



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ**

**ΜΕ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»**

**MSc: “Environment and Health. Capacity Building for Decision Making”**

**Διευθυντής ΠΜΣ**

**Νικόλαος Καβαντζάς, Καθ. Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ**

**Τίτλος ΜΔΕ**

**«Τα αιωρούμενα σωματίδια και οι επιπτώσεις τους στην υγεία»**

**« Suspended particles and their effects on health»**

Όνομα: Παπαδάτος-Φράγκος Ιωάννης

Αρ. μητρώου: 20170675

Επάγγελμα/ή Ιδιότητα: Φυσικός

**Επιβλέπων καθηγητής ΜΔΕ:** Νικόλαος Καβαντζάς, Καθηγητής Ιατρικής Σχολής Ε.Κ.Π.Α., Διευθυντής του ΠΜΣ: «Περιβάλλον και Υγεία: Διαχείριση Περιβαλλοντικών θεμάτων με επιπτώσεις στην Υγεία», Ιατρική Σχολή Ε.Κ.Π.Α

**ΑΘΗΝΑ 2019**



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ**

**ΜΕ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»**

**MSc: “Environment and Health. Capacity Building for Decision Making”**

**Διευθυντής ΠΜΣ**

**Νικόλαος Καβαντζάς, Καθ. Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ**

**Τίτλος ΜΔΕ**

**«Τα αιωρούμενα σωματίδια και οι επιπτώσεις τους στην υγεία»**

**«Suspended particles and their effects on health»**

Όνομα: Παπαδάτος-Φράγκος Ιωάννης

Αρ. μητρώου: 20170675

Επάγγελμα/ή Ιδιότητα: Φυσικός

**Τριμελής επιτροπή**

**Επιβλέπων καθηγητής ΜΔΕ:** Νικόλαος Καβαντζάς, Καθηγητής Ιατρικής Σχολής Ε.Κ.Π.Α., Διευθυντής του ΠΜΣ: «Περιβάλλον και Υγεία: Διαχείριση Περιβαλλοντικών θεμάτων με επιπτώσεις στην Υγεία», Ιατρική Σχολή Ε.Κ.Π.Α

**Πρόεδρος καθηγητής ΜΔΕ:** Ανδρέας Λάζαρης, Καθηγητής Παθολογικής Ανατομικής Ιατρικής Σχολής Ε.Κ.Π.Α.

**Μέλος καθηγητής ΜΔΕ:** Αλέξανδρος Παπαγιάννης, Καθηγητής ΣΕΜΦΕ, ΕΜΠ

**ΑΘΗΝΑ 2019**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Πρόλογος</b> .....	<b>4</b>
<b>Περίληψη</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b> .....	<b>7</b>
1.1 Ατμόσφαιρα .....	7
1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	11
1.3 Αιωρούμενα σωματίδια .....	13
<b>Κεφάλαιο 2: Αναπνευστικό σύστημα</b> .....	<b>23</b>
2.1 Φυσιολογία αναπνευστικού.....	23
2.2 Επιδράσεις αιωρούμενων σωματιδίων .....	31
<b>Κεφάλαιο 3: Καρδιαγγειακό σύστημα</b> .....	<b>38</b>
3.1 Φυσιολογία Καρδιαγγειακού.....	38
3.2 Επιδράσεις αιωρούμενων σωματιδίων και ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	44
<b>Κεφάλαιο 4: Γαστροοισοφαγικό-γαστρεντερικό σύστημα</b> .....	<b>47</b>
4.1 Φυσιολογία .....	47
4.2 Επιδράσεις αιωρούμενων σωματιδίων και ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	57
<b>Κεφάλαιο 5: Γυναικείο αναπαραγωγικό σύστημα-Έμβryo-Παιδί</b> .....	<b>61</b>
5.1 Φυσιολογία .....	61
5.2 Επιδράσεις αιωρούμενων σωματιδίων και ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	69
<b>Συμπεράσματα</b> .....	<b>73</b>
<b>Συνομογραφίες</b> .....	<b>74</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>76</b>

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης του ΠΜΣ «Περιβάλλον και Υγεία. Διαχείριση Περιβαλλοντικών Θεμάτων με Επιπτώσεις στην Υγεία», του τμήματος Ιατρικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Σκοπός της είναι να μελετηθούν οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία του ανθρώπου. Συγκεκριμένα, γίνεται εκτενής αναφορά στο φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με εστίαση στα αιωρούμενα σωματίδια, καθώς και της φυσιολογίας και παθολογικής ανατομικής του αναπνευστικού, του καρδιαγγειακού, του γαστροοισοφαγικού και του γενετικού συστήματος των θηλέων τόσο πριν όσο και μετά από την επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Παράλληλα, παρατίθεται η επίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την κύηση και τα πρώτα χρόνια ζωής του νεογνού. Καταληκτικά, επισημαίνονται οι κύριες νοσηρότητες που προκαλούνται από την έκθεση στις επιμέρους κατηγορίες των ατμοσφαιρικών ρύπων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ανθρώπινος οργανισμός εκτίθεται καθημερινά σε διάφορες ουσίες και σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), το όζον (O<sub>3</sub>) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) είναι ανάμεσα στους πιο γνωστούς και επιβλαβείς αέριους ρύπους. Η δράση τους στον ανθρώπινο οργανισμό εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα. Τα συμπτώματα του ατόμου που εκτίθεται σε αέριους ρύπους μπορούν να κυμαίνονται από ήπια, όπως ερεθισμός των ματιών και του ρινοφάρυγγα έως πολύ σοβαρά, όπως κώμα ή και θάνατος.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι συνυπάρχουν στην ατμόσφαιρα και η δράση τους στον ανθρώπινο οργανισμό είναι συνεργική. Ανάλογα με το βαθμό έκθεσης και την κατάσταση της υγείας του ατόμου, η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί διαταραχές στη φυσιολογική λειτουργία πολλών συστημάτων οργάνων ή/και επιδεινώνει ήδη υπάρχουσες νόσους.

Ο Π.Ο.Υ. ορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση ως τον πιο σημαντικό περιβαλλοντικό κίνδυνο για την υγεία του ατόμου. Στην τελευταία έκθεσή του αναφέρει μεταξύ άλλων ότι απαιτείται η λήψη μέτρων για τον περιορισμό των αέριων ρύπων, οι οποίοι ευθύνονται για εκατομμύρια θανάτους κάθε χρόνο. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα παιδιά και στα αυξανόμενα περιστατικά βρογχικού άσθματος σε νεαρή ηλικία.

Παρά τον περιορισμό των εκπομπών πολλών αέριων ρύπων από κάποιες χώρες, η ατμοσφαιρική ρύπανση, κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, εξακολουθεί να βρίσκεται σε υπερβολικά υψηλά επίπεδα (πάνω από τις μέσες τιμές που ορίζει ο Π.Ο.Υ το 2018) με αποτέλεσμα να υποβαθμίζει την ποιότητα ζωής εκατομμυρίων ανθρώπων. Προκαλεί αύξηση της νοσηρότητας και πρόωρη θνησιμότητα.

## **ABSTRACT**

The human body is exposed daily to various substances and suspended particles in the atmosphere. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) and particulate matter (PM) are among the most well-known and harmful gaseous pollutants. Their action in the human body depends on their concentration in the atmosphere. The symptoms of the person exposed to gaseous pollutants may range from mild, such as irritation of the eyes and nasopharynx to severe, such as coma and/or death.

Atmospheric pollutants coexist in the atmosphere and their action in the human body is synergistic. Depending on the degree of exposure and the state of the individual's health, air pollution causes disturbance to the normal functioning of many organ systems and aggravates existing diseases.

WHO defines atmospheric pollution as the most significant environmental hazard to the human health. In its latest report it mentions, among other things, that measures are needed to reduce air pollutants, which are responsible for millions of deaths each year. Particular importance is given to the impact of air pollution on children and the increasing incidences of asthma at an early age.

Despite the limitation of emissions of many air pollutants from some countries, air pollution, especially in large urban centers, is still too high (above the average that WHO set in 2018), which degrades the quality of life of millions of people. It causes increased morbidity and premature mortality.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ατμόσφαιρα είναι ένα κολλοειδές μέσο (απαρτίζεται δηλαδή από στερεά, υγρά και αέρια), που περιβάλλει τη γη και συγκρατείται σε αυτή με τη βαρύτητα. Έτσι έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητά της στο έδαφος και βαθμιαία, καθώς αυξάνεται η απόστασή της από τη γη, γίνεται πιο αραιή, μέχρι να μην είναι δυνατό, να διαχωριστεί τελικά από το διαπλανητικό αέριο. Συνεπώς δεν είναι δυνατό, θεωρητικά, να καθοριστεί με ακρίβεια η “οροφή” της ατμόσφαιρας (Βαρώτσος Κ., 2008).

Καθώς απομακρύνεται κανείς από την επιφάνεια της γης, διασχίζει διάφορες περιοχές με εντελώς διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Όπως είναι γνωστό, η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με το ύψος, έτσι ώστε η πίεση σε κάθε στάθμη να εκφράζει συνήθως το βάρος της ακίνητης στήλης του αέρα μοναδιαίας διατομής, που βρίσκεται πάνω από τη στάθμη αυτή (Βαρώτσος Κ., 2008).

Το 90% της μάζας της ατμόσφαιρας περιέχεται στα πρώτα 20 km (100 hPa πίεση) περίπου και το 99.9% στα πρώτα 50 km περίπου (1 hPa πίεση). Στο ύψος των 100 km μόνο ένα κλάσμα της τάξης του  $10^{-6}$  της ατμοσφαιρικής μάζας βρίσκεται πάνω από το επίπεδο αυτό, ενώ ένα κλάσμα της τάξης του  $10^{-13}$  βρίσκεται πάνω από το ύψος των 100 km. Τέλος, η σύγκριση των αποστάσεων αυτών με τη μέση ακτίνα της γης (περίπου 6370 km) φανερώνει, ότι η ατμόσφαιρα είναι ένα πολύ λεπτό σχετικά στρώμα γύρω από τη γη (Βαρώτσος Κ., 2008).

#### Σύσταση της ατμόσφαιρας

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η σύσταση της ατμόσφαιρας στην παρούσα της μορφή. Τα αέρια τα οποία περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα διακρίνονται σε μόνιμα και μεταβλητά. Μόνιμα θεωρούνται τα αέρια εκείνα των οποίων η συγκέντρωση εμφανίζεται (περίπου) σταθερή, ενώ μεταβλητά ονομάζονται τα αέρια των οποίων η συγκέντρωση παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές τόσο στο χώρο όσο και το χρόνο. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, τα κυρίαρχα αέρια είναι το άζωτο και το οξυγόνο τα οποία αντιστοιχούν στο 78% και 21%, αντίστοιχα, του ατμοσφαιρικού αέρα. Η αναλογία των δύο αυτών αερίων θεωρείται περίπου σταθερή έως το ύψος των περίπου 80 km.

Μόνιμα αέρια			Μεταβλητά αέρια		
Αέριο	Σύμβολο	Εκατοσπιαία συγκέντρωση	Αέριο	Σύμβολο	Εκατοσπιαία συγκέντρωση
Άζωτο	N <sub>2</sub>	78.08	Υδρατμοί	H <sub>2</sub> O	0 – 4
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	20.95	Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	0.038
Αργό	Ar	0.93	Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	0.00017
Νέον	Ne	0.0018	Υποξείδιο του αζώτου	N <sub>2</sub> O	0.00003
Ήλιο	He	0.0005	Όζον	O <sub>3</sub>	0.000004
Υδρογόνο	H <sub>2</sub>	0.00005	Σωματίδια	PM	0.000001
Ξένο	Xe	0.000009	Χλωροφθοράνθρακες	CFCs	0.0000002

**Πίνακας 1.** Σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα στην παρούσα του μορφή.

Κοντά στην επιφάνεια, επικρατεί ισορροπία ανάμεσα στις διεργασίες παραγωγής και καταστροφής του αζώτου και του οξυγόνου. Το άζωτο απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα κυρίως μέσω βιολογικών διεργασιών που περιλαμβάνουν βακτήρια του εδάφους. Στην απομάκρυνση του αζώτου συμμετέχουν επίσης οι μικροοργανισμοί του φυτοπλαγκτόν. Η επιστροφή του αζώτου στην ατμόσφαιρα λαμβάνει χώρα κύρια μέσα από την αποσύνθεση της βιομάζας, φυτικής ή/και ζωική προέλευσης. Στον αντίποδα, το οξυγόνο απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα είτε μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, είτε μέσω της αντίδρασης του με άλλα χημικά στοιχεία. Ένα μέρος του οξυγόνου απομακρύνεται επίσης μέσα από τη διαδικασία της αναπνοής. Η σημαντικότερη πηγή οξυγόνου για την ατμόσφαιρα είναι η διεργασία της φωτοσύνθεσης, κατά την οποία τα φυτά συνδυάζουν διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς, παρουσία φωτός, προς παραγωγή γλυκόζης και οξυγόνου.

Από τα μεταβλητά αέρια, οι υδρατμοί παρουσιάζουν τις σημαντικότερες μεταβολές στη συγκέντρωσή τους, τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Κοντά στην επιφάνεια των θερμών και υγρών τροπικών περιοχών οι υδρατμοί καταλαμβάνουν έως και το 4% του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ πάνω από τις ψυχρές και ξηρές πολικές περιοχές το ποσοστό αυτό πέφτει δραματικά (Πίνακας 1). Τα μόρια των υδρατμών είναι κατά κανόνα αόρατα. Καθίστανται ορατά μόνο όταν μετασχηματίζονται σε μεγαλύτερα υγρά ή στερεά σωματίδια, όπως τα υδροσταγονίδια ή οι παγοκρύσταλλοι, τα οποία αυξανόμενα σταδιακά σε μέγεθος πέφτουν στην επιφάνεια με την μορφή βροχής ή χιονιού. Η μεταβολή των υδρατμών από την αέρια φάση στην υγρή ονομάζεται συμπύκνωση, ενώ η ανάποδη πορεία (από υγρή σε αέρια φάση) ονομάζεται εξάτμιση. Η κατακρήμνιση βροχής ή χιονιού στην επιφάνεια είναι γνωστή με τον όρο «υετός». Η παρουσία των υδρατμών στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι



σχεδόν καθολική. Είναι η μοναδική ουσία η οποία στις συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν κοντά στην επιφάνεια του πλανήτη μας εμφανίζεται και με τις τρεις φάσεις: υγρή, αέρια και στερεά.

Η παρουσία των υδρατμών στην ατμόσφαιρα της Γης είναι εξαιρετικά σημαντική. Όχι μόνο συμμετέχουν στο σχηματισμό του νεφού, αλλά απελευθερώνουν τεράστια ποσά θερμότητας κατά τη διάρκεια των μεταβολών φάσης. Η θερμότητα που απελευθερώνεται όταν οι υδρατμοί αλλάζουν φάση (από αέρια σε υγρή ή/και στερεά) ονομάζεται λανθάνουσα. Η λανθάνουσα θερμότητα αποτελεί σημαντική πηγή ενέργειας για τα διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα και ιδιαίτερα για το σχηματισμό καταιγίδων και τυφώνων. Επιπρόσθετα, οι υδρατμοί αποτελούν εν δυνάμει θερμοκηπικό αέριο, καθώς απορροφούν ένα σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας (υπέρυθρη) που εκπέμπει η Γη. Συνεπώς, οι υδρατμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη μας.

Εξίσου σημαντική είναι η παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα, παρά το γεγονός πως καταλαμβάνει ένα μικρό μόνο ποσοστό του ατμοσφαιρικού αέρα (Πίνακας 1). Οι πηγές του διοξειδίου του άνθρακα περιλαμβάνουν την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, τις ηφαιστειακές εκρήξεις, τη διεργασία της αναπνοής και την καύση των ορυκτών καυσίμων. Στον αντίποδα, το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα μέσω της διεργασίας της φωτοσύνθεσης και της δέσμευσής του από το φυτοπλαγκτόν.

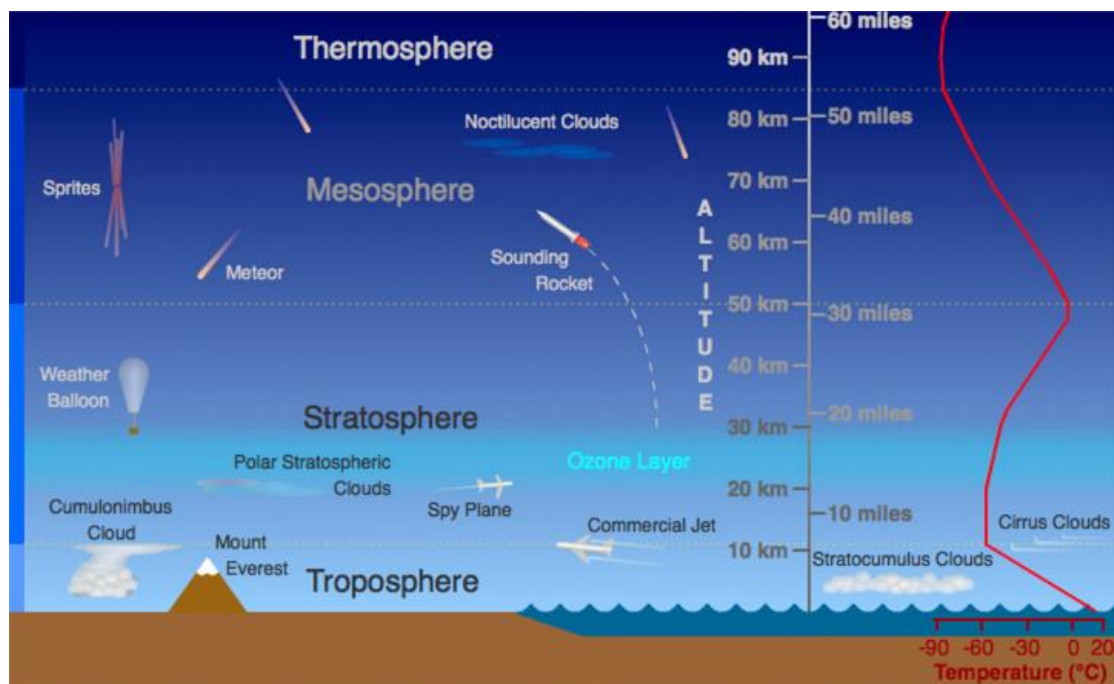
Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί σημαντικό θερμοκηπικό αέριο καθώς, όπως και οι υδρατμοί, απορροφά σημαντικό μέρος της εξερχόμενης γήινης (υπέρυθρης) ακτινοβολίας. Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει άμεσο αντίκτυπο στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Σύμφωνα με σχετικές εκτιμήσεις, η μέση θερμοκρασία της Γης αυξήθηκε κατά περίπου 0.8 °C κατά τη διάρκεια των τελευταίων εκατό (100) ετών, ως αποτέλεσμα της ραγδαίας αύξησης των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Σήμερα, τα περισσότερα μαθηματικά κλιματικά μοντέλα προβλέπουν ότι ένας ενδεχόμενος διπλασιασμός στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη μας κατά 1,5 °C – 4,5 °C. Μία τέτοια αύξηση της θερμοκρασίας θα επέφερε απρόβλεπτες συνέπειες σε όλα τα οικοσυστήματα της Γης.

Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς, στην κατηγορία των θερμοκηπικών αερίων ανήκουν επίσης το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και οι χλωροφθοράνθρακες (Πίνακας 1). Το μεθάνιο εκλύεται στην ατμόσφαιρα από την αποδόμηση της φυτικής προέλευσης βιομάζας, τη βιολογική δραστηριότητα των τερμιτών και τις βιοχημικές διεργασίες των έμβιων οργανισμών. Σημαντικές ποσότητες μεθανίου απελευθερώνονται επίσης κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων. Το υποξείδιο του αζώτου εκπέμπεται κύρια από χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος και περιλαμβάνουν διάφορα βακτήρια και μικρόβια. Η καταστροφή του συντελείται με τη βοήθεια της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Οι χλωροφθοράνθρακες είναι τεχνητές χημικές ενώσεις, εξαιρετικά αδρανείς, οι οποίες χρησιμοποιούνταν μέχρι πρόσφατα ως προωθητικές ουσίες στα σπρέι,

αλλά και ως ψυκτικές ουσίες στα ψυγεία. Παρόλα αυτά, η χρήση τους έχει σήμερα περιοριστεί σημαντικά. Αυτό οφείλεται στην καταστροφική δράση που αποδείχθηκε ότι έχουν επάνω στο στρατοσφαιρικό όζον, το οποίο προστατεύει τη Γη από τη βλαβερή υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία.

Κοντά στην επιφάνεια της Γης, το όζον (Πίνακας 1) θεωρείται ρύπος, αποτελώντας το βασικό συστατικό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος του ατμοσφαιρικού όζοντος (περίπου το 95%) εντοπίζεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, σε ύψος μεταξύ 30 – 50 km. Σε αυτή την περιοχή της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα), το όζον σχηματίζεται με φυσικό τρόπο, από την αντίδραση μεταξύ ατόμων και μορίων οξυγόνου. Παρά την μικρή του συνεισφορά (~0.0002%) στον ατμοσφαιρικό αέρα, το στρατοσφαιρικό όζον θεωρείται εξαιρετικά σημαντικό για τη διατήρηση της ζωής στη Γη. Αυτό συμβαίνει διότι έχει την μοναδική ιδιότητα να απορροφά τη βλαβερή υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, λειτουργώντας ως ένα προστατευτικό στρώμα για τον πλανήτη μας.

Πέρα από τα μόνιμα και μεταβλητά αέρια που περιγράφηκαν παραπάνω, στην ατμόσφαιρα συναντώνται επίσης διάφορες άλλες ενώσεις, ανθρωπογενούς ή φυσικής προέλευσης. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ενώσεων αυτών ποικίλουν σημαντικά τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία μπορεί να προέρχονται είτε από φυσικές διεργασίες (π.χ. σκόνη, θαλάσσιο σπρέι) είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (π.χ. καύση ορυκτών καυσίμων). Στην ίδια κατηγορία ανήκουν επίσης τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ) και οι υδρογονάνθρακες ( $\text{HC}$ ), ενώσεις οι οποίες εκπέμπονται κατά κύριο λόγο από τις μηχανές εσωτερικής καύσης (π.χ. αυτοκίνητα). Η καύση ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο οδηγεί επίσης σε εκπομπή διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ). Το σύνολο των ενώσεων αυτών χαρακτηρίζεται από επιζήμιες επιπτώσεις για τον άνθρωπο και/ή το περιβάλλον, ώστε είναι περισσότερο γνωστές με τον όρο «ρύποι» (North meteo).



**Εικόνα 1:** Η κατανομή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας καθ' ύψος (<https://scied.ucar.edu/atmosphere-layers>)

## 1.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή κάθε είδος ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση αλλά και διάρκεια τέτοια, ώστε είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς αλλά και στο οικοσύστημα (WHO, 2014). Επίσης σύμφωνα με τον επίσημο ορισμό της ρύπανσης όπως αυτός ορίζεται από την Ευρωπαϊκή οδηγία 96/61 για τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα, ρύπος αποκαλείται κάθε ουσία που διοχετεύεται άμεσα ή έμμεσα από τον άνθρωπο στον αέρα και είναι πιθανόν να προκαλέσει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στο περιβάλλον (WHO, 2004).

## Over 80% of urban residents are exposed to air pollution levels that exceed WHO limits



**Εικόνα 2:** Υπερβολικά επίπεδα έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση (Πηγή: <https://www.who.int/airpollution/en/>)

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπεύθυνη για περίπου 7 εκατομμύρια θανάτους ετησίως ή για το ένα όγδοο των πρόωρων θανάτων κάθε χρόνο. Αυτό την καθιστά το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνδυνο για τον κόσμο και μεταξύ των μεγαλύτερων παγκόσμιων κινδύνων για την υγεία - συγκρίσιμο με τους "παραδοσιακούς" κινδύνους για την υγεία όπως το κάπνισμα, την υψηλή χοληστερόλη, το υψηλό σάκχαρο στο αίμα και την παχυσαρκία. Περίπου 4.3 εκατομμύρια θάνατοι που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των νοικοκυριών και 3.7 εκατομμύρια θάνατοι οφείλονται σε εξωτερική ρύπανση του αέρα. Οι περισσότεροι θάνατοι που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση προέρχονται από καρδιακές παθήσεις και εγκεφαλικά επεισόδια, ακολουθούμενα από χρόνια αποφρακτική πνευμονική νόσο, οξεία και χρόνια αναπνευστική ανεπάρκεια και καρκίνο. Ο ατμοσφαιρικός ρύπος που συνδέεται στενότερα με τον αυξημένο αριθμό θανάτων και ασθενειών είναι τα PM<sub>2.5</sub> (αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2,5 μικρομέτρων), που εκπέμπονται σε μεγάλο βαθμό τόσο από τα οχήματα ντίζελ όσο και από την καύση βιομάζας, άνθρακα και κηροζίνης (WHO, 2019).

Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι πρωτογενείς (δηλαδή εκπέμπονται άμεσα στην ατμόσφαιρα) ή δευτερογενείς (δηλαδή σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από αέριες ενώσεις μέσω ομογενών ή ετερογενών χημικών αντιδράσεων). Όσον αφορά τα πρωτογενή σωματίδια, αυτά είναι δυνατόν να προέλθουν από την κίνηση των οχημάτων, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καύσεις (αστικές και βιομηχανικές), δασικές πυρκαγιές ή ακόμα από οικοδομές, λατομεία, ορυχεία, όπως επίσης και από τα θαλάσσια αερολύματα, την επαναιώρηση σωματιδίων από τον άνεμο και την μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις, και τέλος από εκπομπές ηφαιστειών. Τα δευτερογενή σωματίδια παράγονται κυρίως από την έντονη κυκλοφοριακή

κίνηση των οχημάτων και από βιομηχανικές διεργασίες, ενώ είναι δυνατόν, επίσης, να παραχθούν και από φυσικά αίτια. Για παράδειγμα, το διοξείδιο του θείου σχηματίζεται από την οξείδωση του διμέθυλο-σουλφιδίου, το οποίο παράγεται από το φυτοπλαγκτόν στην θάλασσα, ενώ διοξείδιο του θείου εκπέμπεται και από ηφαίστεια. Τα δευτερογενή σωματίδια σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσα σε διάστημα ωρών ή ημερών.

Στις αστικές περιοχές, η κυρίαρχη πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι κινητήρες των οχημάτων και ο σχηματισμός σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με χημικές αντιδράσεις από τα αέρια οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων τείνουν να εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες σε περιοχές με μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα, κοντινές σε βιομηχανικές περιοχές ή γεωργικές εκτάσεις ή όπου η τοπογραφία ή οι μετεωρολογικές συνθήκες συμβάλουν σε αναστροφές του στρώματος αέρα και εμποδίζουν την διασπορά και απομάκρυνση των ρύπων ([www2.ipta.demokritos.gr](http://www2.ipta.demokritos.gr)).



Εικόνα 3: Ατμοσφαιρική ρύπανση στο Νέο Δελχί, Ινδία (Πηγή: <https://phys.org>)

### 1.3 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Ως αιωρούμενα σωματίδια (Suspended Particulate Matter, SPM) χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται

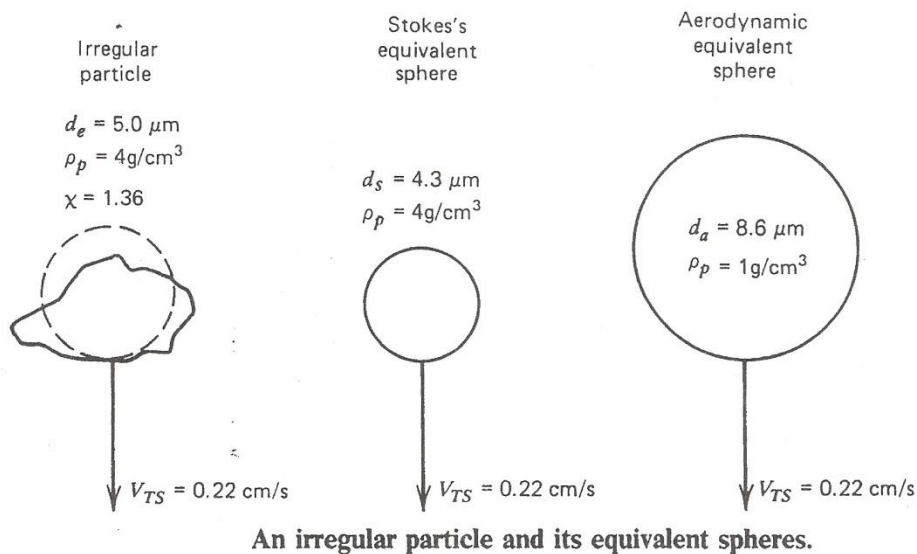
σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,0002  $\mu\text{m}$  και μικρότερη από 500  $\mu\text{m}$  περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα, ώστε καθίστανται ορατά σαν καπνός, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που δύναται να ανιχνευθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο .

Ορισμένα σωματίδια διαφεύγουν απευθείας από τις πηγές τους, όπως οι καπνοδόχοι και τα αυτοκίνητα. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, αέρια όπως  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , και VOCs αντιδρούν με διάφορες ενώσεις του αέρα και δημιουργούν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Η φύση τους και η χημική σύστασή τους ποικίλλει, και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε καθαρή ατμόσφαιρα είναι της τάξεως των 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  .

Τα αιωρούμενα σωματίδια βέβαια δεν είναι ένας ενιαίος ρύπος, αλλά μάλλον είναι ένα μίγμα πολλών ρύπων. Μέτρο της προσροφητικής ικανότητας των σωματιδίων αποτελεί η ειδική επιφάνειά τους, η οποία αυξάνει όσο μειώνεται η διάμετρος των σωματιδίων. Αυτό συγκλίνει και με τις τελευταία δημοσιευμένες έρευνες σύμφωνα με τις οποίες τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία σωματίδια είναι αυτά με την μικρότερη διάμετρο.

Αρχικά, οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων αναφερόταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particulates, TSP) , δίχως να γίνεται διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Η προσέγγιση αυτή ωστόσο, εξελίχθηκε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την ανακάλυψη των διαφορετικών επιπτώσεων των σωματιδίων ανάλογα με τη διάμετρό τους.

Το πρωταρχικό μέτρο TSP αντικαταστάθηκε με το  $\text{PM}_{10}$  , το οποίο αναφέρεται μόνο σε αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου 10  $\mu\text{m}$  ή μικρότερης ( $\leq 10 \mu\text{m}$ ). Η αεροδυναμική διάμετρος ( $D_a$ ) ορίζεται ως η διάμετρος μιας σφαίρας με πυκνότητα 1  $\text{g}/\text{cm}^3$ , η οποία έχει την ίδια ταχύτητα πτώσης στην ατμόσφαιρα με το εξεταζόμενο σωματίδιο (Ελευθεριάδης Κ., 2018).



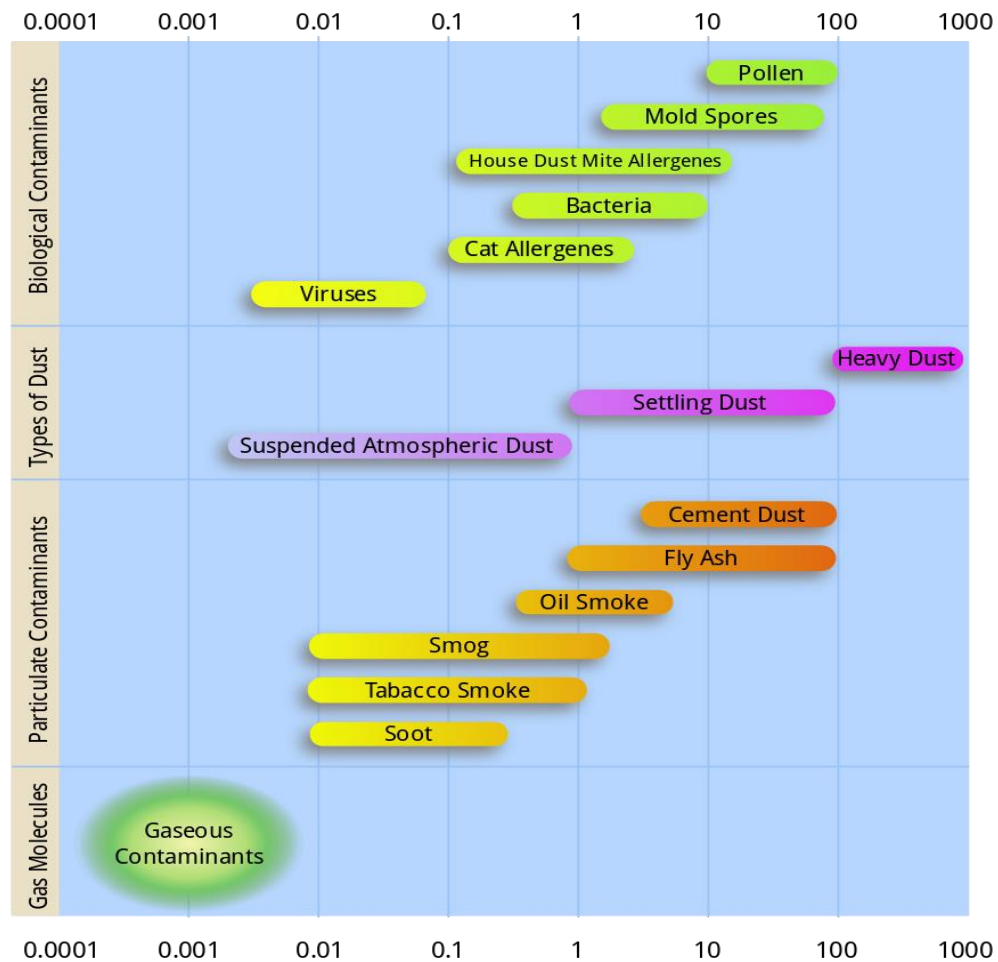
**Εικόνα 4:** Ένα ακανόνιστου σχήματος σωματίδιο και οι αντίστοιχες ισοδύναμες σφαίρες Stokes και αεροδυναμική (Ελευθεριάδης Κ., 2019).

Μελέτες που αφορούν στην μεταφορά και τον μετασχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων προτείνουν τον ακόλουθο διαχωρισμό:

Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2,5 - 10 μm, χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα σωματίδια, PM<sub>2.5-10</sub> (coarse particles). Τα χονδρόκοκκα σωματίδια έχουν διάφορες πηγές προέλευσης, όπως από τη σκόνη μεταφερόμενη με τον άνεμο, από οχήματα τα οποία κινούνται σε άστρωτους δρόμους, από μηχανήματα βιομηχανιών συμπιέσεως, λιωσίματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, αλέσματος, κ.ά..

Σχηματίζονται υπό την επίδραση, κυρίως, μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Σωματίδια σκόνης ή χώματος προέρχονται από την κίνηση του ανέμου, ή από άλλες μηχανικές δράσεις της περιοχής. Γύρη και σπόρια απαντώνται ως μέρη των χονδρόκοκκων σωματιδίων, και κυριαρχούν ιδιαίτερως υλικά γεωλογικής προελεύσεως.

Τα PM<sub>10</sub> επομένως, αποτελούνται από λεπτομερώς διαχωρισμένη ανόργανη ύλη-ορυκτά, όπως Οξειδία του Αργιλίου (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Πυρίτιο (Si), Σίδηρο (Fe) και Κάλιο (K).



**Εικόνα 5:** Τύποι ρυπαντών και κατανομή μεγεθών σε μικρόμετρα, σε σύγκριση με αιωρούμενα σωματίδια (Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>)

Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2,5 μm (<2,5μm) αναφέρονται ως λεπτόκοκκα σωματίδια, PM<sub>2.5</sub> (fine particles, FP), ως μέτρο σύγκρισης, να αναφερθεί πως μία ανθρώπινη τρίχα που έχει διάμετρο περίπου 70 μm, αποδίδονται στα σχηματιζόμενα από την αέρια φάση σωματίδια, με διαδοχικές συσσωρεύσεις, συμπύκνωση, μεταφορά ή καύση, και αρχικά έχουν διάμετρο περίπου 0.05 μm. Αναφέρονται ως υπερλεπτόκοκκα σωματίδια (ultra fine particles, UFP) ή πυρήνες σωματιδίων (nuclei mode ή very fine nuclei). Τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να συσσωρεύονται περαιτέρω, σχηματίζοντας τα χαρακτηριζόμενα ως συσσωρευμένα σωματίδια (accumulation mode), διαμέτρου γύρω στα 0,5 μm και τα οποία είναι σχετικά σταθερά στον αέρα.. Τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια τα οποία συνενώνονται, υπό φυσιολογικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, προς συσσωρευμένα, δεν μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος χονδροκόκκων σωματιδίων.

Τα PM<sub>2.5</sub> προκύπτουν από πολλές, διαφορετικές πηγές, όπως από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, από διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και από οικιακές εστίες φωτιάς, τζάκια, φούρνοι κ.ά., κι έτσι η σύστασή τους ποικίλλει.



Δημιουργούνται επίσης από αέρια πυρανάφλεξης, τα οποία μετατρέπονται με χημικό τρόπο σε σωματίδια.

Λόγω της προελεύσεώς τους από αέρια, αποτελούνται από ανόργανα ιόντα όπως: Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), Αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), Άνθρακα (C, όπως προκύπτει από την καύση), οργανικά αερολύματα, μέταλλα, και γενικότερα άλλα προϊόντα καύσεως.

Τα ελάχιστα όρια διαχωρισμού λεπτόκοκκων και χονδροκόκκων σωματιδίων δεν απαντούν πάντοτε στην ίδια διάμετρο. Σε θαλασσινό αέρα, το ελάχιστο μπορεί να είναι λίγο κάτω του 1  $\mu\text{m}$  της διαμέτρου (αεροδυναμική διάμετρος  $D_a$ ), ενώ τυπικές τιμές σε περισσότερο μολυσμένο αέρα είναι εγγύτερες του 1  $\mu\text{m}$ . Το ελάχιστο μπορεί να είναι μέχρι 2,5  $\mu\text{m}$  στην ομίχλη, στα σύννεφα, ή σε άλλες υψηλής σχετικής υγρασίας συνθήκες. Τα αιωρούμενα σωματίδια των οποίων προσδιορίζεται η μάζα και τα οποία υπόκεινται σε χημική ανάλυση, έχουν διάμετρο  $D_a < 2,5 \mu\text{m}$  (χαρακτηρίζονται ως  $\text{PM}_{2.5}$ ) και  $D_a < 10 \mu\text{m}$  (αναφέρονται ως  $\text{PM}_{10}$ ). Η διάμετρος των 2,5  $\mu\text{m}$  έχει επιλεγεί ώστε να διαχωρίζονται τα χονδροκόκκα σωματίδια. Συνεπώς, η διαφορά μεταξύ  $\text{PM}_{10}$  και  $\text{PM}_{2.5}$  ( $\text{PM}_{10-2.5}$ ) αντιστοιχεί μόνο στα χονδροκόκκα, ενώ τα  $\text{PM}_{2.5}$  αναφέρονται στα λεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια. Καθώς το όριο των ιδιαίτερων λεπτόκοκκων σωματιδίων ( $D_a < 0,1 \mu\text{m}$ ) εμπεριέχεται εδώ, η μάζα αυτών θεωρείται πάντοτε αμελητέα.

Ωστόσο, η EPA (Environmental Protection Agency) δίνει μία νέα διάσταση και επικεντρώνεται πλέον, σε ακόμη μικρότερα σωματίδια, τα οποία διεισδύουν βαθύτερα στους πνεύμονες και προκαλούν πλήθος συμπτωμάτων. Οι μέχρι τώρα έρευνες, δείχνουν ότι σωματίδια αυτής της τάξεως μεγέθους ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) αποτελούνται από ποικίλες ποσότητες Θειικών ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) και Νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) ιόντων, ιόντων Αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ), Άνθρακα, Οργανικών ενώσεων του Άνθρακα, Ύδατος, καθώς και μικρών ποσοτήτων χρώματος, σκόνης, ενώσεων του Μολύβδου (Pb) και ίχνη άλλων. Το είδος, αυτού του μεγέθους των σωματιδίων, προέρχεται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Μία τρίτη κοινή ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η οπτική τους συμπεριφορά. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.1  $\mu\text{m}$  είναι πολύ μικρά συγκρινόμενα με το μήκος κύματος του ορατού φάσματος και συμπεριφέρονται όπως τα άλλα μόρια, π.χ. περιθλούν το φως. Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1  $\mu\text{m}$  είναι πολύ μεγάλα σε σύγκριση με το μήκος κύματος του ορατού φάσματος, κι εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με τα μικροσκοπικά αντικείμενα, δηλαδή διαχέουν ή διακόπτουν το φως. Αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας είναι η ελάττωση της ορατότητας καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη ([www.air-quality.gr](http://www.air-quality.gr)).

Η χημική σύσταση των αερολυμάτων περιλαμβάνει ανόργανα ιόντα (θειικά, νιτρικά, αμμωνιακά, χλωριούχα ιόντα, ιόντα του ασβεστίου, του καλίου και του μαγνησίου), στοιχειακό ή οργανικό άνθρακα, συστατικά του στερεού φλοιού της γης, σωματίδια βιολογικής προέλευσης, ιχνοστοιχεία και ραδιενεργά ισότοπα. Τα σωματίδια, ανεξαρτήτου μεγέθους, μπορεί να συνίστανται από

όλα τα παραπάνω αλλά υπάρχουν διαφορές ως προς τη συνεισφορά των συστατικών στην συνολική τους μάζα. Το κλάσμα οργανικού και μη οργανικού φορτίου των σωματιδίων εξαρτάται από την πηγή προέλευσής τους, το μέγεθός τους και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η μελέτη της χημικής σύστασης των σωματιδίων είναι σημαντική για τον προσδιορισμό των χημικών ιδιοτήτων τους και τη σύνδεση με τις πηγές προέλευσής τους. Το χημικό προφίλ των σωματιδίων παίζει καθοριστικό ρόλο στη μελέτη των επιπτώσεων που έχουν τόσο στο περιβάλλον όσο και στην υγεία των οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, και αντικατοπτρίζει την ανάγκη για παρακολούθηση και έλεγχο των επιπέδων συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα.

Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων γεωλογικού υλικού στα δείγματα αεροζόλ είναι χαρακτηριστικό σωματιδίων που προκύπτουν από το φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από ερημικές περιοχές. Στην κατηγορία των γεωλογικών υλικών περιλαμβάνονται η επιφανειακή σκόνη και αποσαθρωμένα πετρογενή υλικά. Κυρίαρχα χημικά συστατικά τους είναι τα οξειδία πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), αργιλίου ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) και ασβεστίου ( $\text{CaO}$ ). Σημαντικές είναι και οι συγκεντρώσεις άλλων μεταλλικών οξειδίων όπως των οξειδίων σιδήρου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), μαγνησίου ( $\text{MgO}$ ), καλίου ( $\text{K}_2\text{O}$ ) και νατρίου ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Ωστόσο, μαζί με τα σύννεφα σκόνης μεταφέρεται και οργανικό υλικό, όπως νεκρά κύτταρα φυτικών οργανισμών (φύλλα, σπόροι κλπ.), που αποτελούν μέρος του συνήθους χημικού προφίλ των ΑΣ εδαφικής προέλευσης. Αντίθετα, υψηλές συγκεντρώσεις θείου και βαρέων μετάλλων υποδηλώνουν μεταφορά ρύπων από βιομηχανικές περιοχές της Δυτικής και βόρειας Ευρώπης ή την Δυτική Τουρκία. Τα περισσότερα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, τα οποία (μόλυβδος, υδράργυρος, βηρύλλιο, βανάδιο, κάδμιο, νικέλιο και αρσενικό) είναι ιδιαίτερα τοξικά σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις, προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές διαδικασίες ή από τη κυκλοφορία οχημάτων (π.χ. μόλυβδος). Όσον αφορά τα ραδιενεργά ισότοπα, σύμφωνα με έρευνα του ελβετικού πανεπιστημιακού νοσοκομείου της Λωζάννης, μπορεί να οφείλονται σε πυρηνικές δοκιμές που διεξήχθησαν πριν δεκαετίες (Οικονόμου Κ., 2014).

Τα ΑΣ έχουν πολύ μεγάλη ενεργό επιφάνεια ανά μονάδα μάζας όπου λαμβάνουν χώρα πλήθος ετερογενών χημικών αντιδράσεων. Η ιδιότητα αυτή ευνοεί τη προσρόφηση μετάλλων ή ημιπτητικών οργανικών ενώσεων από την αέρια φάση στην επιφάνειά τους με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τοξικότητά τους. Επίσης, τα ΑΣ έχουν οπτικές ιδιότητες, δηλαδή μπορούν να απορροφούν και να σκεδάζουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται από τη σύσταση, τη συγκέντρωση και το μέγεθος των σωματιδίων και ευθύνονται για την μείωση ορατότητας σε περιοχές με υψηλά επίπεδα σκόνης. Η μεγαλύτερη μείωση οφείλεται στο σκεδασμό του φωτός

από σωματίδια με μέγεθος στην περιοχή της ορατής ακτινοβολίας (400-800 nm) (Παπαζάχου Ν., 2012).

Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Αθήνα σε διάφορες περιοχές ως προς τη χημική σύσταση των ρύπων έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Οι μέσες συγκεντρώσεις των ιοντικών συστατικών στα  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  κατά τη διάρκεια της θερινής και χειμερινής περιόδου μετρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω.

Για την περιοχή της Αθήνας τα κυρίαρχα ιόντα στο κλάσμα των  $PM_{10}$  ήταν τα  $SO_4^{-2}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  και  $Ca^{+2}$  ενώ στο κλάσμα των  $PM_{2.5}$  τα  $SO_4^{-2}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ .

Γενικά οι συγκεντρώσεις ήταν ελαφρώς υψηλότερες στη περιοχή δειγματοληψίας Νέα Σμύρνη- Αθήνα, εκτός από τα ιόντα  $Na^+$  και  $Cl^-$  (που υποδηλώνουν θαλασσινό αερόλυμα) τα οποία ήταν περισσότερα στο κλάσμα των  $PM_{10}$  που μετρήθηκαν στη θέση δειγματοληψίας Αγ. Παρασκευή- Αθήνα.

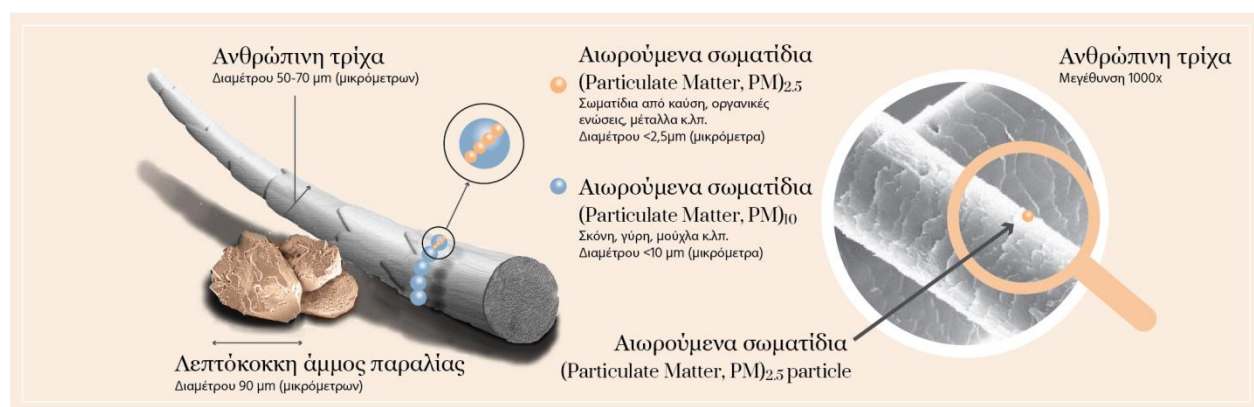
Τα ιόντα  $Cl^-$ ,  $Na^+$  και  $Ca^{2+}$  παρουσίασαν τα χαμηλότερα ποσοστά στο λόγο  $PM_{2.5} / PM_{10}$ . Η τιμή του λόγου  $PM_{2.5} / PM_{10}$  βρέθηκε κοντά στο 1 για τα  $SO_4^{-2}$  και  $NH_4^+$  και στις δύο τοποθεσίες και τις δύο εποχές και για τα  $NO_3^-$  ο λόγος κυμάνθηκε 0.20 και 0.54 σε Αγ. Παρασκευή και Νέα Σμύρνη αντίστοιχα. Υποδηλώνοντας καλή συσχέτιση των  $NO_3^-$  και  $Cl^-$  με  $Na^+$ .

Η συγκέντρωση των ιόντων  $SO_4^{-2}$  στο κλάσμα  $PM_{2.5}$  ήταν αυξημένη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου μετρήσεων και στις δύο θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή της Αθήνας υποδεικνύοντας των φωτοχημικό σχηματισμό των θειικών. Η αυξημένη συγκέντρωση των ιόντων  $K^+$  στο κλάσμα των  $PM_{2.5}$  κατά τη διάρκεια της χειμερινής καμπάνιας μετρήσεων σχετίζεται με την καύση βιομάζας για οικιακή θέρμανση. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων  $NO_3^-$  ήταν επίσης υψηλότερες κατά τη διάρκεια της χειμερινής καμπάνιας μετρήσεων γεγονός συνηθισμένο σε μεσογειακές χώρες όπου κυριαρχούν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού υψηλές θερμοκρασίες και άνυδρες συνθήκες που οδηγούν στη διάσπαση του  $NH_4NO_3$  σε  $HNO_3$  και  $NH_3$ .

Σε όλες τις περιοχές δειγματοληψίας τα δομικά στοιχεία του φλοιού της γής (crustal elements) Ca, Si, Fe, Al ήταν τα πιο άφθονα στο κλάσμα των  $PM_{10}$  και ακολουθούν στοιχεία που σχετίζονται με την ανθρωπογενή δραστηριότητα (K, S και Zn).

Συνολικά στην περιοχή της Αθήνας σε ποσοστά τα PM<sub>2.5</sub> προέρχονταν από 42% δευτερογενή σωματίδια, 27% καύση βιομάζας, 11% εκπομπές οχημάτων, 6% θαλάσσιο άλας, 5% αστική σκόνη, 5% καύση ορυκτών υλών και 4% εδαφική σκόνη. Τα PM<sub>10</sub> προέρχονταν από 31% καύση βιομάζας, 16% εδαφική σκόνη, 14% δευτερογενή σωματίδια, 12% αστική σκόνη, 10% θαλάσσιο άλας, 9% εκπομπές οχημάτων και 8% καύση ορυκτών υλών ([www2.ipta.demokritos.gr](http://www2.ipta.demokritos.gr)).

Οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σημαντικές και ποικιλόμορφες σε όλους τους τομείς του περιβάλλοντος, ενώ ειδικότερα στην υγεία εξαρτώνται από τη διάμετρό τους, τη χημική τους σύσταση καθώς και από την ύπαρξη άλλων ρύπων, με τους οποίους δρουν συνεργιστικά ([www.air-quality.gr](http://www.air-quality.gr)).



**Εικόνα 6:** Σύγκριση μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων (Πηγή: [www.epa.gov](http://www.epa.gov))

### Νομοθεσία για τα αιωρούμενα σωματίδια

Ο άνθρωπος εισπνέει καθημερινά περίπου 20m<sup>3</sup> αέρα και θεωρείται πλέον δεδομένο, ότι η αναπνοή αποτελεί τον κυριότερο τρόπο έκθεσης του ανθρώπου σε επικίνδυνες ουσίες. Στην ατμόσφαιρα μιας αστικής περιοχής συνυπάρχουν χιλιάδες χημικές ουσίες, που πρέπει να προσδιοριστούν και να καταγραφούν ποσοτικά. Οι ρύποι όμως που συγκεντρώνουν περισσότερο την προσοχή, δεδομένης της δυσκολίας ενός εγχειρήματος πλήρους ανάλυσης του πολυσύνθετου μίγματος της αστικής ατμόσφαιρας, είναι οι καλούμενοι ρύποι **κριτήρια**, για τους οποίους έχουν θεσμοθετηθεί όρια βασισμένα στην υγεία του γενικού πληθυσμού από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, την Ευρωπαϊκή Ένωση και την US EPA.

Το 1979 η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (US Environmental Protection Agency, US EPA) χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τη συγκέντρωση των PM<sub>10</sub> ως μέτρο για την αξιολόγηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και τέθηκαν όρια και στόχοι. Το 2000 μετά από μελέτες που έδειξαν τα επιβλαβή αποτελέσματα των αιωρούμενων σωματιδίων στη δημόσια υγεία άρχισαν να χρησιμοποιούνται και τα PM<sub>2.5</sub> για τα οποία τέθηκαν στόχοι όχι όμως και όρια.

Στην Ευρώπη η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε μία γενική οδηγία το 1996 σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (1996/62/ΕΚ) και μία δεύτερη το 1999 (1999/30/ΕΚ) με την οποία θεσπίστηκαν οριακές τιμές για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και ανάμεσά τους και για τα PM<sub>10</sub>.

ΟΡΙΑ ΓΙΑ ΤΑ PM <sub>10</sub> (ΟΔΗΓΙΑ 1999/30/ΕΚ)				
ΟΡΙΟ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ	ΠΕΡΙΟΧΩΡΙΑ ΑΝΟΧΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ
<b>ΦΑΣΗ 1</b>				
24ωρο	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (επιτρεπτός αριθμός υπερβάσεων 35/έτος)	50% κατά την έναρξη ισχύος της Οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες από κατά ίσο ετήσιο ποσοστό μέχρι να φθάσει το 0% την 1/1/2005	1/1/2005
Ετήσιο	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20% κατά την έναρξη ισχύος της Οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες από κατά ίσο ετήσιο ποσοστό μέχρι να φθάσει το 0% την 1/1/2005	1/1/2005
<b>ΦΑΣΗ 2</b>				
24ωρο	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (επιτρεπτός αριθμός υπερβάσεων 7/έτος)	Θα προκύψει από την εφαρμογή του ορίου της φάσης I	1/1/2010
Ετήσιο	Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50% την 1/1/2005, μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό μέχρι να φθάσει το 0% την 1/1/2010	1/1/2010

**Πίνακας 2:** Οδηγία 1999/30/ΕΚ για τα PM<sub>10</sub>

Η πιο πρόσφατη οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη έθεσε νέα όρια και στόχους τόσο για τα PM<sub>10</sub>, όσο και για τα PM<sub>2.5</sub>

ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ			
ΤΙΜΗ-ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΤΑ <b>PM<sub>2.5</sub></b>			
ΤΙΜΗ-ΣΤΟΧΟΣ			
Περίοδος μέσου όρου	Τιμή-στόχος	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί	
Ημερολογιακό έτος	25 µg/m <sup>3</sup>	1η Ιανουαρίου 2010	
ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ			
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογιακό έτος	25 µg/m <sup>3</sup>	20% στις 11 Ιουνίου 2008, μειούμενο έως την 1η του επόμενου Ιανουαρίου εν συνεχεία ανά εφεξής 12μηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% έως την 1η Ιανουαρίου 2015	1η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 <sup>α</sup>			
Ημερολογιακό έτος	20 µg/m <sup>3</sup>		1η Ιανουαρίου 2020
<small>α Ενδεικτική τιμή που θα επανεξετασθεί το 2013 υπό το φως περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον, του τεχνικού εφικτού και της εμπειρίας από την τιμή-στόχο στα κράτη μέλη.</small>			

**Πίνακας 3:** Οδηγία 2008/50/ΕΚ για τα PM<sub>2.5</sub>

Σε ό,τι αφορά τα PM<sub>10</sub> ήδη από το 2005 το ημερήσιο όριο ανέρχεται στα 50 µg/m<sup>3</sup>, όριο το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος και το περιθώριο ανοχής είναι 50%. Η μέση ετήσια τιμή ανά ημερολογιακό έτος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 µg/m<sup>3</sup>, ενώ το περιθώριο ανοχής είναι 20%.

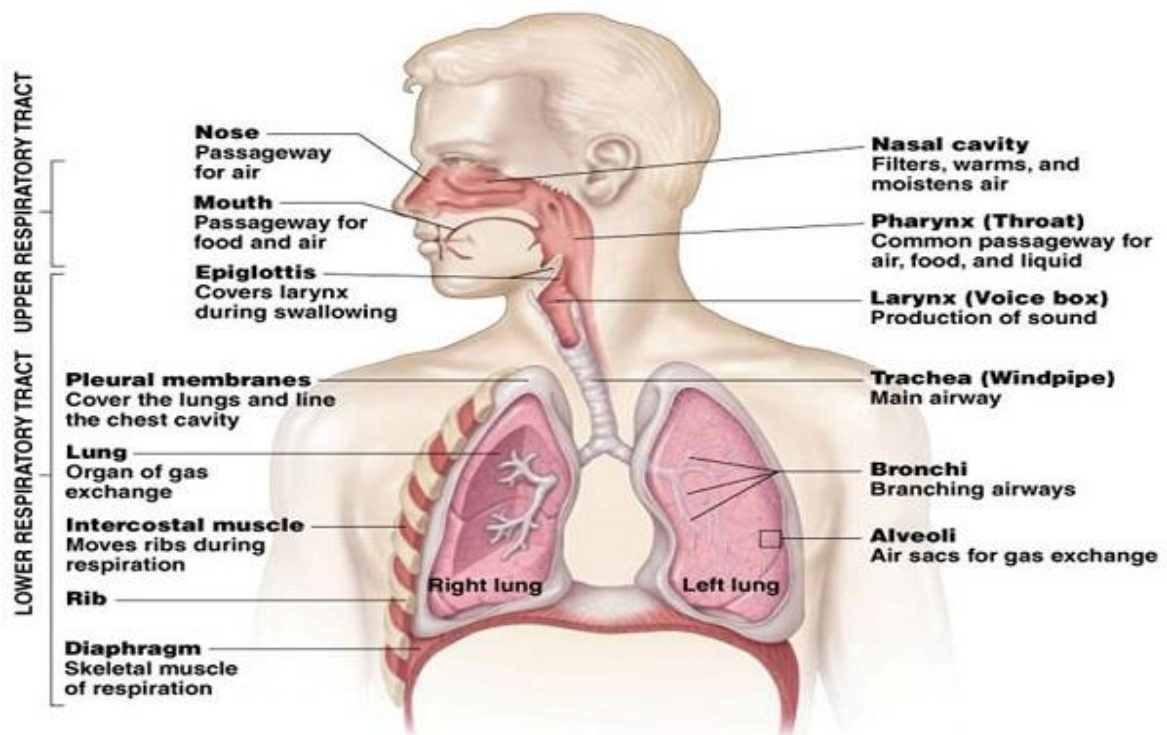
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

### 2.1 Φυσιολογία Αναπνευστικού

Το αναπνευστικό σύστημα είναι ζωτικής σημασίας για κάθε ανθρώπινο ον. Κατά την εισπνοή ή την εκπνοή ο αέρας τραβιέται προς τα έσω ή προς τα έξω από τους πνεύμονες, από πολλές κοιλότητες, σωλήνες και ανοίγματα.

Τα όργανα του αναπνευστικού συστήματος διασφαλίζουν ότι το οξυγόνο εισέρχεται στο σώμα μας και το διοξείδιο του άνθρακα φεύγει από το σώμα μας.

Η αναπνευστική οδός είναι η διαδρομή του αέρα από τη μύτη στους πνεύμονες. Είναι χωρισμένο σε δύο τμήματα: Άνω Αναπνευστική Οδό και Κάτω Αναπνευστική Οδό. Στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα συμπεριλαμβάνονται τα ρουθούνια, οι ρινικές κοιλότητες, ο φάρυγγας, η επιγλωττίδα και ο λάρυγγας. Η κατώτερη αναπνευστική οδός αποτελείται από την τραχεία, τους βρόγχους, τα βρογχόλια και τους πνεύμονες.



Εικόνα 7: Δομή αναπνευστικού (Πηγή: [microbiologynotes.com](http://microbiologynotes.com))

Καθώς ο αέρας μετακινείται κατά μήκος της αναπνευστικής οδού, θερμαίνεται, υγραίνεται και φιλτράρεται.



Οι λειτουργίες που επιτελεί το αναπνευστικό σύστημα είναι οι εξής:

- Αναπνοή ή αερισμός
- Εξωτερική εισπνοή, η οποία είναι η ανταλλαγή αερίων (οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα) μεταξύ του εισπνεόμενου αέρα και του αίματος.
- Εσωτερική εισπνοή, η οποία είναι η ανταλλαγή αερίων μεταξύ του αίματος και των υγρών των ιστών.
- Κυτταρική αναπνοή

Εκτός από αυτές τις κύριες διαδικασίες, το αναπνευστικό σύστημα χρησιμεύει για:

- Ρύθμιση του pH του αίματος, που συμβαίνει σε συντονισμό με τα νεφρά
- Άμυνα έναντι σε μικρόβια
- Έλεγχος της θερμοκρασίας του σώματος λόγω απώλειας αερίων κατά την εκπνοή

#### Αναπνευστική και Πνευμονική Μηχανική

Ο αερισμός είναι η ανταλλαγή αέρα μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και των κυψελίδων. Ο αέρας μετακινείται από περιοχή υψηλής πίεσης σε χαμηλής πίεσης. Όλες οι πιέσεις στο αναπνευστικό σύστημα σχετίζονται με την ατμοσφαιρική πίεση (760mmHg στο επίπεδο της θάλασσας). Ο αέρας κινείται μέσα ή έξω από τους πνεύμονες ανάλογα με την πίεση στις κυψελίδες. Το σώμα μεταβάλλει την πίεση στις κυψελίδες αλλάζοντας τον όγκο των πνευμόνων. Καθώς ο όγκος αυξάνει η πίεση μειώνεται και όσο μειώνεται ο όγκος αυξάνεται η πίεση. Υπάρχουν δύο φάσεις αερισμού, εισπνοή και εκπνοή. Κατά τη διάρκεια κάθε φάσης το σώμα μεταβάλλει τις διαστάσεις των πνευμόνων για να παράγει μια ροή αέρα είτε μέσα είτε έξω από τους πνεύμονες.

Το σώμα είναι σε θέση να διατηρεί τις διαστάσεις των πνευμόνων λόγω της σχέσης των πνευμόνων με το θωρακικό τοίχωμα. Κάθε πνεύμονας είναι εντελώς κλειστός σε ένα σάκο που ονομάζεται υπεζωκοτικός σάκος. Δύο δομές συμβάλλουν στο σχηματισμό αυτού του σάκου. Ο βρεγματικός υπεζωκότας συνδέεται με το θωρακικό τοίχωμα όπου ο σπλαγγχνικός υπεζωκότας συνδέεται με τον ίδιο τον πνεύμονα. Μεταξύ αυτών των δύο μεμβρανών υπάρχει ένα λεπτό στρώμα ενδοϋπεζωκοτικών υγρών. Το υγρό αυτό περιβάλλει εντελώς τους πνεύμονες και λιπαίνει τις δύο επιφάνειες έτσι ώστε να μπορούν να ολισθαίνουν μεταξύ τους. Η αλλαγή της πίεσης αυτού του υγρού επιτρέπει επίσης στους πνεύμονες και το θωρακικό τοίχωμα να κινούνται μαζί κατά τη διάρκεια της κανονικής αναπνοής.

Ο ρυθμός του αερισμού ελέγχεται επίσης από το "Αναπνευστικό Κέντρο" το οποίο βρίσκεται σε μεγάλο βαθμό στον προμήκη μυελό του εγκεφαλικού



στελέχους. Αυτό είναι μέρος του αυτόνομου συστήματος και ως εκ τούτου δεν ελέγχεται οικειοθελώς (μπορεί κανείς να αυξήσει ή να μειώσει το ποσοστό αναπνοής εθελοντικά, αλλά αυτό περιλαμβάνει ένα διαφορετικό μέρος του εγκεφάλου). Κατά την ανάπαυση, το αναπνευστικό κέντρο στέλνει δυνατότητες δράσης που ταξιδεύουν κατά μήκος των φρενικών νεύρων στο διάφραγμα και στους εξωτερικούς μεσοπλεύριους μύες του κελύφους των νευρώσεων, προκαλώντας εισπνοή. Χαλαρή εκπνοή συμβαίνει μεταξύ παρορμήσεων όταν οι μύες χαλαρώσουν. Οι κανονικοί ενήλικες έχουν αναπνευστικό ρυθμό 12-20 αναπνοών ανά λεπτό.

### Το μονοπάτι του αέρα

Όταν κάποιος αναπνέει αέρα στη στάθμη της θάλασσας, η εισπνοή αποτελείται από διαφορετικά αέρια. Αυτά τα αέρια και οι ποσότητες τους είναι το οξυγόνο που αποτελεί το 21%, το άζωτο το οποίο είναι 78%, το διοξείδιο του άνθρακα με 0,04% και άλλα με πολύ μικρότερες ποσότητες.

Στη διαδικασία της αναπνοής, ο αέρας εισέρχεται στη ρινική κοιλότητα μέσω των ρουθουνιών και φιλτράρεται από χοντροειδείς τρίχες (vibrissae) και βλεννογόνο που βρίσκονται εκεί. Τα μακροστοιχεία φίλτρου vibrissae, τα οποία είναι σωματίδια μεγάλου μεγέθους, σκόνη, γύρη, καπνός και λεπτά σωματίδια παγιδεύονται στον βλεννογόνο που ευθυγραμμίζει τις ρινικές κοιλότητες (κοίλες θέσεις μέσα στα οστά του κρανίου που ζεσταίνουν, υγραίνουν και φιλτράρουν τον αέρα). Υπάρχουν τρεις οσφυϊκές προβολές μέσα στη ρινική κοιλότητα. Η ανώτερη, η μέση και η κατώτερη ρινική κόγχη. Ο αέρας διέρχεται μεταξύ αυτών των κογχών μέσω της ρινικής οδού.

Ο αέρας ταξιδεύει μετά από το ρινοφάρυγγα, το στοματοφάρυγγα και το λαρυγγόφάρυγγα, τα οποία είναι τα τρία τμήματα που συνθέτουν τον φάρυγγα. Ο φάρυγγας είναι ένας σωληνοειδής σωλήνας που συνδέει τις ρινικές και στοματικές κοιλότητες μας με τον λάρυγγα. Οι αμυγδαλές που αποτελούν μέρος του λεμφικού συστήματος, σχηματίζουν ένα δακτύλιο στη σύνδεση της στοματικής κοιλότητας και του φάρυγγα. Εδώ προστατεύουν από την ξένη εισβολή αντιγόνων. Ως εκ τούτου, η αναπνευστική οδός βοηθά το ανοσοποιητικό σύστημα μέσω αυτής της προστασίας. Στη συνέχεια, ο αέρας ταξιδεύει μέσω του λάρυγγα. Ο λάρυγγας κλείνει στην επιγλωττίδα για να αποτρέψει τη διέλευση των τροφίμων ή ποτών ως προστασία της τραχείας και των πνευμόνων. Ο λάρυγγας είναι επίσης ο φωνητικός μας χώρος, περιέχει τις φωνητικές χορδές (ή φωνητικό στόμιο), από τις οποίες παράγεται ήχος. Ο ήχος παράγεται από τη δόνηση των φωνητικών χορδών όταν ο αέρας περνά μέσα από αυτές.

Η τραχεία, έχει κυστίδια και κύτταρα που εκκρίνουν βλέννη τα οποία την περιβάλλουν, και κρατιέται ανοικτή από δακτυλίους χόνδρου σχήματος C. Μία από τις λειτουργίες του είναι παρόμοια με τον λάρυγγα και τη ρινική κοιλότητα, μέσω προστασίας από σκόνη και άλλα σωματίδια. Η σκόνη θα προσκολληθεί στον κολλώδη βλεννογόνο και η βλεφαρίδα θα την ωθήσει πίσω στην τραχεία, όπου θα καταπωθεί ή θα απομακρυνθεί με το βήχα. Η βλεφαρίδες εκτείνονται

από την κορυφή της τραχείας μέχρι τα βρογχιόλια. Μέσω της τραχείας, ο αέρας περνάει στους βρόγχους, τα βρογχιόλια και τελικά στις κυψελίδες, πριν εισέλθουν στα πνευμονικά τριχοειδή αγγεία. Υπάρχει πολύ οξυγόνο και λίγο διοξείδιο του άνθρακα όταν εισέρχεται ο αέρας.

### Εισπνοή

Η εισπνοή ξεκινά από συστολή του διαφράγματος και σε μερικές περιπτώσεις από τους μεσοπλεύριους μύες όταν δέχονται νευρικά ερεθίσματα. Κατά την κανονική ήρεμη αναπνοή, το φρενικό νεύρο διεγείρει το διάφραγμα και κινείται προς τα κάτω στην κοιλιά. Αυτή η προς τα κάτω κίνηση του διαφράγματος διευρύνει τον θώρακα. Όταν είναι απαραίτητο, οι μεσοπλεύριοι μύες αυξάνουν επίσης τον θώρακα με επαφή και έλξη των νευρώσεων προς τα πάνω και προς τα έξω.

Καθώς το διάφραγμα συστέλλεται και οι θωρακικοί μύες τραβούν προς τα έξω το θωρακικό τοίχωμα, ο όγκος της θωρακικής κοιλότητας αυξάνεται. Οι πνεύμονες κρατούνται στο θωρακικό τοίχωμα με αρνητική πίεση στην υπεζωκοτική κοιλότητα, έναν πολύ λεπτό χώρο γεμάτο με λίγα χιλιοστόλιτρα λίπανσης του πλευρικού υγρού. Η αρνητική πίεση στην υπεζωκοτική κοιλότητα είναι αρκετή για να κρατήσει τους πνεύμονες ανοιχτοί παρά την εγγενή ελαστικότητα του ιστού. Ως εκ τούτου, καθώς αυξάνεται ο όγκος της θωρακικής κοιλότητας, οι πνεύμονες τραβιούνται από όλες τις πλευρές για να διογκωθούν, προκαλώντας μια πτώση της πίεσης (μερικό κενό) μέσα στον ίδιο τον πνεύμονα (αλλά σημειώστε ότι αυτή η αρνητική πίεση εξακολουθεί να μην είναι τόσο μεγάλη όσο η αρνητική πίεση μέσα στην κοιλότητα του υπεζωκότα - διαφορετικά οι πνεύμονες θα τραβούσαν μακριά από το θωρακικό τοίχωμα). Υποθέτοντας ότι ο αεραγωγός είναι ανοικτός, ο αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον ακολουθεί την κλίση της πίεσης προς τα κάτω και επεκτείνει τις κυψελίδες των πνευμόνων, όπου πραγματοποιείται ανταλλαγή αερίων με το αίμα. Όσο η πίεση εντός των κυψελίδων είναι χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική πίεση, ο αέρας θα συνεχίσει να κινείται προς τα μέσα, αλλά μόλις σταθεροποιηθεί η πίεση, η κίνηση του αέρα σταματά.

### Εκπνοή

Κατά τη διάρκεια της ήρεμης αναπνοής, η εκπνοή είναι συνήθως μια παθητική διαδικασία και δεν απαιτεί τη λειτουργία των μυών (μάλλον είναι αποτέλεσμα των χαλαρωτικών μυών). Όταν οι πνεύμονες τεντώνονται και επεκτείνονται, οι υποδοχείς τάνυσης εντός των κυψελίδων αποστέλλουν ανασταλτικούς νευρικούς παλμούς στον προμήκη μυελό, προκαλώντας τη διακοπή της αποστολής σημάτων προς το διάφραγμα για σύσπαση. Οι μύες της αναπνοής και οι ίδιοι οι πνεύμονες είναι ελαστικοί, οπότε όταν το διάφραγμα και οι μεσοπλεύριοι μύες χαλαρώνουν υπάρχει μια ελαστική ανάκρουση που δημιουργεί θετική πίεση (η πίεση στους πνεύμονες γίνεται μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση) και ο αέρας μετακινείται έξω από τους πνεύμονες.

Αν και το αναπνευστικό σύστημα είναι κατά κύριο λόγο υπό ακουστικό έλεγχο και ρυθμίζεται από τον προμήκη μυελό, έχουμε και εκούσιο έλεγχο πάνω του. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη εγκεφαλική λειτουργία του εγκεφαλικού φλοιού.

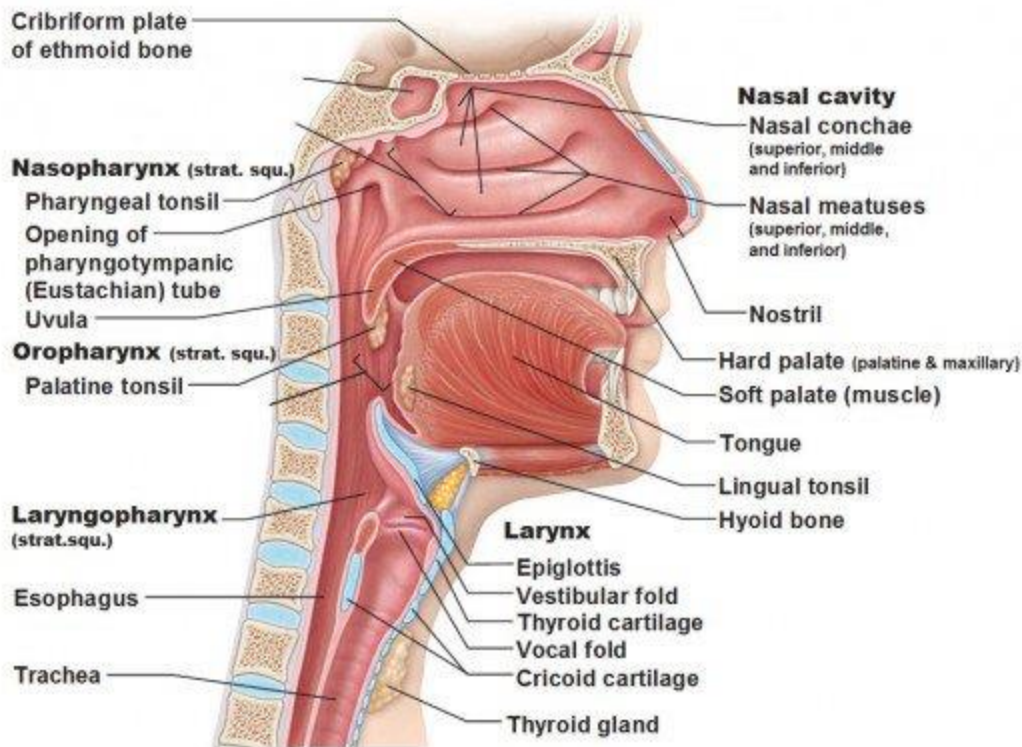
Όταν υπάρχει σωματική ή συναισθηματική πίεση, απαιτείται πιο συχνή και βαθιά αναπνοή και τόσο η εισπνοή όσο και η εκπνοή λειτουργούν ως ενεργές διαδικασίες. Πρόσθετοι μύες στο σκελετό των πλευρών συστέλλονται δυναμικά και ωθούν τον αέρα γρήγορα από τους πνεύμονες. Εκτός από την βαθύτερη αναπνοή, όταν βήχουμε ή φτερνιζόμαστε, αναπνέουμε βίαια. Οι κοιλιακοί μας μύες συρρικνώνονται ξαφνικά (όταν υπάρχει ανάγκη για βήχα ή φτέρνισμα), αυξάνοντας την κοιλιακή πίεση. Η ταχεία αύξηση της πίεσης ωθεί το χαλαρό διάφραγμα προς την υπεζωκοτική κοιλότητα. Αυτό προκαλεί την έξοδο αέρα από τους πνεύμονες.

Μια άλλη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος είναι το τραγούδι και η ομιλία. Με την άσκηση συνειδητού ελέγχου στην αναπνοή και τη ρύθμιση της ροής του αέρα στις φωνητικές χορδές μπορούμε να δημιουργήσουμε και να τροποποιήσουμε ήχους.

#### Άνω αναπνευστική οδός

Ο ανώτερος αναπνευστικός σωλήνας αποτελείται από τη μύτη και τον φάρυγγα. Η κύρια λειτουργία του είναι να δέχεται τον αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον και να φιλτράρει, να ζεσταίνει και να τον υγραίνει πριν φτάσει στους πνεύμονες όπου θα υπάρξει ανταλλαγή αερίων. Ο αέρας εισέρχεται μέσω των ρουθουνιών της μύτης και φιλτράρεται μερικώς από τις τρίχες της μύτης και έπειτα ρέει μέσα στη ρινική κοιλότητα. Η ρινική κοιλότητα είναι επενδεδυμένη με επιθηλιακό ιστό, που περιέχει αιμοφόρα αγγεία, τα οποία βοηθούν στη θέρμανση του αέρα και εκκρίνουν βλεννογόνο, ο οποίος περαιτέρω φιλτράρει τον αέρα. Η ενδοθηλιακή επένδυση της ρινικής κοιλότητας περιέχει επίσης μικροσκοπικές προβολές τριχών, που ονομάζονται βλεφαρίδες. Οι βλεφαρίδες χρησιμεύουν για τη μεταφορά σκόνης και άλλων ξένων σωματιδίων, παγιδευμένων στο βλεννογόνο, στο πίσω μέρος της ρινικής κοιλότητας και στον φάρυγγα. Εκεί η βλέννη είτε εκτονώνεται, είτε καταπίνεται και χωνεύεται από ισχυρά οξέα στομάχου. Αφού περάσει από τη ρινική κοιλότητα, ο αέρας ρέει από τον φάρυγγα στο λάρυγγα.

## The Upper Respiratory Tract



Εικόνα 8: Όργανα ανώτερης αναπνευστικής οδού (Πηγή: [www.therespiratorysystem.com](http://www.therespiratorysystem.com))

### Κατώτερη αναπνευστική οδός

Ο κατώτερος αναπνευστικός σωλήνας ξεκινά από τον λάρυγγα και περιλαμβάνει την τραχεία, τους δύο βρόγχους που εκτείνονται από την τραχεία και τους πνεύμονες. Εδώ συμβαίνει πράγματι η ανταλλαγή αερίων.

### Λάρυγγας

Ο λάρυγγας, είναι ένα όργανο στο λαιμό που εμπλέκεται στην προστασία της τραχείας και της παραγωγής ήχου. Ο λάρυγγας στεγάζει τις φωνητικές χορδές και βρίσκεται ακριβώς κάτω από το σημείο όπου η περιοχή του φάρυγγα χωρίζεται στην τραχεία και τον οισοφάγο. Ο λάρυγγας περιέχει δύο σημαντικές δομές: την επιγλωττίδα και τις φωνητικές χορδές.

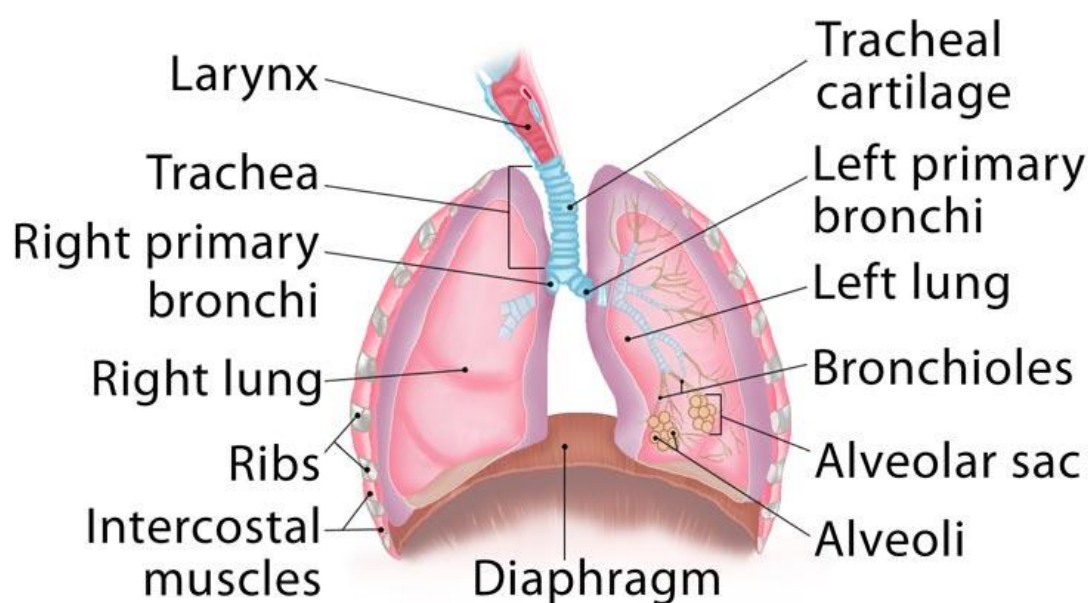
Η επιγλωττίδα είναι ένα πτερύγιο χόνδρου που βρίσκεται στο άνοιγμα στον λάρυγγα. Κατά την κατάποση, ο λάρυγγας (στην επιγλωττίδα και στη γλωττίδα) κλείνει για να αποτρέψει την είσοδο του καταπιούμενου υλικού στους πνεύμονες. Ο λάρυγγας τραβιέται επίσης προς τα πάνω για να βοηθήσει αυτή τη διαδικασία. Η διέγερση του λάρυγγα από την προσλαμβανόμενη ύλη παράγει ένα ισχυρό αντανακλαστικό βήχα για την προστασία των πνευμόνων. Ο πνιγμός εμφανίζεται όταν η επιγλωττίδα δεν καλύπτει την τραχεία και τα τρόφιμα καταλήγουν στην τραχεία.

Οι φωνητικές χορδές (ή φωνητικά χείλη) αποτελούνται από δύο πτυχές συνδετικού ιστού που τεντώνουν και δονούν όταν ο αέρας διέρχεται διαμέσου αυτών, προκαλώντας φωνή. Το μήκος των τεντωμένων φωνητικών χορδών καθορίζει το ύψος του ήχου. Η ισχύς της εκπνοής από τους πνεύμονες συμβάλλει επίσης στην ένταση του ήχου. Η ικανότητά μας να έχουμε εθελοντικό έλεγχο πάνω στο αναπνευστικό σύστημα μας δίνει τη δυνατότητα να τραγουδάμε και να μιλάμε. Για να λειτουργήσει ο λάρυγγας και να παράγει ήχο, χρειαζόμαστε αέρα. Γι' αυτό δεν μπορούμε να μιλήσουμε όταν καταπίνουμε.

Τραχεία

Στη συνέχεια του λάρυγγα εντοπίζεται η τραχεία, ένας ινοχόνδρινος σωλήνας μήκους 10-11 cm. Σχηματίζεται από 16-20 χόνδρινα ημικρίκια που ενώνονται μεταξύ

## Lower Respiratory Tract



© TheRespiratorySystem.com

**Εικόνα 9:** Όργανα κατώτερης αναπνευστικής οδού (Πηγή: [www.therespiratorysystem.com](http://www.therespiratorysystem.com))

τους με μεσοκρίκιους συνδέσμους. Ξεκινάει από το ύψος του 6ου αυχενικού σπονδύλου ενώ στο ύψος του 4ου-5ου θωρακικού διχάζεται στους δύο στελεχιαίους βρόγχους. Πίσω από την τραχεία βρίσκεται ο οισοφάγος, στα πλάγια οι λοβοί του θυρεοειδή αδένα και μπροστά ο θύμος αδένας. Το πολύστιβο κροσσωτό επιθήλιο που διαθέτει, δεσμεύει και προωθεί προς τα πάνω μικροσωματίδια που περιέχονται στον εισπνεόμενο αέρα. Στο σημείο διχασμού, ο βλεννογόνος σχηματίζει μια πτυχή προς τα μέσα και αριστερά που στενεύει το στόμιο του αριστερού βρόγχου και λέγεται τροπίδα (Netter, 2014).

### Βρόγχοι

Οι βρόγχοι αποτελούνται από χόνδρινους κρίκους και διαθέτουν πολύστιβο κροσσωτό επιθήλιο. Ο αριστερός βρόγχος είναι μικρότερος από τον δεξιό, το ίδιο και ο αριστερός πνεύμονας. Και οι δύο βρόγχοι σύντομα βυθίζονται στο παρέγχυμα των πνευμόνων και διακλαδίζονται ασύμμετρα, δημιουργώντας το βρογχικό δέντρο. Μετά τους κύριους, ακολουθούν οι τμηματικοί βρόγχοι οι οποίοι συνεχίζουν να αποσχίζονται σε περισσότερους έως και τα τελικά βρογχιόλια. Το σύστημα των βρόγχων αποτελεί αεραγωγό που κατευθύνει τον αέρα προς και από τις κυψελίδες και δεν συμμετέχει στην ανταλλαγή των αερίων. Γι' αυτό ονομάζεται ανατομικός νεκρός χώρος με χωρητικότητα περίπου 150 mL (Shah, 2010).

### Πνεύμονες

Οι πνεύμονες είναι τα κύρια όργανα του αναπνευστικού συστήματος, καθώς στο παρέγχυμά τους πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αερίων. Αποτελούνται από μικρότερα τμήματα, τους λοβούς. Ο δεξιός πνεύμονας έχει τρεις λοβούς, ενώ ο αριστερός που είναι λίγο μικρότερος από τον δεξιό έχει δύο λοβούς. Η κάτω επιφάνεια και των δύο πνευμόνων ακουμπά στο διάφραγμα. Στον αριστερό πνεύμονα, μπροστά από την πύλη, υπάρχει η καρδιακή εντομή για τη φυσιολογική τοποθέτηση της καρδιάς. Προς το μέσον της μεσοπνευμόνιας επιφάνειας παρατηρούνται οι πύλες των πνευμόνων μέσω των οποίων εισέρχονται οι βρόγχοι, οι κλάδοι της πνευμονικής αρτηρίας, οι βρογχικές αρτηρίες και τα νεύρα, ενώ εξέρχονται οι πνευμονικές φλέβες και τα λεμφαγγεία.

### Κυψελίδες

Μέσα στο πνευμονικό παρέγχυμα αναπτύσσεται το βρογχικό δέντρο, τα τελικά βρογχιόλια του οποίου καταλήγουν στις πνευμονικές κυψελίδες. Οι κυψελίδες διατάσσονται σε ομάδες, ενώ τμήματα των τοιχωμάτων τους αποτελούν την κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη. Το κυψελιδικό τοίχωμα είναι εξαιρετικά λεπτό και σχηματίζεται από πλακώδες επιθήλιο. Πάνω από 95% της ολικής κυψελιδικής επιφάνειας καλύπτεται από πνευμονοκύτταρα τύπου I

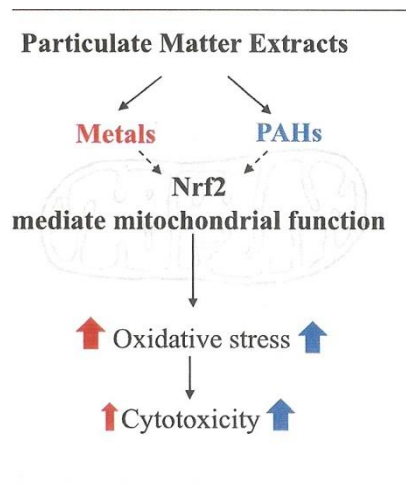
τα οποία συνδέονται στενά με πνευμονοκύτταρα τύπου II. Η κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη αποτελεί διάφραγμα μεταξύ του έσω και του έξω περιβάλλοντος και στην επιφάνειά της λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή των αερίων. Στις δυο της όψεις συγκεντρώνονται ένα λεπτό στρώμα αέρα κι ένα λεπτό στρώμα αίματος και μέσω της μεμβράνης ανταλλάσσεται διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο με παθητική διάχυση

## 2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ρύπανση του αέρα είναι οι μηχανές των οχημάτων, βιομηχανικές δραστηριότητες, ορυχεία, καύση ορυκτών καυσίμων που οδηγούν στην παραγωγή βλαβερών ενώσεων όπως βενζόλιο, PAHs (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες), αμίαντο, ραδόνιο, φορμαλδεΐδη, SO<sub>2</sub>, μαύρο άνθρακα, O<sub>3</sub> και CO στον αέρα. Όλα αυτά με την εισπνοή τους, δημιουργούν προβλήματα στο αναπνευστικό και όχι μόνο. Με τους ρύπους αυτούς ερχόμαστε σε “επαφή” σε όλες τις περιοχές, στο χώρο εργασίας, στο σπίτι, σε δημόσιους χώρους, στα οχήματα και σε εξωτερικούς χώρους, επομένως η εισπνοή είναι αναπόφευκτη (Bazyar J. et al, 2019).

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες τα PM<sub>2.5</sub> μπορούν να βλάψουν τη μιτοχονδριακή δομή αυξάνοντας την παραγωγή ROS (Reactive Oxygen Species), περιγράφει ένα αριθμό αντιδραστικών μορίων και ελευθέρων ριζών διαιρούμενων από το μοριακό οξυγόνο), που σταδιακά οδηγεί σε βλάβες του αναπνευστικού.

Οι αεραγωγοί και συγκεκριμένα οι πνεύμονες είναι συνεχώς εκτεθειμένοι στην ατμοσφαιρική ρύπανση και για αυτό η οξειδοαναγωγική ισορροπία πρέπει να ελέγχεται και να διατηρείται. Για τη διατήρηση της οξειδοαναγωγικής ομοιόστασης, το αντιοξειδωτικό αμυντικό σύστημα μπορεί να προκληθεί από το Nrf2 (nuclear factor erythroid-derived-like 2, ονομάζεται επίσης και NFE2L2, είναι μία πρωτεΐνη που συρράπτει λευκίνες - bZIP, basic leucine zipper protein, και ρυθμίζει την έκφραση των αντιοξειδωτικών πρωτεϊνών που προστατεύουν ενάντια στην οξειδωτική βλάβη που ενεργοποιείται από τραυματισμό και φλεγμονή), έναν κύριο μεταγραφικό παράγοντα και τα σχετιζόμενά του γονίδια.



**Εικόνα 10:** Δράση των PM στα μιτοχόνδρια (Πηγή: Pardo M. et al, 2019)

Βρέθηκε ότι το Nrf2 σχετίζεται με τα προκλειόμενα από  $PM_{2.5}$  προβλήματα υγείας από καπνό τσιγάρων, τη σκόνη και τα PM. Η χαμηλή έκθεση σε  $PM_{2.5}$  αυξάνει την παραγωγή ROS στους πνεύμονες. Σε αυξημένα επίπεδα έκθεσης, το αντιοξειδωτικό σύστημα αποτυγχάνει να ενεργοποιηθεί για την προστασία ενάντια στην οξειδωτική εγρήγορση, οδηγώντας σε οξειδωτική βλάβη στον ιστό των πνευμόνων. Μειωμένα επίπεδα Nrf2 αυξάνουν τα τοξικά αποτελέσματα των PM.

Στη μελέτη αυτή διερευνήθηκε ο προστατευτικός μηχανισμός του Nrf2 στην τοξικότητα που προκαλείται από  $PM_{2.5}$  κυρίως λόγω της έκθεσης σε διαλυμένα μέταλλα και οργανικές ενώσεις όπως PAHs. Η μελέτη αυτή απέδειξε ότι η αναστολή των Nrf2 από shRNA (short hairpin RNA) οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή ROS και αυξημένα επίπεδα οξειδωτικού στρες, αυξάνει τη βιοενεργητική των μιτοχονδρίων και τον αριθμό των αντιγράφων του mtDNA λόγω της τοξικότητας των  $PM_{2.5}$  (Pardo M. et al, 2019).

Οξεία φαινόμενα σχετιζόμενα με το αναπνευστικό, σύμφωνα με αρχεία νοσοκομείων, οφείλονται σε έκθεση σε βενζόλιο, φορμαλδεΐδη,  $NO_2$ ,  $SO_2$  και  $PM_{10}$  με σχετικό ρίσκο RR 1,095, 1,049, 1,064 και 1,022 αντίστοιχα. Ομοίως δύο μελέτες έδειξαν ότι η έκθεση σε  $NO_2$  σχετίζεται με εισαγωγή στο νοσοκομείο λόγω άσθματος και COPD (ΧΑΠ) με RR 1,12 και 1,08. Σε μία άλλη μελέτη παρατηρήθηκε συσχέτιση των  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  και  $O_3$  με RR 1,039, 1,029, 1,033 και 1,045. Από αυτά και από άλλα παρόμοια αποτελέσματα σχετικών μελετών, συμπεραίνουμε ότι η έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση ειδικά σε  $NO_x$  και PM, αυξάνει αρκετά τον κίνδυνο για αναπνευστικά νοσήματα (Bazyar J. et al, 2019).

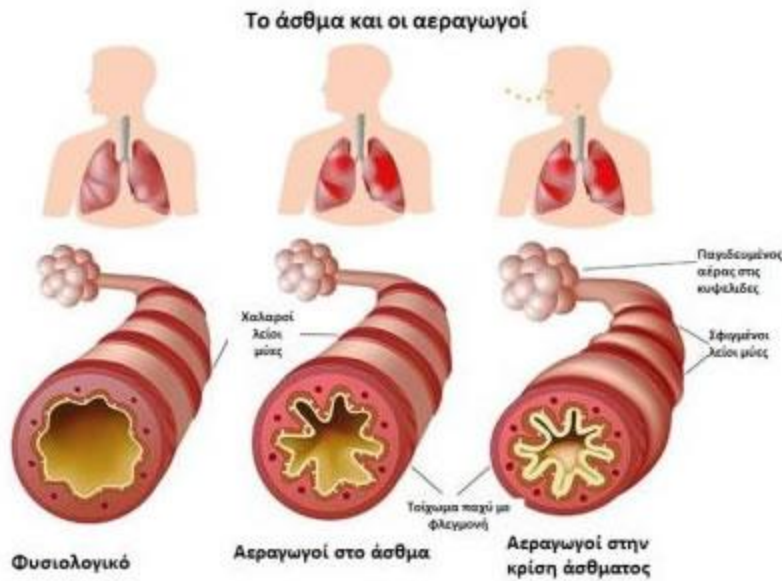
## Άσθμα

Αν και η γνώση ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί θανάτους δεν είναι νέα, καθώς το 1952 πέθαναν 12 χιλιάδες άνθρωποι λόγω του μεγάλου νέφους του Λονδίνου, δεν υπάρχουν αρκετές μελέτες για τη θνησιμότητα από το άσθμα συγκριτικά με τη βραχεία έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση.



Το άσθμα είναι μία από τις πιο συχνές αναπνευστικές ασθένειες. Επειδή οι θάνατοι από άσθμα είναι αρκετά σπάνιοι είναι δύσκολο να μελετηθεί η συσχέτισή τους με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Σήμερα, υπάρχει μόνο μία μελέτη που διεξάγεται στη Βαρκελώνη της Ισπανίας από τον Saez M. και την ομάδα του, αν και το δείγμα είναι μικρό με το πολύ ένα θάνατο από άσθμα την ημέρα κατά τις ημέρες της μελέτης. Η μεγαλύτερη μελέτη που έχει γίνει για την πάθηση αυτή είναι από τον Liu και την ομάδα του στη συνοικία Hubei της Κίνας (59,8 εκατομμύρια πληθυσμός) και μεγάλη διακύμανση στην ρύπανση του αέρα. Η μελέτη έλαβε χώρα για πάνω από 5.5 χρόνια (2013-2018) και αναγνωρίστηκαν 7.358 θάνατοι από άσθμα στο σύνολο των 1,7 εκατομμυρίων των θανόντων κατοίκων. Αφού εξαιρέθηκαν περιπτώσεις με μη πλήρη στοιχεία διεύθυνσης ή που δεν κατοικούσαν σε ακτίνα 50 km από τα μόνιτορ που έκαναν καταμέτρηση της ρύπανσης, 4.454 χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη. Κατά μέσο όρο καταγράφονταν τουλάχιστον 2 θάνατοι την ημέρα από άσθμα. Παρατηρήθηκε 11% αύξηση σε θανάτους από άσθμα ανά διατεταρτημοριακό εύρος αύξησης της συγκέντρωσης του NO<sub>2</sub> τις τρεις προηγούμενες ημέρες πριν τους θανάτους. Επίσης καταγράφηκε διατεταρτημοριακό εύρος αύξησης σε PM<sub>2.5</sub> και O<sub>3</sub> , 7% και 9% αντίστοιχα, πριν τους θανάτους. Οι ρύποι αυτοί σχετίζονται με φλεγμονή των αεραγωγών, υπεραντιδραστικότητα και οξειδωτικό στρες. Δεν υπήρχαν σημαντικά δείγματα για τη συσχέτιση της θνησιμότητας με SO<sub>2</sub>, CO και PM<sub>10</sub>. Το 40% των θανάτων δεν συμπεριελήφθησαν στην ανάλυση διότι κατοικούσαν 50 km μακριά από σταθμό μέτρησης της ρύπανσης ή πιθανόν δεν σχετίζονταν με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αν και η μέση ρύπανση της περιοχής που μελετήθηκε ήταν υψηλότερη από τα μέσα επίπεδα σε ΗΠΑ και δυτική Ευρώπη, όμως σχεδόν ο μισός και περισσότερος πληθυσμός του πλανήτη εκτίθεται σε ίσα ή μεγαλύτερα επίπεδα ρύπανσης. Παγκοσμίως πάνω από 25.000 άνθρωποι πεθαίνουν ετησίως από άσθμα. Είναι πολύ πιθανό η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης να έχει σημαντική μείωση της θνησιμότητας από άσθμα παγκοσμίως (Beamer P., 2019).



**Εικόνα 11:** Σύγκριση φυσιολογικών αεραγωγών έναντι αεραγωγών με άσθμα (Πηγή: allergikos.gr)

### **Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια –ΧΑΠ (Chronic Obstructive Pulmonary Disease-COPD)**

Η Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια–ΧΑΠ είναι μια χρόνια πάθηση των πνευμόνων η οποία χαρακτηρίζεται από μόνιμη, μη αντιστρέψιμη απόφραξη των αεραγωγών, λόγω καταστροφής των τοιχωμάτων τους. Περιλαμβάνει δύο φαινοτύπους, τη χρόνια βρογχίτιδα και το πνευμονικό εμφύσημα αλλά ουσιαστικά αποτελεί έναν γενικό όρο που καλύπτει επιπλέον το βρογχικό άσθμα, τις βρογχεκτασίες κλπ., νόσους δηλαδή που αποτελούν όψεις του ίδιου προβλήματος.

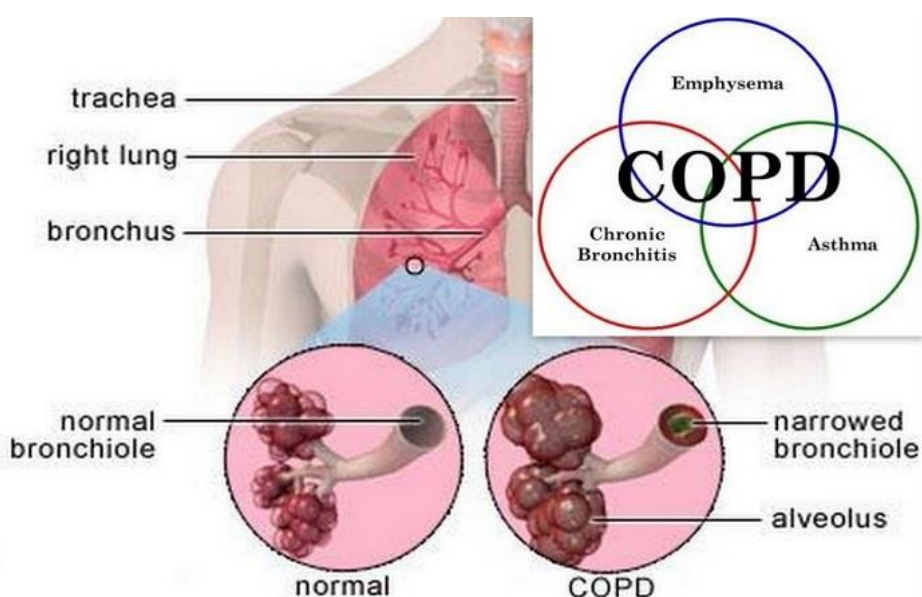
Πρόκειται για χρόνια νόσο με βραδεία εξέλιξη, που συχνά δε γίνεται αντιληπτή από τον ασθενή. Χαρακτηρίζεται από μειωμένη ροή του αέρα στους αεραγωγούς που μπορεί να συνοδεύεται από δύσπνοια, χρόνιο βήχα, υπερέκκριση βλέννης και προοδευτική μείωση της πνευμονικής λειτουργίας. Στη ΧΑΠ παρατηρείται καταστροφή των κυψελίδων και των ελαστικών ινών που καθιστούν τους πνεύμονες άκαμπτους με αποτέλεσμα οι κυψελίδες να μένουν μόνιμα σε παθολογική διάταση. Η μείωση της ελαστικότητας οδηγεί σε κατάρρευση των βρογχιολίων με αποτέλεσμα ο αέρας να εγκλωβίζεται στους πνεύμονες. Κατά συνέπεια μειώνεται ο όγκος του αέρα που εισέρχεται στους πνεύμονες και δυσκολεύεται η αναπνοή (Vestbo et al, 2013).

Η Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια έχει ονομαστεί νόσος των καπνιστών καθώς σχεδόν το 90% των περιπτώσεων ΧΑΠ οφείλονται στο κάπνισμα, ενεργητικό ή παθητικό (όχι μόνο του τσιγάρου αλλά και των άλλων ειδών καπνού). Το σύνηθες σύμπτωμα που παρατηρείται είναι ο πρωινός

παραγωγικός βήχας, ο «τσιγαρόβηχας», ο οποίος θεωρείται από τους καπνιστές εσφαλμένα φυσιολογικός, καθώς αποτελεί την πρώτη ένδειξη ύπαρξης της νόσου. Άλλα συμπτώματα είναι η δύσπνοια, ο συριγμός και η προοδευτική μείωση της αναπνευστικής λειτουργίας, η ένταση των οποίων εξαρτάται από τη βαρύτητα της νόσου. Καθώς η νόσος εξελίσσεται, υποβαθμίζει την ποιότητα ζωής του πάσχοντος, τον περιορίζει κοινωνικά και τον επηρεάζει ψυχολογικά.

Άλλες αιτίες ΧΑΠ είναι ο καπνός από καύση βιομάζας, οι οικιακοί και επαγγελματικοί ρύποι, το κάπνισμα της μητέρας κατά την εγκυμοσύνη και η ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι λοιμώξεις της παιδικής ηλικίας μπορεί να απολήξουν σε αποφρακτική πνευμονοπάθεια, που εμφανίζεται στη διάρκεια της ενήλικης ζωής. Έχει ακόμη διαπιστωθεί ότι η έκθεση σε μη επαγγελματικές δόσεις ρυπαντών της ατμόσφαιρας, όπως το SO<sub>2</sub> και το O<sub>3</sub>, συνεπάγεται αυξημένη θνησιμότητα, μεταξύ ασθενών με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια. Είναι γνωστό ότι η θνησιμότητα των ασθενών με παθήσεις των αεραγωγών αυξάνεται σε περιόδους με υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων (Pirozzi & Scholand, 2012).

Ο Π.Ο.Υ. εκτιμά ότι 65 εκατομμύρια άνθρωποι πάσχουν από μέτρια έως βαριά ΧΑΠ. Η νόσος προσβάλλει σχεδόν εξίσου τις γυναίκες όσο και τους άντρες, πιθανόν λόγω της αύξησης της καπνιστικής συνήθειας στο γυναικείο φύλο. Σχεδόν το 90% των θανάτων από ΧΑΠ συμβαίνουν σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, όπου δεν ακολουθούνται στρατηγικές πρόληψης και αντιμετώπισης της νόσου. Αν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα για τη μείωση των παραγόντων κινδύνου (κάπνισμα, ατμοσφαιρική ρύπανση, χημικά κλπ.), υπολογίζεται ότι μέσα στα επόμενα 10 χρόνια, οι θάνατοι λόγω ΧΑΠ θα αυξηθούν κατά 30% (WHO, 2012).

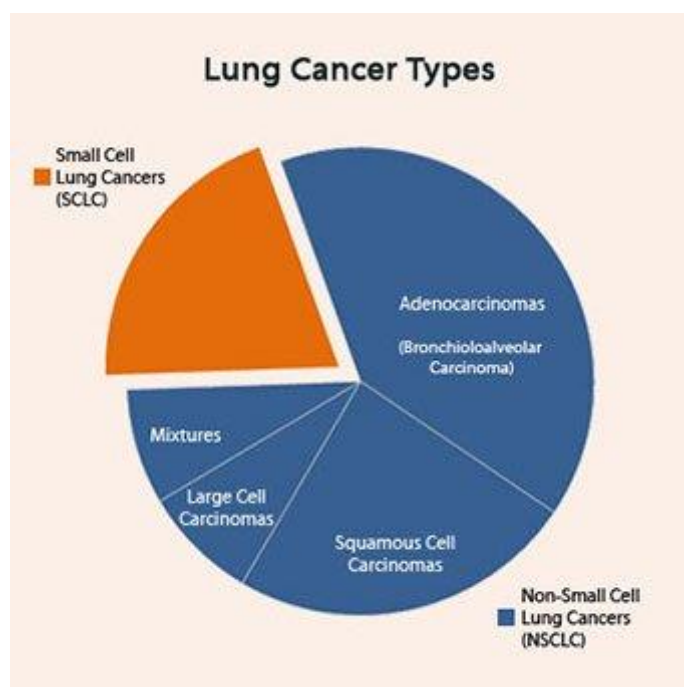


**Εικόνα 12:** Σύγκριση βρογχιόλιων φυσιολογικών και ασθενών με ΧΑΠ (Πηγή: [www.thepinsta.com](http://www.thepinsta.com))

## Καρκίνος του πνεύμονα

Ο καρκίνος του πνεύμονα είναι ένα είδος καρκίνου που προσβάλλει την τραχεία (αναπνευστικός σωλήνας), τους βρόγχους (αεραγωγοί) ή τις πνευμονικές κυψελίδες. Ο καρκίνος του πνεύμονα διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Μη μικροκυτταρικός καρκίνος του πνεύμονα (ΜΜΚΠ) Περίπου το 70–80% των ατόμων με καρκίνο του πνεύμονα πάσχουν από ΜΜΚΠ. Οι πιο κοινές μορφές του ΜΜΚΠ είναι το αδenoκαρκίνωμα και το πλακώδες καρκίνωμα. Αναφορά σε πιο σπάνιες μορφές γίνεται στο ενημερωτικό δελτίο μας σχετικά με τις πιο σπάνιες μορφές καρκίνου του πνεύμονα, το οποίο είναι διαθέσιμο στη ιστοσελίδα του ELF.
- Μικροκυτταρικός καρκίνος του πνεύμονα (ΜΚΠ) Περίπου το 20% των ατόμων με καρκίνο του πνεύμονα πάσχουν από ΜΚΠ.



**Εικόνα 13:** Τύποι καρκίνων του πνεύμονα (Πηγή: [www.medicinenet.com](http://www.medicinenet.com))

### Αίτια

Παρόλο που το κάπνισμα συνδέεται με ποσοστό μεγαλύτερο του 80% όλων των περιπτώσεων καρκίνου του πνεύμονα, πολλοί άνθρωποι που ποτέ δεν έχουν καπνίσει ή εκτεθεί σε παθητικό κάπνισμα εμφανίζουν καρκίνο του πνεύμονα.

Άλλα αίτια περιλαμβάνουν την έκθεση σε:

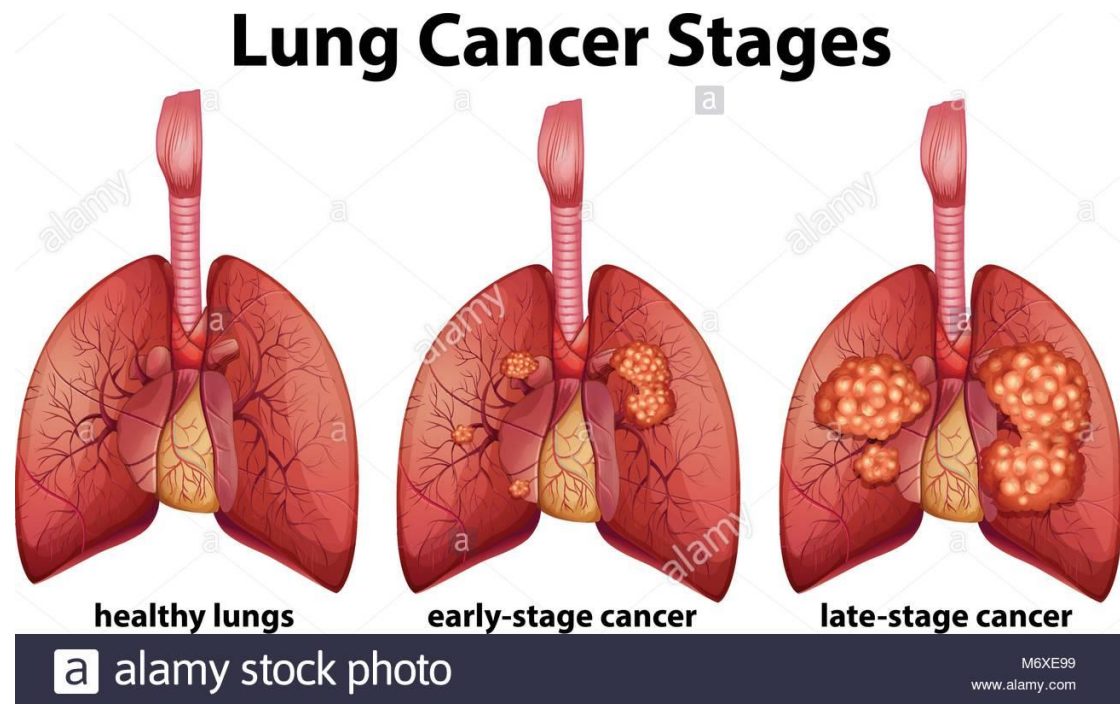
- Ατμοσφαιρική ρύπανση (συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών καυσαερίων των κινητήρων ντίζελ)

- Συνθήκες που επικρατούν σε περιβάλλον εργασίας (σε αμίαντο, σκόνη ξύλου, αναθυμιάσεις συγκόλλησης, αρσενικό, βιομηχανικά μέταλλα, π.χ. βηρύλλιο και χρώμιο)
- Ατμοσφαιρική ρύπανση εσωτερικού χώρου (σε ραδόνιο ή καπνό λόγω καύσης άνθρακα)

Είναι πιθανόν να υπάρχουν και άλλα αίτια, ενώ ακόμα περισσότερα αναμένεται να προσδιοριστούν στο μέλλον. Αυξημένο κίνδυνο να εμφανίσουν καρκίνο του πνεύμονα διατρέχουν, επίσης, τα άτομα που πάσχουν από:

- Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ)
  - Πνευμονική ίνωση
  - Καρκίνο της κεφαλής, του τραχήλου (λαιμού) ή του οισοφάγου
  - Λέμφωμα ή καρκίνο του μαστού (αντιμετώπιση με ακτινοθεραπεία θώρακος)
- (European Lung Foundation, 2016)

Τα  $PM_{2.5}$  σχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο για καρκίνο του πνεύμονα. Σε ένα μεγάλο πλήθος 16.209 Νορβηγών ανδρών, μετά από follow-up 27 χρόνων παρατηρήθηκε ότι ο κίνδυνος από  $NO_x$  και  $SO_2$  έχει RR 1,08 και 1,01 αντίστοιχα. Σε μία άλλη μελέτη που διεξήχθη στη Δανία το RR για καρκίνο του πνεύμονα μετά από έκθεση σε  $PM_{2.5}$  είναι 1,18 και για αδενοκαρκίνωμα 1,51 (Bazyar J. et al, 2019)



**Εικόνα 14:** Στάδια καρκίνου του πνεύμονα (Πηγή: [www.alamy.com](http://www.alamy.com))

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

### 3.1 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟΥ

Το κυκλοφορικό σύστημα, που ονομάζεται επίσης καρδιαγγειακό σύστημα ή αγγειακό σύστημα, είναι ένα σύστημα οργάνων που επιτρέπει στο αίμα να κυκλοφορεί και να μεταφέρει θρεπτικά συστατικά (όπως αμινοξέα και ηλεκτρολύτες), οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, ορμόνες και κύτταρα αίματος προς και από τα κύτταρα στο σώμα για να παρέχουν “τροφή” και να βοηθήσουν στην καταπολέμηση των ασθενειών, στη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας και του pH και στη διατήρηση της ομοιόστασης (Dorland, 2012).

Το κυκλοφορικό σύστημα περιλαμβάνει το λεμφικό σύστημα, το οποίο κυκλοφορεί στην λέμφο. Το πέρασμα της λέμφου για παράδειγμα διαρκεί πολύ περισσότερο από εκείνο του αίματος (Cancer Research UK, 2013). Το αίμα είναι ένα υγρό που αποτελείται από πλάσμα, ερυθρά αιμοσφαίρια, λευκά αιμοσφαίρια και αιμοπετάλια που κυκλοφορεί από την καρδιά μέσω του αγγειακού συστήματος, μεταφέροντας οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά μακριά από όλους τους ιστούς του σώματος. Η λέμφος ουσιαστικά είναι ανακυκλωμένο περίσσειμα του πλάσματος αίματος αφού έχει διηθηθεί από το διάμεσο υγρό (μεταξύ των κυττάρων) και επιστρέφει στο λεμφικό σύστημα. Το καρδιαγγειακό σύστημα περιλαμβάνει το αίμα, την καρδιά και τα αιμοφόρα αγγεία. Η λέμφος, οι λεμφαδένες και τα λεμφικά αγγεία σχηματίζουν το λεμφικό σύστημα, το οποίο επιστρέφει το διηθημένο πλάσμα αίματος από το διάμεσο υγρό (μεταξύ των κυττάρων) ως λέμφο (Dorland, 2012).

Το κυκλοφορικό σύστημα του αίματος φαίνεται ότι έχει δύο συστατικά, μια συστηματική κυκλοφορία και μια πνευμονική κυκλοφορία .

Ενώ οι άνθρωποι, όπως και άλλα σπονδυλωτά, έχουν ένα κλειστό καρδιαγγειακό σύστημα (που σημαίνει ότι το αίμα δεν αφήνει ποτέ το δίκτυο αρτηριών, φλεβών και τριχοειδών αγγείων), μερικές ομάδες ασπόνδυλων έχουν ένα ανοιχτό καρδιαγγειακό σύστημα. Το λεμφικό σύστημα, από την άλλη πλευρά, είναι ένα ανοιχτό σύστημα που παρέχει μια βοηθητική διαδρομή για την περίσσεια του ενδιάμεσου υγρού που πρέπει να επιστραφεί στο αίμα. Τα πιο πρωτόγονα, διπλοβλαστικά θηλαστικά δεν έχουν κυκλοφοριακά συστήματα.

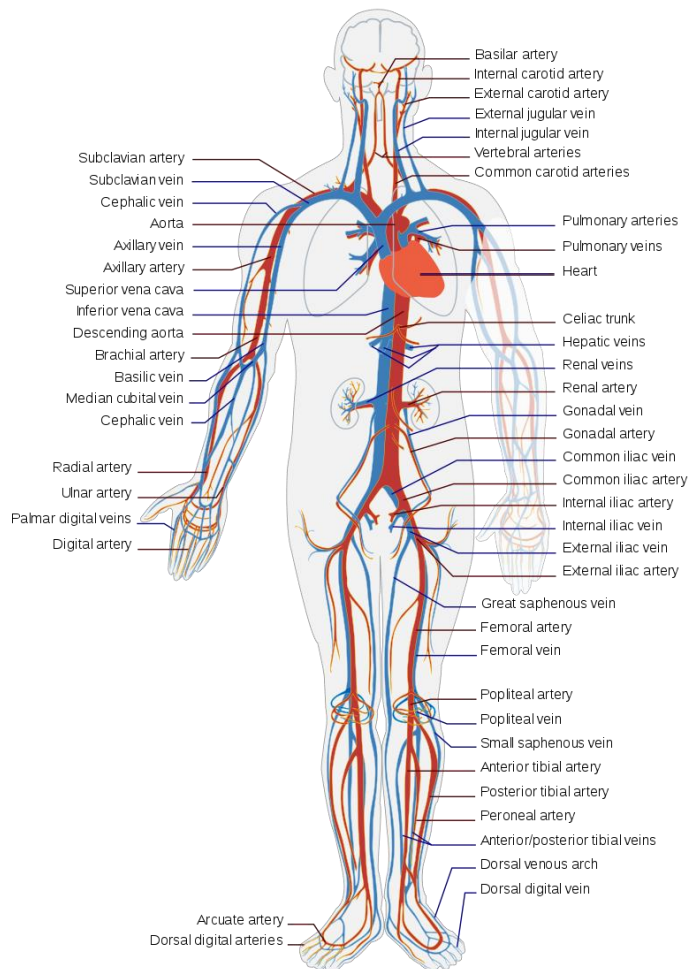
Πολλές ασθένειες επηρεάζουν το κυκλοφορικό σύστημα. Αυτό περιλαμβάνει την καρδιαγγειακή νόσο, που επηρεάζει το καρδιαγγειακό σύστημα και την λεμφατική νόσο που επηρεάζει το λεμφικό σύστημα. Οι καρδιολόγοι είναι επαγγελματίες του τομέα της ιατρικής που ειδικεύονται στην καρδιά και οι καρδιοχειρουργοί ειδικεύονται στην επέμβαση στην καρδιά και στις γύρω περιοχές. Οι αγγειοχειρουργοί επικεντρώνονται σε άλλα μέρη του κυκλοφορικού συστήματος.

Τα βασικά συστατικά του ανθρώπινου καρδιαγγειακού συστήματος είναι η καρδιά, το αίμα και τα αιμοφόρα αγγεία. Περιλαμβάνει την πνευμονική



κυκλοφορία, έναν "βρόχο" μέσω των πνευμόνων, όπου το αίμα οξυγονώνεται. και η συστηματική κυκλοφορία, ένας «βρόχος» μέσα από το υπόλοιπο σώμα για να παρέχει οξυγονωμένο αίμα. Η συστηματική κυκλοφορία μπορεί επίσης να φανεί ότι λειτουργεί σε δύο μέρη - τη μακροκυκλοφορία και τη μικροκυκλοφορία. Ένας μέσος ενήλικας περιέχει πέντε έως έξι τετράγωνα (περίπου 4.7 έως 5.7 λίτρα) αίματος, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 7% του συνολικού σωματικού βάρους τους. Το αίμα αποτελείται από πλάσμα, ερυθρά αιμοσφαίρια, λευκά αιμοσφαίρια και αιμοπετάλια. Επίσης, το πεπτικό σύστημα λειτουργεί με το κυκλοφορικό σύστημα για να παρέχει τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζεται το σύστημα για να κρατήσει την άντληση της καρδιάς .

Τα καρδιαγγειακά συστήματα των ανθρώπων είναι κλειστά, πράγμα που σημαίνει ότι το αίμα δεν αφήνει ποτέ το δίκτυο αιμοφόρων αγγείων. Αντίθετα, το οξυγόνο και τα θρεπτικά συστατικά διαχέονται στα στρώματα των αιμοφόρων αγγείων και εισέρχονται στο διάμεσο υγρό, το οποίο μεταφέρει οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά στα κύτταρα-στόχους και διοξειδίο του άνθρακα και απόβλητα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το άλλο συστατικό του κυκλοφορικού συστήματος, το λεμφικό σύστημα, είναι ανοικτό (Institute for Quality and Efficiency in Health Care, 2016).



**Εικόνα 15:** Το ανθρώπινο κυκλοφορικό σύστημα (απλοποιημένο). Το κόκκινο δείχνει οξυγονωμένο αίμα που μεταφέρεται σε αρτηρίες, το μπλε δείχνει ότι το αποοξυγονωμένο αίμα

φέρεται σε φλέβες. Τα τριχοειδή αγγεία, τα οποία ενώνουν τις αρτηρίες και τις φλέβες, και τα λεμφικά αγγεία δεν παρουσιάζονται. (Πηγή [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## Αρτηρίες

Το οξυγονωμένο αίμα εισέρχεται στη συστηματική κυκλοφορία όταν φεύγει από την αριστερή κοιλία, μέσω της βαλβίδας ημικρανίας της αορτής. Το πρώτο μέρος της συστηματικής κυκλοφορίας είναι η αορτή, μια μαζική και χονδροειδής αρτηρία. Η αορτή καμπυλώνει και δίνει κλαδιά που τροφοδοτούν το πάνω μέρος του σώματος αφού περάσει μέσα από το αορτικό άνοιγμα του διαφράγματος στο επίπεδο των θωρακικών δέκα σπονδύλων, εισέρχεται στην κοιλιακή χώρα. Αργότερα κατεβαίνει προς τα κάτω και προμηθεύει κλαδιά στην κοιλιά, τη λεκάνη, το περίνεο και τα κάτω άκρα. Τα τοιχώματα της αορτής είναι ελαστικά. Αυτή η ελαστικότητα βοηθά στη διατήρηση της αρτηριακής πίεσης σε όλο το σώμα. Όταν η αορτή λαμβάνει περίπου πέντε λίτρα αίματος από την καρδιά, επαναφέρεται και είναι υπεύθυνη για την παλμική πίεση του αίματος. Επιπλέον, καθώς η αορτή διακλαδίζεται σε μικρότερες αρτηρίες, η ελαστικότητά τους συνεχίζει να μειώνεται και η συμμόρφωσή τους συνεχίζει να αυξάνεται.

## Τριχοειδή

Οι αρτηρίες διακλαδίζονται σε μικρά περάσματα που ονομάζονται αρτηρίδια και στη συνέχεια στα τριχοειδή αγγεία. Τα τριχοειδή αγγεία συγχωνεύονται για να φέρουν αίμα στο φλεβικό σύστημα (Guyton, A. & Hall J., 2000).

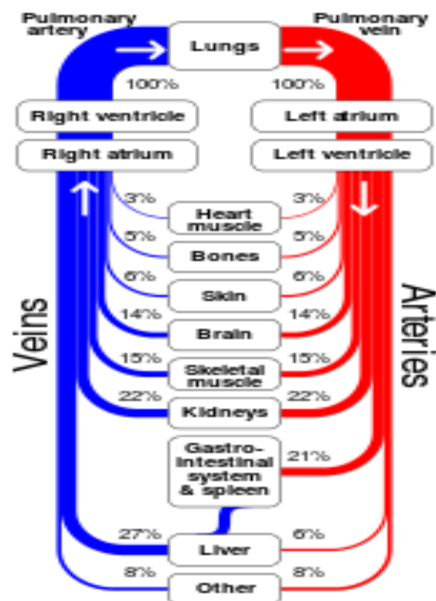
## Φλέβες

Τα τριχοειδή αγγεία συγχωνεύονται σε φλεβίδια, τα οποία συγχωνεύονται σε φλέβες. Το φλεβικό σύστημα τροφοδοτεί τις δύο κύριες φλέβες: την ανώτερη κοίλη φλέβα - η οποία αποστραγγίζει κυρίως τους ιστούς πάνω από την καρδιά - και την κατώτερη κοίλη φλέβα - η οποία αποστραγγίζει κυρίως τους ιστούς κάτω από την καρδιά. Αυτές οι δύο μεγάλες φλέβες αδειάζουν στο δεξιό κόλπο της καρδιάς.

## Πυλαίες φλέβες

Ο γενικός κανόνας είναι ότι οι αρτηρίες από την καρδιά διακλαδίζονται σε τριχοειδή αγγεία, τα οποία συλλέγονται σε φλέβες που οδηγούν πίσω στην καρδιά. Οι πυλαίες φλέβες είναι μια μικρή εξαίρεση σε αυτό. Στον άνθρωπο το μόνο σημαντικό παράδειγμα είναι η ηπατική πυλαία φλέβα που συνδυάζεται με τριχοειδή αγγεία γύρω από τη γαστρεντερική οδό όπου το αίμα απορροφά τα διάφορα προϊόντα πέψης. Αντί να οδηγεί απευθείας πίσω στην καρδιά, η ηπατική πυλαία φλέβα διακλαδίζεται σε ένα δεύτερο τριχοειδές σύστημα στο ήπαρ.





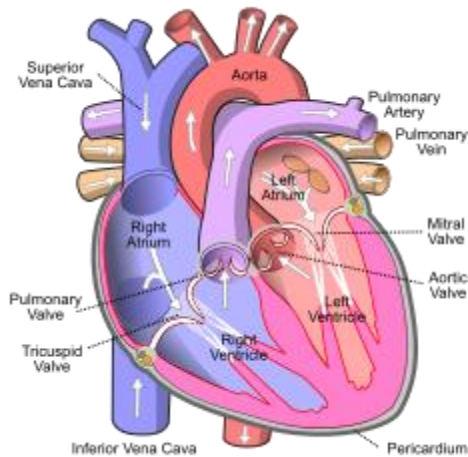
**Εικόνα 16:** Σχετικά ποσοστά καρδιακής παροχής που παραδίδονται στα κύρια συστήματα οργάνων (Πηγή [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## Καρδιά

Η καρδιά αντλεί οξυγονωμένο αίμα στο σώμα και αποξυγονωμένο αίμα στους πνεύμονες. Στην ανθρώπινη καρδιά υπάρχει ένα αίθριο και μία κοιλία για κάθε κυκλοφορία και με συστηματική και πνευμονική κυκλοφορία υπάρχουν τέσσερις θάλαμοι συνολικά: αριστερός κόλπος, αριστερή κοιλία, δεξιός κόλπος και δεξιά κοιλία. Ο δεξιός κόλπος είναι ο ανώτερος θάλαμος της δεξιάς πλευράς της καρδιάς. Το αίμα που επιστρέφεται στο δεξιό κόλπο είναι αποξυγονωμένο (φτωχό σε οξυγόνο) και διοχετεύεται στη δεξιά κοιλία για να αντληθεί μέσω της πνευμονικής αρτηρίας στους πνεύμονες για επαναοξυγόνωση και απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα. Ο αριστερός κόλπος δέχεται πρόσφατα οξυγονωμένο αίμα από τους πνεύμονες καθώς επίσης και την πνευμονική φλέβα που περνάει μέσα στην ισχυρή αριστερή κοιλία που αντλείται μέσω της αορτής στα διάφορα όργανα του σώματος.

## Στεφανιαία κυκλοφορία

Η ίδια η καρδιά τροφοδοτείται με οξυγόνο και θρεπτικά στοιχεία μέσω ενός μικρού "βρόχου" της συστηματικής κυκλοφορίας και προέρχεται πολύ λίγο από το αίμα που περιέχεται στους τέσσερις θαλάμους. Το σύστημα κυκλοφορικής της στεφανιαίας παρέχει μια παροχή αίματος στον ίδιο τον καρδιακό μυ. Η στεφανιαία κυκλοφορία αρχίζει κοντά στην προέλευση της αορτής από δύο στεφανιαίες αρτηρίες: τη δεξιά στεφανιαία αρτηρία και την αριστερή στεφανιαία αρτηρία. Μετά την θρέψη του καρδιακού μυός, το αίμα επιστρέφει μέσω των στεφανιαίων φλεβών στο στεφανιαίο κόλπο και από αυτό στο δεξιό κόλπο. Η πίσω ροή του αίματος μέσω του ανοίγματος του κατά τη διάρκεια της κολπικής συστολής εμποδίζεται από τη θήβανη βαλβίδα. Οι μικρότερες καρδιακές φλέβες αποστραγγίζονται κατευθείαν στους θαλάμους της καρδιάς (Guyton, A. & Hall J., 2000).



**Εικόνα 17:** Η εμπρόσθια όψη της καρδιάς (Πηγή [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## Πνεύμονες

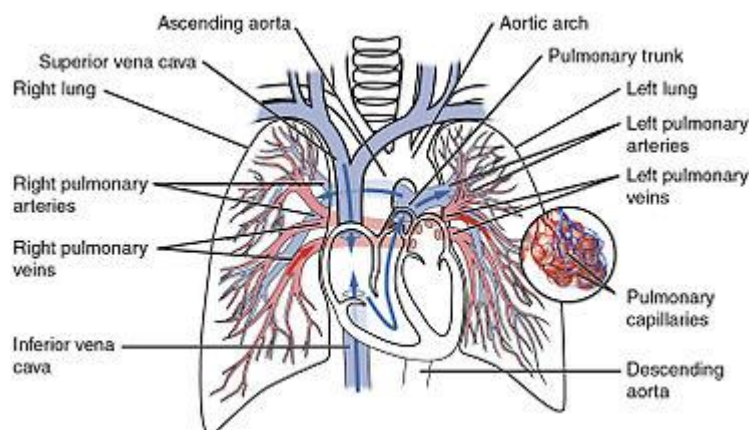
Η πνευμονική κυκλοφορία καθώς περνάει από την καρδιά. Παρουσιάζοντας τόσο τις πνευμονικές όσο και τις βρογχικές αρτηρίες.

Κύριο άρθρο: Πνευμονική κυκλοφορία

Το κυκλοφορικό σύστημα των πνευμόνων είναι το τμήμα του καρδιαγγειακού συστήματος στο οποίο το αίμα που έχει εξαντληθεί με οξυγόνο αντλείται μακριά από την καρδιά, μέσω της πνευμονικής αρτηρίας, στους πνεύμονες και επιστρέφει, οξυγονωμένο, στην καρδιά μέσω της πνευμονικής φλέβας.

Το οξυγόνο που στερείται αίματος από την ανώτερη και κατώτερη φλέβα εισέρχεται στο δεξιό κόλπο της καρδιάς και ρέει μέσω της τρικυκλικής βαλβίδας (δεξιός στομίου) στη δεξιά κοιλία, από την οποία στη συνέχεια αντλείται μέσω της πνευμονικής ημικυκλικής βαλβίδας στην πνευμονική αρτηρία στο πνεύμονες. Η ανταλλαγή αερίων συμβαίνει στους πνεύμονες, όπου η CO<sub>2</sub> απελευθερώνεται από το αίμα και το οξυγόνο απορροφάται. Η πνευμονική φλέβα επιστρέφει το πλούσιο σε οξυγόνο αίμα στο αριστερό αίθριο (Guyton, A. & Hall J., 2000).

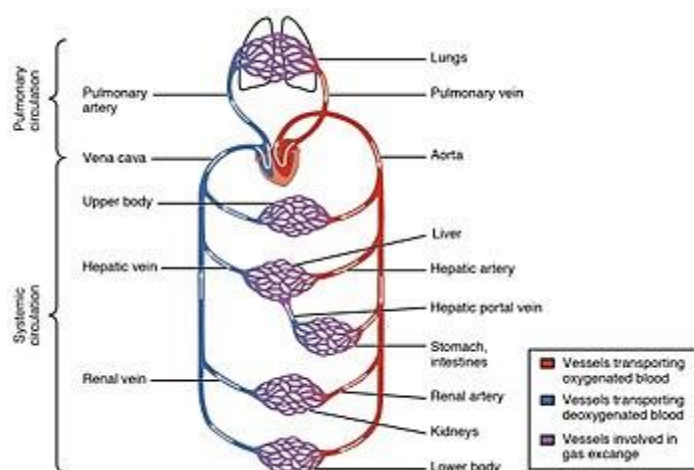
Ένα ξεχωριστό σύστημα γνωστό ως βρογχική κυκλοφορία παρέχει αίμα στον ιστό των μεγαλύτερων αεραγωγών του πνεύμονα.



**Εικόνα 18:** Η πνευμονική κυκλοφορία καθώς περνάει από την καρδιά. Παρουσιάζονται τόσο οι πνευμονικές όσο και οι βρογχικές αρτηρίες (Πηγή [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## Συστημική κυκλοφορία

Τα συστημικά κυκλοφορικά και τριχοειδή δίκτυα που παρουσιάζονται και επίσης ξεχωριστά από την πνευμονική κυκλοφορία  
Η συστηματική κυκλοφορία είναι το τμήμα του καρδιαγγειακού συστήματος το οποίο μεταφέρει οξυγονωμένο αίμα μακριά από την καρδιά μέσω της αορτής από την αριστερή κοιλία όπου το αίμα έχει προηγουμένως εναποτεθεί από την πνευμονική κυκλοφορία στο υπόλοιπο σώμα και επιστρέφει το αίμα χωρίς οξυγόνο πίσω στο την καρδιά (Guyton, A. & Hall J., 2000).



**Εικόνα 19:** Τα συστημικά κυκλοφορικά και τριχοειδή δίκτυα ξεχωριστά από την πνευμονική κυκλοφορία (Πηγή [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## Εγκέφαλος

Ο εγκέφαλος έχει διπλή παροχή αίματος που προέρχεται από αρτηρίες στο μπροστινό και στο πίσω μέρος του. Αυτές ονομάζονται "εμπρόσθια" και "οπίσθια" κυκλοφορία αντίστοιχα. Η πρόσθια κυκλοφορία προκύπτει από τις εσωτερικές καρωτιδικές αρτηρίες και παρέχει το μέτωπο του εγκεφάλου. Η οπίσθια κυκλοφορία προκύπτει από τις σπονδυλικές αρτηρίες και παρέχει το πίσω μέρος του εγκεφάλου και του εγκεφαλικού. Η κυκλοφορία από το μέτωπο και την πλάτη ενώνουν (αναστόμωση) στον Κύκλο του Willis (Guyton, A. & Hall J., 2000).

## Νεφρά

Η νεφρική κυκλοφορία λαμβάνει περίπου το 20% της καρδιακής παροχής. Κάνει κλαδιά από την κοιλιακή αορτή και επιστρέφει αίμα στην ανερχόμενη κοίλη φλέβα. Είναι η παροχή αίματος στους νεφρούς και περιέχει πολλά εξειδικευμένα αιμοφόρα αγγεία (Guyton, A. & Hall J., 2000).

## Λεμφικό σύστημα

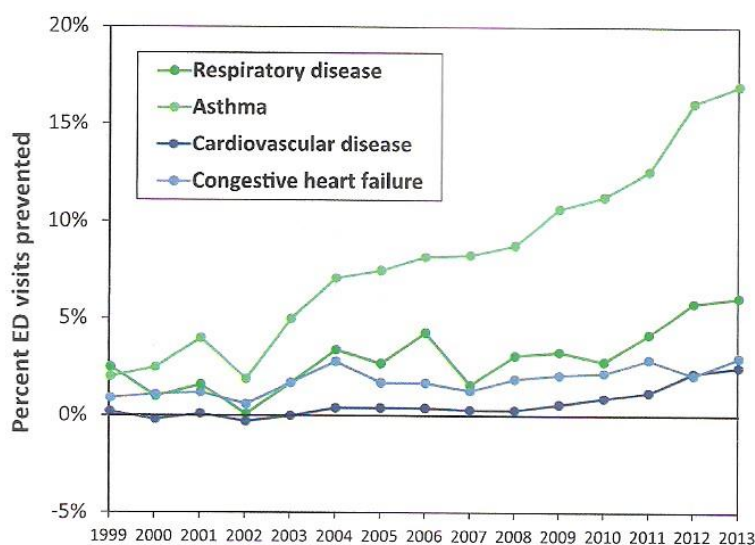
Το λεμφικό σύστημα είναι μέρος του κυκλοφορικού συστήματος. Πρόκειται για δίκτυο λεμφικών αγγείων και λεμφικών τριχοειδών αγγείων, λεμφαδένων και

οργάνων και λεμφικών ιστών και κυκλοφορούντων λεμφαδένων. Μία από τις κύριες λειτουργίες της είναι η μεταφορά της λεμφαδένης, η αποστράγγιση και η επιστροφή του ενδιάμεσου υγρού προς την καρδιά για επιστροφή στο καρδιαγγειακό σύστημα, εκκενώνοντας τους λεμφικούς αγωγούς. Η άλλη κύρια λειτουργία του είναι στο προσαρμοστικό ανοσοποιητικό σύστημα (Guyton, A. & Hall J., 2000).

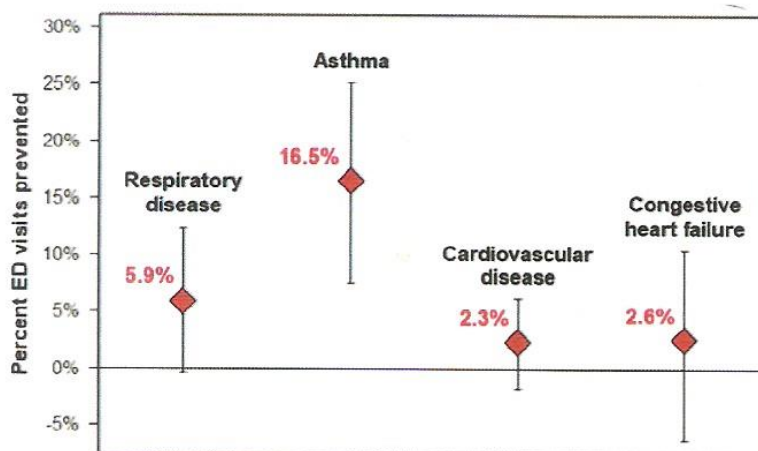
### 3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Σε μελέτη που διεξήχθη ώστε να βρεθούν τα δυσμενή αποτελέσματα του καρδιαγγειακού συστήματος στην ρύπανση του αέρα, βρέθηκε ότι τα PM<sub>10</sub> και το NO<sub>2</sub> συνδέονται με το έμφραγμα του μυοκαρδίου και την αρρυθμία, αμφότερα με RR 1,06. Επιπλέον διευκρινίστηκε ότι οι πιθανότητες κάποιος άνθρωπος να αποκτήσει υπέρταση λόγω της έκθεσης του σε PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, και O<sub>3</sub> είναι 1,12. Ομοίως, από κάποια άλλη μελέτη υπολογίστηκε το ρίσκο ως προς την πρόκληση καρδιαγγειακών ασθενειών (CVD, cardiovascular disease) να είναι αυξημένο 1,32 και 1,15 λόγω της αύξησης των PM<sub>2.5</sub> και των PM<sub>10</sub> αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η έκθεση σε PM<sub>2.5</sub> αύξησε τον αριθμό των ασθενών με CVD που επισκέπτονταν τα νοσοκομεία και επομένως υπάρχει εμφανής συσχέτιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κυρίως των PM και NO<sub>2</sub>, με την πρόκληση CVD (Bazyar J. et al, 2019).

Αναφορικά με τις επισκέψεις σε νοσοκομεία, στην Atlanta, GA των ΗΠΑ από το 1999 έως και το 2013 έλαβε μέρος καταγραφή των επειγόντων περιστατικών. Σε αυτή τη διάρκεια παρατηρήθηκαν 16.191.785 επισκέψεις στο ED (emergency department) σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του νοσοκομείου. Αυτό σημαίνει πως έγιναν πάνω από ένα εκατομμύριο επισκέψεις στα επείγοντα ανά έτος. Συνολικά 416.392 ασθενείς, δηλαδή 2,6% των συνολικών περιστατικών, προσήλθαν με CVD και από αυτούς 105.561 (το 25% των CVD) έπασχαν από συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια (CHF, congestive heart failure) (Abrams J. et al, 2019).



**Εικόνα 20:** Ποσοστό επισκέψεων στα επείγοντα που αποφεύχθηκαν λόγω των πολιτικών κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την μητροπολιτική περιοχή της Atlanta που αποτελείται από 5 πολιτείες από το 1999 έως 2013. (Πηγή: Abrams J. et al, 2019)



**Εικόνα 21:** Ποσοστό επισκέψεων στα επείγοντα που αποφεύχθηκαν λόγω των πολιτικών κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την μητροπολιτική περιοχή της Atlanta που αποτελείται από 5 πολιτείες το 2012-2013. (Πηγή: Abrams J. et al, 2019)

Υπάρχουν κάποιες χώρες όμως, μη ανεπτυγμένες, όπως η Ινδία, η Κίνα, κλπ., όπου καταγράφεται μεγάλο πρόβλημα παραγωγής PM σε εσωτερικούς χώρους κυρίως λόγω των μεθόδων μαγειρικής (ανοιχτή εστία) αλλά και θέρμανσης που χρησιμοποιούν. Από τον τρόπο μαγειρικής αυτόν παράγονται PM<sub>2.5</sub> από COFs (cooking oil fumes) που περιέχουν πολλές οργανικές ενώσεις και επικίνδυνα χημικά όπως μέταλλα, PAHs, καρβονυλικές ενώσεις, βενζόλιο και κινίνες. Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα PM τα PM<sub>2.5</sub> που προέρχονται από COFs εντοπίζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις και για μεγάλο χρονικό διάστημα σε εσωτερικούς χώρους και για αυτό το λόγο επηρεάζουν την υγεία μεγάλου αριθμού ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους.

Το οξειδωτικό στρες μπορεί να αυξήσει τις φλεγμονώδεις αντιδράσεις που καταστρέφουν με τη σειρά τους το DNA και ενεργοποιούν τον προγραμματισμένο κυτταρικό θάνατο όπως την απόπτωση και την αυτοφαγία. Οι μελέτες για τα PM<sub>2.5</sub> που προέρχονται από COFs δείχνουν παρόμοια συμπεριφορά με την παραπάνω αυξάνοντας την παραγωγή ROS. Η υπέρμετρη παραγωγή εσωκυττάρων ROS θεωρείται σήμα για την ενεργοποίηση του NLRP3 φλεγμονοσώματος. Όταν ενεργοποιηθεί αυτό ελέγχει την πρόσληψη και το χάσμα της pro-caspase-1, ρυθμίζει την απελευθέρωση κυτοκινών I1-18 και I1-1β και προκαλεί φλεγμονώδεις αντιδράσεις. Επιπροσθέτως, σχετικές μελέτες έδειξαν ότι το NLRP3 εκφράζεται και στα ενδοθηλιακά αγγειακά κύτταρα.

Η επίδραση του VEGF (vascular endothelial growth factor) στην προαγωγή του σχηματισμού σωλήνων έχει επιβεβαιωθεί. Ο VEGF έχει μεγάλη επιρροή στον γρήγορο πολλαπλασιασμό των ενδοθηλιακών αγγειακών κυττάρων, στην αποικοδόμηση της βασικής μεμβράνης, στην ενδοθηλιακή μετανάστευση των κυττάρων και στην δημιουργία κυττάρων αίματος. Τα ευρήματα αυτά υποδεικνύουν ότι τα NLRP3 φλεγμονοσώματα και οι σχετικοί εκκριτικοί

παράγοντες είναι σημαντικοί για τη ρύθμιση του VEGF. Για αυτό το λόγο, θεωρείται πως το αυξανόμενο οξειδωτικό στρες σε HUVECs (human umbilical vein endothelial cells) που προκαλείται από τα σχετιζόμενα με COFs PM<sub>2.5</sub> αυξάνουν την ενεργοποίηση των NLRP3 φλεγμονοσωμάτων που με τη σειρά τους επιδεινώνουν τις φλεγμονώδεις αντιδράσεις στα κύτταρα και επομένως επηρεάζεται σχηματισμός κυττάρων αίματος.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν πως η έκθεση των HUVECs σε προερχόμενα από COFs PM<sub>2.5</sub> οδηγεί σε μείωση της βιωσιμότητας των κυττάρων ως προς τη δόση και το χρόνο. Τελικά η έκθεση σε ατμοσφαιρικά PM<sub>2.5</sub> προκαλεί μείωση στην βιωσιμότητα, την μετανάστευση και την αγγειογένεση σε HUVECs καθώς προκαλεί αύξηση στην παραγωγή ROS και στην έκφραση TNF-α και IL-8 στα ενδοθηλιακά κύτταρα οδηγώντας σε αγγειακή φλεγμονή και αναστολή της αγγειογένεσης (Shen C. et al, 2019).

Μία άλλη μελέτη αναφορικά με καρδιαγγειακά νοσήματα σχετιζόμενα με την παραγωγή PM και ατμοσφαιρικών ρύπων ως προς την εγγύτητα σε αυτοκινητόδρομους. Η μελέτη αυτή διεξήχθη στην ευρύτερη περιοχή της Βοστώνης, από το Harvard EPA. Το πόρισμα της ήταν πως η μακροχρόνια έκθεση σε PM αυξάνει το ρίσκο της καρδιαγγειακής θνησιμότητας στον ευρύτερο πληθυσμό. Η συσχέτιση μεταξύ των PM και των καρδιακών θανάτων πιθανόν σχετίζεται με την καρδιακή ηλεκτρική αστάθεια, καθώς αυξάνονται οι καρδιακές μη φυσιολογικές αλλαγές πολικότητας αυξάνεται και το ρίσκο κοιλιακής αρρυθμίας και ξαφνικού θανάτου.

Επιπροσθέτως, η έκθεση σε PM<sub>2.5</sub> και μαύρο άνθρακα σχετίζεται με την κοιλιακή εκτομή και την κοιλιακή μαρμαρυγή, που και τα δύο αυξάνουν κατά πολύ τη καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Οι ερευνητές του Harvard EPA ήταν από τους πρώτους που μελέτησαν τον κίνδυνο της απόστασης των αυτοκινητοδρόμων υψηλής κίνησης (ως προς την παραγωγή PM) ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια, ισχαιμικό εγκεφαλικό και οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου. Παρατηρήθηκε μεγάλη θνησιμότητα στους ασθενείς αυτούς σε περίοδο 5 ετών, με 76% σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια, 56% σε αυτούς με ισχαιμικό εγκεφαλικό και 30% σε αυτούς με οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου.

Σε όλους τους ασθενείς που έπασχαν από καρδιαγγειακά προβλήματα και έμεναν κοντά σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους, λόγω της έκθεσης τους σε αυξημένες συγκεντρώσεις PM παρατηρήθηκαν αυξημένη αρτηριακή πίεση, μεταβολές στον καρδιακό ρυθμό (αρρυθμία) και ισχαιμικά εγκεφαλικά (Jhun I. et al, 2019).

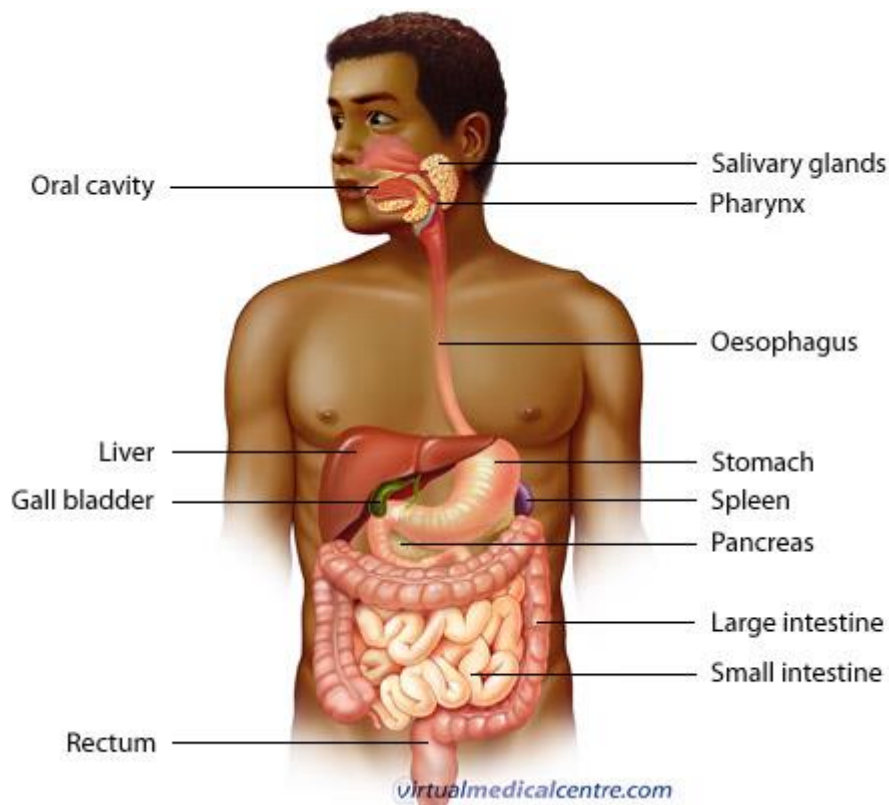


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΑΣΤΡΟΟΙΣΟΦΑΓΙΚΟ-ΓΑΣΤΡΕΝΤΕΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

### 4.1 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

#### Εισαγωγή στο γαστρεντερικό σύστημα

Η γαστρεντερική οδός (GIT) αποτελείται από έναν κοίλο μυϊκό σωλήνα που ξεκινά από την στοματική κοιλότητα, όπου εισέρχεται η τροφή, συνεχίζοντας μέσω του φάρυγγα, του οισοφάγου, του στομάχου και των εντέρων στο ορθό και τον πρωκτό, όπου εξέρχεται το φαγητό. Υπάρχουν διάφορα βοηθητικά όργανα που βοηθούν την οδό διαμέσου της έκκρισης ενζύμων για να βοηθήσουν στη διάσπαση της τροφής στα θρεπτικά συστατικά της. Έτσι, οι σιελογόνοι αδένες, το ήπαρ, το πάγκρεας και η χοληδόχος κύστη έχουν σημαντικές λειτουργίες στο πεπτικό σύστημα. Τα τρόφιμα προωθούνται κατά μήκος του GIT από περισταλτικές κινήσεις των μυϊκών τοίχων.



**Εικόνα 22:** Όργανα της γαστρεντερικής οδού (Πηγή: myvmcstage.wordpress.com)

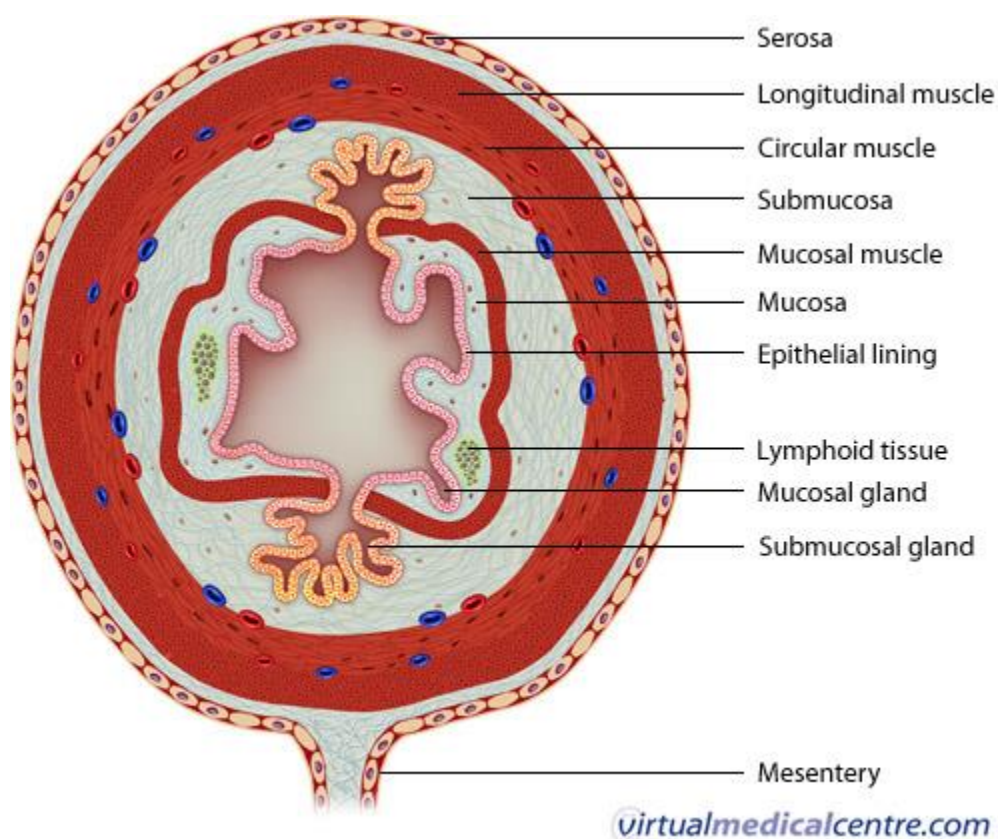
Ο πρωταρχικός σκοπός της γαστρεντερικής οδού είναι να διασπάσει το φαγητό σε θρεπτικά συστατικά, τα οποία μπορούν να απορροφηθούν στο σώμα για να παρέχουν ενέργεια. Αρχικά τα τρόφιμα εισάγονται στο στόμα για να υποβληθούν σε μηχανική επεξεργασία και να υγρανθούν. Δεύτερον, η πέψη γίνεται κυρίως στο στομάχι και στο λεπτό έντερο, όπου οι πρωτεΐνες, τα

λίπη και οι υδατάνθρακες διασπώνται χημικά στις βασικές τους δομικές μονάδες. Μικρότερα μόρια στη συνέχεια απορροφούνται από το επιθήλιο του λεπτού εντέρου και στη συνέχεια εισέρχονται στην κυκλοφορία. Το παχύ έντερο διαδραματίζει βασικό ρόλο στην απορρόφηση της περίσσειας νερού. Τελικά, τα αδιάλυτα υλικά και τα εκκρινόμενα απόβλητα αποβάλλονται από το σώμα μέσω της κένωσης.

Στην περίπτωση γαστρεντερικών ασθενειών ή διαταραχών, αυτές οι λειτουργίες του γαστρεντερικού σωλήνα δεν επιτυγχάνονται με επιτυχία. Οι ασθενείς μπορεί να εμφανίσουν συμπτώματα ναυτίας, εμέτου, διάρροιας, δυσαπορρόφησης, δυσκοιλιότητας ή παρεμπόδισης. Τα γαστρεντερικά προβλήματα είναι πολύ συνηθισμένα και οι περισσότεροι άνθρωποι θα έχουν βιώσει κάποια από τα παραπάνω συμπτώματα πολλές φορές καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους.

### Βασική δομή

Ο γαστρεντερικός σωλήνας είναι ένας μυϊκός σωλήνας με επένδυση από ένα ειδικό στρώμα κυττάρων, που ονομάζεται επιθήλιο. Τα περιεχόμενα του σωλήνα θεωρούνται εξωτερικά του σώματος και βρίσκονται σε συνεχή επαφή με τον έξω κόσμο στο στόμα και στον πρωκτό. Παρόλο που κάθε τμήμα της οδού έχει εξειδικευμένες λειτουργίες, ολόκληρη η οδός έχει μια παρόμοια βασική δομή με περιφερειακές παραλλαγές.



**Εικόνα 23:** Δομή της γαστρεντερικής οδού (Πηγή: myvmcstage.wordpress.com)



Ο τοίχος χωρίζεται σε τέσσερα στρώματα ως εξής:

#### 1.Βλεννογόνο

Το εσωτερικό στρώμα της πεπτικής οδού έχει εξειδικευμένα επιθηλιακά κύτταρα που υποστηρίζονται από ένα υποκείμενο στρώμα συνδετικού ιστού που ονομάζεται χόριο του βλεννογόνου. Το χόριο του βλεννογόνου περιέχει αιμοφόρα αγγεία, νεύρα, λεμφοειδή ιστό και αδένες που υποστηρίζουν τον βλεννογόνο. Ανάλογα με τη λειτουργία του, το επιθήλιο μπορεί να είναι απλό (ένα μόνο στρώμα) ή στρωματοποιημένο (πολλαπλά στρώματα).

Περιοχές όπως το στόμα και ο οισοφάγος καλύπτονται από ένα στρωματοποιημένο πλακώδες επιθήλιο έτσι ώστε να μπορούν να επιβιώσουν από τη φθορά της διέλευσης των τροφίμων. Απλές στήλες (ψηλά) ή αδενικά επιθηλιακά στρώματα υπάρχουν στο στομάχο και στα έντερα για να βοηθήσουν την έκκριση και την απορρόφηση. Η εσωτερική επένδυση συνεχώς «μαδάει» και αντικαθίσταται, καθιστώντας την μία από τις πιο γρήγορα εναλλασσόμενες περιοχές του σώματος. Κάτω από το χόριο του βλεννογόνου είναι ο βλεννογόνος μυς. Αυτό περιλαμβάνει στρώματα λείου μυός που μπορούν να συστέλλονται για να αλλάξουν το σχήμα του αυλού.

#### 2.Υποβλεννογόνο

Ο υποβλεννογόνος περιβάλλει τον βλεννογόνο μυ και αποτελείται από λιπώδη, ινώδη συνδετικό ιστό και μεγαλύτερα αγγεία και νεύρα. Στο εξωτερικό του περιθώριο υπάρχει ένα εξειδικευμένο νευρικό πλέγμα που ονομάζεται πλέγμα υποβλεννογόνου ή πλέγμα Meissner. Αυτό τροφοδοτεί τον βλεννογόνο και τον υποβλεννογόνο.

#### 3.Μυϊκό κάλυμμα

Αυτή η στρώση λείου μυός έχει εσωτερικά κυκλικά και εξωτερικά διαμήκη στρώματα μυϊκών ινών που διαχωρίζονται από το μεντερικό πλέγμα ή το πλέγμα Auerbach. Οι νευρωνικές νευρώσεις ελέγχουν τη συστολή αυτών των μυών και συνεπώς τη μηχανική διάσπαση και περισταλτικότητα του φαγητού μέσα στον αυλό.

#### 4.Μεσεντερικός ορογόνο

Το εξωτερικό στρώμα του GIT σχηματίζεται από λίπος και ένα άλλο στρώμα επιθηλιακών κυττάρων που ονομάζεται μεσοθήλιο (Cotran R. S. et al, 1999).

### **Μεμονωμένα συστατικά του γαστρεντερικού συστήματος**

#### Στοματική κοιλότητα

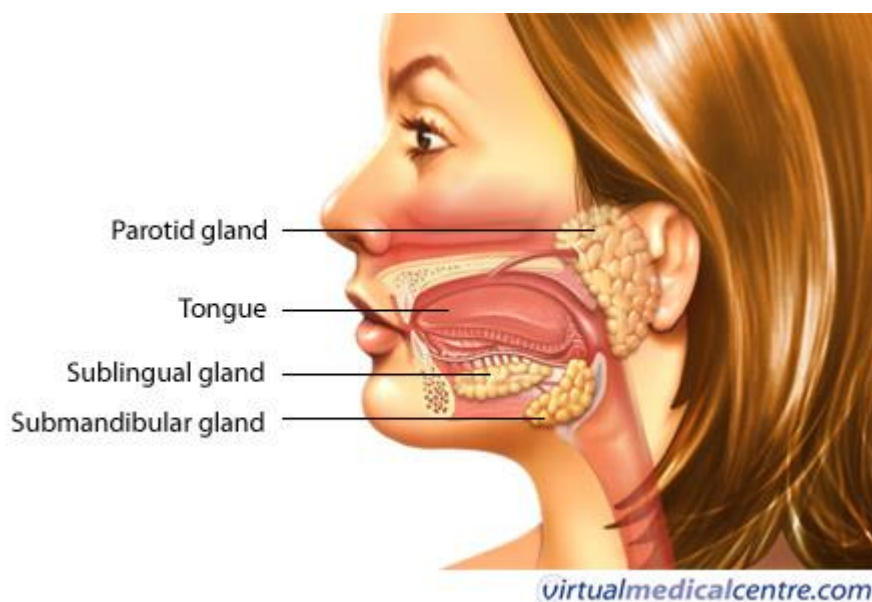
Η στοματική κοιλότητα ή στόμα είναι υπεύθυνη για την πρόσληψη τροφής. Είναι επενδεδυμένη με στρωματοποιημένο πλακώδη βλεννογόνο με κερατίνη που καλύπτει εκείνες τις περιοχές που υπόκεινται σε σημαντική τριβή, όπως η γλώσσα, ο σκληρός ουρανίσκος και η οροφή του στόματος. Η μάσηση αναφέρεται στη μηχανική διάσπαση των τροφών με δράσεις μάσησης και κοπής των δοντιών. Η γλώσσα, ένα ισχυρό μυϊκό όργανο, χειρίζεται το βλωμό της τροφής για να έρθει σε επαφή με τα δόντια. Είναι επίσης το αισθητήριο

όργανο του στόματος για επαφή, θερμοκρασία και γεύση χρησιμοποιώντας τους εξειδικευμένους αισθητήρες του.

Η σιελοποίηση αναφέρεται στην ανάμειξη των περιεχομένων της στοματικής κοιλότητας με τις εκκρίσεις των σιελογόνων αδένων. Η βλεννίνη (μια γλυκοπρωτεΐνη) στο σάλιο δρα ως λιπαντικό. Η στοματική κοιλότητα παίζει επίσης ένα περιορισμένο ρόλο στην πέψη των υδατανθράκων. Το ένζυμο αμυλάση ορού, ένα συστατικό του σάλιου, ξεκινά τη διαδικασία της πέψης σύνθετων υδατανθράκων. Η τελική λειτουργία της στοματικής κοιλότητας είναι η απορρόφηση μικρών μορίων, όπως η γλυκόζη και το νερό, κατά μήκος του βλεννογόνου. Από το στόμα, το φαγητό περνά μέσα από τον φάρυγγα και τον οισοφάγο μέσω της δράσης της κατάποσης.

### Σιελογόνοι αδένες

Τρία ζεύγη σιελογόνων αδένων επικοινωνούν με την στοματική κοιλότητα. Κάθε ένας είναι ένας σύνθετος αδένας με πολυάριθμες ακίνες που είναι επενδεδυμένες με εκκριτικό επιθήλιο. Η ακίνη εκκρίνει το περιεχόμενό της σε εξειδικευμένους αγωγούς. Κάθε αδένας χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα που ονομάζονται λοβοί. Η σιελόρροια λαμβάνει χώρα ως απόκριση στη γεύση, την οσμή ή ακόμη και την εμφάνιση των τροφίμων. Αυτό συμβαίνει λόγω νευρικών σημάτων που λένε στους σιελογόνους αδένες να εκκρίνουν σάλιο για να προετοιμάσουν και να υγράνουν το στόμα. Κάθε ζεύγος σιελογόνων αδένων εκκρίνει το σάλιο με ελαφρώς διαφορετικές συνθέσεις.



**Εικόνα 24:** Σιελογόνοι αδένες (Πηγή: myvmcstage.wordpress.com)

## Παρωτίδες

Οι παρωτιδικοί αδένες είναι μεγάλοι, ακανόνιστοι αδένες που βρίσκονται κάτω από το δέρμα στο πλάι του προσώπου. Εκκρίνουν το 25% του σάλιου. Βρίσκονται κάτω από το ζυγωματικό τόξο (κόγχη) και καλύπτουν μέρος της κάτω γνάθου (κατώτερη κάτω γνάθος). Οι παρωτίτιδες παράγουν μια υδαρή έκκριση, η οποία είναι επίσης πλούσια σε πρωτεΐνες. Οι ανοσοσφαιρίνες εκκρίνονται για την καταπολέμηση μικροοργανισμών και οι πρωτεΐνες αμυλάσης αρχίζουν να διασπούν πολύπλοκους υδατάνθρακες.

## Υπογνάθιοι αδένες

Οι υπογνάθιοι αδένες εκκρίνουν το 70% του σάλιου στο στόμα. Βρίσκονται στο κάτω μέρος του στόματος, σε μια αυλάκωση κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας της κάτω γνάθου. Αυτοί οι αδένες παράγουν μια πιο ογκώδη έκκριση, πλούσια σε βλεννίνη και με μικρότερη ποσότητα πρωτεΐνης. Η μουκίνη είναι μια γλυκοπρωτεΐνη που δρα ως λιπαντικό.

## Υπογλώσσια

Τα υπογλώσσια είναι οι μικρότεροι σιελογόνοι αδένες, που καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα ιστού στο κάτω μέρος του στόματος. Παράγουν περίπου το 5% του σάλιου και οι εκκρίσεις τους είναι πολύ κολλώδεις λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης βλεννίνης. Οι κύριες λειτουργίες είναι η παροχή προφύλαξης και λίπανσης.

## Οισοφάγος

Ο οισοφάγος είναι ένας μυϊκός σωλήνας μήκους περίπου 25 cm και διαμέτρου 2 cm. Αυτός εκτείνεται από τον φάρυγγα στο στομάχι αφού διέρχεται από ένα άνοιγμα στο διάφραγμα. Το τοίχωμα του οισοφάγου αποτελείται από εσωτερικά κυκλικά και εξωτερικά διαμήκη στρώματα μυών που παρέχονται από το πλέγμα του οισοφάγου νεύρου. Αυτό το πλέγμα νεύρων περιβάλλει το κάτω τμήμα του οισοφάγου. Ο οισοφάγος λειτουργεί κυρίως ως μέσο μεταφοράς μεταξύ διαμερισμάτων.

## Στομάχι

Το στομάχι είναι μια διογκωμένη σακούλα σχήματος J, που βρίσκεται ακριβώς αριστερά από τη μέση γραμμή μεταξύ του οισοφάγου και του λεπτού εντέρου. Είναι χωρισμένο σε τέσσερις κύριες περιοχές και έχει δύο σύνορα που ονομάζονται μεγαλύτερες και μικρότερες καμπυλώσεις. Το πρώτο τμήμα είναι η καρδιά που περιβάλλει το καρδιακό στόμιο όπου ο οισοφάγος εισέρχεται στο στομάχι. Το fundus είναι το ανώτερο, διασταλμένο τμήμα του στομάχου που έρχεται σε επαφή με τον αριστερό θόλο του διαφράγματος. Το σώμα είναι το μεγαλύτερο τμήμα ανάμεσα στο βάθρο και το καμπύλο τμήμα του J.

Αυτό είναι όπου οι περισσότεροι γαστρικοί αδένες είναι τοποθετημένοι και όπου συμβαίνει η περισσότερη ανάμειξη του τροφίμου. Τέλος ο πυλωρός είναι η καμπύλη βάση του στομάχου. Τα γαστρικά περιεχόμενα εξωθούνται

στον εγγύς δωδεκαδάκτυλο μέσω του πυλωρού σφιγκτήρα. Η εσωτερική επιφάνεια του στομάχου συστέλλεται σε πολυάριθμες διαμήκεις πτυχές που ονομάζονται "rugae". Αυτά επιτρέπουν στο στομάχι να τεντώνεται και να επεκτείνεται όταν εισέρχεται το φαγητό. Το στομάχι μπορεί να χωρέσει έως και 1,5 λίτρο υλικού. Οι λειτουργίες του στομάχου περιλαμβάνουν:

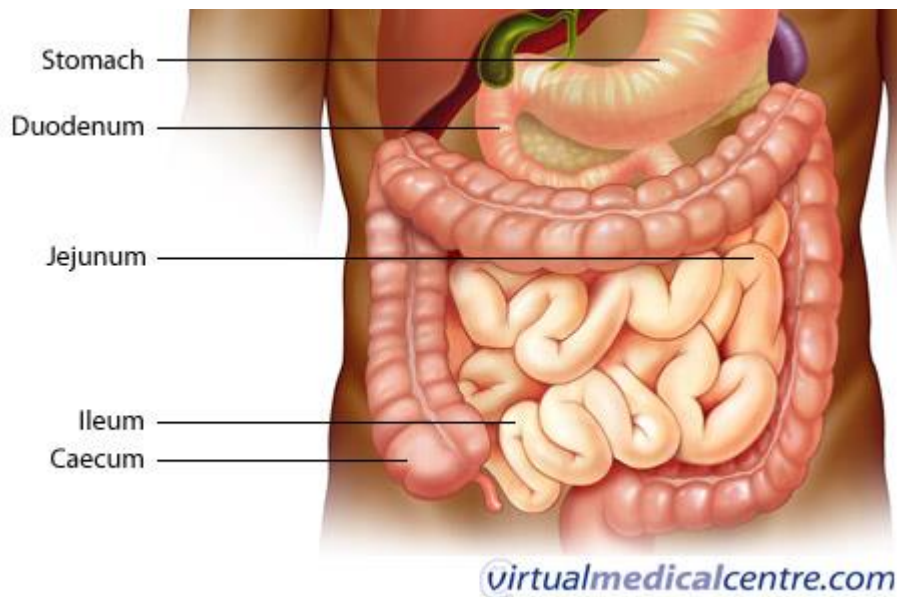
- Τη βραχυπρόθεσμη αποθήκευση καταπιεσμένων τροφίμων.
- Μηχανική διάσπαση των τροφών με αναδεύσεις και ανάμιξη κινήσεων.
- Χημική χώνευση πρωτεϊνών με οξέα και ένζυμα.
- Το οξύ του στομάχου σκοτώνει μικρόβια.
- Κάποια απορρόφηση ουσιών όπως το αλκοόλ.

Οι περισσότερες από αυτές τις λειτουργίες επιτυγχάνονται με την έκκριση των χυμών του στομάχου από τους γαστρικούς αδένες στο σώμα και τη βάση. Ορισμένα κύτταρα είναι υπεύθυνα για την έκκριση οξέος και άλλα εκκρίνουν ένζυμα για να διασπάσουν τις πρωτεΐνες.

#### Το λεπτό έντερο

Το λεπτό έντερο αποτελείται από το δωδεκαδάκτυλο, τη νήστιδα και τον ειλεό. Έχει μέσο όρο μήκους περίπου 6 μέτρων, που εκτείνεται από τον πυλωρό σφιγκτήρα του στομάχου έως τη βαλβίδα του κόλπου που διαχωρίζει τον ειλεό από το τυφλό. Το λεπτό έντερο συμπιέζεται σε πολλές πτυχές και καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της κοιλιακής κοιλότητας.

Το δωδεκαδάκτυλο είναι το εγγύς τμήμα σχήματος C που καμπυλώνει γύρω από το κεφάλι του παγκρέατος. Το δωδεκαδάκτυλο εξυπηρετεί μια λειτουργία ανάμιξης καθώς συνδυάζει πεπτικές εκκρίσεις από το πάγκρεας και το ήπαρ με τα περιεχόμενα που εκδιώχθηκαν από το στομάχι. Η έναρξη της νήστιδας χαρακτηρίζεται από μια απότομη κάμψη, την καμπυλότητα του δωδεκαδάκτυλου. Στην νήστιδα όπου λαμβάνει χώρα η πλειοψηφία της πέψης και απορρόφησης. Το τελικό τμήμα, ο ειλεός, είναι το μακρύτερο τμήμα και εκκενώνεται στο τυφλό στη ειλεόκλειστη ένωση.



**Εικόνα 24:** Δομή κατώτερης GIT (Πηγή: myvmcstage.wordpress.com)

Το λεπτό έντερο εκτελεί την πλειοψηφία της πέψης και απορρόφησης των θρεπτικών ουσιών. Μερικώς αφομοιωμένη τροφή από το στομάχι αναλύεται περαιτέρω με ένζυμα από το πάγκρεας και χολικά άλατα από το ήπαρ και τη χοληδόχο κύστη. Αυτές οι εκκρίσεις εισέρχονται στο δωδεκαδάκτυλο στην φύσιγγα του Vater. Μετά από περαιτέρω πέψη, συστατικά τροφίμων όπως πρωτεΐνες, λίπη και υδατάνθρακες διασπώνται σε μικρά δομικά στοιχεία και απορροφώνται στο ρεύμα του σώματος.

Η επένδυση του λεπτού εντέρου αποτελείται από πολυάριθμες μόνιμες πτυχές. Κάθε πτυχή έχει πολυάριθμες βλεφαρίδες (πτυχές βλεννογόνου) και κάθε βλεφαρίδα καλύπτεται από επιθήλιο με προεξέχουσες μικροβλεφαρίδες. Αυτό αυξάνει την επιφάνεια για απορρόφηση κατά ένα συντελεστή αρκετών εκατοντάδων. Ο βλεννογόνος του λεπτού εντέρου περιέχει αρκετά εξειδικευμένα κύτταρα. Μερικοί είναι υπεύθυνοι για την απορρόφηση, ενώ άλλοι εκκρίνουν πεπτικά ένζυμα και βλεννογόνο για να προστατεύσουν την εντερική επένδυση από πεπτικές δράσεις.

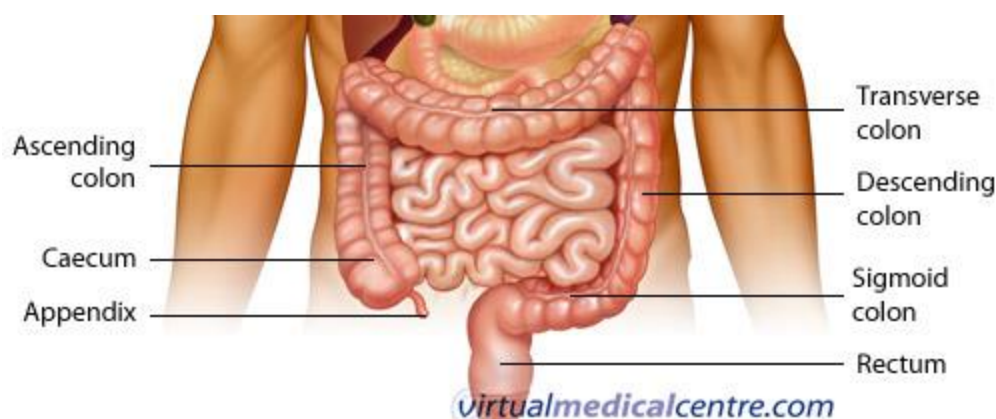
#### Παχύ έντερο

Το παχύ έντερο έχει σχήμα παπουτσιού και εκτείνεται γύρω από το λεπτό έντερο σαν ένα πλαίσιο. Αποτελείται από το προσάρτημα, το τυφλό, το ανερχόμενο, το εγκάρσιο, το κατώτερο και το σιγμοειδές κόλον και το ορθό. Έχει μήκος περίπου 1,5 m και πλάτος 7,5 cm.

Το τυφλό είναι η διογκωμένη θήκη που δέχεται υλικό από τον ειλεό και αρχίζει να συμπιέζει τα τρόφιμα σε υλικό κοπράνων. Τα τρόφιμα ταξιδεύουν στη συνέχεια του παχέος εντέρου. Το τοίχωμα του παχέος εντέρου αποτελείται από αρκετές σακούλες που κρατούνται υπό τάση από τρεις χοντρές ζώνες μυών.

Το ορθό είναι τα τελικά 15 εκατοστά του παχέος εντέρου. Διευρύνεται για να κρατήσει περιττώματα πριν περάσει από το ορθοκολικό κανάλι στον πρωκτό.

Πυκνές ζώνες μυών, γνωστές ως σφιγκτήρες, ελέγχουν τη διέλευση των κοπράνων.



Εικόνα 25: Δομή παχέος εντέρου (Πηγή: myvmcstage.wordpress.com)

Ο βλεννογόνος του παχέος εντέρου στερείται βλεφαρίδων που παρατηρούνται στο λεπτό έντερο. Η επιφάνεια του βλεννογόνου είναι επίπεδη με αρκετούς βαθιούς εντερικούς αδένες. Πολυάριθμα κυψελιδικά κύτταρα ομαδοποιούν τους αδένες που εκκρίνουν βλεννώδη να λιπαίνουν την περιπτωματική ύλη καθώς στερεοποιείται. Οι λειτουργίες του παχέος εντέρου μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η συσσώρευση του μη απορροφημένου υλικού για το σχηματισμό περιπτωμάτων.
- Πέψη από βακτήρια. Τα βακτήρια είναι υπεύθυνα για το σχηματισμό εντερικού αερίου.
- Απορρόφηση νερού, αλάτων, ζάχαρης και βιταμινών.

(Martini F., 2001)

## Ήπαρ

Το ήπαρ είναι ένα μεγάλο όργανο που βρίσκεται στο δεξιό άνω τεταρτημόριο της κοιλιάς. Περιβάλλεται από μια ισχυρή κάψουλα και χωρίζεται σε τέσσερις λοβούς, συγκεκριμένα τον δεξιό, αριστερό, κερκοφόρο και τετράπλευρο λοβό. Το ήπαρ έχει πολλές σημαντικές λειτουργίες. Λειτουργεί ως μηχανικό φίλτρο φιλτράροντας το αίμα που ταξιδεύει από το εντερικό σύστημα. Αποτοξινώνει διάφορους μεταβολίτες συμπεριλαμβανομένης της διάσπασης της χολερυθρίνης και των οιστρογόνων. Επιπλέον, το ήπαρ έχει συνθετικές λειτουργίες, παράγοντας αλβουμίνη και παράγοντες πήξης του αίματος. Ωστόσο, οι βασικοί του ρόλοι στην πέψη είναι στην παραγωγή χολής και μεταβολισμού των θρεπτικών ουσιών. Όλες οι θρεπτικές ουσίες που απορροφώνται από τα έντερα περνούν από το ήπαρ και υποβάλλονται σε επεξεργασία πριν ταξιδέψουν στο υπόλοιπο σώμα. Η χολή που παράγεται από κύτταρα του ήπατος, εισέρχεται στα έντερα στο δωδεκαδάκτυλο. Εδώ, τα

χολικά άλατα διασπούν τα λιπίδια σε μικρότερα σωματίδια, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη επιφάνεια για να δράσουν τα πεπτικά ένζυμα.

### Χοληδόχος κύστη

Η χοληδόχος κύστη είναι ένα κοίλο όργανο με σχήμα αχλαδιού που βρίσκεται σε μια κοιλότητα στην οπίσθια επιφάνεια του δεξιού λοβού του ήπατος. Αποτελείται από ένα πυθμένα, σώμα και λαιμό. Αδειάζει μέσω του κυστικού αγωγού στο σύστημα του χολικού αγωγού. Οι κύριες λειτουργίες της χοληδόχου κύστης είναι η αποθήκευση και η συγκέντρωση της χολής. Η χολή είναι ένα παχύ ρευστό που περιέχει ένζυμα που βοηθούν στη διάλυση του λίπους στα έντερα. Η χολή παράγεται από το ήπαρ αλλά αποθηκεύεται στη χοληδόχο κύστη μέχρι να χρειαστεί. Η χολή απελευθερώνεται από τη χοληδόχο κύστη με συστολή των μυϊκών τοιχωμάτων της σε απόκριση των ορμονικών σημάτων από το δωδεκαδάκτυλο παρουσία τροφής.

### Πάγκρεας

Τέλος, το πάγκρεας είναι ένα λοβωτικό όργανο που βρίσκεται πίσω από το στομάχι. Το κεφάλι του επικοινωνεί με το δωδεκαδάκτυλο και η ουρά του εκτείνεται στον σπλήνα. Το όργανο έχει μήκος περίπου 15 cm με ένα μακρύ, λεπτό σώμα που συνδέει το κεφάλι και τα τμήματα της ουράς. Το πάγκρεας έχει εξωκρινικές και ενδοκρινικές λειτουργίες. Το ενδοκρινικό σύστημα αναφέρεται στην παραγωγή ορμονών που εμφανίζεται στις νησίδες Langerhans. Οι νησίδες παράγουν ινσουλίνη, γλυκαγόνη και άλλες ουσίες και αυτές είναι οι περιοχές που έχουν υποστεί βλάβη στο σακχαρώδη διαβήτη. Το εξωκρινικό τμήμα αποτελεί το 80-85% του παγκρέατος και είναι η περιοχή που σχετίζεται με την γαστρεντερική οδό.

Αποτελείται από πολυάριθμα ακίνια (μικρούς αδένες) που εκκρίνουν περιεχόμενο σε αγωγούς που τελικά οδηγούν στο δωδεκαδάκτυλο. Το πάγκρεας εκκρίνει υγρό πλούσιο σε υδατάνθρακες και ανενεργά ένζυμα. Η έκκριση ενεργοποιείται από τις ορμόνες που απελευθερώνονται από το δωδεκαδάκτυλο παρουσία τροφής. Τα παγκρεατικά ένζυμα περιλαμβάνουν υδατάνθρακες, λιπάσες, νουκλεάσες και πρωτεολυτικά ένζυμα που μπορούν να διασπάσουν διάφορα συστατικά τροφίμων. Αυτά εκκρίνονται σε ανενεργή μορφή για την πρόληψη της πέψης του ίδιου του παγκρέατος. Τα ένζυμα ενεργοποιούνται μόλις φτάσουν στο δωδεκαδάκτυλο.

### Λειτουργία

Ο χρόνος που απαιτείται για να περάσουν διαμέσου του γαστρεντερικού σωλήνα τροφή ή άλλα αντικείμενα που μεταφέρονται από το γαστρεντερικό σωλήνα ποικίλλει ανάλογα με πολλούς παράγοντες, αλλά χρειάζεται λιγότερο από μία ώρα μετά το γεύμα για το 50% των περιεχομένων του στομάχου να εκκενωθεί στα έντερα, ενώ η συνολική εκκένωση διαρκεί περίπου 2 ώρες. Στη συνέχεια, η εκκένωση του λεπτού εντέρου κατά 50% διαρκεί μεταξύ 1 και 2 ωρών. Τέλος, η διέλευση από το κόλον διαρκεί 12 έως 50 ώρες με μεγάλη ποικιλία μεταξύ ατόμων.

## Ανοσοποιητική λειτουργία

Η γαστρεντερική οδός αποτελεί σημαντικό μέρος του ανοσοποιητικού συστήματος. Η επιφάνεια του πεπτικού συστήματος εκτιμάται ότι είναι περίπου 32 τετραγωνικά μέτρα. Με μια τόσο μεγάλη έκθεση (περισσότερο από τρεις φορές μεγαλύτερη από την εκτεθειμένη επιφάνεια του δέρματος), αυτά τα ανοσοποιητικά συστατικά λειτουργούν για να αποτρέψουν την είσοδο παθογόνων οργανισμών στο αίμα και το κυκλοφορικό σύστημα λεμφοκυττάρων. Τα θεμελιώδη συστατικά αυτής της προστασίας παρέχονται από το φραγμό του εντερικού βλεννογόνου που αποτελείται από φυσικά, βιοχημικά και ανοσολογικά στοιχεία που επεξεργάζονται από τον εντερικό βλεννογόνο. Οι μικροοργανισμοί επίσης διατηρούνται στην περιοχή από ένα εκτεταμένο ανοσοποιητικό σύστημα που περιλαμβάνει τον λεμφοειδή ιστό που σχετίζεται με το έντερο.

Υπάρχουν πρόσθετοι παράγοντες που συμβάλλουν στην προστασία από την εισβολή των παθογόνων παραγόντων. Για παράδειγμα, το χαμηλό pH (που κυμαίνεται από 1 έως 4) του στομάχου είναι θανατηφόρο για πολλούς μικροοργανισμούς που εισέρχονται σε αυτό. Παρομοίως, η βλέννη (που περιέχει αντισώματα IgA) εξουδετερώνει πολλούς παθογόνους μικροοργανισμούς. Άλλοι παράγοντες στη συμβολή της GI στην ανοσοποιητική λειτουργία περιλαμβάνουν ένζυμα που εκκρίνονται στο σάλιο και τη χολή.

## Ομοιοστασία του ανοσοποιητικού συστήματος

Τα ευεργετικά βακτήρια μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην ομοιοστασία του γαστρεντερικού ανοσοποιητικού συστήματος. Για παράδειγμα, η Clostridia, μια από τις πιο κυρίαρχες βακτηριακές ομάδες στην GI, παίζει σημαντικό ρόλο στην επίδραση της δυναμικής του ανοσοποιητικού συστήματος του εντέρου. Έχει αποδειχθεί ότι η πρόσληψη μιας διατροφής με υψηλή περιεκτικότητα σε ίνες μπορεί να είναι υπεύθυνη για την επαγωγή κυττάρων T-ρυθμιστικών (Tregs). Αυτό οφείλεται στην παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας κατά τη διάρκεια της ζύμωσης φυτικών θρεπτικών συστατικών όπως το βουτυρικό και το προπιονικό. Βασικά, ο βουτυρικός εστέρας προκαλεί τη διαφοροποίηση των Treg κυττάρων ενισχύοντας την ακετυλίωση της ιστόνης H3 στον προαγωγέα και διατηρώντας τις περιοχές μη κωδικοποιητικής αλληλουχίας του τόπου FOXP3, ρυθμίζοντας έτσι τα T κύτταρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της φλεγμονώδους απόκρισης και των αλλεργιών.

## Εντερική μικροχλωρίδα

Το παχύ έντερο φιλοξενεί διάφορα είδη βακτηρίων που μπορούν να ασχοληθούν με μόρια που το ανθρώπινο σώμα δεν μπορεί να καταρρεύσει με άλλο τρόπο. Αυτό είναι ένα παράδειγμα συμβίωσης. Αυτά τα βακτήρια αντιπροσωπεύουν επίσης την παραγωγή αερίων στη διεπαφή ξενιστή-παθογόνου, στο εσωτερικό του εντέρου μας (αυτό το αέριο απελευθερώνεται ως μετεωρισμός όταν εξαλείφεται μέσω του πρωκτού). Εντούτοις, το παχύ έντερο ασχολείται κυρίως με την απορρόφηση του νερού από το χωνευμένο



υλικό (το οποίο ρυθμίζεται από τον υποθάλαμο) και την απορρόφηση του νατρίου, καθώς και με οποιαδήποτε θρεπτικά συστατικά που μπορεί να έχουν ξεφύγει από την αρχική πέψη του ειλεού.

Τα εντερικά βακτήρια που ενισχύουν την υγεία της χλωρίδας του εντέρου χρησιμεύουν για την πρόληψη της υπερανάπτυξης δυνητικά επιβλαβών βακτηρίων στο έντερο. Αυτοί οι δύο τύποι βακτηρίων ανταγωνίζονται για το διάστημα και το "φαγητό", καθώς υπάρχουν περιορισμένοι πόροι μέσα στην εντερική οδό. Μια αναλογία 80-85% ευεργετική για 15-20% δυνητικά επιβλαβή βακτήρια γενικά θεωρείται κανονική εντός των εντέρων.

#### Αποτοξίνωση και μεταβολισμός φαρμάκων

Τα ένζυμα όπως το CYP3A4, μαζί με τις αντιπαραγωγικές δραστηριότητες, είναι επίσης καθοριστικά για τον ρόλο του εντέρου στο μεταβολισμό των φαρμάκων στην αποτοξίνωση των αντιγόνων και των ξενοβιοτικών (Moore K.L. & Dalley A.F., 1999).

## **4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

Τα ΡΜ μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω διαφόρων οδών. Η πιο συνηθισμένη οδός είναι η αναπνευστική, δηλαδή εισαγωγή από τη μύτη ή το στόμα και κατάληξη τους στους πνεύμονες. Όμως δεν είναι η μοναδική οδός. Τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται στον οργανισμό μας μέσα από τα τρόφιμα (φρούτα και λαχανικά) ή μέσω του νερού και καταλήγουν στην γαστρεντερική οδό. Τα σωματίδια αυτά επιδρούν και άμεσα στα επιθηλιακά κύτταρα του GI αλλά και έμμεσα μεταβάλλοντας τη μικροχλωρίδα του, όπως θα δούμε και θα αναλύσουμε παρακάτω (Mutlu E. et al., 2018).

Γνωρίζουμε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από την κίνηση των οχημάτων στο δρόμο έχει συσχετιστεί με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα σε υγιείς και ασθενείς οργανισμούς όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Πρόσφατα όμως, πραγματοποιήθηκε μία έρευνα ώστε να ελεγχθεί αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της βραχείας έκθεσης σε ρύπανση λόγω οχημάτων και των μεταβολικών οδών σε δύο διαφορετικές ομάδες ανθρώπων. Οι δύο ομάδες βρίσκονταν σε δύο διαφορετικές περιοχές και έρχονταν σε επαφή με διαφορετικού είδους ατμοσφαιρική ρύπανση. Η μία περιοχή ήταν η Oxford Street είχε κυρίως ρύπανση από πετρελαιοκίνητα οχήματα και η άλλη ήταν η Βαρκελώνη (TAPAS II, ήταν το όνομα της μελέτης στη Βαρκελώνη) που υπήρχε μία φυσιολογική μίξη ατμοσφαιρικής ρύπανσης από διάφορους παράγοντες.

Στην Oxford Street συμμετείχαν 60 άτομα τα οποία χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες των 20 ατόμων. Στην πρώτη ομάδα είχαμε υγιείς εθελοντές χωρίς ιστορικό, στη δεύτερη ομάδα ήταν ασθενείς με COPD και στην τρίτη ομάδα ασθενείς με κλινικά σταθερή ισχαιμική καρδιοπάθεια για 6 μήνες. Όλοι οι καπνιστές ή πρώην καπνιστές τους τελευταίους 12 μήνες δε συμπεριελήφθησαν στη μελέτη ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα να υπάρξει

πρόβλημα υγείας σχετιζόμενο με το κάπνισμα και όχι με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Για κάθε ασθενή και κάθε περίοδο έκθεσης λαμβάνονταν τρεις οροί 2 ώρες πριν την έκθεση τους, 2 ώρες μετά και 24 ώρες μετά και πραγματοποιούνταν μεταβολικές αναλύσεις στα δείγματα.

Στην Βαρκελώνη έλαβαν μέρος 30 άτομα που ήταν υγιείς, μη καπνιστές και δεν λάμβαναν φαρμακευτική αγωγή, ηλικίας 18-60 ετών ώστε να μελετηθούν οι επιδράσεις σε όλες τις παραγωγικές ηλικίες και ίσης αναλογίας ως προς το φύλλο και τη φυσική δραστηριότητα. Κάθε μέρα μελετούσαν 6 συμμετέχοντες, 3 που είχαν μέτρια φυσική δραστηριότητα και 3 που ήταν καθιστοί για 2 ώρες. Μελετήθηκαν συνολικά 4 σενάρια: 1) φυσική δραστηριότητα σε περιοχή με μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση, 2) φυσική δραστηριότητα σε περιοχή με χαμηλή ρύπανση, 3) ξεκούραση σε περιοχή με μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση και 4) ξεκούραση σε περιοχή με χαμηλή ατμοσφαιρική ρύπανση. Για όλους τους συμμετέχοντες έπαιρναν ορό 7 ώρες μετά την έκθεση τους και πραγματοποιούσαν μεταβολικές αναλύσεις.

Οι συγκεντρώσεις των 2 περιοχών παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρακάτω πίνακα:

	Oxford Street II						p-Value <sup>c</sup>
	Hyde Park			Oxford Street			
	N	Mean ± sd	Range	n	Mean ± sd	Range	
Exposure <sup>a</sup> (unit)							
CBLK (µg/m <sup>3</sup> )	47	1.7 ± 1.2	0.3-5.2	49	10.9 ± 3.1	6.7-17.8	< 2.2e-16
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	41	10.3 ± 7.7	3.0-40.5	38	17.3 ± 7.6	6.1-46.2	1.3e-06
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	50	11.2 ± 13.0	3.4-60.8	49	20.5 ± 12.9	6.4-75.5	0.0005
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	50	23.0 ± 16.4	3.7-80.2	49	32.4 ± 14.7	14.1-84.4	0.001
UFP (particles/cm <sup>3</sup> )	50	6738 ± 3268.8	2846-15,690	48	24,840 ± 8087.6	7197-38,640	< 2.2e-16

	TAPAS II						p-Value <sup>c</sup>
	Barceloneta			Ronda			
	N	Mean ± sd	Range	n	Mean ± sd	Range	
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	28	39.2 ± 13.7	24.9-68.8	29	82.5 ± 17.1	54.7-116.3	1.025e-11
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	28	64.1 ± 41.9	22.4-144.8	29	124.6 ± 40.5	58.4-204.0	9.117e-06
PM <sub>coarse</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	28	25.6 ± 28.5	0.0-75.9	29	42.1 ± 25.0	3.8-87.7	0.04916
NO <sub>x</sub> (ppb)	28	99.3 ± 61.9	22.9-212.8	29	660.8 ± 119.7	389.4-1063.0	2.083e-13

<sup>a</sup> CBLK = black carbon, NO<sub>2</sub> = nitrogen dioxide, PM<sub>2.5</sub> = particulate matter of 2.5 µm or less in diameter, PM<sub>10</sub> = particulate matter of 10 µm or less in diameter, UFP = ultra-fine particles, PM<sub>coarse</sub> = PM<sub>2.5</sub> - PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> = nitrogen oxides.  
<sup>c</sup> p-Values are for pair-wise comparisons according to the location (Hyde Park vs Oxford Street and Barceloneta vs Ronda).

**Εικόνα 26:** Περιγραφή της έκθεσης σε διάφορες ουσίες στην Oxford Street και στη Βαρκελώνη (Πηγή: Van Veldhoven K. et al., 2018)

Η συνολική έκθεση είναι σαφώς μεγαλύτερη στην Oxford Street σε σχέση με το Hyde Park (πράσινη περιοχή κοντά στην Oxford Street) (κυρίως CBLK και UFP) και στη Ronda σε σχέση με τη Βαρκελώνη (κυρίως για PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> και NO<sub>x</sub>). Στην TAPAS II είχαμε αισθητά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από την Oxford Street, όμως υπήρχαν ομοιότητες μεταξύ αυτών των περιοχών κυρίως όσο αφορά τα PM<sub>2.5</sub> και τα PM<sub>10</sub>.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τα προβλήματα που προκαλούν οι ενώσεις αυτές βρίσκονται στους παρακάτω πίνακες:

Identity	m/z (Da)	Retention time (min)	m/z difference (ppm)	Identification level <sup>a</sup>	Direction	Associated pollutant
Phenylalanine	166.0868	2.04	-2.9	1	Down	NO <sub>2</sub>
Caffeine	195.0877	3.19	1.1	1	Up	NO <sub>2</sub>
Acyl-carnitine (6:0-OH) (1)	276.1805	2.22	0.1	3	Down	NO <sub>2</sub>
Acyl-carnitine (6:0-OH) (2)	276.1805	2.4	0.4	3	Down	NO <sub>2</sub>
Unknown	276.1993	5.42		4	Down	NO <sub>2</sub>
Acyl-carnitine (phenyl-acetyl carnitine)	280.1543	2.76	1.2	3	Down	NO <sub>2</sub>
Unknown	290.1504	7.26		4	Down	NO <sub>2</sub>
Unknown	302.215	5.66		4	Down	NO <sub>2</sub>
Unknown	309.1515	7.19		4	Down	CBLK
					Up	NO <sub>2</sub>
Acyl-carnitine (10:3) (1)	310.2013	4.17	1.7	3	Down	NO <sub>2</sub>
Acyl-carnitine (10:2) (2)	310.2013	4.35	1.4	3	Down	NO <sub>2</sub>
Acyl-carnitine (11:1)	328.2482	5.12	0.7	3	Down	NO <sub>2</sub>
Unknown	330.2465	5.94		4	Down	NO <sub>2</sub>
Unknown	407.2763	7.18		4	Down	PM <sub>2.5</sub>
					Up	PM <sub>10</sub>
Unknown	443.4101	8.54		4	Up	NO <sub>2</sub>
Unknown	461.2413	7.45		4	Down	PM <sub>10</sub>
					Down	PM <sub>2.5</sub>
Unknown	624.6289	7.09		4	Up	NO <sub>2</sub>

Level 1 (identity confirmed): retention time and MS/MS matched with an authentic chemical standard; Level 3 (putatively characterized compound classes): no standard available or analyzed but mass within 5 ppm mass error and MS/MS spectra matches with those in a database.

<sup>a</sup> Identification level as defined by Sumner et al. (2007).

**Εικόνα 27:** Ενώσεις που σχετίζονται με τουλάχιστον ένα αέριο ρύπο προερχόμενο από την κίνηση στην μελέτη για την Oxford Street (Πηγή: Van Veldhoven K. et al., 2018)

Identity	m/z (Da)	Retention time (min)	m/z difference (ppm)	Identification level <sup>a</sup>	Direction	Associated pollutant
Unknown	175.1114	6.17		4	Up	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
L-Tyrosine	182.0812	1.34	0.1	1	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	229.1171	2.48		4	Up	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	233.1158	5.07		4	Up	NO <sub>x</sub>
Unknown	239.162	5.72		4	Up	PM <sub>2.5</sub> , NO <sub>x</sub>
Unknown	263.1392	3.13		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	267.1329	1.87		4	Up	PM <sub>coarse</sub>
Unknown	271.0866	5.72		4	Up	NO <sub>x</sub>
Unknown	283.2419	6.8		4	Up	PM <sub>coarse</sub>
Unknown	302.1961	2.13		4	Up	PM <sub>coarse</sub>
Unknown	302.1963	1.86		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	309.2281	4.98		4	Up	PM <sub>10</sub>
Unknown	319.224	6.67		4	Up	PM <sub>2.5</sub> , NO <sub>x</sub>
Unknown	346.1044	1.36		4	Up	PM <sub>10</sub>
Unknown	351.1547	4.65		4	Up	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	362.0995	1.35		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	367.1935	4.81		4	Up	PM <sub>2.5</sub>
Unknown	367.3287	7.7		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	387.1958	6.17		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	397.1992	6.72		4	Up	PM <sub>coarse</sub>
Unknown	421.251	6.79		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	453.2453	2.69		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	471.7381	3.8		4	Up	NO <sub>x</sub>
PC (16:0)	502.3284	7.14	-3.1	3	Up	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
PC (20:2)	570.3553	7.16	0.2	3	Up	PM <sub>2.5</sub>
Unknown	575.4643	7.69		4	Up	PM <sub>10</sub>
Unknown	581.4497	8.13		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	612.5152	7.54		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	617.4728	7.5		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>
Unknown	784.527	7.79		4	Up	PM <sub>coarse</sub> , PM <sub>10</sub>

Level 1 (identity confirmed): retention time and MS/MS matched with an authentic chemical standard; Level 3 (putatively characterized compound classes): no standard available or analyzed but mass within 5 ppm mass error and MS/MS spectra matches with those in a database.

<sup>a</sup> Identification level as defined by Sumner et al. (2007).

**Εικόνα 28:** Ενώσεις που σχετίζονται με τουλάχιστον ένα αέριο ρύπο προερχόμενο από την κίνηση στην μελέτη για την Βαρκελώνη (Πηγή: Van Veldhoven K. et al., 2018)

Παρατηρήθηκε ότι κάθε στοιχείο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως PM, NO<sub>x</sub>, CBLK, κ.α. προκαλεί διαφορετικό μεταβολικό πρόβλημα στον κάθε οργανισμό. Διάφορα επίπεδα acyl-carnitines επηρεάζονται από το NO<sub>2</sub> κυρίως. Acyl-carnitines είναι μεταβολίτες που σχετίζονται με την οξείδωση των λιπαρών οξέων (Van Veldhoven K. et al., 2018).

Μία άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Σικάγο, ασχολήθηκε με την επίδραση των PM<sub>2.5</sub> στο γαστρεντερικό των ποντικών. Τα πειραματόζωο εκθειβονταν στον αέρα της πόλης για 8 ώρες την ημέρα, 5 ημέρες την εβδομάδα για 3 εβδομάδες συνεχόμενα. Τα ποντίκια τα είχαν χωρίσει σε 2

ομάδες, στα μισά είχαν βάλει στο χώρο τους φίλτρα ώστε να απορροφούν τα αιωρούμενα σωματίδια και να μην τα εισπνέουν και τα υπόλοιπα μισά εκτείθονταν κανονικά στον ρυπασμένο αέρα.

Η χημική σύνθεση των αιωρούμενων σωματιδίων φαίνεται παρακάτω:

	Blank filter (mean ± SD)	PM <sub>2.5</sub> (mean ± SD)
[Ca] (ppm)	0.121 ± 0.040	9.628 ± 4.825
[K] (ppm)	0.021 ± 0.009	1.373 ± 0.151
[Mg] (ppm)	0.005 ± 0.004	2.637 ± 1.460
[Na] (ppm)	0.033 ± 0.018	9.287 ± 0.815
[Cd] (ppm)	BDL	BDL
[Cu] (ppm)	0.0003 ± 0.001	0.202 ± 0.058
[Fe] (ppm)	0.072 ± 0.044	3.878 ± 1.086
[Mn] (ppm)	0	0.134 ± 0.014
[Pb] (ppm)	0.0035 ± 0.001	0.666 ± 0.423
[Zn] (ppm)	0.0110 ± 0.003	1.211 ± 0.217

BDL, below detection limit.

**Εικόνα 29:** Χημική σύνθεση των PM (Πηγή: Mutlu E. et al., 2018)

Η έκθεση σε PM αυξάνει σημαντικά την ποικιλομορφία στο λεπτό έντερο, το κόλον και τα περιττώματα. Αναλύθηκε η Alpha ποικιλομορφία (κατανομή ποσοστού) μέσω των οικολογικών δεικτών Richness (αριθμός OTUs στο δείγμα), Chao1 (το ίδιο με Richness), PD-WT (Phylogenetic Diversity-Whole Tree) και Shannon (ποσοτικοποιεί τη αβεβαιότητα που σχετίζεται με την πρόβλεψη). Οι δείκτες Richness, Chao1 και Shannon ήταν υψηλότεροι στα κόπρανα των ποντικών που είχαν εκτεθεί σε PM. Επίσης οι δείκτες Richness και Shannon ήταν αυξημένοι στο λεπτό έντερο των ίδιων ποντικών. Το PD-WT ήταν ίδιο σχεδόν στο λεπτό έντερο και στα κόπρανα. Η Alpha ποικιλομορφία στο στομάχι δεν άλλαξε καθόλου λόγω της έκθεσης στα PM. Στην περιφερική GI οδό δεν υπήρξαν αλλαγές όμως ο δείκτης Shannon βρέθηκε αυξημένος στον ιστό του κόλον στα ποντίκια που είχαν εκτεθεί σε αιωρούμενα σωματίδια. Από όλα αυτά συμπεραίνουμε ότι αλλαγές στην Alpha ποικιλομορφία λόγω των PM πραγματοποιούνται κυρίως στα κόπρανα, που σημαίνει ότι τα PM επηρεάζουν τη μικροχλωρίδα του αυλού του γαστρεντερικού σωλήνα. Οι επαγόμενες από τα αιωρούμενα σωματίδια αλλαγές στη σύνθεση των βακτηρίων του GI γίνονται εντονότερες κατά μήκος της οδού. Μέσω εξειδικευμένων τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν, βρέθηκε ότι υπήρχε καθαρή διαφορά στη μικροχλωρίδα του GI των ποντικών που εκτέθηκαν σε PM αλλά και στα κόπρανά τους έναντι των υπόλοιπων ποντικών. Λιγότερες ήταν οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στο στομάχι (εγγύς GI) και περισσότερες όσο απομακρυνόμασταν από αυτό (απομακρυσμένο GI) με το μέγιστο να παρατηρείται στα περιττώματα. Επομένως είναι γεγονός πως η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια αλλάζει την μικροχλωρίδα κατά μήκος της γαστρεντερικής οδού (Mutlu E. et al., 2018).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΥΝΑΚΕΙΟ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ-ΕΜΒΡΥΟ-ΠΑΙΔΙ

### 5.1 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

Το αναπαραγωγικό σύστημα των θηλυκών είναι υπεύθυνο για την παραγωγή γαμετών (που ονομάζονται αυγά ή ωάρια), για ορισμένες ορμόνες και τη διατήρηση των γονιμοποιημένων ωαρίων καθώς αναπτύσσονται σε ένα ώριμο έμβryo. Τα αναπαραγωγικά έτη μιας γυναίκας είναι εκείνα μεταξύ της εμμηναρχής (του πρώτου εμμηνορροϊκού κύκλου) και της εμμηνόπαυσης (διακοπή της εμμήνου ρύσεως για 12 διαδοχικούς μήνες). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, εμφανίζεται κυκλική εξώθηση ωαρίων από τις ωοθήκες, με δυνατότητα γονιμοποίησης από αρσενικούς γαμέτες (σπέρμα). Αυτή η κυκλική αποβολή των αυγών είναι ένα φυσιολογικό μέρος του εμμηνορροϊκού κύκλου.

#### Ανάπτυξη

Οι θηλυκοί γαμέτες προέρχονται από γεννητικά κύτταρα. Στη μήτρα, η ωογονία διαχωρίζει γρήγορα μέχρι να σχηματιστούν περίπου 7 εκατομμύρια γεννητικά κύτταρα από τον 7ο μήνα της κύησης. Ο αριθμός των γεννητικών κυττάρων στη συνέχεια μειώνεται ραγδαία, η πλειονότητα της ωογονίας καταστρέφεται, ενώ τα υπόλοιπα κύτταρα, πρωτεύοντα ωοκύτταρα, ξεκινούν την πρώτη μειωτική διαίρεση. Αυτά τα κύτταρα σταματούν στην προφάση I και παραμένουν αδρανή ως τέτοια μέχρι την εμμηνορροία. Ένα αρχέγονο θυλάκιο αποτελούμενο από κύτταρα κοκκιώδους και theca cells περιβάλλει κάθε ωοκύτταρο. Όταν τα αρχέγονα ωοθυλάκια ωριμάζουν, τα κοκκιώδη κύτταρα πολλαπλασιάζονται για να σχηματίσουν ομόκεντρα στρώματα γύρω από το ωοκύτταρο. Το ίδιο το ωοκύτταρο υφίσταται μια δραστική αύξηση του όγκου. Με την εμφάνιση της εμμηναρχής, οι πεπερασμένες ομάδες ωοκυττάρων επαναλαμβάνουν περιοδικά τη μείωση και συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Κατά τη στιγμή της γονιμοποίησης, τα ωοκύτταρα συλλαμβάνονται στη μετάφαση II. Το ωοκύτταρο γίνεται ένα ωάριο καθώς εκτοξεύει το δεύτερο πολικό σώμα του και η μείωση επαναλαμβάνεται όταν το ωάριο υφίσταται ενεργοποίηση από κύτταρο σπέρματος (αρσενικό γαμέτη)

#### Γυναίκα αναπαραγωγικά όργανα

##### Ωοθήκες

Οι ωοθήκες είναι θηλυκές γονάδες, η θέση της γαμετογένεσης και η έκκριση των ορμονών φύλου. Ο εξωτερικός φλοιός κάθε ωοθήκης είναι ο τόπος

ανάπτυξης των ωοθυλακίων, ενώ η εσωτερική μυελός καθενός περιέχει αιμοφόρα αγγεία και συνδετικό ιστό.

### Σαλπινγικοί σωλήνες

Οι σαλπινγικοί σωλήνες παρέχουν μια δίοδο για τα ωοκύτταρα να μετακινούνται από τις ωοθήκες στην κοιλότητα της μήτρας. Το τμήμα κάθε σωλήνα που βρίσκεται πλησιέστερα στις ωοθήκες περιέχει παρυφαία: προβολές που μοιάζουν με δάχτυλο και συμβάλλουν στην κίνηση του εκδιωχθέντος ωαρίου στην σωλήνα. Η μετάβαση των κροσσών στο χώρο, το τμήμα του σωλήνα με τον ευρύτερο αυλό. Το χώρο γίνεται ο ισθμός καθώς ο αυλός στενεύει και προεξέχει προς τη μήτρα. Στη συνέχεια ο σωλήνας εισέρχεται στη μήτρα, όπου γίνεται το διάμεσο τμήμα. Αυτό το άνοιγμα είναι όπου το ωοκύτταρο που ταξιδεύει βγαίνει από τον σωλήνα και εισέρχεται στην κοιλότητα της μήτρας.

### Μήτρα

Η μήτρα αποτελείται από το σώμα και τον τράχηλο. Η ανώτερη πτυχή του σώματος της μήτρας είναι η βάση, ενώ το κατώτερο τμήμα που είναι παρακείμενο στον τράχηλο ονομάζεται ισθμός / κατώτερο τμήμα της μήτρας. Τα τοιχώματα της μήτρας περιέχουν τρία διαφορετικά στρώματα: το ενδομήτριο, το μυομήτριο και τον ορό. Το ενδομήτριο ακολουθεί την κοιλότητα της μήτρας. Το πάχος και η δομή του ποικίλλουν ανάλογα με την ορμονική διέγερση. Το μυομήτριο αποτελείται από ίνες λείου μυός και είναι το μεσαίο και παχύτερο στρώμα του τοιχώματος της μήτρας. Ο οροζώος είναι η εξωτερική επένδυση της μήτρας.

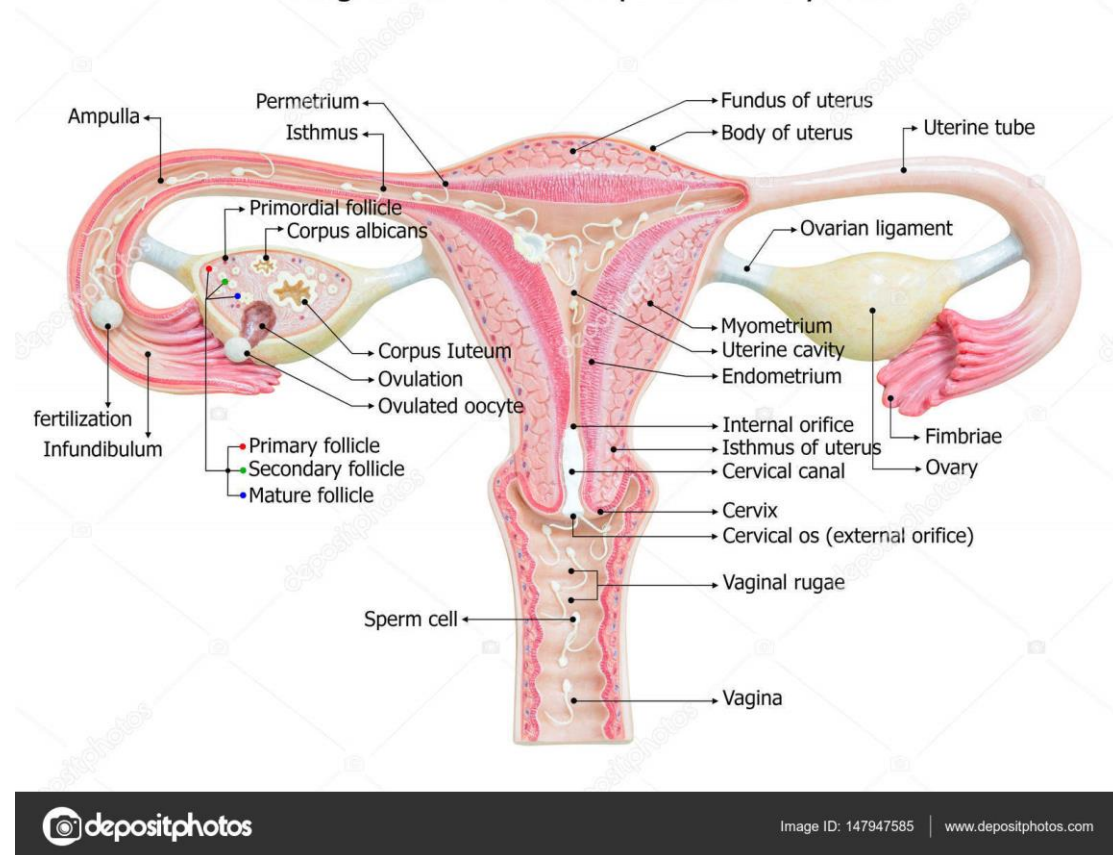
Ο τράχηλος της μήτρας είναι σωληνοειδής δομή συνεχόμενη με την κοιλότητα της μήτρας και τον κόλπο, ενεργώντας ως αγωγός μεταξύ των δύο. Ο κατώτερος τράχηλος ανοίγει στον άνω κόλπο στον αυχενικό άξονα. Η επένδυση του τράχηλου που προεξέχει μέσα στον κόλπο ονομάζεται εξωτραχηλικό (ectocervix) και αποτελείται από επιθήλιο σε στήλες. Η επένδυση του εσωτερικού του τραχηλικού σωλήνα είναι το ενδοτραχηλικό (endocervix), που αποτελείται από στρωματοποιημένο πλακώδες επιθήλιο. Η περιοχή όπου συναντώνται το έξω- και ενδοτραχηλικό, που χαρακτηρίζεται από μετασχηματισμό από στήλη σε πλακώδες επιθήλιο, είναι η ζώνη μετασχηματισμού. Η ζώνη μετασχηματισμού είναι η πιο συχνή θέση για δυσπλασία του τραχήλου και κακοήθη μετασχηματισμό.

### Κόλπος

Ο κόλπος είναι μια εύκαμπτη, ινωδοχημική σωληνοειδής δομή που εκτείνεται από τον αιθουσαίο προθάλαμο έως τον τράχηλο της μήτρας. Ο απομακρυσμένος κόλπος είναι ο ενδογενής. Ο πρόσθιος κόλπος καταλήγει

στο οπίσθιο τοίχωμα της ουροδόχου κύστης ενώ ο οπίσθιος κόλπος καταλήγει στο πρόσθιο ορθό. Αιδοίο θήλεος Το αιδοίο περιγράφει τα εξωτερικά θηλυκά γεννητικά όργανα: τα μεγάλα χείλη, τα μικρά χείλη, την κλειτορίδα, τον προθάλαμο του αιδοίου, το ουρηθρικό θυλάκιο, το κολπικό στόμιο. Τα μεγάλα χείλη είναι πλευρικά προς τα μικρά χείλη, ενώνονται προς τα εμπρός για να σχηματίσουν το mons rubis (ένα στρώμα που επικαλύπτει την ηβική σύμφυση). Η αιθουσαία προθαλασία είναι η περιοχή ενδιάμεσα στα μικρά χείλη και είναι η θέση των ουρηθρικών και κολπικών ανοιγμάτων. Οι αδένες του Bartholin ανοίγουν πλευρικά στο άνοιγμα του κόλπου.

Diagram of Female Reproductive System



Εικόνα 30: Γυναικείο αναπαραγωγικό σύστημα (Πηγή: gr.depositphotos.com)

### Λειτουργία

Η εμμηναρχή είναι ο πρώτος εμμηνορρυσιακός κύκλος της γυναίκας, που χαρακτηρίζεται από το πρώτο επεισόδιο της εμμηνορροϊκής αιμορραγίας. Η εμμηναρχή εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της εφηβείας που προηγείται της ανάπτυξης του μαστού, της μασχαλιαίας και ηβικής ανάπτυξης των τριχών. Κατά την έναρξη κάθε εμμηνορρυσιακού κύκλου, συνεχίζεται η ανάπτυξη ορισμένων αρχέγονων ωοθυλακίων στις ωοθήκες του θηλυκού. Το ένα γίνεται το κυρίαρχο θυλάκιο και συνεχίζει να αναπτύσσεται, ενώ τα άλλα θυλάκια



καθίστανται παθητικά και παύουν να αναπτύσσονται. Το κυρίαρχο θυλάκιο αναπτύσσεται σε ένα ωθυλάκιο Graafian, στο οποίο η μείωση έχει ολοκληρωθεί, και το ωάριο δεν είναι πια σε προφατική σύλληψη. Στην ωορρηξία, το ωθυλάκιο Graafian αποβάλλει το ωάριο από τον περιβάλλοντα ιστό του, αποκαλούμενο στο εξής, ωχρο σώμα. Εάν δεν πραγματοποιηθεί καμία γονιμοποίηση, η αποβολή του αυγού λαμβάνει χώρα από τη μήτρα μαζί με την εκκρινική ενδομήτρια επένδυση υπό την επίδραση μειούμενων επιπέδων προγεστερόνης. Αυτό παρουσιάζεται ως εμμηνόρροια αιμορραγία. Εάν λάβει χώρα γονιμοποίηση, τα γονιμοποιημένα εμφυτεύματα αυγών στο τοίχωμα του ενδομητρίου και η ενδομήτρια επένδυση διατηρούνται από την προγεστερόνη που εκκρίνεται (αρχικά) από το ωχρο σώμα μέχρι να αναλάβει ο πλακούντας.

### Μηχανισμός

Ο φυσιολογικός κύκλος εμμηνορρυσίας διαιρείται στις φάσεις των ωθυλακίων και ωχρινιών με την ωορρηξία να συμβαίνει μεταξύ των φάσεων. Η θυλακοειδής φάση ξεκινά με εμμηνορροϊκή αιμορραγία και τελειώνει ακριβώς πριν από την αύξηση LH (ωχρινιοποιητική ορμόνη). Η ωχρινική φάση αρχίζει με την αύξηση της LH και τελειώνει με την εμφάνιση της εμμήνου ρύσεως. Ένας τυπικός κύκλος διαρκεί περίπου 28 ημέρες. η ωχρινική φάση διαρκεί 14 ημέρες ενώ η θυλακοειδής φάση είναι περισσότερο μεταβλητή στην χρονική της πορεία.

Τα χαμηλά επίπεδα οιστραδιόλης και προγεστερόνης στον ορό σηματοδοτούν την έναρξη της θυλακοειδούς φάσης. Η έλλειψη ανασταλτικής ανατροφοδότησης επιτρέπει την αύξηση των επιπέδων παλμικού GnRH (ορμόνης απελευθέρωσης γοναδοτροπίνης), οδηγώντας σε αύξηση της FSH (ορμόνη διέγερσης των ωθυλακίων) και LH. Αυτή η άνοδος των επιπέδων της FSH διεγείρει την ωρίμανση των ωθυλακίων, με αποτέλεσμα τη συνεχή ανάπτυξη ενός επιλεγμένου αριθμού θυλακίων. Η ανάπτυξη αυτών των θυλακίων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιπέδων FSH και οιστραδιόλης. Μέχρι το τέλος της θυλακοειδούς φάσης, το κυρίαρχο θυλάκιο εμφανίστηκε και αυξήθηκε σε μέγεθος περίπου 20-25mm. Η αύξηση της οιστραδιόλης προκαλεί πάχυνση του ενδομητρίου για να υποδεχθεί πιθανή εμφύτευση γονιμοποιημένου ωαρίου.

Όταν τα επίπεδα οιστραδιόλης φθάσουν σε ένα κρίσιμο επίπεδο, το αρνητικό αποτέλεσμα ανάδρασης της οιστραδιόλης στην LH γίνεται ένα θετικό αποτέλεσμα ανάδρασης, με αποτέλεσμα μια μαζική αύξηση της συγκέντρωσης της LH (και μια μικρότερη αύξηση των επιπέδων της FSH). Περίπου 36 ώρες μετά την αύξηση του LH, το ωκύτταρο απελευθερώνεται από το κυρίαρχο θυλάκιο και ταξιδεύει στη μήτρα μέσω του σαλπίγγου. [14] Το ωχρο σώμα (ο υπόλοιπος ωθυλακοειδής ιστός μετά την αποβολή των ωκυττάρων) απελευθερώνει προγεστερόνη, αναστέλλοντας την



απελευθέρωση LH και FSH και διεγείροντας το σχηματισμό του εκκριτικού ενδομητρίου . Ελλείπει γονιμοποίησης, τα μειωμένα επίπεδα LH συμβάλλουν στη μείωση των επιπέδων προγεστερόνης και οιστραδιόλης. Παρουσία γονιμοποίησης, τα εμφυτεύματα ωοκυττάρων εισέρχονται στο ενδομήτριο και απελευθερώνουν χοριακή γοναδοτροπίνη, η οποία διατηρεί το ωχρό σώμα και συνεπώς την παραγωγή προγεστερόνης (Rosner J. & Sarao M., 2019)

## **Φάσεις Γονιμοποίησης**

### **1) Διέλευση του ακτινωτού στεφάνου**

Συνήθως μόνο ένα σπερματοζωάριο καταφέρνει να γονιμοποιήσει το ωάριο, ενώ τα υπόλοιπα εξυπηρετούν στο να καταφέρει το σπερματοζωάριο αυτό να διαπεράσει τον ακτινωτό στέφανο. Διάφορα ένζυμα του σπερματοζωαρίου και του ωαγωγού συμμετέχουν στη διάλυση του ακτινωτού στεφάνου.

### **2) Διέλευση της διαφανούς ζώνης**

Όταν το σπερματοζωάριο φτάσει στη διαφανή ζώνη, πρωτεΐνες δέσμησης στο σπερματοζωάριο λειτουργούν ως υποδοχείς για την προσκόλλησή του στη διαφανή ζώνη. Τέτοιες πρωτεΐνες είναι η μανοσιδάση, η οποία συμμετέχει στη δέσμηση στη ZP3 και στην ακροσωμιακή αντίδραση, η ZRK, η οποία είναι υποδοχέας για την ανθρώπινη ZP3, που είναι σημαντική για τη ρύθμιση της εξωκυττάρωσης στο ακρόσωμα? αυτών, η λεκτίνη τύπου C, η οποία είναι μια διαμεμβρανική πρωτεΐνη με περιοχές αναγνώρισης υδατανθράκων στο C-άκρο του εξωκυτταρικού τμήματος και μια N-τελική κυτοπλασματική “άγκυρα”. Η λεκτίνη αυτή χαρακτηρίστηκε ως η μοναδική πρωτεΐνη 50kDa στην πλασματική μεμβράνη της κεφαλής των σπερματοζωαρίων που καλύπτει το ακρόσωμα. Μετά την προσκόλλησή του σπερματοζωαρίου η διαβατότητα της διαφανής ζώνης αλλάζει και τελικά αυτό διαπερνά το δεύτερο φραγμό. Μόλις περατωθεί η είσοδος αδρανοποιούνται ειδικές για το είδος θέσεις υποδοχείς των σπερματοζωαρίων και ενώ πολλά σπερματοζωάρια διαπερνούν τη διαφανή ζώνη, μόνο ένα καταφέρνει να διεισδύσει στο ωοκύτταρο.

### **3) Συνένωση των κυτταρικών μεμβρανών του σπερματοζωαρίου και του ωοκυττάρου**

Οι μεμβράνες των δύο γαμετών συνενώνονται, με τη βοήθεια ουσιών όπως η φιμπρονεκτίνη και η φερτιλίνη. Πιο συγκεκριμένα εισέρχονται στο κυτταρόπλασμα του ωοκυττάρου η κεφαλή και η ουρά του σπερματοζωαρίου, όμως η κυτταρική μεμβράνη εγκαταλείπεται στην επιφάνεια του ωοκυττάρου.

Μετά την είσοδο του σπερματοζωαρίου στο ωοκύτταρο, το ωάριο αντιδρά με τρεις τρόπους. 1) Απελευθερώνονται κοκκία από το φλοιό του ωοκυττάρου που περιέχουν ένζυμα με αποτέλεσμα η μεμβράνη του ωοκυττάρου να μην είναι διαπερατή από άλλα σπερματοζωάρια. 2) Ολοκληρώνεται η δεύτερη μειωτική διαίρεση του ωοκυττάρου. Έτσι σχηματίζεται το ώριμο ωάριο και το δεύτερο πολικό σωματίο το οποίο περιέχει λιγότερο κυτταρόπλασμα και τελικά

αποβάλλεται. Το ώριμο ωάριο αποτελείται από 22+X χρωμοσώματα τα οποία βρίσκονται στον θήλυ προοτυρήνα. 3) Μεταβολική ενεργοποίηση του ωαρίου.

Στη συνέχεια οι συνδέσεις των δυο γαμετών γίνονται ισχυρότερες και το τελικό αποτέλεσμα είναι η δημιουργία. Ο άρρεν και ο θήλυ προοτυρήνας έρχονται σε στενή επαφή και χάνουν τα περιβλήματά τους. Λόγω του ότι είναι απλοειδείς, θα πρέπει κατά την ανάπτυξή τους να διπλασιάσουν την ποσότητα του DNA τους. Μετά το διπλασιασμό του γεννητικού τους υλικού, τα χρωμοσώματα κατανέμονται στην άτρακτο για να ξεκινήσει η πρώτη μιτωτική διαίρεση.

Τα 23 μητρικά και τα 23 πατρικά διπλά χρωμοσώματα χωρίζονται κατά τον επιμήκη άξονά τους στο κεντρομερίδιο και οι αδελφές χρωματίδες κινούνται προς τους αντίθετους πόλους με αποτέλεσμα κάθε κύτταρο του ζυγώτη να έχει φυσιολογικό διπλοειδή αριθμό χρωμοσωμάτων και την σωστή ποσότητα DNA. Εμφανίζεται στη συνέχεια μια αύλακα η οποία διαχωρίζει το κυτταρόπλασμα σε δύο μέρη.

### **Αποτελέσματα Γονιμοποίησης**

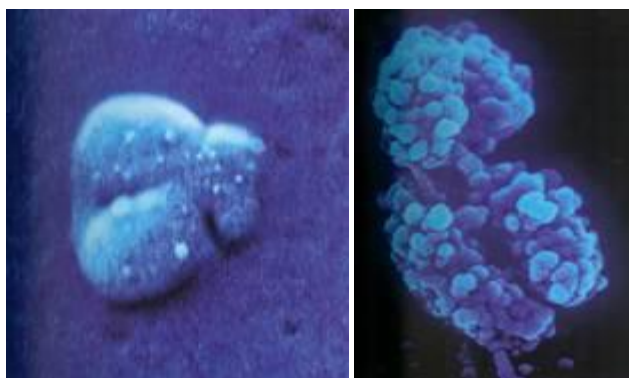
#### **Αποκατάσταση του διπλοειδικού αριθμού των χρωμοσωμάτων.**

Η ένωση των δύο γεννητικών κυτάρων, που το καθένα περιέχει 23 χρωμοσώματα, σχηματίζει ένα ζυγώτη που είναι ένα κύτταρο διπλοειδικό με 46 χρωμοσώματα που είναι ο κανονικός αριθμός για το ανθρώπινο είδος. Το κάθε μέλος από το κάθε ένα από τα 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων προέρχεται από τον κάθε γονιό.

#### **Διαφορές στο είδος**

Επειδή τα μισά χρωμοσώματα προέρχονται από τη μητέρα και τα άλλα μισά από τον πατέρα, ο ζυγώτης περιέχει ένα νέο συνδυασμό από χρωμοσώματα. Μέσα από κάθε χρωμόσωμα είναι πολλοί κληρονομικοί παράγοντες που ονομάζονται γονίδια και που το καθένα από αυτά διαφέρει από τα άλλα και ελέγχει την κληρονομικότητα για ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά. Επομένως η γονιμοποίηση αποτελεί τη βάση για την κληρονομικότητα και από τους δύο γονιούς και εξασφαλίζει τις ποικιλίες του ανθρώπινου είδους.

## Καθορισμός του φύλου



**Εικόνα 31:** Αριστερά- Υ χρωμόσωμα, Δεξιά- Χ χρωμόσωμα (Πηγή: Κρεατσάς Γ.Κ. & Δενδρινός Σ., 2005)

Το φύλο του εμβρύου καθορίζεται στη γονιμοποίηση από το είδος του σπερματοζωαρίου που γονιμοποιεί το ωάριο. Η γονιμοποίηση από ένα σπερματοζωάριο που φέρνει το χρωμόσωμα Χ θα παράγει ένα ζυγώτη ΧΧ το οποίο θα αναπτυχθεί φυσιολογικά σε θήλυ, ενώ η γονιμοποίηση από ένα σπερματοζωάριο που φέρνει το Υ χρωμόσωμα θα σχηματίσει ένα ΧΥ ζυγώτη που κανονικά θα αναπτυχθεί σε άρρεν.

### Αρχή της αυλάκωσης

Αρχίζει η ανθρώπινη εξέλιξη με την αυλάκωση του ζυγώτη ή το χωρισμό του σε δύο βλαστομερίδια.

Επιγονιμοποίηση χρησιμοποιείται στην περίπτωση όπου δύο ή περισσότερα ωκύτταρα από τον ίδιο ωθητικό κύκλο γονιμοποιούνται κατά τη διάρκεια χωριστών συνουσιών.

Επικύηση είναι η γονιμοποίηση ενός ωκυττάρου όταν ένα έμβρυο που σχηματίστηκε κατά την διάρκεια προηγούμενου ωθυλακικού κύκλου βρίσκεται ήδη στη μήτρα.

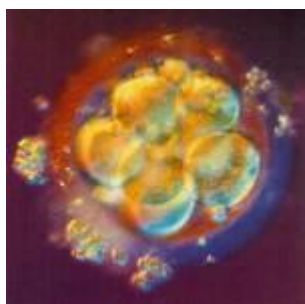
### Αυλάκωση

Ο ζυγώτης ο οποίος είναι μονοκύτταρο έμβρυο και πάρα πολύ εξειδικευμένο κύτταρο διαιρείται σε δύο κύτταρα αρχικά και υφίσταται ταχεία αύξηση του αριθμού των κυττάρων. Το μέγεθος των κυττάρων μικραίνει με κάθε νέα διαίρεση αυλάκωσης και πλέον ονομάζονται βλαστομερίδια. Κάθε βλαστομερίδιο θεωρείται ότι είναι ικανό εάν απομονωθεί, να σχηματίσει πλήρες έμβρυο, και πιστεύεται ότι στο ένα τρίτο των περιπτώσεων των μονοζυγωτικών διδύμων οφείλονται στον διαχωρισμό των αρχικών αυτών κυττάρων.

Μετά από τρεις έως τέσσερις διαιρέσεις ο ζυγώτης, χαρακτηρίζεται ως μορίδιο και αποτελείται από 12 έως 16 κύτταρα. Στο στάδιο του μοριδίου ο ζυγώτης φτάνει σε τρεις ημέρες από τη γονιμοποίηση.

Ο όρος μορίδιο δεν είναι ο ιδανικότερος, γιατί χρησιμοποιήθηκε αρχικά στα αμφίβια, στα οποία το μορίδιο παράγει μόνο εμβρυϊκούς ιστούς και όχι, όπως συμβαίνει στα θηλαστικά, εμβρυϊκές και μη εμβρυϊκές δομές. Χρησιμοποιείται καλύτερα ο όρος συνείληση.

Συνείληση είναι η διεργασία με την οποία τα βλαστομερίδια αποπλατύνονται, μεγιστοποιώντας τις μεσοκυττάριας επαφές και ελαχιστοποιώντας τα μεσοκυττάρια διαστήματα. Η διεργασία αυτή η οποία παρατηρείται όταν υπάρχουν 8 έως 16 κύτταρα, έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός ομοιόμορφου κυτταρικού πληθυσμού. Επιπλέον αρχίζει η πόλωση και η διαφοροποίηση των κυττάρων. Από μία ομάδα κεντρικώς τοποθετημένων κυττάρων, την έσω κυτταρική μάζα, θα σχηματιστούν οι ιστοί του ιδίως εμβρύου και από μια περιφερική στιβάδα, την έξω κυτταρική μάζα, θα σχηματιστεί η τροφοβλάστη, η οποία αργότερα θα συμβάλει στο σχηματισμό του πλακούντα.



Εικόνα 32: Μορίδιο (Πηγή: Κρεατσάς Γ.Κ. & Δενδρινός Σ., 2005)

### Εμβρυϊκό γονιδίωμα

Υπάρχουν ορισμένες ενδείξεις ότι ο ζυγώτης ήδη συνθέτει RNA. Ακόμη και το δικύτταρο έμβρυο έχει κάποια σημεία που διαφοροποιούν περιοχές στην επιφάνεια των βλαστομεριδίων ίσως μέσω πρωτεϊνών του κυτταροσκελετού του ωκυττάρου. Η μεταγραφή γονιδίων στο πρώιμο έμβρυο του ανθρώπου ενεργοποιείται έξω από τον πυρηνίσκο, τουλάχιστον από το έμβρυο των τεσσάρων κυττάρων, αλλά ο ρυθμός σύνθεσης είναι βραδύς. Στο έμβρυο των οκτώ κυττάρων ορισμένα βλαστομερίδια εμφανίζουν γενική αύξηση της μεταγραφικής δραστηριότητας, τόσο έξω από τον πυρηνίσκο όσο και μέσα σε αυτόν, έτσι ώστε στο στάδιο αυτό τα γονίδια του πρώιμου εμβρύου του ανθρώπου και η ήδη παρούσα γενετική μοναδικότητα να εκφράζονται στο φαινότυπο. Η μετάβαση από τον μητρικό στον εμβρυϊκό γενετικό έλεγχο μπορεί να συνδέεται με μια αναπτυξιακή παύση όταν υπάρχουν τέσσερα κύτταρα. Μεγάλα τμήματα του γονιδιώματος των κυττάρων θέτονται εκτός λειτουργίας. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι εμφανές στο ότι τα μελλοντικά σωματικά κύτταρα χάνουν την ολοδυναμία τους και είναι επιρρεπή προς γήρανση, ενώ τα γεννητικά κύτταρα επανακτούν την ολοδυναμία τους μετά τη μείωση και τη γονιμοποίηση.

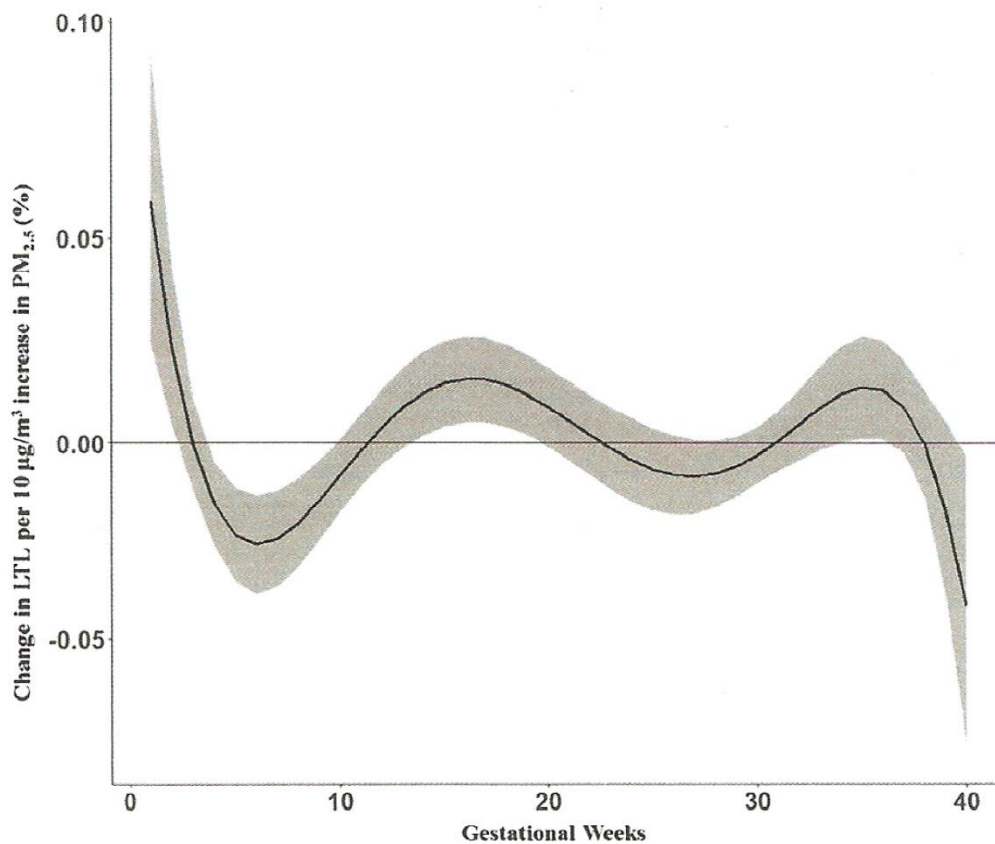
## 5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Μία ερευνητική ομάδα μελέτησε τις διαφορές των χαρακτηριστικών της ενδομητριάκης υπερπλασίας των ασθενών που εκτέθηκαν σε αέρα με διαφορετική ποιότητα. Χρησιμοποιήθηκε ο CCI (Charlson's Comorbidity Index score, δείκτης συννοσηρότητας του Charlson). Η υπερπλασία του ενδομητρίου προκαλείται από την εκτενή αύξηση των κυττάρων στο ενδομήτριο και ορίζεται ως η μη φυσιολογική αύξηση των ενδομητριάκων και στρωματικών κυττάρων. Χρειάζεται προσοχή διότι θεωρείται προκαρκινικό στάδιο. Μπορεί να εκδηλωθεί σε οποιαδήποτε ηλικία και αν δε θεραπευθεί μπορεί να οδηγήσει σε καρκίνο. Είναι η πιο συχνή η εμφάνιση της υπερπλασίας μετά την εμμηνόπαυση. Ενδιαφέρον είναι ότι ακόμη και το tamoxifen, που είναι θεραπευτικό για τον καρκίνο του μαστού, ή η λήψη οιστρογόνων μπορεί να προκαλέσει υπερπλασία του ενδομητρίου. Οι ασθενείς αυτοί που εκτέθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις PM έδειξαν σημαντικά περισσότερες περιπτώσεις συννοσηρότητας. Ακόμη και όταν η ρύπανση ήταν εντός των ορίων που υποδηλώνει ο WHO η μακροχρόνια έκθεση σε αυτή αυξάνει την πιθανότητα νοσηρότητας και θνησιμότητας. Οι ασθενείς με χαμηλό AQI (Air Quality Index, δείκτης ποιότητας του αέρα) και υπερπλασία παρουσίαζαν συννοσηρότητα όπως διαβήτης, υπέρταση, χρόνια νεφρική νόσο, υπερλιπιδαιμία και καρδιαγγειακά νοσήματα (είχαν αυξημένο CCI). Επομένως η έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση και κυρίως σε PM σε αυτούς τους ασθενείς τους καθιστά ευάλωτους σε συνυπάρχουσες ασθένειες (Chang F-W, Hsu R-J & Liu S-H, 2018)

Οι περιβαλλοντικές εκθέσεις κατά την κύηση μπορεί να οδηγήσουν σε διαφοροποιήσεις στην φυσιολογική ωρίμανση των διαφόρων συστημάτων οργάνων το οποίο επηρεάζει και την εγκυμοσύνη αλλά και τη ζωή του παιδιού μετά τη γέννηση του. Στοιχεία δείχνουν ότι το οξειδωτικό στρες είναι το κλειδί για την παραγωγή τοξικών παραγόντων που μπορεί να είναι θανάσιμα, και τονίζεται η σημαντικότητα της ισορροπίας των οξειδωτικών στην εγκυμοσύνη (Rosa M.J. et al, 2019). Σε μία άλλη έρευνα που διεξήχθη στη Μαδρίτη, μελετήθηκαν 298.705 γεννήσεις και υπήρξε συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε PM<sub>2.5</sub> της μητέρας κατά την κύηση και του LBW (Low Birth Weight, χαμηλού βάρους γέννησης). Επίσης η αύξηση της συγκέντρωσης των PM<sub>2.5</sub> κατά 1 μg/m<sup>3</sup> είχε πιθανότητες 1,17 για PTB (Preterm Birth, πρόωρο τοκετό) (Bazyar J. et al, 2019).

Το οξειδωτικό στρες που αναφέρθηκε προηγουμένως επηρεάζει τη βιολογία των τελομερών που συνδέεται με τον εμβρυικό προγραμματισμό. Τα τελομερή, είναι επαναληπτικές αλληλουχίες νουκλεοτιδίων στο τέλος των χρωμοσωμάτων που προστατεύουν την κωδικοποίηση του DNA από την αλλοίωση, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μίτωση και είναι ευαίσθητα στην ROS (Reactive Oxygen Species) καταστροφή. Τα τελομερή είναι πολύ σημαντικά για τη διαίρεση των κυττάρων αλλά συρρικνώνονται με κάθε διαίρεση και καθώς ο αριθμός των κυτταρικών διαιρέσεων αυξάνει συρρικνώνονται και άλλο. Αυτή η συρρίκνωση χρησιμεύει σαν βιοδείκτης για την κυτταρική και βιολογική γήρανση και μακροβιότητα.

Στο σχεδιάγραμμα (Εικόνα 33) φαίνεται η συσχέτιση ανάμεσα σε μία αύξηση 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στην έκθεση σε  $\text{PM}_{2.5}$  κατά την κύηση και στο LTL (Leukocyte Telomere Length, μήκος τελομερών λευκοκυττάρων) στο αίμα του ομφάλιου λώρου. Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της έκθεσης σε  $\text{PM}_{2.5}$  στην εγκυμοσύνη από την 4-9 εβδομάδα και μίκρυνση του LTL στο αίμα του ομφάλιου λώρου. Επιπλέον μεταξύ των 14-19 και 34-36 εβδομάδων βρέθηκε ότι σχετίζεται η έκθεση σε PM με αυξημένο LTL. Επομένως η έκθεση σε PM κατά την κύηση νωρίς σε συγκεκριμένα διαστήματα προκαλεί μικρό LTL και η έκθεση σε αργά κατά την κύηση στάδια μεγάλο LTL. Ακόμα και τα κορίτσια συνήθως έχουν μικρό LTL σε σύγκριση με τα αγόρια. Τέλος και η έκθεση σε προ-οξειδωτικά όπως καπνός τσιγάρου και το μητρικό στρες σχετίζονται με διαφορές στο LTL του εμβρύου (Rosa M.J. et al, 2019).



**Εικόνα 33:** Συσχέτιση ανάμεσα στην εβδομαδιαία συγκέντρωση  $\text{PM}_{2.5}$  και στο LTL του αίματος του ομφάλιου λώρου (Πηγή: Rosa M.J. et al, 2019)

Στον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 34) συνοψίζονται 18 μελέτες για την έκθεση της μητέρας σε  $\text{PM}_{2.5}$  κατά την εγκυμοσύνη και την πιθανότητα της πρόωρης γέννας. Ο Lavigne et al (2016) ανέλυσε 818.400 μητέρες και τις γέννες τους, που ζούσαν στο Ontario του Καναδά. Η έκθεση σε  $\text{PM}_{2.5}$  καθ' όλη τη διάρκεια της κύησης αυξάνει τις πιθανότητες για PTB κατά 4%. Επίσης η έκθεση κατά το δεύτερο και τρίτο τρίμηνο της κύησης έχει πιθανότητες OR για PTB 1,04 και 1,01 αντίστοιχα. Ομοίως, τα ίδια παράθυρα έκθεσης ο DeFranco et al (2016) μελέτησαν 224.921 γεννήσεις και παρατήρησαν ότι η έκθεση σε  $\text{PM}_{2.5}$  και UFP

αυξάνει την πιθανότητα OR (1,28) της πρόωρης γέννησης ειδικά κατά το τρίτο τρίμηνο της εγκυμοσύνης (Yuan L. et al, 2019).

Source	Area	Study period	Birth (n)	Design	Exposure assessment	Exposure level (µg/m <sup>3</sup> )	Exposure period	OR (95% CI) PTB
Stieb et al. 2016	Canada	1999–2008	2,966,705	Retrospective cohort study	LUR, monitoring data and satellite-derived estimates	8.43 (IQR 3.58)	WP	0.96 (0.93, 0.99)
Lavigne et al. 2016	Ontario, Canada	2005–2012	818,400	Retrospective cohort study	Satellite-derived estimates	9.07 (IQR 2.00)	WP, TS	WP 1.04 (1.02, 1.06) T2 1.036 (1.022, 1.050) T3 1.013 (1.005, 1.020)
Laurent et al. 2016	California, US	2000–2008	3,870,696	Nested case-control study	Monitoring data	IOR 6.45	WP	1.1 (1.12, 1.15)
Cheng et al. 2016	Taiyuan, China	2013	1839	Retrospective cohort study	IDW; monitoring network	71.90	WP, TS	WP 0.87 (0.61, 1.24) T1 0.99 (0.78, 1.24) T2 0.93 (0.80, 1.07) T3 0.97 (0.78, 1.21)
DeFranco et al. 2016	Ohio, US	2007–2010	224,921	Retrospective cohort study	Monitoring data	13.03 (IQR 2.30)	WP, TS	WP 1.19 (1.09, 1.30) T1 1.02 (0.97, 1.07) T2 0.96 (0.90, 1.01) T3 1.28 (1.20, 1.37)
Qian et al. 2016	Wuhan, China	2011–2013	95,911	Prospective cohort study	Monitoring data	70.80	WP, TS	WP 1.03 (1.02, 1.05) T2 1.02 (1.02, 1.03)
Pereira et al. 2016	Rochester, NY, US	2004–2012	7121	Longitudinal study	Monitoring data	9.00 (IQR 2.00)	WP, TS	WP 1.17 (1.07, 1.28) T1 1.11 (1.04, 1.18) T2 1.09 (1.02, 1.16) T3 1.06 (1.00, 1.13)
Ha et al. 2014	Florida, USA	2004–2005	423,719	Retrospective cohort study	HBM; USEPA monitoring data	9.90 (IQR 2.00)	WP, TS	WP 1.05 (1.04, 1.07) T1 1.03 (1.02, 1.04) T2 1.12 (1.11, 1.14) T3 1.03 (1.01, 1.04)
Pereira et al. 2014	Perth, Western Australia	1997–2007	31,567	Longitudinal study	Monitoring data	8.55 (IQR 2.15)	WP, TS	WP 0.99 (0.95, 1.04) T1 1.00 (0.96, 1.04) T2 1.00 (0.96, 1.04) T3 0.98 (0.94, 1.02)
					Monitoring data	11.91 (IQR 2.41)		WP 1.00 (0.99, 1.02) T1 1.00 (0.90, 1.02) T2 1.01 (1.00, 1.02) T3 1.00 (0.99, 1.01)
Hyder et al. 2014	Connecticut, MC, USA	2000–2006	662,921	Retrospective cohort study	Satellite data (K clusters, K = 9)	11.15 (IQR 1.04)	WP, TS	WP 0.98 (0.94, 1.03) T1 0.99 (0.98, 1.01) T2 0.99 (0.97, 1.01) T3 0.99 (0.97, 1.01)
					Satellite data (K clusters, K = 8)	11.36 (IQR 1.12)		WP 0.99 (0.95, 1.03) T1 1.00 (0.99, 1.01) T2 1.00 (0.98, 1.02)

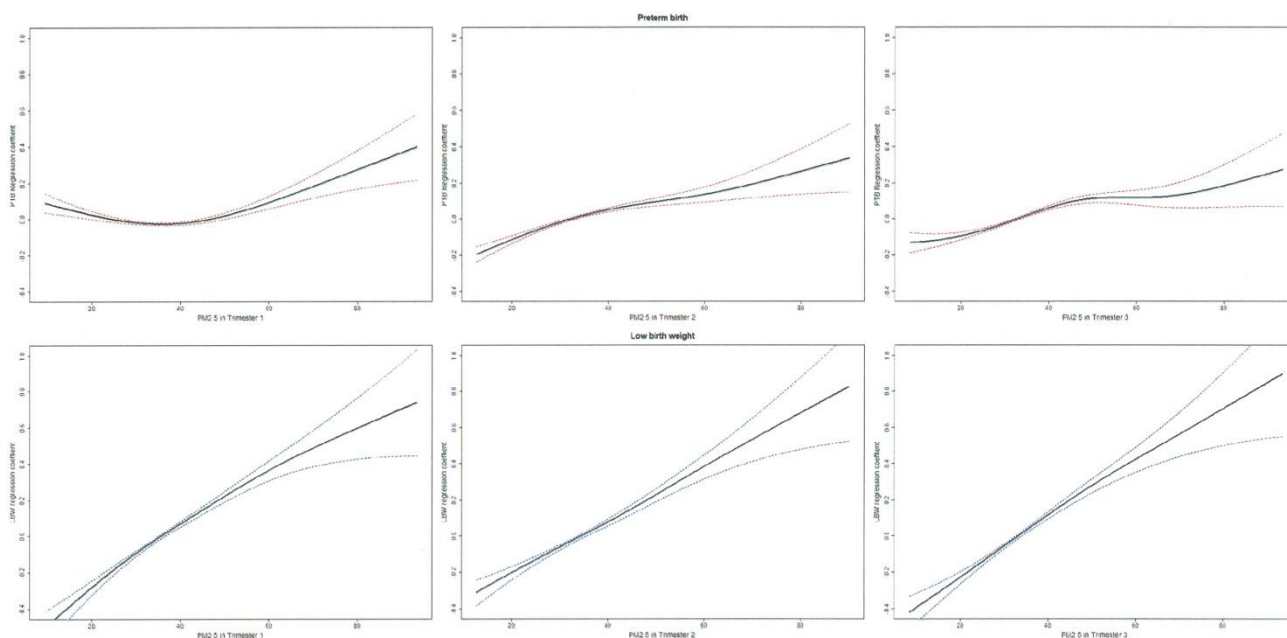
Source	Area	Study period	Birth (n)	Design	Exposure assessment	Exposure level (µg/m <sup>3</sup> )	Exposure period	OR (95% CI) PTB
Hannam et al. 2014	North West, England, UK	2004–2008	203,562	Retrospective cohort study	S-T model	22.11	WP, TS	T3 0.99 (0.98, 1.01) WP 0.98 (0.85, 1.12) T1 1.00 (0.90, 1.12) T2 0.98 (0.92, 1.0) T3 0.91 (0.82, 1.02)
Gray et al. 2014	North Carolina, US	2002–2006	457,642	Retrospective cohort study	USEPA monitoring data	13.06 (IQR 2.00)	WP	1.01 (0.99, 1.02)
Lee et al. 2013	Pittsburgh	1997–2002	34,705	Retrospective cohort study	STOK interpolation; monitoring data	15.60 (IQR 4.00)	T1	1.10 (1.01, 1.20)
Kloog et al. 2012	MC, US	2000–2008	634,844	Retrospective cohort study	Mixed models calibrate satellite AOD data; monitoring data	9.60 (IQR 5.30)	WP, T3, LM	WP 1.06 (1.01, 1.13) T3 0.99 (0.94, 1.03) LM 1.00 (0.96, 1.04)
Rudra et al. 2011	Western Washington, US	1996–2006	3509	Prospective pregnancy cohort study	Monitoring data	IOR 10.00	T1, T2, 3LM, LM	3LM 0.97 (0.91–1.04)
Gehring et al. 2011	North, west, and center of the Netherlands	1996–1997	3853	Prospective cohort study	LUR model; monitoring data	20.10 (IQR 4.60)	WP, T1, LM	WP 1.22 (0.83, 1.80) T1 0.98 (0.75, 1.29) LM 1.06 (0.84, 1.35)
Wu et al. 2009	LA, California, USA	1997–2006	81,186	Retrospective cohort study	CALINE4-estimated exposure	1.82 (IQR 1.35)	WP	1.81 (1.71, 1.92)
Brauer et al. 2008	Vancouver, British Columbia, Canada	1999–2002	70,249	Retrospective cohort study	IDW; monitoring data	5.10 (IQR 1.10)	WP	1.13 (0.92, 1.39)

**Εικόνα 34:** Συγκεντρωτικός πίνακας 18 μελέτων για την έκθεση της μητέρας σε PM<sub>2.5</sub> κατά την εγκυμοσύνη και την πιθανότητα της πρόωρης γέννας (Πηγή: Yuan L. Et al, 2019)

Μία άλλη ερευνητική ομάδα μελέτησε συνολικά 2.225.625 έμβρυα κατά τις 20-44 εβδομάδες της κύησης σε 9 πόλεις της Κίνας. Από αυτά τα 770.599 δεν συμπεριελήφθησαν στη μελέτη διότι δεν υπήρχαν κοντά σταθμοί καταμέτρησης της ποιότητας του αέρα και επομένως, τελικά 1.455.026 έμβρυα μελετήθηκαν. Από αυτά 64.028 (4,4%) και 26.898 (1.85%) γεννήθηκαν πρόωρα και με χαμηλό βάρος αντίστοιχα (χαμηλό βάρος θεωρείται αν το παιδί γεννηθεί <2.500g και μετά από 37 εβδομάδες κύησης).



Οι μητέρες που είχαν έμβρυα γένους αρσενικού είχαν μεγαλύτερο κίνδυνο για PTB αλλά μικρότερο για LBW. Στον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 35) φαίνονται οι μετεωρολογικοί παράγοντες και η ατμοσφαιρική ρύπανση. Η μέση συγκέντρωση των  $PM_{2.5}$  στα τρία τρίμηνα της εγκυμοσύνης ήταν  $36,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $34,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $33,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μητέρες ήταν πιο ευπαθείς κατά το δεύτερο και τρίτο τρίμηνο της εγκυμοσύνης σε σχέση με το πρώτο όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και από τη μελέτη του Lavigne et al (2016) που αναφέρθηκε προηγουμένως. Τα  $PM_{2.5}$  αυξάνουν τις πιθανότητες κατά 27% για PTB και 22% για LBW (Liang Z. et al, 2019). Ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στις ΗΠΑ, δηλαδή ότι είναι πιο πιθανό να δημιουργηθεί πρόβλημα (PTB ή LBW) κατά την έκθεση τους σε ατμοσφαιρική ρύπανση κατά το δεύτερο και τρίτο τρίμηνο της εγκυμοσύνης (Yuan L. et al. 2019).



**Εικόνα 35:** Οι σχέσεις απόκρισης στις συγκεντρώσεις των  $PM_{2.5}$  σε σχέση με τα PTB και LBW στα διάφορα παράθυρα-τρίμηνα έκθεσης (Πηγή: Liang Z. et al, 2019)

Καταληκτικά σε άλλη μελέτη που διεξήχθη στην Ελβετία από το 2002 έως το 2016, παρατηρήθηκαν τα προβλήματα που εμφάνιζαν τα παιδιά μετά τη γέννηση τους λόγω της έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση (μέση ατμοσφαιρική ρύπανση κατά τον WHO, 2018) έμμεσα κατά την εγκυμοσύνη. Στο διάστημα αυτό 232 παιδιά στην ηλικία των 6 υποβλήθηκαν σε εξετάσεις για τη λειτουργία των πνευμόνων τους και παρατηρήθηκε ότι το 7% έπασχε από άσθμα. Επομένως η ατμοσφαιρική ρύπανση όχι μόνο προκαλεί προβλήματα κατά τη γέννα αλλά και στη μετέπειτα ζωή του παιδιού (Usemann J. et al. 2018).



## ΣΥΜΠΕΡΑΜΣΑΤΑ

Η ομοίωση του ανθρώπινου οργανισμού στηρίζεται στη διατήρηση της φυσιολογικής λειτουργίας όλων των συστημάτων και των οργάνων του. Οι διάφοροι πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύποι που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα προκαλούν αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα, κυρίως στους κατοίκους των μεγάλων αστικών κέντρων.

Η σύσταση της ατμόσφαιρας παλαιότερα ήταν τελείως διαφορετική σε σύγκριση με σήμερα. Σημαντικές διαφοροποιήσεις έχουν εμφανιστεί κυρίως μετά τη βιομηχανική επανάσταση. Είναι προφανές, ότι όσο αναπτύσσεται η επιστήμη και η τεχνολογία δημιουργούνται καταστάσεις που εγκυμονούν κινδύνους και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και εν συνεχεία στην την υγεία των ανθρώπων. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, αποτελεί φαινόμενο που πηγάζει από το σύγχρονο τρόπο ζωής για την κάλυψη των ολοένα και αυξανόμενων αναγκών των ανθρώπων, το οποίο όμως έχει αρνητικές επιπτώσεις τόσο την υγεία του όσο και το περιβάλλον.

Παρά τη λήψη μέτρων και τη μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων, η ατμοσφαιρική ρύπανση εξακολουθεί να βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Τα οξειδία του αζώτου που εκπέμπουν οι κινητήρες των οχημάτων διαδραματίζουν πρωτεύοντα ρόλο στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους. Το διοξείδιο του άνθρακα εξακολουθεί να αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες κινδύνου, ενώ παράλληλα εντείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το θειικό και το νιτρικό οξύ που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τα θειικά και τα νιτρικά άλατα αντίστοιχα, ευθύνονται για την όξινη βροχή. Εκατοντάδες αέριοι ρύποι σχηματίζονται και αποδομούνται στην ατμόσφαιρα μέσα σε ελάχιστα λεπτά, ώστε καθίσταται αδύνατη η μελέτη της επίδρασης καθενός εξ' αυτών. Οι τελευταίες μελέτες συγκλίνουν στο ότι το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια είναι και θα είναι οι μεγάλες απειλές και για τα επόμενα χρόνια.

Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ., «μειώνοντας τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οι χώρες μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα νοσηρότητας εξαιτίας εγκεφαλικών επεισοδίων, καρδιακών νόσων, καρκίνου του πνεύμονα καθώς και οξέων και χρόνιων νοσημάτων του αναπνευστικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος. Η υπερβολική ρύπανση του αέρα είναι συχνά ένα υποπροϊόν των μη βιώσιμων πολιτικών σε τομείς όπως οι μεταφορές, η ενέργεια, η διαχείριση των αποβλήτων και η βιομηχανία. Πιο υγιείς στρατηγικές θα έχουν οικονομικό όφελος μακροπρόθεσμα, εξαιτίας της μείωσης του κόστους υγειονομικής περίθαλψης, καθώς και κέρδος για το κλίμα. Όσο καθαρότερη είναι η ατμόσφαιρα, τόσο καλύτερη είναι η αναπνευστική λειτουργία των ανθρώπων, βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα».

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΑΦΙΕΣ

PM= particulate matter

SPM= suspended particulate matter

TSP= total suspended particulate

VOCs= volatile organic compounds

PAH= polycyclic aromatic hydrocarbons

ROS = reactive oxygen species

Nrf2= nuclear factor erythroid-derived-like 2

bZIP= basic leucine zipper protein

shRNA= short hairpin RNA

mtDNA= mitochondrial DNA

RR= relative risk

COPD= chronic obstructive pulmonary disease

CVD= cardiovascular disease

ED= emergency department

CHF= congestive heart failure

VEGF= vascular endothelial growth factor

HUVECs= human umbilical vein endothelial cells

GIT= gastrointestinal track

GI= gastrointestinal

UFP= ultra fine particle

CBLK= carbon black

OTUs= operational taxonomic units

PD-WT= phylogenetic diversity-whole tree

CCI= Charlson's comorbidity index score

AQI = air quality index

LBW = low birth weight

PTB = preterm birth

LTL = leukocyte telomere length

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαρώτσος Κ., (2008). “Ατμόσφαιρα. Σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα”. Εκδόσεις Συμμετρία.
2. Ελευθεριάδης Κ., (2019). “Αιωρούμενα σωματίδια”. Παράδοση Πανεπιστημιακού μαθήματος του ΠΜΣ «Περιβάλλον και Υγεία» της Ιατρικής Σχολής, ΕΚΠΑ
3. Κρεατσάς Γ.Κ. & Δενδρινός Σπ., (2005). Β' Μαιευτική και Γυναικολογική Κλινική Πανεπιστημίου Αθηνών Αρεταίειου Νοσοκομείου.
4. Οικονόμου, Κ. (2014). “Ο ατμοσφαιρικός σωματιδιακός φόρτος στην Πολυτεχνειούπολη, σύσταση σωματιδίων PM10 και PM2.5”. Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργιών.
5. Παπαζάχου, Ν., (2012). “Προσδιορισμός οργανικών και ανόργανων ανιόντων στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας και στην αποτιθέμενη σκόνη μνημείων”. Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ.
6. Abrams J. et al., (2019). “Impact of air pollution control policies on cardiorespiratory emergency department visits, Atlanta, GA, 1999-2013”. Elsevier.
7. Bazyar J. et al., (2019). “A comprehensive evaluation of the association between ambient air pollution and adverse health outcomes of major organ systems: a systematic review with a worldwide approach”. Environmental Science and Pollution Research. Springer.
8. Beamer P., (2019). “Air pollution contributes to asthma deaths”. American Thoracic Society.

9. Cancer Research UK, (2017). "Let's beat cancer sooner".
10. Chang F-W., Hsu R-J. & Liu S-H., (2018). "Characteristics of patients with endometrial hyperplasia under different air quality index conditions". Taiwanese Journal of Obstetrics & Gynecology.
11. Cotran R. S., Kumar V. & Collins T. (1999). "Robbins Pathologic Basis of Disease". WB Saunders Company.
12. Dorland, (2012). "Circulatory system, Dorland's Medical Dictionary". Elsevier
13. Drake R.L., Vogl W., & Mitchell A., (2014). "Gray's anatomy for students".
14. European Lung Foundation, factsheet, (2016).
15. Guyton, A. & Hall J. (2000). "Guyton Textbook of Medical Physiology".
16. Institute for Quality and Efficiency in Health Care (IQWiG), (2016) "How does the blood circulatory system work?".
17. Jhun I. et al., (2019). "Synthesis of Harvard EPA Center Studies on traffic-related particulate pollution and cardiovascular outcomes in the greater Boston area". Journal of the Air & Waste Management Association.
18. Liang Z. et al., (2019). "Ambient PM<sub>2.5</sub> and birth outcomes: Estimating the association and attributable risk using a birth cohort study in nine Chinese cities". Elsevier.

19. Mader, Sylvia S., (2004) "Human Biology". McGraw Hill Publishing.
20. Martini F., (2001). "Fundamentals of Anatomy & Physiology". Prentice Hall.
21. Moore K.L. & Dalley A.F, (1999). "Clinically Oriented Anatomy".
22. Mutlu E. et al., (2018). " Inhalational exposure to particulate matter air pollution alters the composition of the gut microbiome". Elsevier.
23. Netter, F. H. (2014). Atlas of human anatomy. Elsevier Health Sciences.
24. Pardo M. et al., (2019). "Nrf2 protects against diverse PM<sub>2.5</sub> components-induced mitochondrial oxidative damage in lung cells". Elsevier.
25. Pirozzi, C., & Scholand, M. B. (2012). "Smoking cessation and environmental hygiene". Medical Clinics of North America
26. Rosner J. & Manbeer S. Sarao, (2019). "Physiology, Female Reproduction". StatPearls Publishing LLC
27. Shah, P. L., (2010). "Anatomy of the respiratory system". ERS Handbook of Respiratory Medicine.
28. Shen C. et al., (2019). "The effects of cooking oil fumes-derived PM<sub>2.5</sub> on blood vessel formation through ROS-mediated NLRP3 inflammasome pathway in human umbilical vein endothelial cells". Elsevier.

29. Usemann J. et al., (2018). "Exposure to moderate air pollution and associations with lung function at school-age: A birth cohort study". Elsevier.
30. Van De Graaff, Kent M., (2002). "Human Anatomy". McGraw Hill Publishing.
31. Van Veldhoven K. et al., (2018). "Impact of short-term traffic-related air pollution on the metabolome – Results from two metabolome-wide experimental studies". Elsevier.
32. Vestbo J.R., Hurd S.S., Agust A.G., Jones P. W., Vogelmeier C., Anzueto A. & Rodriguez-Roisin R., (2013). "Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary". American journal of respiratory and critical care medicine
33. WHO, (2004). "Health aspects of air pollution. Results from the WHO project Systematic review of health aspects of air pollution". WHO Europe.
34. WHO, (2014). "Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012".
35. WHO factsheet, (2019). "Air Pollution, Climate and Health".
36. Yuan L., Zhang Y., Gao Y. & Tian Y., (2019). "Maternal fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) exposure and adverse birth outcomes: an updated systematic review based on cohort studies". Springer.
37. Zhang Y. et al., (2019). "Ambient PM<sub>2.5</sub> and clinically recognized early pregnancy loss: A case-control study with spatiotemporal exposure predictions". Elsevier.



## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [panacea.med.uoa.gr](http://panacea.med.uoa.gr)
2. [www.air-quality.gr/pm.php](http://www.air-quality.gr/pm.php)
3. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
4. [www.europeanlung.org](http://www.europeanlung.org)
5. [www2.ipta.demokritos.gr](http://www2.ipta.demokritos.gr)
6. [www.northmeteo.gr](http://www.northmeteo.gr)