληπτικές αξιολογήσεις του συμβάντος και συμπεριφορικές αποφάσεις μέσω της σύνθεσης των διαφορετικών αισθητήριων σημάτων τους [47].

Αυτή η διαδικασία, που ονομάζεται πολυαισθητική ολοκλήρωση, αυξάνει τη συλλογική επίδραση βιολογικά σημαντικών σημάτων στον εγκέφαλο και επιτρέπει στον οργανισμό να επιτύχει ικανότητες απόδοσης που διαφορετικά δεν θα μπορούσε να συνειδητοποιήσει. Κατά συνέπεια, η πολυαισθητική ενσωμάτωση έχει τεράστια αξία επιβίωσης και έχει αναμφίβολα διαδραματίσει πολύ σημαντικότερο ρόλο στις εξελικτικές ιστορίες των υφιστάμενων ειδών από ό, τι αναγνωρίζεται σήμερα. Είναι επίσης μια πανταχού παρούσα διαδικασία που επηρεάζει βαθιά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο και τις αποφάσεις που λαμβάνουμε για να ανταποκριθούμε καλύτερα στις προκλήσεις του [47].

Ωστόσο, σχεδόν πάντα δεν γνωρίζουμε αυτήν τη διαδικασία. Τις περισσότερες φορές, οι κρίσεις που πιστεύουμε ότι λαμβάνουμε βάσει πληροφοριών από μία έννοια, όπως η όραση, επηρεάζονται έντονα από φαινομενικά άσχετα αλλά πληροφοριακά στοιχεία από άλλες αισθήσεις όπως η ακοή και η αφή. Οι αισθητηριακές κρίσεις σπάνια είναι αποκλειστικές σε μία αίσθηση επειδή πολλά αισθητήρια κανάλια συγκλίνουν και μοιράζονται τη χρήση των νευρικών διαδικασιών που μεσολαβούν στην αντίληψη και τη δράση. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι το ενδιαφέρον για

τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της πολυαισθητηριακής ολοκλήρωσης έχει γίνει τόσο διαδεδομένο [47].

Ο τρόπος με τον οποίο ένα αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα δημιουργεί αυτήν την ικανότητα να χρησιμοποιούν τις αισθήσεις αλληλεπιδραστικά είναι ακόμη λιγότερο καλά κατανοητό από τους διάφορους λειτουργικούς τομείς στους οποίους τελικά θα εκφραστεί. Αν και μελέτες συμπεριφοράς έχουν δείξει ότι τα νεογνά μπορούν να ανιχνεύσουν ορισμένες διατροφικές αντιστοιχίες πολύ νωρίς στη ζωή, οι φυσιολογικές μελέτες δείχνουν ότι η ικανότητα ενσωμάτωσης πληροφοριών στις αισθήσεις δεν είναι εγγενές χαρακτηριστικό του εγκεφάλου του νεογέννητου. [49].

Αντίθετα, όπως συζητείται λεπτομερώς εδώ, χρησιμοποιώντας πληροφορίες που προέρχονται από αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οπτικών, ακουστικών και σωματοαισθητηριακών συστημάτων, αυτή η ικανότητα αναπτύσσεται με τρόπο που εξαρτάται από την εμπειρία κατά την πρώιμη μεταγεννητική ζωή. Κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος, οι λειτουργικές παράμετροι της πολυαισθητηριακής ολοκλήρωσης προσαρμόζονται στα χαρακτηριστικά του τοπικού περιβάλλοντος. Δηλαδή, οι κανόνες πολυαισθητηριακής επεξεργασίας διαμορφώνονται ώστε να επεξεργάζονται αποτελεσματικά τις σχέσεις διατροφικού σήματος που συναντά ο οργανισμός [50].

Αυτή η προσαρμογή συμβαίνει παράλληλα με την ωρίμανση των συνεισφέροντων μη αισθητηριακών συστημάτων. Ωστόσο, η πολυαισθητική ανάπτυξη δεν απαιτεί ότι κάθε ατομική αίσθηση φτάνει στο τελικό σημείο της ωριμότητας και η λειτουργική ανάπτυξη της ατομικής αίσθησης δεν απαιτεί την αλληλεπίδρασή της με μια άλλη. Αντίθετα, η ανάπτυξη πολλαπλών αισθητήρων και η ανεπιθύμητη ανάπτυξη είναι αλληλένδετες αλλά παράλληλες διαδικασίες που, στο επίπεδο του κυκλώματος, έχουν συχνά διαφορετικούς υπολογιστικούς στόχους και περιορισμούς. Μπορεί να μην είναι καν κατάλληλο να θεωρήσουμε την «αίσθηση» πολλαπλών αισθητήρων ως αυστηρά διαδικασία πρώιμης [50].

Η πολυαισθητική προσάρτηση αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία οι είσοδοι από δύο ή περισσότερες αισθήσεις συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα προϊόν που διακρίνεται από, και έτσι δεν μπορεί εύκολα να «αποικοδομηθεί» για την ανασύσταση των συστατικών από τα οποία δημιουργείται. Είτε εξετάζονται νευρικά σήματα είτε συμπεριφορική απόδοση, αυτό ορίζεται λειτουργικά ως στατιστική σημαντική διαφορά μεταξύ της απόκρισης που προκαλείται από έναν διατροφικό συνδυασμό ερεθισμάτων και αυτής που προκαλείται από τα πιο αποτελεσματικά από τα συστατικά του ξεχωριστά. Όσον αφορά τη φυσιολογία του μονό-νευρώνα, αυτή η σύγκριση γίνεται μεταξύ του συνολικού αριθμού των παλμών ή των ποσοστών πυροδότησης που προκαλούνται από ερεθίσματα και τους συνδυασμούς τους [51].

Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση της απόκρισης ή μείωση της απόκρισης. Αυτές οι φυσιολογικές αλλαγές προκαλούν μεταβολές στην αίσθηση και την αντίληψη, καθώς και τις συμπεριφορές που εξαρτώνται από αυτές. Η βελτίωση πολλαπλών αισθητήρων, η οποία είναι ο πιο αξιόπιστος δείκτης ολοκλήρωσης πολλαπλών αισθητήρων (και θα συζητηθεί εκτενέστερα εδώ) μπορεί να αντικατοπτρίζει υπολογισμούς που αποδίδουν μεγέθη απόκρισης που είναι ίσο, μικρότερο

ή μεγαλύτερο από το άθροισμα των αποκρίσεων στα μεμονωμένα συστατικά ερεθίσματα [52]. Στη συμπεριφορά, οι βελτιώσεις απόδοσης ποσοτικοποιούνται συχνά αξιολογώντας τις διαφορές στην ακρίβεια και την ταχύτητα αντίχενυσης, εντοπισμού ή / και ταυτοποίησης των ερεθισμάτων [51].

Εν ολίγοις, η πολυαισθητική ολοκλήρωση αναφέρεται σε μια ευρεία κατηγορία υπολογισμών που περιλαμβάνει πολλαπλούς αισθητηριακούς τρόπους, στους οποίους οι πληροφορίες ενσωματώνονται για να παράγουν μια βελτιωμένη (ή υποβαθμισμένη) απόκριση. Άλλοι υπολογισμοί που περιλαμβάνουν πολυαισθητηριακή επεξεργασία, όπως η σύγκριση των χαρακτηριστικών ενός ερεθίσματος (για παράδειγμα, το σχήμα του) μεταξύ των τρόπων, ή η αντίχενυση ορισμένων διατροφικών αντιστοιχιών σε χρονισμό ή ρυθμό, απαιτούν από τους συγκριτές να διατηρήσουν την ταυτότητά τους αντί να συγχωνευτούν σε ένα μόνο προϊόν. Κατά συνέπεια, πιθανότατα θα έχουν διαφορετικούς, αν και επί του παρόντος άγνωστους, υποκείμενους μηχανισμούς και χρονοδιαγράμματα ανάπτυξης [53].

Στη δεκαετία του 1970 άρχισαν οι συστηματικές προσπάθειες να κατανοήσουν τα υποκείμενα νευρικά κυκλώματα μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η πολυαισθητική ολοκλήρωση, οι εκδηλώσεις συμπεριφοράς που αντικατοπτρίζουν τη λειτουργία της και πώς αυτή η ικανότητα καθιερώνεται σε μεμονωμένους νευρώνες κατά την πρώιμη ζωή. Αυτές οι μελέτες χρησιμοποίησαν τον πολυαισθητηριακό νευρώνα ως μοντέλο. Από τότε, οι πολυαισθητικοί νευρώνες έχουν εντοπιστεί σε πολλές περιοχές και είδη εγκεφάλου. [54].

Οι νευρώνες στα βαθιά στρώματα του ανώτερου κολικού είναι πρωταρχικές θέσεις πολυαισθητηριακής σύγκλισης (οι νευρώνες σε υπερκείμενα επιφανειακά στρώματα είναι καθαρά οπτικοί), παρέχοντας έτσι την ευκαιρία να αποκτηθεί εικόνα σχετικά με τις απαιτήσεις και τις αρχικές διαδικασίες που εμπλέκονται στην ολοκλήρωση των διατροφικών εισόδων. Ότι προκύπτει, κοινοποιείται σε άλλες περιοχές του εγκεφάλου [28].

Καθώς υπάρχει συγκριτικά υψηλή συχνότητα πολυαισθητηριακών νευρώνων, οι ειδικοί στοχεύουν και εκτελούν ηλεκτροφυσιολογικά πειράματα και καθώς οι περισσότεροι από αυτούς είναι επίσης νευρώνες εξόδου που προβάλλονται σε κινητικές περιοχές του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού, είναι δυνατόν να αξιολογηθούν ιδιότητες στο πλαίσιο της επιρροής τους στην εμφανή συμπεριφορά. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι δυνατότητες επεξεργασίας των ανώτερων νευρώνων κατά τη γέννηση είναι ανώριμες, η ανάπτυξή τους μπορεί να παρακολουθηθεί κατά τη μεταγεννητική ζωή, όταν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την τελική λειτουργική τους ικανότητα μπορούν να χειριστούν πειραματικά [55].

Η γενική λειτουργική ανάπτυξη του εγκεφάλου, αντικατοπτρίζει μια αρχιτεκτονική που διευκολύνει την αποτελεσματική αισθητηριακή μεταγωγή. Κάθε μία από τις τρεις αισθητήριες αναπαραστάσεις για την όραση, την ακοή και το άγγιγμα (δηλαδή, οπτική, ακουστική και σωματοαισθητηριακή) πολλές φορές αναπτύσσονται έτσι ώστε να αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ τους, δημιουργώντας «αισθητηριακούς χάρτες» [50].

Οι διαφορετικοί «αισθητηριακοί χάρτες» αποτελούνται, σε μεγάλο βαθμό, από πολυαισθητηριακούς νευρώνες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι «αισθητηριακοί χάρτες», με τη σειρά τους, αλληλεπικαλύπτονται με έναν «κοινό αισθητηριακό χάρτη», ο οποίος περιλαμβάνει επίσης πολλούς από τους ίδιους πολυαισθητικούς νευρώνες και μέσω των οποίων μπορεί να ξεκινήσει ο προσανατολισμός των ματιών, των αυτιών, του κεφαλιού και των άκρων. Μέσω αυτού του απλού σχεδιασμού, ένα έντονο περιβαλλοντικό γεγονός διεγείρει μια εντοπισμένη περιοχή του χάρτη (ή χαρτών) για να καταχωρίσει μια κατάλληλη αισθητηριακή αναφορά και να ξεκινήσει μια συντονισμένη εμφανή απόκριση ανεξάρτητα από το ποια αίσθηση ή συνδυασμός αισθήσεων ενεργοποιήθηκε [48].

Τα ανωτέρω συνάδουν με το τεκμήριο «οφέλους» της πολυαισθητηριακής ολοκλήρωσης σε αυτό το πλαίσιο: βελτίωση της ικανότητας ανίχνευσης ενός εξωτερικού συμβάντος, εντοπισμός του στο διάστημα και χρήση του ως στόχου για μια ανώτερη απόκριση προσανατολισμού. Η ενίσχυση του αντίκτυπου του εναρκτήριου συμβάντος μέσω της πολυαισθητηριακής ολοκλήρωσης, αυξάνει την πιθανότητα ότι θα δημιουργηθεί μια ανώτερη απόκριση. Αντίθετα, τα διατροφικά ερεθίσματα που είναι διαφορετικά είναι πιθανότερο να ανήκουν σε άσχετα ή ανταγωνιστικά γεγονότα και είτε θα αποτύχουν να αλληλοεπιδράσουν είτε θα αλληλοεπιδράσουν ανταγωνιστικά. Η επεξεργασία και η βελτίωση αυτού του πλαισίου εξαρτώνται από διάφορους μεταγεννητικούς παράγοντες [56].

3.1.1 Γενικές έρευνες Πολυαισθητηριακής Ολοκλήρωσης

Αποτελεί αναμφισβήτητο γεγονός ότι η πολυαισθητική έρευνα απέκτησε πρόσφατα τεράστιο ενδιαφέρον και δημοτικότητα. Μελέτες της αισθητηριακής επεξεργασίας σε ανθρώπους αλλά και σε ζώα έχουν παραδοσιακά διεξαχθεί ανά μια αίσθηση κάθε φορά, και μέχρι σήμερα, πολλές έρευνες περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό στην εξέταση των αισθητηριακών τρόπων ξεχωριστά [47]. Ωστόσο, υπάρχει επίσης μια μακρά και παράλληλη ιστορία πολυαισθητηριακής έρευνας. Ένα παράδειγμα είναι τα πειράματα του Stratton (1896) σχετικά με τις σωματοαισθητηριακές επιδράσεις της χρήσης γυαλιών πρισμάτων που προκαλούν παραμόρφωση της όρασης. Πολυαισθητηριακές αλληλεπιδράσεις ή διατροφικές επιδράσεις στις οποίες η αντίληψη ενός ερεθίσματος επηρεάζεται από την παρουσία ενός άλλου τύπου ερεθίσματος αναφέρονται από πολύ νωρίς στο παρελθόν. Αναθεωρήθηκαν από τον Hartmann σε ένα θεμελιώδες βιβλίο όπου, μεταξύ πολλών αναφορών σε διαφορετικούς τύπους αλληλεπιδράσεων πολυσήμανσης, γίνεται αναφορά στο έργο του Urbantschitsch, το 1888 που ανέφερε τη βελτίωση της οπτικής οξύτητας από ακουστικά ερεθίσματα σε υποκείμενα με κατεστραμμένο εγκέφαλο. Αυτό το φαινόμενο επίσης ανακαλύφθηκε από τους Krakon και Hartmann, καθώς ισχύει και το γεγονός ότι η οπτική οξύτητα θα μπορούσε να βελτιωθεί από άλλους τύπους ερεθισμάτων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ο όγκος των εργασιών στις αρχές της δεκαετίας του τριάντα σχετικά με τις ενδιάμεσες σχέσεις στη Σοβιετική Ένωση, που εξετάστηκαν από το Λονδίνο. Μια αξιοσημείωτη πολυαισθητική έρευνα είναι το εκτεταμένο έργο του Gonzalo

στη δεκαετία του '40 σχετικά με τον χαρακτηρισμό ενός συνδρόμου πολυαισθητήρα σε ασθενείς με παρητο-ινιακές φλοιώδεις βλάβες. Σε αυτό το σύνδρομο, επηρεάζονται όλες οι αισθητηριακές λειτουργίες και με συμμετρική διμερότητα, παρά το ότι είναι μια μονομερής βλάβη όπου δεν εμπλέκονταν οι πρωτογενείς περιοχές. Ένα χαρακτηριστικό αυτού του συνδρόμου είναι η μεγάλη διαπερατότητα στα διατροφικά αποτελέσματα μεταξύ οπτικών, απτών, ακουστικών ερεθισμάτων καθώς και μυϊκής προσπάθειας για βελτίωση της αντίληψης, μειώνοντας επίσης τους χρόνους αντίδρασης.

3.1.2 Πολυαισθητηριακή Ολοκλήρωση & Ήχος

Η δημιουργία μιας ενοποιημένης αισθητηριακής αντίληψης απαιτεί την ενσωμάτωση πληροφοριών από διαφορετικές αισθητηριακές μεθόδους. Αυτή η διαδικασία θεωρείται παραδοσιακά ότι συμβαίνει σε δύο διακριτές φάσεις στον εγκέφαλο. Πρώτον, τα μη αισθητικά σήματα υποβάλλονται σε επεξεργασία μέσω ειδικών νευρικών οδών, οι οποίες θεωρείται ότι είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητες. Δεύτερον, αφού έχουν πραγματοποιηθεί υπολογισμοί ειδικοί για την τροποποίηση, οι αισθητηριακές πληροφορίες συνδυάζονται και ενσωματώνονται σε ορισμένες περιοχές συσχέτισης ανώτερης τάξης που εφαρμόζουν διαφορετικές πτυχές της αντιληπτικής ικανότητας [57].

Κλασικές πολυαισθητηριακές περιοχές υπάρχουν στους μετωπικούς, βρεγματικούς και κροταφικούς λοβούς του εγκέφαλου, όπου οι λειτουργίες τους πιστεύεται ότι κυμαίνονται από τη σύνδεση πολλαπλών αισθητηριακών σημάτων με την εκτέλεση συγκεκριμένων κινητικών ενεργειών στη συγχώνευση της επικοινωνίας μέσω σημάτων που παρέχονται από το οπτικό και ακουστικό κέντρο [57].

Αυτά τα αισθητήρια μονοπάτια οργανώνονται με τέτοιο τρόπο, προερχόμενα από διαφορετικές πηγές (φως, ήχος) που πρέπει να ανιχνευθούν. Αυτό απαιτεί χρήση του εξειδικευμένου μηχανισμού μεταγωγής για τη μετατροπή κάθε μορφής ενέργειας σε νευρωνική δραστηριότητα και επιβάλλει περιορισμούς στα συναφή νευρικά κυκλώματα προκειμένου να ξεπεραστούν οι διαφορές μεταξύ κάθε αισθητηριακής μορφής, όπως η έλλειψη χωρικών πληροφοριών στο κοχλία ή τις διαφορετικές χρονικές δυναμικές της οπτικής και ακουστικής επεξεργασίας. Ωστόσο, συχνά συμβαίνει να μπορεί να εντοπιστεί ένα αντικείμενο, όπως ένα γνωστό άτομο που μιλά, χρησιμοποιώντας περισσότερες από μία από τις αισθήσεις. Αυτή η πολυαισθητική αντίληψη είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την αντιληπτική σταθερότητα. Η αισθητηριακή επεξεργασία συμβαίνει συνήθως σε πολυαισθητηριακό περιβάλλον και η ταυτόχρονη διαθεσιμότητα πληροφοριών σε διαφορετικές μεθόδους έχει βαθιές επιπτώσεις στην αντίληψη και τη συμπεριφορά [57].

Ένα καλό παράδειγμα αυτού παρέχεται από την αντίληψη του λόγου. Αν θέλουμε να καταλάβουμε τη βάση αυτής της ζωτικής ικανότητας, είναι απαραίτητο να εξεταστεί όχι μόνο ο

τρόπος με τον οποίο εγκέφαλος ανταποκρίνεται σε ακουστικές πληροφορίες αλλά και στις κινητικές πτυχές της παραγωγής ομιλίας, δηλαδή στις στοματικές κινήσεις κατά τη διάρκεια της παραγωγής λόγου [58].

Πράγματι, είναι μια γενική ιδιότητα των αισθητηριακών συστημάτων ότι η διαθεσιμότητα των συγγενών πολυαισθητηριακών ενδείξεων μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερες αποκρίσεις καθώς και βελτιώσεις στην ικανότητα εντοπισμού, διάκρισης ή εντοπισμού ερεθισμάτων [59].

Στην περίπτωση του ακουστικού φλοιού, υπάρχουν σημαντικά στοιχεία για διαμορφωτικές επιδράσεις των μη ακουστικών εισόδων στις αποκρίσεις στον ήχο. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις έχει βρεθεί ότι είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες σε πειράματα λειτουργικής απεικόνισης, τα οποία δείχνουν επίσης ότι μόνο τα οπτικά στοιχεία μπορούν να ενεργοποιήσουν ορισμένα μέρη του ακουστικού φλοιού σε ανθρώπους [60], [61] και μη ανθρώπινα πρωτεύοντα [62].

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί με τη χρήση ηλεκτροφυσιολογικών μετρήσεων, με καταγραφές πιθανών τοπικών πεδίων για την ευρεία επίδραση οπτικών ή σωματοαισθητικών ερεθισμάτων στις αντιδράσεις που προκαλούνται από τον ήχο τόσο σε πρωτογενείς όσο και σε δευτερογενείς περιοχές του ακουστικού φλοιού [63]. Η πολυαισθητική σύγκλιση στον ακουστικό φλοιό φαίνεται να είναι πιο περιορισμένη και δεν είναι σαφές ποιες λειτουργίες αυξάνουν τις αποκρίσεις σε μη ακουστικά ερεθίσματα στον ακουστικό φλοιό [59].

Αν και οι λειτουργίες στις οποίες ο ακουστικός φλοιός διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, συμπεριλαμβανομένης της αντίληψης του λόγου και του εντοπισμού του ήχου, μπορούν να ενισχυθούν από τη διαθεσιμότητα άλλων αισθητηριακών συνθηκών, οι ακουστικοί νευρώνες του φλοιού του εγκεφάλου συχνά εμφανίζουν διατροφική καταστολή. Έτσι, η απόκριση στο πρωτογενές ακουστικό ερέθισμα μειώνεται συχνά όταν συνδυάζεται με οπτικά ή σωματοαισθητικά ερεθίσματα [64].

Κατά την εξέταση του δυναμικού ρόλου των πολυαισθητηριακών αλληλεπιδράσεων στον ακουστικό φλοιό, είναι σημαντικό να εξεταστεί η προέλευση των μη ελεγκτικών εισόδων καθώς και το σημείο εισόδου τους στο ακουστικό μονοπάτι. Αυτό μπορεί να δώσει πληροφορίες για τον τύπο των σχετικών με τα ερεθίσματα πληροφοριών που μεταφέρουν αυτές οι είσοδοι, όπως και το βαθμό στον οποίο έχουν ήδη υποβληθεί σε επεξεργασία και ενσωμάτωση τη στιγμή που φτάνουν στο φλοιό, τα παρεχόμενα [59].

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η αντίληψη του λόγου μπορεί να επηρεαστεί βαθιά από τις αλλαγές της έκφρασης στο πρόσωπο του ομιλητή [65]. Αυτές οι οπτικές επιδράσεις έχουν μετρηθεί σε διαφορετικές ακουστικές περιοχές του φλοιού του εγκεφάλου. Τα στοιχεία άρθρωσης καθιστούν απίθανο ο ακουστικός φλοιός να λάβει αυτές τις πληροφορίες απευθείας από τους πρώιμους οπτικούς φλοιούς. Οι ακουστικές ιδιότητες του ήχου δεν επαρκούν για να γίνουν κατανοητές σχετικά με τον τρόπο που η δραστηριότητα στο κεντρικό ακουστικό μονοπάτι, και ο φλοιός ειδικότερα, υποστηρίζουν την αντίληψη και τη συμπεριφορά. Επειδή χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο νατουραλιστικές συνθήκες για τη μελέτη της ακουστικής επεξεργασίας, δίνεται μεγαλύτερη προσοχή

στην αλληλεπίδραση μεταξύ των αισθήσεων. Είναι πλέον γνωστό ότι οι πολυαισθητηριακές αλληλεπιδράσεις αποτελούν «ιδιοκτησία» πολλών νευρώνων στο ακουστικό μονοπάτι, όπως και για άλλα αισθητήρια συστήματα. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις συνήθως λαμβάνουν τη μορφή διαμόρφωσης της ακουστικής δραστηριότητας, με άλλες αισθητηριακές εισόδους, παρέχοντας συνθηματικές ενδείξεις που σηματοδοτούν την παρουσία ενός επερχόμενου ήχου διευκολύνοντας την ακρόαση [59].

Επιπλέον, δεδομένου ότι οι πολυαισθητικές αλληλεπιδράσεις είναι τόσο διαδεδομένες στον εγκέφαλο, παραμένει να ερευνηθούν συγκεκριμένα νευρωνικά κυκλώματα που διέπουν μια συγκεκριμένη συμπεριφορά. Πράγματι, γίνεται όλο και πιο ξεκάθαρο ότι υπάρχουν πολλά νευρωνικά κυκλώματα για τη μεσολάβηση της επιρροής του ενός τρόπου στον άλλο [66].

Τα αποτελέσματα της πολυαισθητικής επεξεργασίας στην αντίληψη του ήχου είναι ακόμα υπό διερεύνηση. Καθώς πλέον γίνονται γνωστά περισσότερα στοιχεία και πληροφορίες για περιοχές του εγκεφάλου και τύπους κυττάρων που μεσολαβούν σε πολυαισθητηριακές αλληλεπιδράσεις, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν νέα πρότυπα συμπεριφοράς για να διερευνηθεί ο ρόλος τους στη συγχώνευση διαφορετικών αισθητήριων ερεθισμάτων και την επίλυση των συγκρούσεων που προκαλούνται μεταξύ τους [66].

Αυτό θα επιτρέψει περαιτέρω αξιολόγηση του ρόλου του ήχου στην πολυαισθητηριακή επεξεργασία, καθώς και σε διερεύνηση του ρόλου της αισθητηριακής εμπειρίας στη διαμόρφωση των συνδέσεων και της απόκρισης των νευρώνων στον ακουστικό φλοιό και αλλού στον εγκέφαλο καθώς και την ενσωμάτωση άλλων αισθητηριακών εισόδων που σχετίζονται με ήχους [66].

3.2 Ήχος & Γεύση

Η σχέση μεταξύ ήχου και γεύσης είναι και αυτή εξαιρετικά ενδιαφέρουσα μιας και διάφορες έρευνες έχουν καταδείξει ότι η αίσθηση της γεύσης μιας τροφής, επηρεάζεται από τους ήχους που ο εγκέφαλος «καταγράφει» και επεξεργάζεται κατά την διάρκεια της πρόσληψης τροφής. Όταν τρώμε, η γεύση δεν είναι το μόνο πράγμα που κάνει το φαγητό απολαυστικό. Η οπτική παρουσίαση και η οσμή είναι επίσης δύο ζωτικής σημασίας στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη από όλους τους σεφ. Αλλά τώρα φαίνεται ότι υπάρχει κάτι επιπλέον: η επίδραση των ήχων στη γεύση των φαγητών. Το φαγητό ως διαδικασία εμπλέκει όλες τις αισθήσεις, ακόμη και την ακοή. Όμως ο ήχος μπορεί να βελτιώσει το γεύμα. Οι επιστήμονες έχουν διαπιστώσει ότι ο τρόπος που τα τρόφιμα ηχούν έχει τεράστια επίδραση στο πόσο είναι αυτά είναι αρεστά. Για παράδειγμα, η επιλογή της μουσικής υπόκρουσης στα εστιατόρια, την οποία συχνά χρησιμοποιούν για να βελτιώσουν την ατμόσφαιρα, καθώς είναι γνωστό ότι η ατμόσφαιρα θα μπορούσε να επηρεάσει και τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τη γεύση. Η έκθεση σε διαφορετική ένταση και μορφές μουσικής μπορεί να αλλάξει την ένταση των γλυκών και αλμυρών τροφίμων. Οι επιστήμονες ονομάζουν «συναίσθησια» την έννοια της μίας αίσθησης που επηρεάζει την άλλη, τη νευρολογική ανάμιξη δηλαδή των

αισθήσεων. Όταν σε ένα εστιατόριο, η μουσική είναι δυνατή και ενοχλητική, ή απαλή και ατμοσφαιρική συντρέχουν συγκεκριμένοι λόγοι. Πολλά εστιατόρια παίζουν γρήγορη μουσική σε μεγάλη ένταση για να αυξήσουν τον ρυθμό που «αλλάζουν» τα τραπέζια και, ενώ η χρήση της δυνατής μουσικής μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη αυτού του στόχου, μπορεί επίσης να καταλήξει στην καταστολή της ικανότητας των ανθρώπων να γευτούν πραγματικά τα φαγητά. Η μελέτη έχει μετρήσει την επίδραση των ήχων στην ικανότητα της αντίληψης της γεύσης των φαγητών και των ποτών και διαπίστωσε ότι με την παρουσία της πιο δυνατής μουσικής, οι γλυκές και αλμυρές τροφές ήταν λιγότερο έντονες. Ενώ οι πιο δυνατοί ήχοι μπορούν να μειώσουν την ικανότητα αντίληψης της ζάχαρης και του αλατιού στο φαγητό, μια άλλη παρόμοια μελέτη, διαπίστωσε ότι ο θόρυβος του περιβάλλοντος όπως αυτός στο εσωτερικό ενός αεροπλάνου, μπορεί να ενισχύσει τη γεύση του umami. Αρκεί να σκεφτεί κανείς πώς ακούγεται στην πραγματικότητα το φαγητό που τρώει. Ο βαθύς ήχος όταν δαγκώνεται ένα κομμάτι σοκολάτας, το τραγάνισμα από τα πατατάκια και ο καθαρός ήχος όταν κόβεται μια φέτα ξεροψημένου φρέσκου ψωμιού δημιουργούν μια πολυαισθητηριακή εμπειρία που επηρεάζει την αντίληψή μας για τη γεύση αυτών των τροφών. Ο ήχος είναι μέρος αυτού που κάνει τα άτομα να λαχταρούν το αγαπημένο τους φαγητό.

i) Η έρευνα του Charles Spence

Σύμφωνα με έρευνα του πειραματικού ψυχολόγου Charles Spence, οι μουσικοί τόνοι μπορεί να επηρεάσουν την ένταση των διαφορετικών γεύσεων. Η μουσική σε υψηλές συχνότητες συσχετίζεται συχνά με τη γλυκιά και ξινή γεύση, ενώ οι χαμηλοί τόνοι αυξάνουν την επίδραση των πικρών και των γεύσεων του umami. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα κλήθηκαν να δοκιμάσουν δύο φαινομενικά διαφορετικά (αν και στην πραγματικότητα πανομοιότυπα) δείγματα καφέ, τα οποία καταναλώθηκαν ενώ ακούγονταν διαφορετικά επίπεδα μουσικής συχνότητας. Όταν άκουγαν μουσική με υψηλές συχνότητες, οι συμμετέχοντες αντιλήφθηκαν τη γεύση ως πιο γλυκιά, ενώ οι χαμηλότερες τους οδήγησαν στην αντίληψη μιας πιο πικρής γεύσης. Ο καθηγητής Spence, έχει επίσης πειραματιστεί με τον ήχο των τροφίμων. Για τις ανάγκες της σχετικής μελέτης, έβαλε τους συμμετέχοντες να τρώνε πατατάκια ενώ φορούσαν ακουστικά στα οποία μπορούσε να ελέγξει τη συχνότητα και την ένταση της τραγανότητας και διαπίστωσε ότι όταν εκτίθονταν σε πιο δυναμικούς ήχους, αντιλαμβανόταν τις μάρκες των τσιπς ως πιο φρέσκες και τραγανές. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τα πατατάκια έχουν σχεδιαστεί να έχουν το μοναδικό αυτό σχήμα - όχι επειδή ταιριάζει καλύτερα στη συσκευασία, αλλά γιατί έχει ως αποτέλεσμα να δίνει την αίσθηση ότι είναι ιδιαίτερα τραγανά όταν τα δαγκώνουμε. Το πώς ηχούν τα τρόφιμα είναι μέρος της πολυαισθητηριακής εμπειρίας που κάνει τη διαδικασία του φαγητού τόσο καταπληκτική. Αν φανταστεί κάποιος το ίδιο το φαγητό να μην παράγει καθόλου ήχο από μόνο του, σίγουρα δεν θα είναι τόσο διασκεδαστικό και απολαυστικό. Η έρευνα του καθηγητή Spence, κατέδειξε ακόμα ότι αφού τα γεύματα «επηρεάζονται» ηχητικά, μπορούν και να «νοστιμέψουν ηχητικά». Επί παραδείγματι, η έρευνα έδειξε ότι η μουσική σύνθεση

με τίτλο “Vocalise” του Rachmaninoff κάνει το κρασί να αποκτά περισσότερο φρουτώδη γεύση, ενώ ακούγοντας την μουσική σύνθεση με τίτλο “Jardin Sous la Pluie” από τον Debussy, το κρασί αποκτά γεύση 20% πιο όξινη. Επίσης, στα συμπεράσματα της έρευνας ο καθηγητής Spence προτείνει την μουσική της όπερας ή ακόμα και το είδος της μουσικής φλαμένκο κατά την διάρκεια του γεύματος έτσι ώστε να εξισορροπηθεί και να βελτιωθεί η γευστική αντίληψη. «Με μια σκούρα σοκολάτα ή επιδόρπιο με καφέ, ιδανικό soundtrack θα ήταν, για παράδειγμα, το Nessun Dorma του Παβαρότι. Η συγκεκριμένη μουσική θα αναδείξει τις πικρές νότες της σκούρας σοκολάτας ή του καφέ», αποκαλύπτει ο επικεφαλής της έρευνας. Αξίζει να σημειωθεί ότι καθηγητής Spence πειραματίστηκε με την ιδέα της «ηχητικής νοστιμιάς» των φαγητών αξιοποιώντας τοπικούς ήχους και μουσική από την ευρύτερη γεωγραφική περιοχή προέλευσης του κάθε εδέσματος. Συγκεκριμένα, περιγράφει, για παράδειγμα, ότι η γαλλική κουζίνα έχει καλύτερη γεύση όταν την απολαμβάνει κανείς συνοδεία γαλλικής μουσικής με ακορντεόν, ενώ οι συνθέσεις του Πουτσίνι βελτιώνουν τη γεύση των ζυμαρικών. Τα ίδια αποτελέσματα επιβεβαιώθηκαν σε δοκιμές με τη γερμανική, την ισπανική αλλά και με την ελληνική κουζίνα. Στα αποτελέσματα της έρευνας αναφέρεται ότι τα άτομα γεύονται με τις αισθήσεις, όχι αποκλειστικά με το στόμα. Η γλώσσα δεν γεύεται το φαγητό, αλλά στην πραγματικότητα ο εγκέφαλος προετοιμάζει το στόμα και τους γευστικούς κάλυκες κάθε φορά για διαφορετικές γευστικές εμπειρίες. Είναι επίσης ενδεικτικό ότι το ευρύτερο περιβάλλον επηρεάζει ουσιαστικά την γευστική εμπειρία αφού η μουσική μπορεί να «καθαρίσει» τον ουρανίσκο, να επηρεάσει και να αλλάξει τη γεύση των ατόμων και να εξυψώσει την γενικότερη εμπειρία γύρω από τη λήψη τροφής κάθε φορά. Επομένως, οι μικρές αλλαγές στο περιβάλλον μπορούν πραγματικά να ενισχύσουν τη γευστική εμπειρία ενός γεύματος. Μερικά ακόμα ευρήματα αυτής της έρευνας είναι και τα παρακάτω:

Η κλασική μουσική μπορεί να κάνει το κρασί και άλλα ποτά να φαίνονται περισσότερο ακριβά, και πιο γευστικά. Η αργή μουσική κάνει τις γεύσεις να παραμένουν περισσότερο στο στόμα. Αντίθετα, η μουσική με πιο γρήγορο ρυθμό (τέμπο), κάνει τις γεύσεις να χάνονται πιο γρήγορα. Όσο περισσότερο αρέσει στα άτομα η μουσική που ακούν, τόσο περισσότερο θα τους αρέσει και το φαγητό που κάθε φορά γεύονται. Αυτό είναι ένα παράδειγμα μιας κατάστασης γνωστής και ως «μεταφορά αισθήσεων» (*sensation transference*). Με άλλα λόγια, τα άτομα μεταφέρουν αυτό που αισθάνονται για τη μουσική, σε αυτό που πιστεύουν για το φαγητό και το ποτό. Ο συνδυασμός του κατάλληλου μουσικού οργάνου με το σωστό φαγητό βελτιώνει τη γεύση. Υπάρχουν ενδείξεις, σύμφωνα με τις οποίες ο ήχος του πιάνου ταιριάζει με φρούτα όπως τα μούρα, τα βερίκοκα και τα σμέουρα- ίσως επειδή τα συγκεκριμένα φρούτα είναι ιδιαίτερα γλυκά. Ο ήχος απλά και μόνο των «εξωτερικών παραγόντων» μπορεί να επηρεάσει τη γευστική εμπειρία των ατόμων. Για παράδειγμα, ο ήχος που προκαλείται από πολλά εδέσματα όταν αυτά καταναλώνονται (δαγκώνονται και μασιούνται) τροποποιεί και επηρεάζει την γεύση τους. Επί παραδείγματι, όταν γίνεται κατανάλωση ενός τραγανού εδέσματος, εάν ακούγεται κάποιος δυνατός ήχος από τραγάνισμα κατά τη διάρκεια του μασήματος, η αντίληψη του ατόμου για την «φρεσκοκάδα» της τροφής θα βελτιωθεί ριζικά.

Όπως σχολιάζει ο Spence: «Στην πραγματικότητα, πολλές από τις αγαπημένες ανθρώπινες αισθητηριακές εμπειρίες γύρω από το φαγητό και το ποτό έχουν αυτό το αποτέλεσμα. Αναλογιστείτε κάποιες τραγανές ή κρεμώδεις τροφές ή την αίσθηση που προσφέρουν τα ανθρακούχα ποτά, που σχεδόν όλοι έχουν καταναλώσει τουλάχιστον μία φορά στην ζωή τους. Η ικανοποίηση που προσφέρουν εξαρτάται, κατά ένα μεγάλο βαθμό, από συνδεδεμένους με αυτές, και συχνά ευδιάκριτους, ήχους. Επιπλέον, η μουσική υψηλών συχνοτήτων ενισχύει τη γεύση του γλυκού και του ξινού ενώ ήχοι χαμηλής συχνότητας ενισχύουν την γεύση του πικρού».

Ο Spence που ηγείται της έρευνας, εξηγεί ότι πρόκειται για μια «πολύ-αισθητηριακή αντίληψη των τροφίμων: Η γεύση είναι ίσως πιο πολύ-αισθητηριακή από τις εμπειρίες μας, διότι αφορά τη γεύση και τη μυρωδιά περισσότερο από ό, τι αντιλαμβανόμαστε». «Όλες οι αισθήσεις έρχονται μαζί για να μας δώσουν μια ενιαία εμπειρία της γεύσης», πρόσθεσε. Ο καθηγητής Spence πιστεύει ότι τελικά ο ήχος παίζει μεγάλο ρόλο στην αντίληψη της γεύσης που σχετίζεται με την υφή των τροφίμων. «Μπορούμε να αξιοποιήσουμε τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας για να φτιάξουμε συγκεκριμένα είδη μουσικής που θα ακούγονται σε χώρους εστίασης», δήλωσε ο Σπενς, ο οποίος ισχυρίζεται ότι είναι σε θέση να αλλάξει την εμπειρία της γεύσης σε ποσοστό 5-10%. Επίσης, οι δυνατοί θόρυβοι που ακούγονται στο υπόβαθρο καταστέλλουν τη δυνατότητα των ατόμων να αντιληφθούν τις γλυκές και αλμυρές γεύσεις αλλά μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητά τους να αντιληφθούν τις γεύσεις umami. Η ομάδα του καθηγητή Spence εξετάζει την ιδέα να δημιουργήσει «ηχητικά καρυκεύματα», τα οποία θα είναι ειδικά σχεδιασμένα για να ακούγονται όταν καταναλώνονται συγκεκριμένα φαγητά.

ii) Η έρευνα του Πανεπιστημίου του Μάντσεστερ

Σε εκτεταμένη έρευνα που έγινε στην Μεγάλη Βρετανία από το Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ, κατέδειξε ότι ένα μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι χώροι εστίασης (εστιατόρια) είναι η γεωγραφική τους θέση και κατά πόσο αυτή «ταλαιπωρείται» από θορύβους, τόσο εξωτερικούς όσο και εσωτερικούς. Η μελέτη διαπίστωσε πως εν τέλει το ανθρώπινο αισθητήριο της γεύσεως επηρεάζεται άμεσα από το ανθρώπινο αισθητήριο της ακοής. Η έρευνα κατέδειξε ότι σε χώρο όπου επικρατεί θόρυβος, διάχυτος και συνεχής, ακόμη και η πιο νόστιμη τροφή, το πλέον καλά μαγειρεμένο φαγητό χάνει αισθητά την (υποκειμενική βέβαια), νοστιμιά του. Η νέα αυτή βρετανική επιστημονική έρευνα εμφανίστηκε για πρώτη φορά. Και αρχικώς διεξήχθη για να εξηγήσει γιατί το φαγητό στα αεροπλάνα φαίνεται πάντα άνοστο. Η έρευνα κατέληξε απλά, ότι οι άνθρωποι τείνουν να χάνουν την αίσθηση της γεύσεώς τους, όταν ακούν συνεχώς ένα διάχυτο θόρυβο, όπως ο θόρυβος που επικρατεί μέσα στην καμπίνα ενός αεροσκάφους κατά τη διάρκεια μιας πτήσης. Όσο μάλιστα πιο μεγάλη σε διάρκεια η πτήση - και ιδιαίτερα όσο πιο παρατεταμένη είναι η παραμονή σε μεγάλο υψόμετρο με χαμηλή υγρασία και αλλοιωμένη ποιότητα αέρα - τόσο περισσότερο χάνεται η αίσθηση της γεύσης, γεγονός που έχει οδηγήσει τις αεροπορικές εταιρείες να επαναπροσδιορίσουν το είδος

των τροφών που επιλέγονται για τα γεύματα των επιβατών. Αναφερόμενος και ως «λευκός θόρυβος», όπως κατηγοριοποιούνται οι τυχαίοι ήχοι σε διαφορετικές συχνότητες, αποδείχθηκε ότι έχει μεταξύ των άλλων και την εξής επίδραση στον άνθρωπο: Μειώνει την ικανότητά του να γεύεται - ειδικά το αλάτι και την ζάχαρη - με συνέπεια τα γεύματα που γεύεται υπό τέτοιες συνθήκες, να φαίνονται άγευστα. Οι αισθήσεις του ανθρώπου αλληλεξαρτώνται με περίεργους τρόπους. Ο ήχος παίζει σημαντικό ρόλο στην αντίληψη της γεύσεως. Ορισμένοι ήχοι επηρεάζουν και την αντίληψη του ανθρώπου για το πόσο τραγανή είναι μια τροφή - κάτι που, υποσυνείδητα, επηρεάζει και την γνώμη του, για το αν είναι και πόσο φρέσκια ή εύγεστη η τροφή που δοκιμάζει. Κατά συνέπεια, όσο πιο δυνατός ο θόρυβος (ή η μουσική), τόσο χάνεται η γεύση του αλμυρού και του γλυκού, ενώ αυξάνεται η αίσθηση του τραγανού.

iii) Η έρευνα της NASA

Σε ίδια συμπεράσματα είχε καταλήξει προ ετών και η Αμερικανική Υπηρεσία Διαστήματος (NASA), αναφορικά με τα ειδικά γεύματα που χορηγούνται στα πληρώματα των επανδρωμένων διαστημικών αποστολών. Η NASA είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα εδέσματα που θα καταναλώνουν τα πληρώματα στο Διάστημα, πρέπει υποχρεωτικά να διακρίνονται από πολύ έντονη γεύση μιας και τόσο η πτήση όσο και η παραμονή των πληρωμάτων χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά πολλούς και έντονους θορύβους. Συνεπώς, το επίπεδο της φασαρίας, γενικά του ήχου ή της μουσικής, του «λευκού θορύβου» εν γένει, επηρεάζει την άποψη των ατόμων για το φαγητό που καταναλώνεται, και κατ'επέκταση η άποψη για ένα συγκεκριμένο πιάτο ή εν γένει για ένα εστιατόριο. Επίσης, τη γεύση επηρεάζει ό,τι μας κινεί την προσοχή των ατόμων. Εάν δηλαδή στον χώρο όπου καταναλώνουν την τροφή, υπάρχει κινητικότητα και φασαρία, και αποσπά την προσοχή τους από το φαγητό. Σε μια τέτοια περίπτωση, η τροφή αυτή επίσης κρίνεται λιγότερο νόστιμη.

iv) Η έρευνα του Εθνικού Πανεπιστημίου της Αυστραλίας

Σε μια άλλη έρευνα, επιστήμονες του Εθνικού Πανεπιστημίου της Αυστραλίας έριξαν νέο φως στην συναισθησία, μια νευρολογική ανάμιξη των αισθήσεων, όπου ένας άνθρωπος «ακούει» χρώματα και οσμές ή «μυρίζει» ήχους. Η επικεφαλής της έρευνας, Δρ. Stephanie Goodhew, από το Τμήμα Ψυχολογικών Ερευνών του Πανεπιστημίου, είπε πως η έρευνα διαπίστωσε ότι τα άτομα με συναισθησία έχουν πολύ ισχυρότερους συνειρμούς μεταξύ των σχετικών εννοιών. «Για τα άτομα αυτά λέξεις όπως “γιατρός” και “νοσοκόμα” είναι πολύ στενά συνδεδεμένες, ενώ οι λέξεις “γιατρός” και “τραπέζι” είναι άσχετες πολύ περισσότερο απ' ό,τι είναι για τους ανθρώπους που δεν έχουν την συγκεκριμένη πάθηση», τόνισε. Τα ευρήματα θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους ερευνητές να κατανοήσουν καλύτερα τα μυστήρια της συναισθησίας, τα οποία όπως είπε η Δρ. Goodhew επηρεάζουν περίπου ένα σε κάθε 100 άτομα. Η Δρ Goodhew αναφέρει επίσης στην μελέτη της ότι τα

άτομα με συναισθησία έχουν ισχυρότερη σύνδεση μεταξύ διαφορετικών περιοχών του εγκεφάλου, ιδιαίτερα ανάμεσα σε αυτά που θεωρούμε τμήμα γλώσσας του εγκεφάλου και τμήμα χρώματος του εγκεφάλου. Οι εν λόγω συνδέσεις οδηγούν σε ενεργοποίηση όταν ένα ερέθισμα σε ένα μέρος του εγκεφάλου προκαλεί δραστηριότητα σε ένα άλλο. «Για τα άτομα που “ακούνε” σχήματα, ένα τρίγωνο θα μπορούσε να προκαλέσει μια εμπειρία ήχου ή χρώματος, ή θα μπορούσαν να έχουν μια συγκεκριμένη γεύση όταν ακούνε έναν συγκεκριμένο ήχο. Ένα άτομο ανέφερε ότι οι μυρωδιές έχουν ορισμένα σχήματα. Για παράδειγμα, η μυρωδιά του φρέσκου αέρα είναι ορθογώνια, ο καφές είναι ένα σχήμα σύννεφου ή οι άνθρωποι μυρίζουν στρογγυλοί ή τετράγωνοι», τόνισε. Η έρευνα επικεντρώνεται στη μέτρηση του βαθμού στον οποίο οι άνθρωποι με συναισθησία βρίσκουν νοήματα ανάμεσα στις λέξεις. «Ξεκινώντας την έρευνα θεωρούσαμε ότι τα άτομα με συναισθησία μπορεί να έχουν ένα πολύ συγκεκριμένο ύφος σκέψης που δεν δίνει έμφαση στο εννοιολογικό επίπεδο των σχέσεων μεταξύ των ερεθισμάτων, δεδομένου ότι έχουν πολύ άκαμπτες σκέψεις για τις αισθητικές εμπειρίες. Όμως, βρήκαμε ότι συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο», κατέληξε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΛΙΜΑΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

4.1 Ανάλυση μεθόδου και εγκυρότητας

Καθώς η ψυχολογία αναπτύχθηκε ως επιστήμη, οι ερευνητές άρχισαν να χρησιμοποιούν κλίμακες βαθμολογίας για τη μέτρηση των στάσεων και των πεποιθήσεων των ανθρώπων. Έτσι, για να τοποθετηθεί η ανάπτυξη του σημασιολογικού διαφορικού στο ιστορικό πλαίσιο, θα πρέπει πρώτα να αναφερθούν οι αρχικές απόπειρες οι οποίες αποτέλεσαν εξέχουσες τεχνικές μέτρησης και οι οποίες προτάθηκαν ήδη από τη δεκαετία του 1920 έως το 1940. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι του Thurstone, του Guttman και του Likert αξιολογούν το επίπεδο συμφωνίας των ανθρώπων με μια σειρά από μοναδικές ερωτήσεις σχετικά με ένα συγκεκριμένο θέμα. Για παράδειγμα, σε έρευνα που χρησιμοποιεί την κλίμακα τύπου Likert, οι συμμετέχοντες θα μπορούσαν να υποχρεωθούν να απαντήσουν σε πολλές, διαφορετικές λέξεις-ερωτήσεις σχετικά με διάφορες πτυχές ενός ζητήματος σε μια κλίμακα μεταξύ της απόλυτης διαφωνίας και της απόλυτης συμφωνίας. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950, ο Charles E. Osgood και αρκετοί άλλοι μελετητές πρότειναν τη σημασιολογική διαφορά ως τεχνική για τη μέτρηση της έννοιας που οι άνθρωποι τοποθετούν σε συγκεκριμένες έννοιες. Σε άμεση αντίθεση με τις σύγχρονες τεχνικές μέτρησης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, το σημασιολογικό διαφορικό του Osgood βασίστηκε σε ένα τυποποιημένο σύνολο στοιχείων, στο οποίο οι συμμετέχοντες μπορούν να αξιολογήσουν σχεδόν οτιδήποτε. Έτσι, ένα βασικό όφελος των σημασιολογικών διαφορών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογήσουν σχεδόν οτιδήποτε [67].

Αρκετές πρώτες έρευνες διαπίστωσαν ότι οι σημασιολογικές διαφορές θα μπορούσαν να συλλάβουν αποτελεσματικά την μεταβαλλόμενη φύση των κοινωνικών στερεοτύπων. Αυτές οι αρχικές μελέτες αποκάλυψαν επίσης ότι οι ανθρώπινες κριτικές ικανότητες εμπίπτουν στα εξής τρία πεδία: αξιολόγηση, δυναμικότητα και δραστηριότητα. Επιπλέον, τα ευρήματα από το έργο του Osgood παρείχαν αρχικά στοιχεία ότι οι κλίμακες της σημασιολογικής διαφοροποίησης ήταν σχετικά αντικειμενικοί, αξιόπιστοι και έγκυροι τρόποι μέτρησης ενός ευρέος φάσματος εννοιών. Η σημασιολογική διαφορικότητα (Semantic Differential - SD) είναι ένας τύπος κλίμακας βαθμολογίας που έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση της σημασίας των αντικειμένων, των γεγονότων και των εννοιών. Οι δηλώσεις χρησιμοποιούνται για να αντλήσουν τη στάση απέναντι στο δεδομένο αντικείμενο, γεγονός ή έννοια [68].

Η θεωρία του Charles E. Osgood για τη σημασιολογική διαφορά ήταν μια εφαρμογή της γενικότερης προσπάθειάς του να μετρήσει τη σημασιολογία ή την έννοια των λέξεων, ιδιαίτερα των επίθετων, και τις έννοιες αναφοράς τους. Ο ερωτώμενος καλείται να επιλέξει πού βρίσκεται η θέση του, σε μια κλίμακα μεταξύ δύο πολικών επίθετων (για παράδειγμα: «Επαρκής-Ανεπαρκής», «Καλή-Κακή» ή «Πολύτιμη- Χωρίς αξία»). Οι σημασιολογικές διαφορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση απόψεων, στάσεων και αξιών σε ψυχομετρικά ελεγχόμενη κλίμακα. Η σημασιολογική διαφορική τεχνική των Osgood κ.ά. ζητά από ένα άτομο να αξιολογήσει ένα ζήτημα ή θέμα σε ένα τυπικό σύνολο διπολικών επίθετων (δηλαδή με αντίθετες έννοιες περιγραφικές λέξεις), το καθένα που αντιπροσωπεύει μια κλίμακα επτά σημείων. Αυτή είναι μια άμεση μέθοδος μέτρησης της στάσης και παράγει ποσοτικά δεδομένα, και εξηγείται με το πιο κάτω παράδειγμα [67]:

«Ολοκληρώστε τις σημασιολογικές κλίμακες παρακάτω για να μετρήσετε τη στάση σας σε οποιαδήποτε λέξη, π.χ. εργασία στο σπίτι, Αμερική, μουσική, κολέγιο, σοκολάτα, μπύρα, ύπνος, πορνογραφία, ψυχολογία κ.λ.π.»

Πίνακας 2: Παράδειγμα σημασιολογικής κλίμακας.

Αξιολόγηση (-)	+1 +2 +3 +4 +5 +6 +7	Αξιολόγηση (+)
Κακό	□□□□□X	Καλό
Σκληρό	□□□□X□	Ευγενικό
Άσχημο	□□□□X□□	Όμορφο
Λυπημένος	□□□□□X	Χαρούμενος
Αρνητικό	□□□□X□	Θετικό
Δυσάρεστο	□□□□X□□	Ευχάριστο
Ανάξιο	□□□□□X	Πολύτιμο

Πίνακας 3: Παράδειγμα σημασιολογικής κλίμακας κενό.

Δυναμικότητα (-)	+1 +2 +3 +4 +5 +6 +7	Δυναμικότητα (+)
Αδύναμος	□□□□□□□	Δυνατός
Μικρός	□□□□□□□	Μεγάλος
Μαλακό	□□□□□□□	Σκληρό
Ελαφρύ	□□□□□□□	Βαρύ
Ρηχά	□□□□□□□	Βαθιά
Υποτακτικός	□□□□□□□	Δυναμικός
Απλός	□□□□□□□	Πολύπλοκος

Πίνακας 4: Παράδειγμα συμπληρωμένης κλίμακας.

Δραστηριότητα (-)	+1 +2 +3 +4 +5 +6 +7	Δραστηριότητα (+)
Παθητική	X□□□□□	Ενεργητική
Χαλαρή	□X□□□□	Εντατική
Αργή	□□X□□□	Γρήγορη
Κρύα	□□□X□□	Ζεστή
Ήσυχη	X□□□□□	Θορυβώδης
Αχνή	□X□□□□	Φωτεινή
Στρογγυλεμένη	□□X□□□	Γωνιακή

Η σημασιολογική διαφορική τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως στη διαφήμιση και στην έρευνα μάρκετινγκ, από ερωτηματολόγια σε συνεντεύξεις και ομάδες εστίασης. Η ευελιξία των χρήσεων με τα διπολικά επίθετα και η απλότητα της κατανόησής τους την έκανε ιδανική για ερωτηματολόγια καταναλωτών και συνεντεύξεις. Ένα βασικό αποτέλεσμα της σημασιολογικής διαφορικής κλίμακας είναι ότι σε σύγκριση με τις διαστάσεις της δυναμικότητας και της δραστηριότητας, οι ερωτήσεις αξιολόγησης αποκάλυψαν περισσότερο για τη συνολική εκτίμηση ενός αντικειμένου ή ατόμου από την ευρύτερη ομάδα. Με αυτόν τον τρόπο, για τους ερευνητές που ενδιαφέρονται για τη στάση των ανθρώπων, εκ των οποίων η αξιολόγηση είναι σημαντικό συστατικό, η χρήση σημασιολογικών διαφορών είναι ένα βασικό εργαλείο μέτρησης. Οι ερευνητές λαμβάνουν συχνά το άθροισμα ή τον μέσο όρο των απαντήσεων των ανθρώπων σε ένα σύνολο σημασιολογικών διαφορικών στοιχείων για να σχηματίσουν μια συγκεκριμένη αντίληψη σχετικά με τη συνολική τους στάση απέναντι σε ένα θέμα. Για παράδειγμα, στο ανωτέρω παράδειγμα, οι βαθμολογίες των 7, 6, 5, 7, 6, 5, 7 έχουν ως αποτέλεσμα ένα άθροισμα 43 ή κατά μέσο όρο 6.1 - και τα δύο εκ των οποίων δείχνουν αρκετά θετικές στάσεις απέναντι σε ένα ζήτημα [67].

Η σημασιολογική διαφορική τεχνική αποκαλύπτει πληροφορίες για τρεις βασικές διαστάσεις στάσεων: αξιολόγηση, δυναμικότητα (ισχύς) και δραστηριότητα.

- Η αξιολόγηση αφορά το εάν ένα άτομο σκέφτεται θετικά ή αρνητικά για το θέμα στάσης.
- Η ικανότητα ασχολείται με το πόσο ισχυρό είναι το θέμα για το άτομο.
- Η δραστηριότητα σχετίζεται με το εάν το θέμα θεωρείται ενεργό ή παθητικό.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες διαφαίνεται εάν ένα άτομο αισθάνεται (αξιολόγηση) συνεπές με τη συμπεριφορά του προς ένα αντικείμενο ή μια κατάσταση. Για παράδειγμα, σε μια ομάδα ατόμων μπορεί να αρέσει η γεύση της σοκολάτας (αξιολογικό) αλλά μην την καταναλώνει συχνά (δραστηριότητα). Οι θεωρητικές βάσεις της σημασιολογικής διαφοράς του Charles E. Osgood έχουν ρίζες στη μεσαιωνική διαμάχη μεταξύ των ονομαστικών και των ρεαλιστών. Οι ρεαλιστές υποστήριζαν ότι τα καθολικά έχουν ανεξάρτητη αντικειμενική ύπαρξη. Το θεωρητικό έργο του Osgood έχει επίσης συγγένεια με τη γλωσσολογία και τη γενική σημασιολογία και σχετίζεται με τη διαρθρωτική διαφορά του Korzybski. Η ανάπτυξη αυτού του οργάνου παρέχει μια ενδιαφέρουσα

εικόνα για την ευρύτερη περιοχή μεταξύ γλωσσολογίας και ψυχολογίας. Οι άνθρωποι περιγράφουν ο ένας τον άλλον από τότε που ανέπτυξαν την ικανότητα να μιλούν. Τα περισσότερα επίθετα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως περιγραφικοί χαρακτήρες [67].

Η εμφάνιση χιλιάδων επίθετων στα Αγγλικά είναι μια βεβαίωση των λεπτών χαρακτηριστικών στις περιγραφές των προσώπων και της συμπεριφοράς τους που διατίθεται στους ομιλητές της Αγγλικής. Ο θησαυρός του Roget είναι μια πρόιμη προσπάθεια ταξινόμησης των περισσότερων επίθετων σε κατηγορίες και χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πλαίσιο για τη μείωση του αριθμού των επίθετων σε διαχειρίσιμα υποσύνολα, κατάλληλα για ανάλυση παραγόντων. Ο Osgood και οι συνάδελφοί του πραγματοποίησαν ανάλυση παραγόντων μεγάλων συλλογών σημασιολογικών διαφορικών κλιμάκων και βρήκαν τρεις επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι για την αξιολόγηση λέξεων και φράσεων: αξιολόγηση, ισχύς και δραστηριότητα. Η αξιολόγηση φορτώνεται υψηλότερα στο επίθετο ζεύγος «καλό-κακό». Το επίθετο «ισχυρό-αδύναμο» ορίζει τον παράγοντα ισχύος. Το επίθετο ζεύγος «ενεργό-παθητικό» ορίζει τον παράγοντα δραστηριότητας. Αυτές οι τρεις διαστάσεις συναισθηματικής σημασίας βρέθηκαν να είναι διαπολιτισμικά καθολικά σε μια μελέτη δεκάδων πολιτισμών [68].

Αυτή η παραγοντική δομή έχει διαισθητικό νόημα. Όταν οι πρόγονοί μας αντιμετώπιζαν ένα άτομο, η αρχική αντίληψη έπρεπε να είναι αν το άτομο αυτό αντιπροσωπεύει κίνδυνο. Είναι το άτομο καλό ή κακό; Στη συνέχεια, είναι το άτομο δυνατό ή αδύναμο; Οι αντιδράσεις μας σε ένα άτομο διαφέρουν σημαντικά αν θεωρηθούν καλές και ισχυρές, καλές και αδύναμες, κακές και αδύναμες, ή κακές και ισχυρές. Στη συνέχεια, ενδέχεται να επεκτείνουμε την αρχική κατάταξή μας ώστε να περιλαμβάνει περιπτώσεις ατόμων που μας απειλούν ενεργά ή αντιπροσωπεύουν μόνο πιθανό κίνδυνο, και ούτω καθεξής. Οι παράγοντες αξιολόγησης, δραστηριότητας και δραστηριότητας περιλαμβάνουν έτσι ένα λεπτομερές περιγραφικό σύστημα προσωπικότητας. Η σημασιολογική διαφορική του Osgood μετρά αυτούς τους τρεις παράγοντες. Περιέχει σύνολα ζευγών επίθετων όπως ζεστό-κρύο, φωτεινό-σκοτεινό, όμορφο-άσχημο, γλυκό-πικρό, δίκαιο-άδικο, γενναίο-δειλό, νόημα-χωρίς νόημα. Οι μελέτες του Osgood και των συναδέλφων του αποκάλυψαν ότι ο παράγοντας αξιολόγησης αντιπροσώπευε το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των κλιμάκων και το συσχετίζεται με την ιδέα των στάσεων [67].

Μελέτες που χρησιμοποιούν την σημασιολογική διαφορική βρήκαν επιπλέον καθολικές διαστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, αρκετοί ερευνητές ανέφεραν τους εξής παράγοντες: «Τυπικότητα» (που περιελάμβανε κλίμακες όπως: «κοινότυπο-σπάνιο», «τυπικό-αποκλειστικό»), «Πραγματικότητα» («φανταστικό-πραγματικό», «προφανές-φανταστικό»), «Πολυπλοκότητα» («σύνθετο-απλό», «απεριόριστο-περιορισμένο», «μυστηριώδες-συνηθισμένο»), «Βελτίωση» ή «Οργάνωση» («κανονικός-σπασμωδικός», «σταθερός-μεταβαλλόμενος», «οργανωμένος-αποδιοργανωμένος», «ακριβής-αόριστος»), και ο παράγοντας «Διέγερση» («ενδιαφέρον-βαρετό», «ασήμαντο-σημαντικό»). Η σημασιολογική διαφορική είναι σήμερα μια από τις πιο διαδεδομένες κλίμακες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των στάσεων. Ένας από τους λόγους είναι η ευελιξία των

αντικειμένων. Τα διπολικά επίθετα/ζεύγη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια ευρεία ποικιλία θεμάτων του ερευνητή συμπεριφοράς [67]. Μια σημαντική παρατήρηση για την χρήση των επιθέτων που έχουν βρεθεί κατάλληλα στην βιβλιογραφία για την σημασιολογική διαφορική, στην περίπτωση που αυτά χρησιμοποιούνται σε άλλη γλώσσα, είναι και η κατάλληλη μετάφραση τους. Για το σκοπό αυτό είναι σημαντικό να αξιοποιούνται κατάλληλες μεθοδολογίες μετάφρασης και διαπολιτισμικής προσαρμογής [69].

Αρκετοί μελετητές στη σύγχρονη εποχή εξακολουθούν να χρησιμοποιούν ερωτήσεις που ευθυγραμμίζονται με την αρχική συνιστώσα της αξιολόγησης του Osgood για την εκτίμηση της στάσης απέναντι σε μια σειρά θεμάτων, από πολιτικά ζητήματα έως τον χώρο εργασίας κ.α.. Ωστόσο, άλλοι ερευνητές έχουν βρει ότι τα επίθετα-ζευγάρια του Osgood δεν ταιριάζουν σε κάθε θέμα και αντ' αυτού επιλέγουν τα δικά τους επίθετα-ζεύγη. Έτσι, για αυτούς τους μελετητές, μια κεντρική σκέψη είναι ο τρόπος με τον οποίο επιλέγουν τα συγκεκριμένα ζευγάρια επιθέτων σε μια δεδομένη μελέτη. Παρόλο που μπορεί να είναι δελεαστικό για τους ερευνητές να επιλέξουν επίθετα ζεύγη υποκειμενικά, η μέθοδος επιλογής επιθέτων έχει επιπτώσεις στην ποιότητα των συλλεχθέντων δεδομένων. Ως εκ τούτου, ορισμένοι μελετητές πρότειναν να ακολουθήσουν μια μέθοδο τριών βημάτων για να δημιουργήσουν τη σημασιολογική διαφορική κλίμακα [67].

Στο πρώτο βήμα, οι ερευνητές ζητούν από μια ομάδα συμμετεχόντων να παρέχουν περιγραφικά επίθετα για μια έννοια ή για ένα σύνολο εννοιών στις οποίες ενδιαφέρονται. Στη συνέχεια, δηλαδή στο δεύτερο βήμα, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τη λίστα των επιθέτων που παρήγαγε η ομάδα δειγμάτων για να δημιουργήσουν μια πρωτότυπη σημασιολογική διαφορική κλίμακα η οποία θα δοκιμαζόταν σε ξεχωριστό δείγμα ομάδας στο βήμα 3. Τέλος, οι ερευνητές θα υποβάλουν τις απαντήσεις στην πρωτότυπη κλίμακα σε στατιστικές αναλύσεις, τα αποτελέσματα των οποίων θα χρησιμοποιηθούν για τη διαμόρφωση του τελικού σημασιολογική διαφορά [67].

Μια δεύτερη, κάπως λιγότερο συστηματική διαδικασία για την επιλογή επιθέτων-ζευγαριών, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες μελέτες στον ίδιο τομέα αλλά και σε εκείνες της αρχικής έρευνας του Osgood. Ως άλλη επιλογή, οι ερευνητές προσθέτουν την άρνηση («όχι») στο επίθετο (π.χ. «πλούσιος - όχι πλούσιος», «γενναιόδωρος - όχι γενναιόδωρος»). Το όφελος αυτής της προσέγγισης είναι ότι λειτουργεί με σχεδόν οποιαδήποτε περιγραφή. Αυτή η τεχνική είναι λιγότερο ικανοποιητική, ωστόσο, γιατί απλά υποδηλώνει το ακριβώς αντίθετο ενός επίθετου. Για παράδειγμα, η έννοια «δεν είναι γενναιόδωρος» δεν είναι η αντίθετη από την έννοια «γενναιόδωρος» - η οποία πράγματι, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι κάποιος είναι τσιγκούνης. Σε περιπτώσεις όπως αυτές, όπου η προσθήκη αρνητικής πρόθεσης (π.χ., un-like, dis-like) ή όχι δεν παράγει συμπληρωματικό ανώνυμο, οι ερευνητές μπορούν να επιλέξουν ένα διαβαθμισμένο ανώνυμο [68].

Χρησιμοποιώντας την έννοια «τσιγκούνης» ως αντίθετο του «γενναιόδωρος» είναι ίσως το πιο εύκολο για τους συμμετέχοντες να καταλάβουν και πιθανότατα θα παράγουν τα καλύτερα δεδομένα ανάδρασης για τους ερευνητές. Ορισμένα επίθετα έχουν πολλά πιθανά συνώνυμα, οπότε μπορεί να είναι ένα δύσκολο έργο για τους ερευνητές να επιλέξουν το πιο κατάλληλο. Σε ορισμένες

περιπτώσεις, είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά συνώνυμα, ενώ σε άλλες, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά έτσι, οι ερευνητές συχνά συνδυάζουν κάθε τύπο με μια σημασιολογική διαφορική κλίμακα [68].

Οι σημασιολογικές διαφορικές κλίμακες περιέχουν συχνότερα μεταξύ 8 και 12 ζευγάρια επιθέτων, αλλά αυτός δεν είναι καθόλου σταθερός κανόνας. Οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν από 4 έως και 20 ζεύγη επιθέτων για να αξιολογήσουν την ίδια έννοια. Κατά γενικό κανόνα, οι ερευνητές πρέπει να ισορροπούν την πληρότητα (δηλαδή, μέτρηση κάθε στοιχείου του αντικειμένου στάσης) με την πρακτικότητα (δηλαδή, ζητώντας από τους συμμετέχοντες έναν λογικό αριθμό ερωτήσεων). Η χρήση οποιασδήποτε από αυτές τις διαδικασίες για τη διαμόρφωση σημασιολογικής διαφορικής κλίμακας δεν εγγυάται ότι θα είναι ένα έγκυρο εργαλείο μέτρησης για μια δεδομένη μελέτη. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι αντιπροσωπεύουν μια τεράστια βελτίωση σε σχέση με τους ερευνητές που επιλέγουν αντικείμενα τυχαία [67].

Εκτός από τη συγκεκριμένη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την επιλογή επιθέτων, οι ερευνητές πρέπει να λάβουν υπόψη τους την συνάφεια των επιθέτων με την ομάδα και το θέμα που μελετούν και πρέπει να σκεφτούν σχετικά με τη γενική θετικότητα ή αρνητικότητα των ατόμων απέναντι στο θέμα. Οι ερευνητές πρέπει να διασφαλίσουν επίσης ότι η ομάδα της μελέτης μπορεί εύκολα να κατανοήσει την σημασιολογική διαφορική κλίμακα. Είναι επίσης σημαντικό να διασφαλιστεί ότι τα επιλεγμένα επίθετα ισχύουν για όλη την ομάδα των συμμετεχόντων. Ένα σχετικό ζήτημα είναι αν τα επίθετα σχετίζονται με το θέμα της μελέτης ενώ οι ερευνητές θα πρέπει επίσης να εξετάσουν αν τα άτομα εκτιμούν αρνητικά ή θετικά το ίδιο αντικείμενο συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, έρευνες έδειξαν ότι οι άνθρωποι στους δυτικούς πολιτισμούς αντιλαμβάνονται όρους όπως «φιλοδοξία» και «αυτοπεποίθηση» θετικά, ενώ οι άνθρωποι στην Ιαπωνία τους αντιλαμβάνονται αρνητικά [67].

Οι ερευνητές πρέπει ακόμα να λάβουν κάθε φορά αποφάσεις σχετικά με τη συγκεκριμένη μορφή της σημασιολογικής διαφορικής κλίμακας που θα χρησιμοποιήσουν κάθε φορά. Κατά τον σχεδιασμό μιας σημασιολογικής διαφορικής κλίμακας, ένα βασικό ερώτημα είναι αν οι ερευνητές πρέπει συσχετίσουν τα θετικά επίθετα με συνέπεια στην ίδια πλευρά (π.χ., όλα στα δεξιά) ή εάν αυτά θα πρέπει να τα τυχαιοποιήσουν (π.χ. στα δεξιά, στη συνέχεια στα αριστερά και στη συνέχεια στα δεξιά). Όπως προαναφέρθηκε, ένα ερώτημα είναι αν υπάρχει συναίνεση σχετικά με τη θετικότητα ή την αρνητικότητα ενός επίθετου. Αν υπάρχει γνωστή συζήτηση σχετικά με την πολικότητα μιας λέξης (ή λέξεων) - όπως στο ανωτέρω παράδειγμα της «φιλοδοξίας» - τότε θα ήταν καλύτερο να τυχαιοποιηθούν οι πλευρές στις οποίες εμφανίζονται αρνητικές και θετικές λέξεις. Αντίθετα, όταν τα ζεύγη επιθέτων έχουν σαφείς αρνητικές και θετικές λέξεις (π.χ. «κακός»-«καλός», «άσχημο»-«όμορφο»), η έρευνα δείχνει ότι είναι καλύτερο να τα τοποθετηθούν με συνέπεια στην κλίμακα. Η καταχώριση αρνητικών επιθέτων στα αριστερά και τα θετικά επίθετα στα δεξιά βοηθούν τους ερωτηθέντες κάνουν ευκολότερες κρίσεις και είναι περισσότερο εύκολα να γίνουν κατανοητά [67].

Στην αρχική σύλληψη του Osgood, όλες οι σημασιολογικές διαφορικές κλίμακες είχαν επτά διαβαθμίσεις αξιολόγησης με τα οποία τα άτομα θα μπορούσαν να κρίνουν ένα άτομο ή ένα αντικείμενο. Έκτοτε, οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει 5, 6 αλλά και κλίμακες 9 διαβαθμίσεων. Η χρήση μεγαλύτερου αριθμού διαβαθμίσεων επιτρέπει στα άτομα να κάνουν πιο λεπτομερείς κρίσεις, αλλά η αντιστάθμιση είναι ότι οι διαφορές μεταξύ πλήθους σημείων σε μία σημασιολογική κλίμακα ενδέχεται να είναι άνευ νοήματος. Για παράδειγμα, σε κλίμακα 9 βαθμίδων, οι συμμετέχοντες μπορεί να έχουν δυσκολία στην επιλογή μεταξύ 7 και 8 [67].

Ένα ακόμα σχετικό ζήτημα είναι εάν η κλίμακα πρέπει να περιέχει έναν ομοιόμορφο ή μονό αριθμό κενών. Κύρια συνέπεια αυτής της επιλογής είναι η συμπερίληψη ή ο αποκλεισμός μιας «ουδέτερης» επιλογής στη μέση της κλίμακας. Το βασικό πλεονέκτημα της συμπερίληψης μιας ουδέτερης επιλογής είναι ότι οι άνθρωποι συχνά δεν είναι ούτε αρνητικοί ούτε θετικοί προς ένα άτομο ή αντικείμενο. Με αυτόν τον τρόπο, μια ουδέτερη επιλογή μπορεί με ακρίβεια να αντικατοπτρίζει την αξιολόγησή τους. Από την άλλη πλευρά, η επιλογή ουδέτερου μπορεί επίσης να σημαίνει ότι οι άνθρωποι είναι αναποφάσιστοι ή δεν έχουν αρκετές πληροφορίες για να κρίνουν. Χωρίς παρακολούθηση, οι ερευνητές δεν μπορούν να προσδιορίσουν την αλήθεια. Έτσι, θα μπορούσαν να υπάρξουν περιστάσεις υπό τις οποίες δεν περιλαμβάνεται μια ουδέτερη επιλογή, και η εξαναγκαστική επιλογή είναι προτιμότερη (αν και αυτό μπορεί να επιφέρει σημαντικό σφάλμα στις διαδικασίες μέτρησης). Σε γενικές γραμμές, οι ερευνητές χρησιμοποιούν συχνότερα 7 σημεία/διαβαθμίσεις [67].

Μια συγκεκριμένη μορφή της μεθόδου του σημασιολογικού διαφορικού (SD), είναι η Μέθοδος Προβολικής Σημασιολογίας η οποία χρησιμοποιεί μόνο τα πιο κοινά και ουδέτερα ουσιαστικά που αντιστοιχούν στις επτά (7) ομάδες (ή παράγοντες) των επίθετων-κλιμάκων που βρίσκονται πιο σταθερά σε διαπολιτισμικές μελέτες (Αξιολόγηση, Δυνατότητα, Δραστηριότητα όπως βρέθηκαν από τον Osgood, και Πραγματικότητα, Οργάνωση, Πολυπλοκότητα, Περιορισμός όπως βρίσκεται σε άλλες μελέτες). Σε αυτήν τη μέθοδο, επτά ομάδες διπολικών επιθετικών κλιμάκων αντιστοιχούσαν σε επτά τύπους ουσιαστικών, οπότε η μέθοδος θεωρήθηκε ότι είχε τη συμμετρία κλίμακας αντικειμένου (OSS) μεταξύ των κλιμάκων και των ουσιαστικών για αξιολόγηση χρησιμοποιώντας αυτές τις κλίμακες. Για παράδειγμα, τα ουσιαστικά που αντιστοιχούν στους αναφερόμενους 7 παράγοντες θα ήταν: Ομορφιά, Δύναμη, Κίνηση, Ζωή, Εργασία, Χάος, Νόμος. Η ομορφιά αναμενόταν να εκτιμηθεί κατηγορηματικά ως «πολύ καλή» στα επίθετα των κλιμάκων που σχετίζονται με την αξιολόγηση, η ζωή ως «πολύ πραγματική» σε κλίμακες που σχετίζονται με την πραγματικότητα, κ.λπ. Ωστόσο, οι αποκλίσεις σε αυτήν τη συμμετρική και πολύ βασική μήτρα μπορεί να δείχνουν υποκείμενες μεροληψίες δύο τύποι: μεροληψία που σχετίζεται με κλίμακες και μεροληψία που σχετίζεται με αντικείμενα. Αυτός ο σχεδιασμός OSS είχε ως στόχο να αυξήσει την ευαισθησία της μεθόδου SD σε οποιεσδήποτε σημασιολογικές προκαταλήψεις στις απαντήσεις των ατόμων που έχουν την ίδια κουλτούρα και εκπαιδευτικό υπόβαθρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1 Επιλογή κλιμάκων, υποκειμένων και ήχων

5.1.1 Κλίμακες

Η επιλογή κλιμάκων έγινε σύμφωνα με το πείραμα του Osgood (όπως αναφέρεται στο θεωρητικό μέρος της εργασίας). Η παρούσα κλίμακα αποτελείται από 20 τμήματα με την οριζόμενη τιμή «0» ως το ισάξιο του «καθόλου», την οριζόμενη τιμή «100» ως ισάξια του «εξαιρετικά πολύ» και την οριζόμενη τιμή «50» ως το ισάξιο του «ουδέτερο». Τα ερωτηματολόγιο των κλιμάκων παρουσιάζεται αυτούσιο στο Παράρτημα 1. Τα επίθετα αξιολόγησης προς μελέτη για το πείραμα ορίστηκαν σε τέσσερα (4): αρεστότητα (likeness), γλυκύτητα (sweetness), πικρία (bitterness) και αίσθηση του κρεμώδους (creaminess).

5.1.2 Συμμετέχοντες

Για την συμμετοχή στο πείραμα επιλέχθηκαν τριάντα τρία (33) άτομα δια εθελοντισμού. Εκ των 33 αυτών ατόμων, τα δώδεκα (12) ήταν γένους θηλυκού και τα υπόλοιπα είκοσι ένα (21) γένους αρσενικού. Η ηλικιακή κλίμακα των εθελοντικά συμμετεχόντων στην πειραματική διαδικασία κυμαινόταν από δεκαεννέα (19) έως πενήντα επτά (57) ετών με τον ηλικιακό μέσο όρο (Μ.Ο.) να είναι τα 26,8 έτη. Όλοι οι εθελοντικά συμμετέχοντες δεν έπασχαν από κάποιο νόσημα (απόφραξη της αναπνευστικής οδού εξαιτίας κρυολογήματος, ασμμία και αγευσία εξαιτίας νόσησης από κορωνοϊό ή άλλα συναφή νοσήματα του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος ή του των αισθητηρίων της γεύσης) ή από κάποια άλλη βλάβη.

5.1.3 Ήχος

Ο ήχος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την ακρόαση των συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, μετρήθηκε το ηχητικό υπόβαθρο καφετέριας, εν ώρα αιχμής. Το δείγμα του επιλεγμένου αυτού ήχου επιλέχθηκε ώστε να υπάρχει ελάχιστες διακυμάνσεις της ηχητικής στάθμης. Τέλος, το δείγμα του επιλεγμένου ήχου, ρυθμίστηκε με τη χρήση ηχόμετρου κατά τέτοιον τρόπο ούτως ώστε δημιουργήθηκαν τρεις (3) διαφορετικές εκδοχές του ίδιου δείγματος: 50 dBA, 65 dBA και 80 dBA. Το ηχητικό δείγμα ήταν σε μορφή PCM (.wav), ενώ αποφεύχθηκε οποιαδήποτε περαιτέρω μετατροπή ώστε να μην υποβαθμιστεί η ηχητική ποιότητα [70].

5.2 Εξοπλισμός

5.2.1 Περιγραφή εξοπλισμού και λογισμικού

Για την καταγραφή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε φορητός υπολογιστής (laptop) με λειτουργικό λογισμικό Windows 10. Ο φορητός υπολογιστής διέθετε ηχεία ρυθμισμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδουν το βέλτιστο ηχητικό αποτέλεσμα για τη διεξαγωγή του πειράματος. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε και ηχώμετρο κατάλληλο για την ρύθμιση της τελικής στάθμης του ηχητικού δείγματος προς ακρόαση από τους συμμετέχοντες στην πειραματική διαδικασία.

5.3 Πείραμα

5.3.1 Προϊόν προς δοκιμή

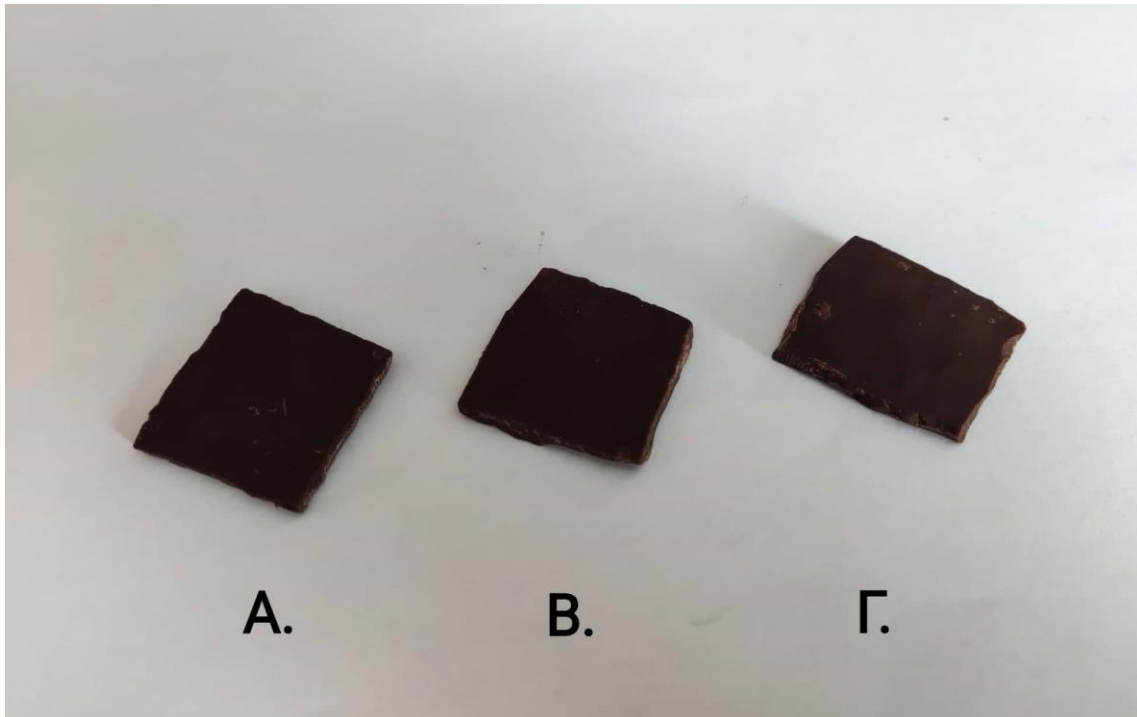
Για τον σκοπό της διεξαγωγής του πειράματος επιλέχθηκε μαύρη σοκολάτα της εταιρείας Callebaut, 56% περιεκτικότητας σε κακάο. Η σοκολάτα υπέστη κατάλληλη διαχείριση, ώστε να παραχθούν τρία (3) είδη πλακιδίων σοκολάτας των 3,5-5 γρ.

Στο δείγμα σοκολάτας (Α) χρησιμοποιήθηκε αυτούσια η προαναφερθείσα σοκολάτα. Στο δείγμα σοκολάτας (Β) προστέθηκε άχνη ζάχαρη, σε ποσοστό 10% της μάζας της συνολικής παρτίδας, ενώ στο δείγμα (Γ) προστέθηκε ζάχαρη σε ποσοστό 20%.

Τα πλακίδια σοκολάτας και των τριών ειδών, παρασκευάστηκαν σύμφωνα με την τεχνική που υποδεικνύεται στην ιστοσελίδα της Callebaut (<https://www.callebaut.com/en-OC/chocolate-video/technique/tempering>).

5.3.2 Χώρος διεξαγωγής πειράματος

Ο τόπος διεξαγωγής του πειράματος ήταν σε ακαδημαϊκές εγκαταστάσεις. Ο χώρος μετρήθηκε να έχει ικανοποιητική ηχομόνωση [71]. Μετρήθηκε επίσης η αντήχηση του χώρου [72,73] η οποία βρέθηκε να είναι ικανοποιητική για το πείραμα ($RT < 0.5$ sec). Η διάταξη του χώρου διαμορφώθηκε ως εξής: Τοποθετήθηκαν δύο (2) θρανία το ένα απέναντι από το άλλο σε απόσταση 2 μ. μεταξύ τους. Στο θρανίο «1» κάθεται κάθε φορά το πειραματιζόμενο άτομο. Στο θρανίο «2» κάθεται ο πειραματιστής. Στο θρανίο «2» υπάρχει ο φορητός υπολογιστής (laptop) συνδεδεμένος με τα ηχεία, τα οποία με την σειρά τους είναι τοποθετημένα ώστε να εκπέμπουν τον ήχο που είχε επιλεγεί προς το θρανίο «1» (όπου κάθεται κάθε φορά το πειραματιζόμενο άτομο). Επιπλέον, στο θρανίο «2» έχει τοποθετηθεί δοχείο με τα τρία (3) διαφορετικά δείγματα σοκολάτας. Για τους σκοπούς της διασφάλισης της εγκυρότητας της πειραματικής διαδικασίας, το δοχείο δεν είναι ορατό από το πειραματιζόμενο κάθε φορά άτομο κατά όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της πειραματικής διαδικασίας, με τη χρήση ενός μικρού πετάσματος. Τέλος, στο θρανίο «1» (όπου κάθεται το πειραματιζόμενο κάθε φορά άτομο) υπάρχει νερό σε μπουκάλια, πλαστικά ποτήρια μιας χρήσης, χαρτοπετσέτες, υγρά μαντιλάκια, καθώς και αντισηπτικό υγρό για τις ανάγκες του πειράματος.



Εικόνα 4: Τα τρία είδη δειγμάτων σοκολάτας: Α.: 0%, Β.: 10% και Γ.: 20% επιπρόσθετης ζάχαρης.

5.3.3. Πειραματική διαδικασία

Το πείραμα αποτελείται από εννέα (9) ακροάσεις. Στις εννέα αυτές ακροάσεις εξηγείται ότι ο κάθε πειραματιζόμενος θα ακούσει κάποιους ήχους, θα δοκιμάσει μαύρη σοκολάτα και παράλληλα θα συμπληρώνει την φόρμα συμπλήρωσης.

Τονίζεται ότι η κατανάλωση του δείγματος γίνεται με τον εξής τρόπο: Ζητείται από τον πειραματιζόμενο να τοποθετήσει στην γλώσσα του ένα κομμάτι της μαύρης σοκολάτας για δέκα (10) δευτερόλεπτα και έπειτα ζητείται να συνεχίσει μασώντας το. Με αυτό τον τρόπο, διασφαλίζεται η σταθερότητα του τρόπου κατανάλωσης των δειγμάτων σοκολάτας από όλα τα πειραματιζόμενα άτομα κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της πειραματικής διαδικασίας.

Για κάθε ακρόαση, το κάθε πειραματοζόμενο άτομο καλείται να δοκιμάσει εννέα (9) δείγματα μαύρης σοκολάτας, ακούγοντας παράλληλα εννέα (9) ήχους και συμπληρώνοντας τις εννέα (9) φόρμες, όπως αυτές φαίνονται στο παρακάτω παρ. Ο αριθμός των εννέα (9) δοκιμών ανά πειραματιζόμενο άτομο προκύπτει από τα διαφορετικά δείγματα σοκολάτας (3), πολλαπλασιαζόμενα με τους τρεις (3) διαφορετικούς ήχους (συνεπώς $3 * 3=9$).

Η σειρά με την οποία κάθε πειραματιζόμενο άτομο δοκιμάζει κάθε δείγμα πραγματοποιείται τυχαία με την βοήθεια κατάλληλης εφαρμογής διεξαγωγής κλήρωσης η οποία έχει εγκατασταθεί σε ένα «έξυπνο» κινητό (smartphone).

Τέλος, σε κάθε πειραματιζόμενο άτομο ζητείται πριν την έναρξη οποιασδήποτε δοκιμής, η υποχρεωτική κατανάλωση νερού.

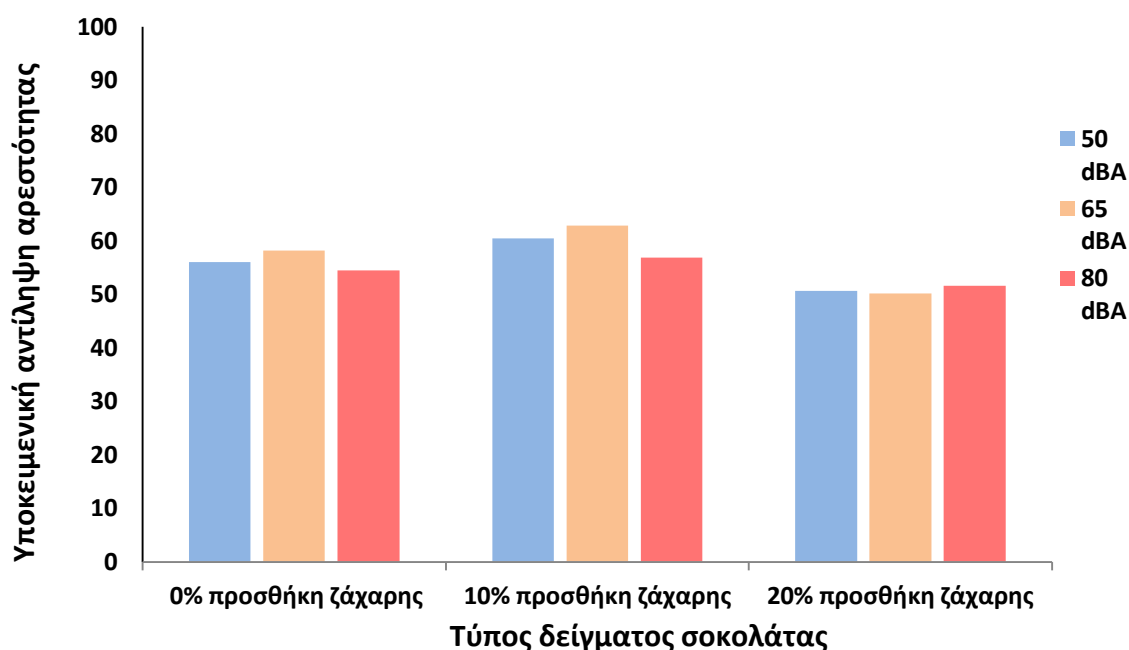
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων

6.1.1. Αρεστότητα (Likeness)

Όσον αφορά το δείγμα σοκολάτας με *A* (0% προσθήκη ζάχαρης), η αρεστότητα σημειώνει τις μέσες τιμές στην σχετική κλίμακα ενώ ακολουθείται αντίστοιχη αντίδραση με το δείγμα σοκολάτας *B*, με 10% προσθήκη ζάχαρης. Πιο συγκεκριμένα, κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων στο ηχητικό δείγμα των 65 dBA, η τιμή που σημειώνεται είναι 58,2 (μέγιστο για το δείγμα σοκολάτας *A*) ενώ αυτή μειώνεται κατά σχεδόν τέσσερις (4) μονάδες όταν οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν στο δείγμα ήχου των 80 dBA.



Εικόνα 5: Αποτελέσματα αρεστότητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αρεστότητα των πειραματιζόμενων όταν έλαβαν το δείγμα σοκολάτας *Γ* (20% προσθήκη ζάχαρης). Τόσο όταν οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν στο δείγμα των 50 dBA, όσο και στα δείγματα των 65 dBA και 80 dBA αντίστοιχα, οι τιμές της αρεστότητας κυμάνθησαν σε οριακά ουδέτερο επίπεδο (50,6 ελάχιστη με 51,6 μέγιστη). Παρά λοιπόν την δοκιμή με δείγμα σοκολάτας το οποίο είχε εμπλουτιστεί με το μέγιστο ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (20%),

η αρεστότητα κυμάνθηκε στα χαμηλότερα επίπεδα κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων και στα τρία είδη έντασης του ηχητικού δείγματος.

Από τα ανωτέρω συμπεραίνεται ότι αν και η αρεστότητα στο δείγμα σοκολάτας *B* σημειώνει την υψηλότερη τιμή κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων στο ηχητικό δείγμα των 65 dBA, εντούτοις όταν εκτέθηκαν στο ηχητικό δείγμα των 80 dBA, η αρεστότητα στο δείγμα σοκολάτας *A* όσο και στο δείγμα σοκολάτας *B* μειώθηκε αισθητά. Αντίθετα, η αρεστότητα στο δείγμα σοκολάτας με *Γ*, αν και κινήθηκε σε οριακά ουδέτερο επίπεδο, εντούτοις φαίνεται ότι λαμβάνει μια αυξητική τάση (έστω και οριακή) κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων στο ηχητικό δείγμα των 80 dBA.

Όπως φαίνεται, η προτίμηση στη σοκολάτα *B*, με 10% προσθήκη ζάχαρης υπερτερεί έναντι των δύο άλλων τύπων. Ειδικότερα, αυτή σημειώνεται στα 65 dBA αλλά μειώνεται στα 80 dBA όπως αποτυπώνεται και για τους δύο άλλους τύπους δείγματος με 0% και 20% προσθήκη ζάχαρης. Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι στη σοκολάτα *Γ*, με 20% προσθήκη ζάχαρης η κινείται σε ουδέτερο επίπεδο τόσο στα 50 dBA, όσο και στα 65 αλλά και στα 80 dBA.

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι τα επίπεδα αρεστότητας τόσο στο δείγμα σοκολάτας με 10% προσθήκη ζάχαρης, όσο και στο δείγμα σοκολάτας με 0% προσθήκη ζάχαρης κινούνται σε υψηλά και άνω του ουδέτερου ορίου επίπεδα (62,8 και 58,2 αντίστοιχα) αλλά όταν οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν στο δείγμα ήχου των 65 dBA. Αντίθετα, κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων στο δείγμα ήχου των 80 dBA σημειώθηκε σημαντική μείωση της αίσθησης αρεστότητας, ειδικά στο δείγμα σοκολάτας με προσθήκη 10% ζάχαρης, δηλαδή, κατά την αύξηση της έντασης παρατηρείται πτώση της αρεστότητας

Αντιθέτως, όσο αφορά το δείγμα σοκολάτας *Γ*, με την υψηλότερη προσθήκη ζάχαρης (20%) τα επίπεδα αρεστότητας κυμάνθηκαν σε οριακά ουδέτερο επίπεδο, δείχνοντας ότι η έκθεση είτε σε χαμηλό, μέσο ή υψηλό επίπεδο ήχου επηρεάζει το ίδιο τους πειραματιζόμενους που έλαβαν το δείγμα.

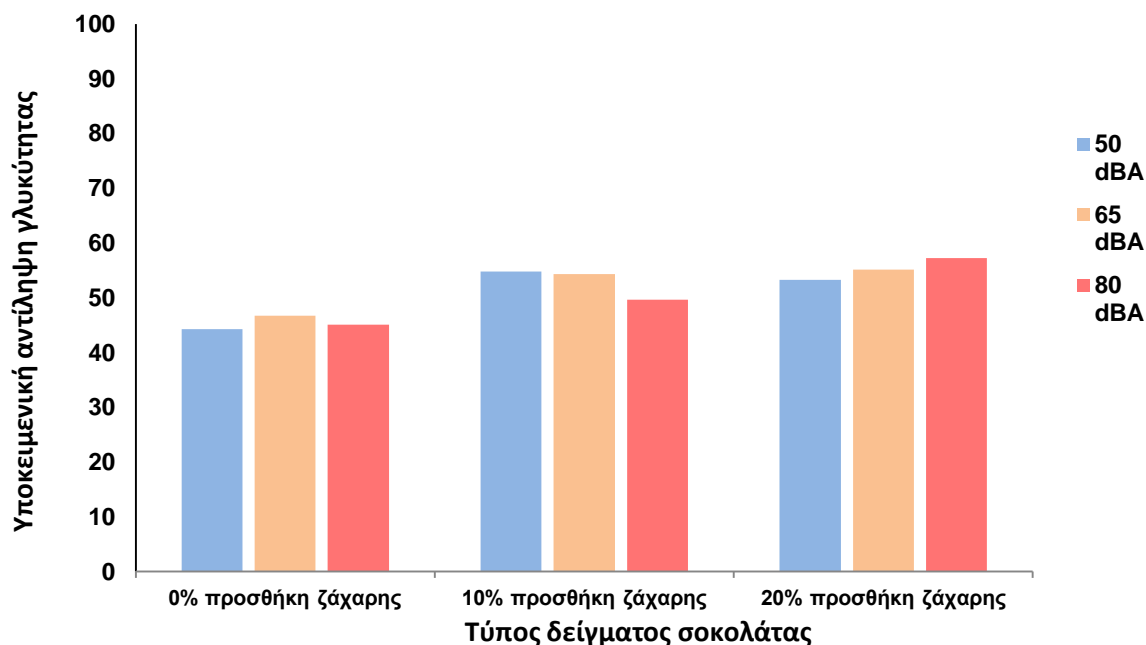
6.1.2 Γλυκύτητα (Sweetness)

Σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία συγκεντρώθηκαν, η γλυκύτητα κινείται επάνω από το ουδέτερο επίπεδο (50) της κλίμακας και σημειώνει τη μέγιστη τιμή της (57,2) στο δείγμα σοκολάτας *Γ* (20% προσθήκη ζάχαρης) και κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων στο ηχητικό δείγμα των 80 dBA.

Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η ένταση του ηχητικού δείγματος, παρατηρείται μια αντίστοιχη αύξηση της γλυκύτητας η οποία από την τιμή 53,3 στα 50 dBA φτάνει στην τιμή του 57,2 στα 80 dBA, ξεπερνώντας το ουδέτερο επίπεδο (50) της κλίμακας.

Στο δείγμα σοκολάτας *B* (10% προσθήκη ζάχαρης), ενώ κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων σε ηχητικό δείγμα των 50 dBA η αίσθηση γλυκύτητας ξεκινά από υψηλότερο επίπεδο (54,8) σε σχέση με το δείγμα σοκολάτας *Γ* (53,3), εντούτοις η αίσθηση αυτή σταδιακά

μειώνεται με αποτέλεσμα να σημειώνει τιμή 49,7 στα 80 dBA έναντι τιμής 57,2 στο αντίστοιχο δείγμα σοκολάτας Γ, σχεδόν οκτώ (8) μονάδων καταλήγοντας έτσι οριακά κάτω από το ουδέτερο επίπεδο γλυκύτητας.



Εικόνα 6: Αποτελέσματα γλυκύτητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.

Στο δείγμα σοκολάτας Α (0% προσθήκη ζάχαρης), η αίσθηση γλυκύτητας δεν ξεπερνά το ουδέτερο επίπεδο (50) σε καθένα από τα διαφορετικά δείγματα ήχου. Συγκεκριμένα, στο δείγμα ήχου των 50 dBA, η αίσθηση γλυκύτητας σημειώνει την ελάχιστη τιμή (44,3) σε όλο το εξεταζόμενο φάσμα και ενώ αυξάνεται (46,7) όταν οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν σε ηχητικό δείγμα των 65 dBA, εντούτοις καταλήγει στην τιμή του 45,1 όταν οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν στο ηχητικό δείγμα των 80 dBA.

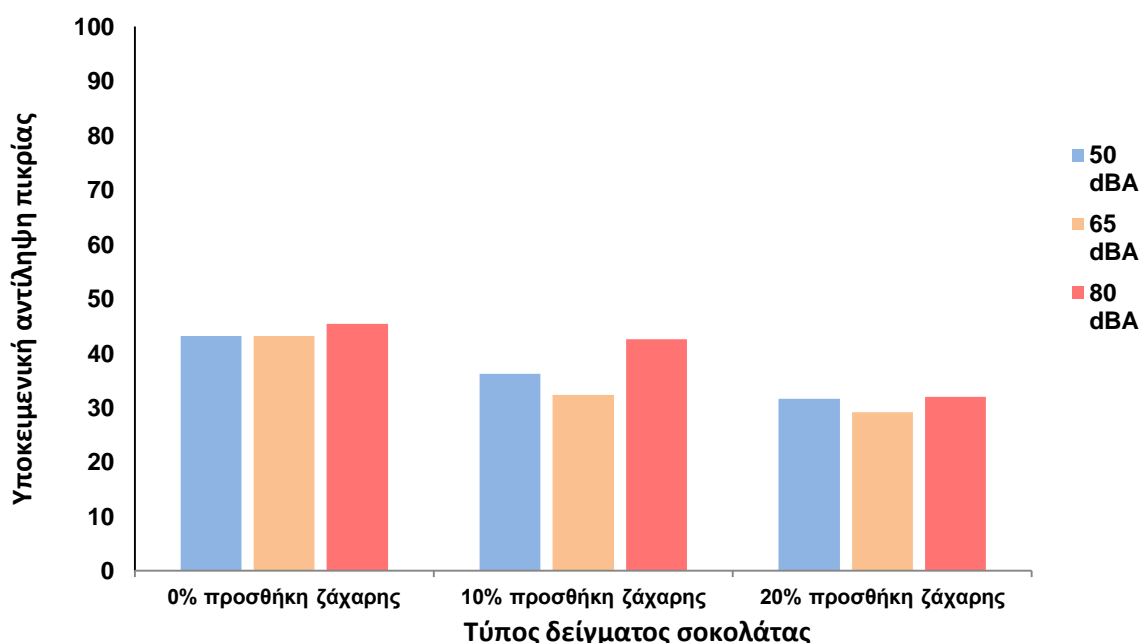
Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η αίσθηση γλυκύτητας αυξάνεται μόνο σε επίπεδο υψηλής προσθήκης ζάχαρης (δείγμα σοκολάτας με 20% προσθήκη ζάχαρης) και παράλληλα όταν οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν στο υψηλότερο επίπεδο έντασης ήχου (δείγμα ήχου 80 dBA), δείχνοντας ότι υπάρχει μια ανάλογη σχέση μεταξύ του υψηλού επιπέδου γλυκύτητας και της έντασης του ήχου.

Η ίδια αλλά αντιστρόφως ανάλογη σχέση συμπεραίνεται για τα άλλα δύο δείγματα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10% αλλά και με προσθήκη ζάχαρης 0%. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η ένταση των ηχητικών δειγμάτων στα οποία εκτέθηκαν οι πειραματιζόμενοι, τόσο μειωνόταν η αίσθηση γλυκύτητας, κάτι πολύ πιο έγκυρο στην προκειμένη περίπτωση, από την στιγμή που στο δείγμα σοκολάτας Γ, μια αύξηση της γλυκύτητας ήταν αναμενόμενη, ανεξάρτητα από τις αυξομειώσεις της ηχητικής στάθμης.

6.1.3 Πικρία (Bitterness)

Στο γράφημα το οποίο ακολουθεί απεικονίζεται η πικρία (bitterness) για κάθε κατηγορία δείγματος σοκολάτας. Σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία συγκεντρώθηκαν, και για τα τρία δείγματα σοκολάτας (0%, 10% και 20% προσθήκη ζάχαρης) η αίσθηση πικρίας κινείται κάτω από το ουδέτερο επίπεδο (50) κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων σε όλο το εύρος των ηχητικών δειγμάτων (50, 65 και 80 dBA).

Συγκεκριμένα, όσον αφορά το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 20%, η αίσθηση πικρίας σημειώνει τη χαμηλότερη τιμή (29,2) για επίπεδο έκθεσης των πειραματιζόμενων τα 65 dBA. Ίδια χαμηλή τιμή (32,2) σημειώνεται και για το δείγμα σοκολάτας με 10% προσθήκη ζάχαρης κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων στο δείγμα ήχου ίδιας έντασης (65 dBA).



Εικόνα 7: Αποτελέσματα πικρίας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.

Όταν όμως οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν σε υψηλό επίπεδο έντασης ήχου (80 dBA) παρατηρήθηκε μια σημαντική αύξηση του αισθήματος πικρίας στο δείγμα σοκολάτας με 10% προσθήκη ζάχαρης από 32,2 σε 42,6 δηλαδή δέκα (10) μονάδων. Μικρότερη αλλά υπαρκτή είναι και η αύξηση του αισθήματος πικρίας στο δείγμα σοκολάτας με 20% προσθήκη ζάχαρης από 29,2 κατά την έκθεση σε δείγμα ήχου 65 dBA σε 32 κατά την έκθεση σε δείγμα ήχου 80 dBA.

Σημαντικό εύρημα θεωρείται η αντίδραση των πειραματιζόμενων όταν έλαβαν το δείγμα σοκολάτας με 0% προσθήκη ζάχαρης. Αν και το συγκεκριμένο δείγμα δεν περιείχε επιπλέον ζάχαρη, εντούτοις τόσο κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων στο δείγμα ήχου των 50 dBA όσο και κατά την έκθεσή τους στα δείγματα ήχου των 65 και των 80 dBA, το επίπεδο πικρίας προσέγγισε

περισσότερο το ουδέτερο επίπεδο (50) σε σχέση με τα άλλα δύο εμπλουτισμένα δείγματα σοκολάτας με 10% και 20% προσθήκη ζάχαρης.

Συμπεραίνεται ότι η αίσθηση πικρίας εξουδετερώνεται κατά την κατανάλωση δείγματος σοκολάτας με μηδενικό ποσοστό προσθήκης ζάχαρης, ανεξάρτητα από το επίπεδο έντασης ήχου στο οποίο εκτέθηκαν οι πειραματιζόμενοι.

Αντίθετα, όσο αυξάνεται το ποσοστό προσθήκης ζάχαρης στο δείγμα σοκολάτας, η αίσθηση πικρίας γίνεται πιο έντονη τόσο κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων σε χαμηλό, μεσαίο αλλά και υψηλό επίπεδο έντασης του ηχητικού δείγματος με μια διαφοροποίηση η οποία αφορά το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10% και επίπεδο έντασης ήχου τα 80 dBA. Σε αυτή την περίπτωση, παρατηρείται μια σημαντική αύξηση του αισθήματος πικρίας (42,6) από τα 65 dBA στα 80 dBA, το οποίο προσεγγίζει εκείνο του δείγματος σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 20% (45,4) στα 80 dBA.

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται μια παράλληλη πορεία που ακολουθεί η αίσθηση της πικρίας ανάλογα με το επίπεδο έντασης του ηχητικού δείγματος τόσο για το δείγμα σοκολάτας με 0% προσθήκη ζάχαρης, όσο και για το δείγμα σοκολάτας με 20% προσθήκη ζάχαρης.

Η διαφοροποίηση που παρατηρείται είναι στην αίσθηση πικρίας που αφορά το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10% η οποία - ενώ ακολουθεί την ίδια πορεία προς το επίπεδο «καθόλου» μαζί με το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 20% (τόσο για έκθεση σε ήχο έντασης 50 όσο και 65 dBA), - φαίνεται να αυξάνεται και να προσεγγίζει το «ουδέτερο» επίπεδο, όταν οι πειραματιζόμενοι εκτέθηκαν σε δείγμα ήχου έντασης 80 dBA.

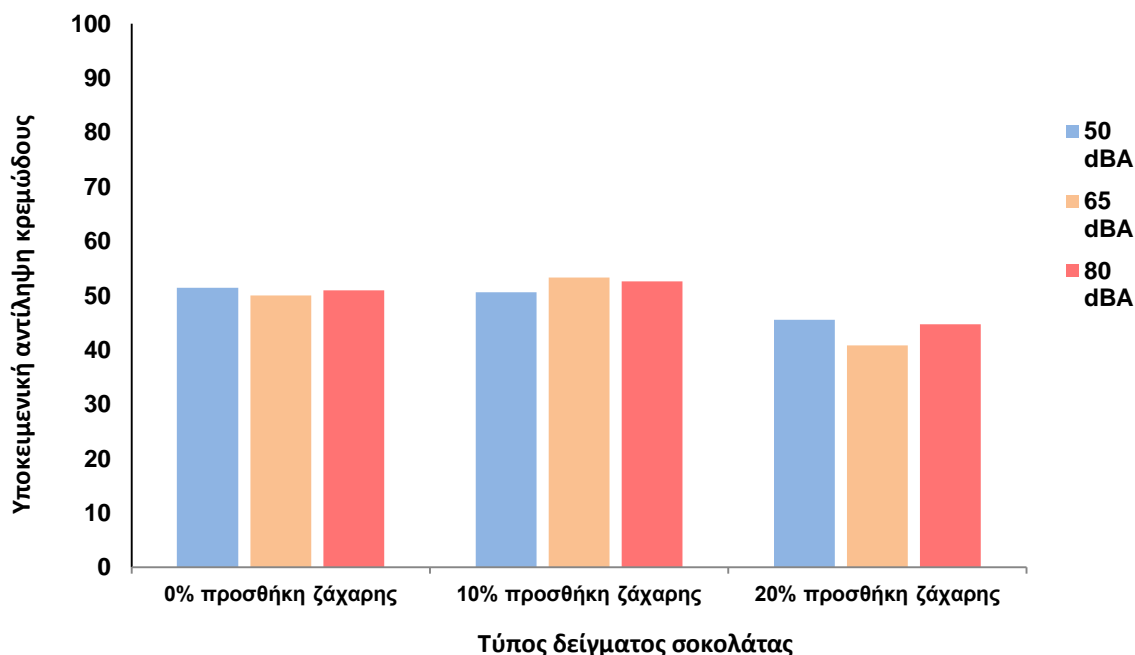
6.1.4 Αίσθηση του κρεμώδους (Creaminess)

Στο γράφημα το οποίο ακολουθεί απεικονίζεται η αίσθηση του κρεμώδους (creaminess) για κάθε κατηγορία δείγματος σοκολάτας. Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η αίσθηση του κρεμώδους σημειώνεται στο δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10% και σε επίπεδο έκθεσης έντασης ήχου 65 dBA (53,3) όπου και ξεπερνά το όριο του «ουδέτερου», και εισέρχεται στην περιοχή του «εξαιρετικά πολύ».

Όσο αφορά την αίσθηση του κρεμώδους για το δείγμα σοκολάτας με 0% προσθήκη ζάχαρης, αυτή λαμβάνει τιμές που την κατατάσσουν σε σχεδόν απόλυτα «ουδέτερο» επίπεδο σε όλα τα δείγματα ήχου ήτοι: 51,5 σε 50 dBA, 50 σε 65 dBA και 51 σε 80 dBA γεγονός το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η έκθεση σε διαφορετικά δείγματα ήχου δεν επηρέασε την αίσθηση του κρεμώδους των πειραματιζόμενων. Αυτή η διαπίστωση ισχύει τόσο για το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10% όσο και για το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 0%.

Αντίθετα, όσον αφορά το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 20%, η αίσθηση του κρεμώδους κυμαίνεται συνολικά σε μειωμένα επίπεδα κάτω από το όριο του «ουδέτερου» και μάλιστα με αρκετά μεγάλη διαφορά (σχεδόν 13 μονάδες) σε σχέση με την αίσθηση του κρεμώδους

για το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10%, όσο και για το δείγμα με προσθήκη ζάχαρης 0% (σχεδόν 10 μονάδες) και για έκθεση των πειραματιζόμενων σε δείγμα ήχου 65 dBA.



Εικόνα 8: Αποτελέσματα αίσθησης κρεμώδους για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες.

Όσο αφορά την αίσθηση του κρεμώδους για το δείγμα σοκολάτας με 0% προσθήκη ζάχαρης, αυτή λαμβάνει τιμές που την κατατάσσουν σε σχεδόν απόλυτα «ουδέτερο» επίπεδο σε όλα τα δείγματα ήχου ήτοι: 51,5 σε 50 dBA, 50 σε 65 dBA και 51 σε 80 dBA γεγονός το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η έκθεση σε διαφορετικά δείγματα ήχου δεν επηρέασε την αίσθηση του κρεμώδους των πειραματιζόμενων. Αυτή η διαπίστωση ισχύει τόσο για το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10% όσο και για το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 0%.

Αντίθετα, όσον αφορά το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 20%, η αίσθηση του κρεμώδους κυμαίνεται συνολικά σε μειωμένα επίπεδα κάτω από το όριο του «ουδέτερου» και μάλιστα με αρκετά μεγάλη διαφορά (σχεδόν 13 μονάδες) σε σχέση με την αίσθηση του κρεμώδους για το δείγμα σοκολάτας με προσθήκη ζάχαρης 10%, όσο και για το δείγμα με προσθήκη ζάχαρης 0% (σχεδόν 10 μονάδες) και για έκθεση των πειραματιζόμενων σε δείγμα ήχου 65 dBA.

Συγκεκριμένα, η αίσθηση του κρεμώδους για το δείγμα σοκολάτας με τη μέγιστη προσθήκη ζάχαρης 20%, παρουσιάζει το ελάχιστο επίπεδο (40,8) σε έκθεση των πειραματιζόμενων σε δείγμα ήχου 65 dBA ενώ αυξάνεται ελάχιστα (44,7) κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων σε δείγμα ήχου 80 dBA.

Συμπερασματικά, η αύξηση του ποσοστού προσθήκης ζάχαρης στο δείγμα σοκολάτας από 10% σε 20% μειώνει την αίσθηση του κρεμώδους συνολικά, με το μέγιστο σημείο να σημειώνεται κατά την έκθεση των πειραματιζόμενων σε δείγμα ήχου έντασης 65 dBA.

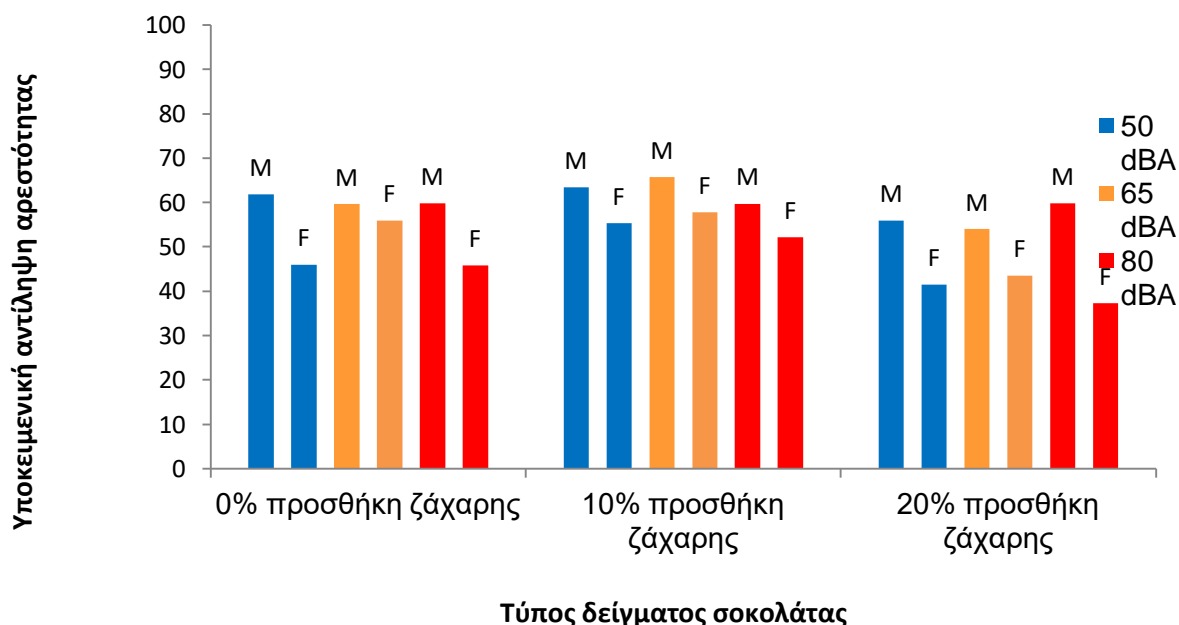
6.2 Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ αρρένων και θηλέων

Σαν επόμενο βήμα επιλέχθηκε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ αρρένων και θηλέων. Αντίστοιχα με το προηγούμενο υποκεφάλαιο, η σύγκριση έγινε για το υποκειμενικό μέγεθος της αρεστότητας, της γλυκύτητας, της πικρίας και της αίσθησης του κρεμώδους.

6.2.1 Αρεστότητα (Likeness) αρρένων και θηλέων

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω γραφήματα, οι διαφορές σχετικά με την αντίληψη της **αρεστότητας** ανάμεσα στα δύο φύλλα παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον. Ειδικότερα, οι άρρηνες, με βάση τα αποτελέσματα, παρουσιάζουν μείωση της αρεστότητας καθώς η ένταση του ήχου αυξάνεται, όπως και στην περίπτωση των θηλέων. Η εμφανής διαφορά που αναδεικνύεται στην κατηγορία της αρεστότητας είναι η ανοχή στις εναλλαγές της ηχητικής στάθμης: Ενώ στην περίπτωση των αρρένων φαίνεται να υπάρχει σχετική πτώση, με αναλογικό ρυθμό, της αρεστότητας με την αύξηση της έντασης, στην περίπτωση των θηλέων οι αλλαγές είναι πολύ πιο απότομες. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι στην στάθμη των 80 dBA η καταγεγραμμένη αρεστότητα των θηλέων βρίσκεται σε σημαντικά χαμηλότερο επίπεδο από ότι των αρρένων, στην ίδια στάθμη.

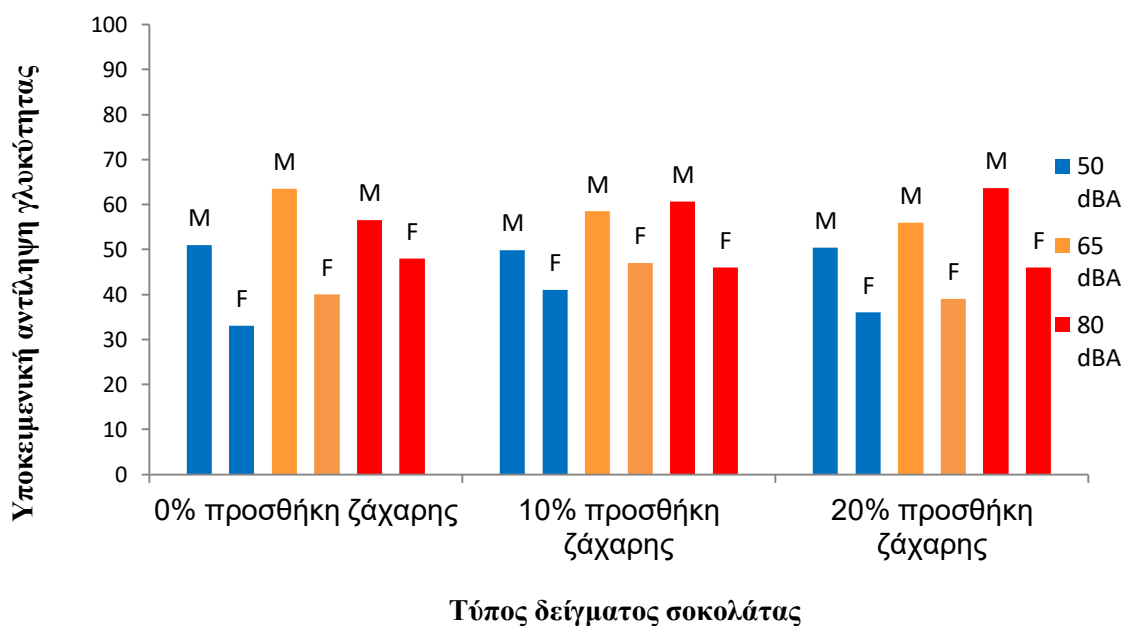
Τέλος, η αρεστότητα των θηλέων φαίνεται ότι και στις τρεις περιπτώσεις περιπτώσεις δείγματος σοκολάτας, η στάθμη των 65 dBA ενισχύει περισσότερο, από τις υπόλοιπες στάθμες, την αρεστότητα του προϊόντος προς κατανάλωση.



Εικόνα 9: Αποτελέσματα αρεστότητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρηνες (M) και θήλειες (F) ξεχωριστά.

6.2.2 Γλυκύτητα (Sweetness) αρρένων και θηλέων

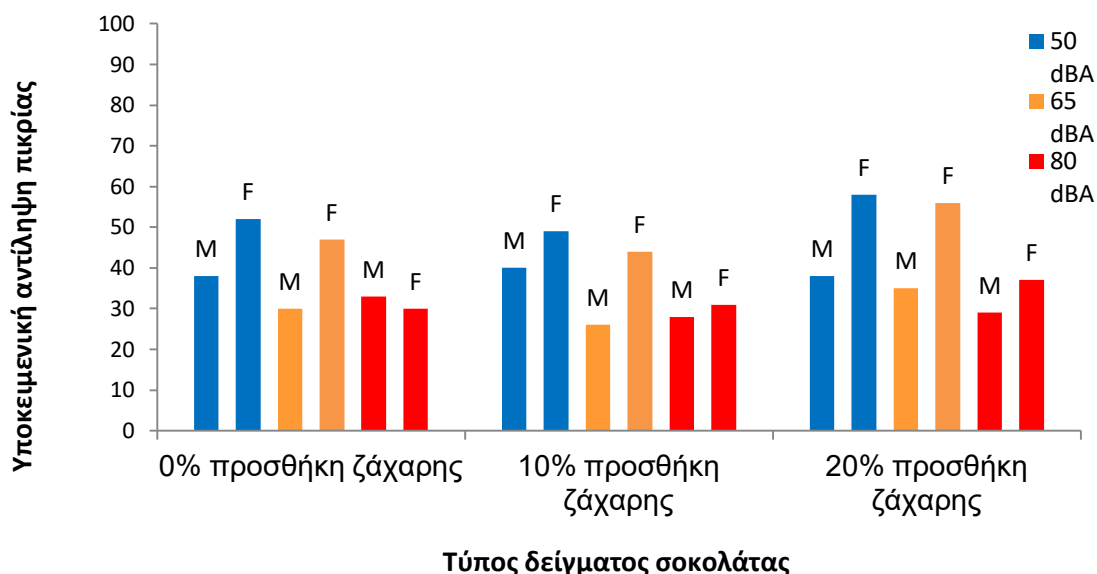
Στην περίπτωση της γλυκύτητας, φαίνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει εμφανή αύξηση της γλυκύτητας, καθώς αυξάνεται η ένταση. Η κύρια διαφορά ανάμεσα στα δύο φύλλα είναι το μέγεθος των διακυμάνσεων: Όπως στην περίπτωση της αρεστότητας (βλ. παραπάνω), έτσι και η γλυκύτητα παρουσιάζει αύξηση με μεγαλύτερο ρυθμό στις θύλεις από ότι στους άρρενες.



Εικόνα 10: Αποτελέσματα γλυκύτητας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρενες (M) και θήλεις (F) ξεχωριστά.

6.2.3 Πικρία (Bitterness) αρρένων και θηλέων

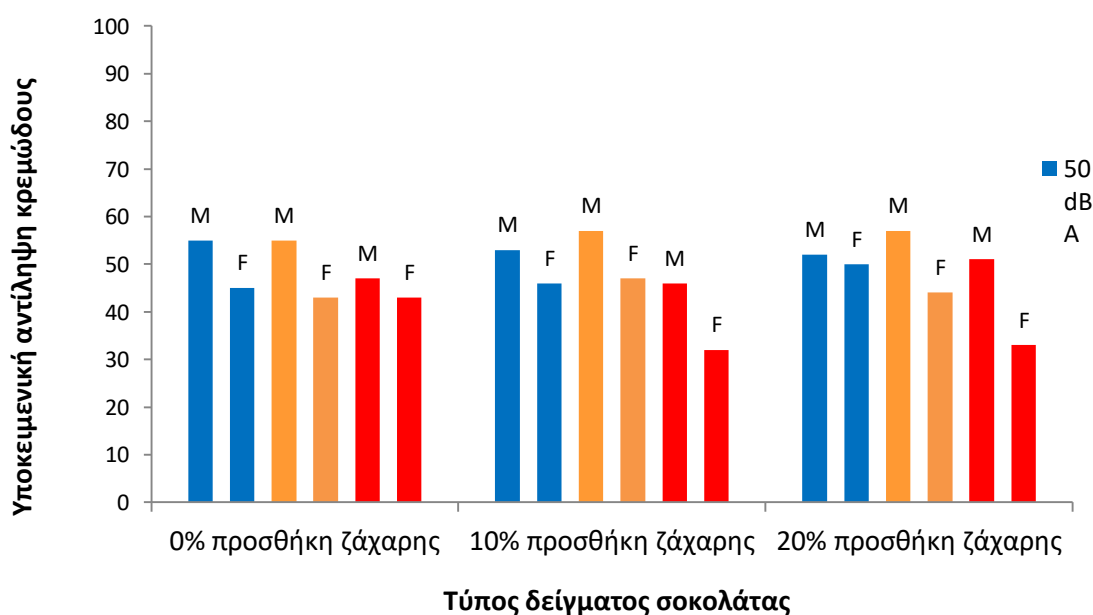
Μιλώντας για την κατηγορία της πικρίας, στην περίπτωση των αρρένων παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ηχητική στάθμη (dBA), η ένταση της αντιλαμβανόμενης πικρίας μειώνεται. Το ίδιο φαινόμενο επαναλαμβάνεται και στη περίπτωση των θηλέων και μάλιστα με μεγαλύτερη συνέπεια (consistency) αποτελεσμάτων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον επίσης υπάρχει στις περιπτώσεις των αρρένων με την χαμηλότερη ηχητική στάθμη (50 dBA), όπου η πικρία παραμένει σταθερή, ανεξάρτητα από το ποιο δείγμα σοκολάτας δοκιμάστηκε.



Εικόνα 11: Αποτελέσματα της πικρίας για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρενες (M) και θήλειες (F) ξεχωριστά.

6.2.4 Κρεμώδες (Creaminess) αρρένων και θηλέων

Η αντίληψη του **κρεμώδους** παρουσιάζει τις περισσότερες ιδιαιτερότητες συγκρίνοντας την με τις υπόλοιπες αισθητηριακές τροπικότητες. Πιο συγκεκριμένα, ενώ κατά μια γενική έννοια φαίνεται να υπάρχει μια αντιστρόφως αναλογική σχέση μεταξύ της έντασης του κρεμώδους και την ένταση του ήχου (ομοίως με την αίσθηση του πικρού), στην περίπτωση όπου η στάθμη βρίσκεται στα 65 dBA, το κρεμώδες παραμένει σταθερό ανά διαφορετικό δείγμα σοκολάτας. Το φαινόμενο αυτής της σταθερότητας παρουσιάζεται και στις δοκιμές των θηλέων, καθώς σε αυτή την περίπτωση η σταθερότητα υπάρχει και στις περιπτώσεις των 50 dBA. Παρόλα αυτά, ο γενικότερος ρυθμός μεταβολής στις αξιολογήσεις των θηλέων έχει μικρότερες διακυμάνσεις.



Εικόνα 12: Αποτελέσματα της αίσθησης του κρεμώδους για διαφορετικά δείγματα σοκολάτας και διαφορετικές ηχητικές στάθμες σε άρρενες (M) και θήλειες (F) ξεχωριστά.

6.3 Τελικά συμπεράσματα

Σε πρακτικό πλαίσιο, αυτό που παρατηρείται στο ερέθισμα της **αρεστότητας** είναι ότι κατά την αύξηση της ηχητικής στάθμης η αρεστότητα πέφτει, ενώ κατά προσέγγιση όσο αυξάνεται η ζάχαρη στα δείγματα σοκολάτας, η αρεστότητα αυξάνεται, πράγμα λογικό αν σκεφτεί κάποιος ότι λόγω εξέλιξης του ανθρωπίνου είδους, ο εγκέφαλος είναι προγραμματισμένος να υπερεπιθυμεί τις γλυκιές τροφές περισσότερο από άλλες (όσο πιο γλυκό είναι το προϊόν προς κατανάλωση, τόσο πιο πλούσιο σε σάκχαρα, δηλ. ενέργεια).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αντιλαμβανόμενης **γλυκύτητας**, τα αποτελέσματα είναι αρκετά ασταθή, αφού στις περιπτώσεις δείγματος σοκολάτας *A* και *B* (0% και 20% προσθήκη ζάχαρης) παρουσιάζεται σχετική αύξηση της γλυκύτητας, ενώ για την περίπτωση σοκολάτας *τύπου B* ισχύει το ακριβώς αντίθετο.

Στην περίπτωση της **πικρίας** παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση σοκολάτας, με την αύξηση της ηχητικής στάθμης, η πικρία μειώνεται δημιουργώντας μια «αντιστρόφως ανάλογη» σχέση μεταξύ πικρίας κι έντασης του ήχου.

Στην αίσθηση του **κρεμώδους**, τα αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι με κατά την αύξηση της ηχητικής στάθμης υπάρχει μια εμφανή τάση για μείωση της αίσθησης.

Συνοψίζοντας, από τις μετρήσεις που λήφθηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος, παρατηρείται ότι με την αύξηση της έντασης της ηχητικής στάθμης παρουσιάζεται άυξηση της πικρίας, ενώ η αίσθηση του κρεμώδους τείνει να μειώνεται. Επιπλέον, για τις περιπτώσεις δείγματος σοκολάτας με 0% και 20% προσθήκη ζάχαρης, φαίνεται πως αυξάνεται και η αίσθηση της γλυκύτητας. Επιπλέον, κατά την συνθήκη έντασης αυτή καθ' αυτή, η αρεστότητα των αρρένων τείνει να παραμένει σταθερή, σε αντίθεση με την αρεστότητα των θυλών, όπου σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται εμφανής μείωση αυτής.

Γενικότερα η έρευνα αυτή έρχεται σε συμφωνία και με άλλες αντίστοιχες έρευνες. Γενικότερα έχει βρεθεί ότι με την αύξηση του θορύβου (π.χ. από λευκό θόρυβο), μειώνεται η αρεστότητα του φαγητού [74]. Σημασία έχει βέβαια ο ήχος στο τελικό αποτέλεσμα σχετικά με την εκτίμηση της αρεστότητας και διαφορετικών πτυχών της γεύσης [75].

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allen, J.R., Bhattacharyya, K.D., Asante, E., Almadi, B., Schafer, K., Davis, J., Cox, J., Voigt, M., Viator, J.A., Chandrasekhar, A. Role of branchiomotor neurons in controlling food intake of zebrafish larvae. *Journal of Neurogenetics* **2017**, *31*, 128-137.
2. A.H. Bell, M.A.M., A.J. Van Opstal, D.P. Munoz. Crossmodal integration in the primate superior colliculus underlying the preparation and initiation of saccadic eye movements. *Journal of Neurophysiology* **2005**, *93*, 3659-3673.
3. Bonath, B., Noesselt, T., Krauel, K., Tyll, S., Tempelmann, C., and Hillyard, S. A. Audio-visual synchrony modulates the ventriloquist illusion and its neural/spatial representation in the auditory cortex. *NeuroImage* **2014**, *98*, 425–434.
4. Brosch M., S.E., Scheich H. Nonauditory events of a behavioral procedure activate auditory cortex of highly trained monkeys. *Journal of Neuroscience* **2005**, *25*, 6797–6806.
5. Budinger, E.; Heil, P.; Hess, A.; Scheich, H. Multisensory processing via early cortical stages: connections of the primary auditory cortical field with other sensory systems. *Neuroscience* **2006**, *143*, 1065-1083.
6. Papadakis, N.M.; Zantzas, A.; Lafazanis, K.; Stavroulakis, G.E. Influence of Color on Loudness Perception of Household Appliances: Case of a coffee maker. *Designs* **2022**.
7. Breslin, P.A. An evolutionary perspective on food and human taste. *Current Biology* **2013**, *23*, R409-R418.
8. Liman, E.R., Zhang, Y. V. & Montell, C. Peripheral coding of taste. *Neuron* **2014**, *81*, 984-1000
9. Champoux, F., Tremblay, C., Mercier, C., Lassonde, M., Lepore, F., Gagn, J. P., & Thoret, H. A role for the inferior colliculus in multisensory speech integration. *NeuroReport* **2006**, *17*, 1607–1610
10. Stanska, K.K., A. The umami taste: from discovery to clinical use. *Polish Journal of Otolaryngology* **2016**, *70*.
11. Prescott, J. *Umami: The Fifth Taste*; 2014.
12. Zafra, M.A., Molina, F. & Puerto A. The neural/cephalic phase reflexes in the physiology of nutrition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* **2006**, *30*, 1032-1044
13. Matters, R.D. Physiologic responses to sensory stimulation by food: nutritional implications. *Journal of American Dietologist Association* **1997**, *97*, 406-413.
14. Guyton, A.C. *Textbook of medical physiology*; 2006.
15. San Gabriel, A., Nakamura, E., Uneyama, H. & Torii, K. Taste, visceral information and exocrine reflexes with glutamate through umami receptors. *Journal of Medical Investigation* **2009b**, 209-217. 242
16. Kendig, D.M., Hurst, N. R., Bradley, Z. L., Mahavadi, S., Kuemmerle, J. F., Lyall, V., Desimone, J., Murthy, K. S. & Grider, J. R. Activation of the umami taste receptor (T1R1/T1R3) initiates the peristaltic reflex and pellet propulsion in the distal colon. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology* **2014**, *307*, G1100-1107.
17. Uneyama, H., Kawai, M., Sekine-Hayakawa, Y. & Torii, K. Contribution of umami taste substances in human salivation during meal. *Journal of Medical Investigation* **2009**, 197-204
18. Mouritsen, O.G. Umami flavour as a means of regulating food intake and improving nutrition and health. *Nutritional Health* **2012**, *21*, 56-75
19. Masic, U.Y., M. R. Umami flavor enhances appetite but also increases satiety. *American Journal of Clinical Nutrition* **2014**, *100*, 532-538.
20. Moller, A.R. *Sensory systems: anatomy and physiology*; London Academic Press Amsterdam, 2003.
21. Barrett, K.E., Barman, S. M., Brooks, H. L., Yuan, Jason X.-J. . 2010.

22. Gravina, S.A., Yep, G. L. & Khan, M. Human biology of taste. *Annals of Saudi Medicine* **2013**, *33*, 217-222.
23. Hoon, M.A., Adler, E., Lindemeier, J., Battey, J. F., Ryba, N. J. & Zuker, C. S. Putative mammalian taste receptors: a class of taste-specific GPCRs with distinct topographic selectivity. *Cell* **1999**, *96*, 541-551.
24. Spielman, A.I. Chemosensory Function and Dysfunction. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine* **1998**, *9*, 267-291
25. Chaudhari, N.R., S. D. The cell biology of taste. *Journal of Cell Biology* **2010**, *190*, 285-296.
26. Kubale, V. Taste perception: from anatomical to molecular level. *Slovenian Veterinary Research* **2010**, *47*, 107-127.
27. Bachmanov, A.A., Bosak, N. P., Lin, C., Matsumoto, I., Ohmoto, M., Reed, D. R. & Nelson, T. M. Genetics of taste receptors. *Current Pharmaceutical Design* **2014**, *20*, 2669-2683.
28. Levine M.S., C.C., Hickey M.A., Fleming S.M., Chesselet M.F. Genetic mouse models of Huntington's and Parkinson's diseases: Illuminating but imperfect. *Trends of Neuroscience* **2004**, *27*, 691-697.
29. Bartel, C.W., Amy & Wiesenfeld, Batia. Knowing Where You Stand: Physical Isolation, Perceived Respect, and Organizational Identification Among Virtual Employees. *Organization Science* **2012**, *23*, 743-757.
30. Dotson, V.D., Christos & Kraut, Michael & Resnick, Susan. Depressive symptoms and brain volumes in older adults: A longitudinal magnetic resonance imaging study. *Journal of Psychiatry & Neuroscience* **2009**, *34*.
31. DeFazio, R.A., Dvoryanchikov, G., Maruyama, Y., Kim J. W., Pereira, E., Roper, S. D. & Chaudhari, N. Separate populations of receptor cells and presynaptic cells in mouse taste buds. *Journal of Neuroscience* **2006**, *26*, 3971-3980
32. Huang, A.L., Chen, X., Hoon, M. A., Chandrashekar, J., GUO, W., Trankner, D., Ryba, N. J. & Zuker, C. S. The cells and logic for mammalian sour taste detection. *Nature* **2006**, *442*, 934-938
33. Tomchik, S.M.; Berg, S.; Kim, J.W.; Chaudhari, N.; Roper, S.D. Breadth of tuning and taste coding in mammalian taste buds. *Journal of Neuroscience* **2007**, *27*, 10840-10848.
34. Foster, S.B., Kristina & Hoe, Louise & Behrens, Maik & Meyerhof, Wolfgang & Peart, Jason & Thomas, Walter. Bitter taste receptor agonists elicit G-protein-dependent negative inotropy in the murine heart. *Federation of American Societies for Experimental Biology* **2014**, *28*, 1096/fj.1014-256305.
35. Pin, J.P., Kniazeff, J., Goudet, C., Bessis, A. S., Liu, J., Galvez, T., Acher, F., Rondard, P. & Prezeau, L. . The activation mechanism of class-C G-protein coupled receptors. *Biology of the Cell* **2004**, *96*, 335-342.
36. Laffitte, A., Neiers, F. & Briand, L. Functional roles of the sweet taste receptor in oral and extraoral tissues. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* **2014**, *17*, 379-385.
37. Iwatsuki, K., Ichikawa, R., Uematsu, A., Kitamura, A., Uneyama, H. & Torii, K. Detecting sweet and umami tastes in the gastrointestinal tract. *Acta Physiologica Impact Factor* 2012, pp. 169-177.
38. Maehashi, K.H., L. Bitter peptides and bitter taste receptors. *Cellular and Molecular Life Sciences* **2009**, *66*, 1661-1671
39. Chandrasekaran, j., Kuhn, c., Oka, y., Yarmolinsky, d. a., Hummler, e., Ryba, n. j. & Zuker, c. s. The cells and peripheral representation of sodium taste in mice. *Nature* **2010**, 297-301.
40. Chandrasekaran, C., Lemus, L., & Ghazanfar, A. A. *Dynamic faces speed up the onset of auditory cortical spiking responses during vocal detection*; National Academy of Sciences of the United States of America: 2013; pp. E4668–E4677.
41. Stevenson, R.A.; Ghose, D.; Fister, J.K.; Sarko, D.K.; Altieri, N.A.; Nidiffer, A.R.; Kurela, L.R.; Siemann, J.K.; James, T.W.; Wallace, M.T. Identifying and quantifying multisensory integration: a tutorial review. *Brain topography* **2014**, *27*, 707-730.

42. Murray, M.M.; Wallace, M.T. *The neural bases of multisensory processes*; CRC Press: 2011.
43. Kayser, C., Logothetis, N. K., & Panzeri, S. Visual enhancement of the information representation in auditory cortex. *Current Biology* **2010**, *20*, 19–24
44. Gao, P.P., Zhang, J. W., Fan, S. J., Sanes, D. H., & Wu, E. X. Auditory midbrain processing is differentially modulated by auditory and visual cortices: An auditory fMRI study. *NeuroImage*, *123*, 22–32. *NeuroImage* **2015**, *123* 22-23.
45. Breslin, P.A. Breslin, P. A. 2013. An evolutionary perspective on food and human taste. *Current Biology* **2013**, *23*, R409-418.
46. Einevoll, G.T., Kayser, C., Logothetis, N. K., & Panzeri, S. Modelling and analysis of local field potentials for studying the function of cortical circuits. *Nature Reviews Neuroscience* **2013**, *14*, 770–785
47. Alais, D., & Burr, D. No direction-specific bimodal facilitation for audiovisual motion detection. *Cognitive Brain Research* **2004**, *19*, 185–194.
48. Stein, B.E., Huneycutt, W. S., & Meredith, M. A. Neurons and behavior: The same rules of multisensory integration apply. *Brain Research* **1988**, *448* 355–358
49. Lewkowicz, D.J., & Lickliter, R. (Eds.). *The Development of Intersensory Perception: Comparative Perspectives (1st ed.)*; Psychology Press: 1994.
50. Stein, B.E., & Wallace, M. T. Comparisons of cross-modality integration in midbrain and cortex. *Progress in Brain Research* **1996**, *112* 289–299
51. Wallace, M.T., Meredith, M. A., & Stein, B. E. Multisensory integration in the superior colliculus of the alert cat. *Journal of Neurophysiology* **1998**, *80* 1006–1010
52. Wallace, M.T.; Meredith, M.A.; Stein, B.E. Multisensory integration in the superior colliculus of the alert cat. *Journal of neurophysiology* **1998**, *80*, 1006-1010.
53. Bremner, A.H., Nicholas & Spence, Charles. *Multisensory Development: The development of multisensory representations of the body and of the space around the body*; Oxford University Press: Oxford, 2012.
54. Cohen Y.E., R.B.E., Gifford G.W., Kiringoda R, MacLean K.A. Selectivity for the spatial and nonspatial attributes of auditory stimuli in the ventrolateral prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience* *24*, 11307-11316.
55. Rowland B. A., Q.S., Stanford T. R., Stein B. E. Multisensory integration shortens physiological response latencies. *Journal of Neuroscience* **2007**.
56. Pluta S.R., T.G.I., Naka A., Adesnik H. Superficial Layers Suppress the Deep Layers to Fine-tune Cortical Coding. *Journal of Neuroscience* **2019**, *39*, 2052-2064.
57. Cappe, C., Rouiller, E. M., & Barone, P. Cortical and thalamic pathways for multisensory and sensorimotor interplay. In M. M. Murray & M. T. Wallace (Eds.), *The neural bases of multisensory processes*. In *The neural bases of multisensory processes*; CRC Press Boca Raton, FL, 2012; pp. 15-30.
58. Chandrasekaran, C., Trubanova, A., Stillittano, S., Caplier, A., & Ghazanfar, A. A. The natural statistics of audiovisual speech. *PLoS Computational Biology* **2009**, *5*.
59. Murray, M.M., & Wallace, M. T. (Eds.). *The neural bases of multisensory processes*; CRC Press Boca Raton, FL., 2012.
60. Calvert, G.A., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Campbell, R., Williams, S. C., McGuire, P. K., Woodruff, P. W., Iversen, S. D., & David, A. S. Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science* **1997**, *276* 593–596
61. Pekkola, J., Ojanen, V., Autti, T., J?skel?inen, I. P., M?tt?nen, R., Tarkiainen, A., & Sams, M. Primary auditory cortex activation by visual speech: An fMRI study at 3 T. *NeuroReport* **2005**, *16*, 125-128.
62. Kayser, C., Petkov, C. I., Augath, M., & Logothetis, N. K. Functional imaging reveals visual modulation of specific fields in auditory cortex. *The Journal of Neuroscience* **2007**, *27* 1824–1835

63. Ghazanfar, A.A., Maier, J. X., Hoffman, K. L., & Logothetis, N. K. Multisensory integration of dynamic faces and voices in rhesus monkey auditory cortex. *The Journal of Neuroscience* **2005**, *25*, 5004–5012
64. Bizley, J.K., Walker, K. M., Silverman, B. W., King, A. J., & Schnupp, J. W. Interdependent encoding of pitch, timbre, and spatial location in auditory cortex. *Journal of Neuroscience* **2009**, *29* 2064–2075
65. Ghazanfar, A.A. The multisensory roles for auditory cortex in primate vocal communication. *Hearing Research* **2009**, *258*113–120.
66. Iurilli, G., Ghezzi, D., Olcese, U., Lassi, G., Nazzaro, C., Tonini, R., Tucci, V., Benfenati, F., & Medini, P. Sound-driven synaptic inhibition in primary visual cortex. *Neuron* **2012**, *73*, 814–828
67. Osgood, C.E., May, W. H., and Miron, M. S. *Cross-Cultural Universals of Affective Meaning*; University of Illinois Press Urbana, IL., 1975.
68. Osgood, C.E., Suci, G., & Tannenbaum, P. *The measurement of meaning*; University of Illinois Press: Urbana, IL., 1957.
69. Papadakis, N.M.; Aletta, F.; Kang, J.; Oberman, T.; Mitchell, A.; Stavroulakis, G.E. Translation and Cross-Cultural Adaptation Methodology for Soundscape Attributes – A study with Independent Translation Groups from English to Greek. *Applied Acoustics* **2022**, *200*, doi:<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109031>.
70. Papadakis, N.M.; Aroni, I.; Stavroulakis, G.E. Effectiveness of MP3 Coding Depends on the Music Genre: Evaluation Using Semantic Differential Scales. *Acoustics* **2022**, *4*, 704-719, doi:<https://doi.org/10.3390/acoustics4030042>.
71. Papadakis, N.M.; Stavroulakis, G.E. Review of Acoustic Sources Alternatives to a Dodecahedron Speaker. *Applied Sciences* **2019**, *9*, 3705, doi:<https://doi.org/10.3390/app9183705>.
72. Antoniadou, S.; Papadakis, N.M.; Stavroulakis, G.E. Measuring Acoustic Parameters with ESS and MLS: Effect of Artificially Varying Background Noises. *Euronoise 2018* **2018**.
73. Papadakis, N.M.; Stavroulakis, G.E. Handclap for Acoustic Measurements: Optimal Application and Limitations. *Acoustics* **2020**, *2*, 224-245, doi:10.3390/acoustics2020015.
74. Woods, A.T.; Poliakoff, E.; Lloyd, D.; Kuenzel, J.; Hodson, R.; Gonda, H.; Batchelor, J.; Dijksterhuis, G.B.; Thomas, A. Effect of background noise on food perception. *Food Quality and Preference* **2011**, *22*, 42-47.
75. Alamir, M.A.; Hansen, K. The effect of type and level of background noise on food liking: A laboratory non-focused listening test. *Applied Acoustics* **2021**, *172*, 107600.