ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 6, No 1 (2023)

Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -Πρακτικά του «3ου Μαθητικού Συνεδρίου Έρευνας και Επιστήμης»

Χειρουργική μάσκα και συγκέντρωση CO2 στην αναπνοή

Vasileios Malasidis, Nikolaos Dintsios

doi: 10.12681/osj.31986

Copyright © 2023, Vasileios Malasidis, Nikolaos Dintsios

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

Malasidis, V., & Dintsios, N. (2023). Χειρουργική μάσκα και συγκέντρωση CO2 στην αναπνοή. *Open Schools Journal for Open Science*, *6*(1). https://doi.org/10.12681/osj.31986

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 01/01/2026 20:37:53

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 01/01/2026 20:37:53

Χειρουργική μάσκα και συγκέντρωση CO_2 στην αναπνοή

Βασίλειος Μαλασίδης
Πειραματικό ΓΕΛ ΠΑ.ΜΑΚ., Θεσσαλονίκη
bmalasidis@gmail.com

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Δίντσιος
Φυσικός, Πειραματικό ΓΕΛ ΠΑ.ΜΑΚ.
nikos.dintsios@gmail.com

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα, κατά τη διαδικασία της αναπνοής, μεταξύ της χειρουργικής μάσκας και του προσώπου, και κατά πόσο τα αποτελέσματα αυτής της δέσμευσης μπορούν να επιβαρύνουν για τον ανθρώπινο οργανισμό. Προκειμένου να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν, σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε και πραγματοποιήθηκε πείραμα με τη χρήση μικροελεγκτή Arduino (Arduino UNO) και αισθητήρα μέτρησης της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (MQ-135). Αυτό κατέστη εφικτό μετρώντας τα επίπεδα CO_2 σε κατάλληλη πειραματική διάταξη, αρχικά χωρίς τη χρήση μάσκας και έπειτα με μάσκα. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται τρεις φορές, διαιρώντας το πείραμα σε τρία (3) στάδια. Σε κάθε στάδιο αλλάζει η κατάσταση αναπνοής: αρχικά γίνεται μέτρηση χωρίς χρήση χειρουργικής μάσκας απευθείας στη μάσκα οξυγόνου, έπειτα κάνοντας χρήση χειρουργικής μάσκας, και τέλος φορώντας μάσκα έπειτα από συνεχόμενη χρήση της για σαρανταπέντε (45) λεπτά. Όπως προέκυψε από τα ερευνητικά ευρήματα δεσμεύεται CO_2 μεταξύ μάσκας και προσώπου.

Λέξεις-Κλειδιά: Χειρουργική μάσκα, συγκέντρωση CO_2, κορωνοϊός, Arduino, ανθρώπινη αναπνοή.

Εισαγωγή

Είναι ευρέως γνωστό πως απαραίτητο στοιχείο για την ύπαρξη ανθρώπινης ζωής είναι το οξυγόνο. Το οξυγόνο είναι βασικό αντιδρών των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν κατά την κυτταρική αναπνοή, και για αυτό τον λόγο η δέσμευσή του από τον ανθρώπινο οργανισμό είναι απαραίτητη. Η δέσμευση αυτή επιτυγχάνεται στις κυψελίδες των πνευμόνων, οι οποίες διοχετεύουν το οξυγόνο που αντλήθηκε από τον ατμοσφαιρικό αέρα στο αίμα, αποδεσμεύοντας ταυτόχρονα διοξείδιο του άνθρακα, βασικό προϊόν της καύσης που συντελείται στα κύτταρα. Το αποδεσμευμένο διοξείδιο του άνθρακα, απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα διαμέσου της αεροφόρου οδού (Weibel, 1984).

Το διοξείδιο του άνθρακα, είναι αποδεδειγμένα επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία όταν εισπνέεται σε μεγάλες ποσότητες (Scheid et al., 2020). Η αρνητική επίδραση του στην ανθρώπινη φυσιολογία, σχετίζεται με τα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσής του στο αίμα και μπορεί να αποβεί επικίνδυνη με δυσάρεστες συνέπειες. Μεταξύ των συμπτωμάτων που προκαλούνται στον ανθρώπινο οργανισμό λόγω υψηλής συγκέντρωσης CO_2 στο αίμα είναι ο πονοκέφαλος, η αίσθηση υπνηλίας ή νύστας και η ζαλάδα, και σε πιο ακραίες περιπτώσεις η παροδική απώλεια αισθήσεων, ενώ ακόμα και η παραμικρή αύξηση της συγκέντρωσής του μπορεί να γίνει εύκολα αισθητή (Rice et al., 2020; Norbäck et al., 2013)

Στις 11 Μαρτίου του 2020, ο Π.Ο.Υ. διακήρυξε τον COVID-19 πανδημία και ως εκ τούτου, πολλές χώρες «έθεσαν εαυτούς» σε καθεστώς καραντίνας επιβάλλοντας περιοριστικά μέτρα, προκειμένου να ανακόψουν την εξάπλωση του SARS-CoV-2. Ένα από τα καθολικά μέτρα που επιβλήθηκε είναι η χρήση της μάσκας προστασίας, είτε χειρουργικής, είτε υφασμάτινης. Η σωστή εφαρμογή της μάσκας επιβάλει την κάλυψη τόσο του στόματος, όσο και της μύτης, δηλαδή των μόνων εξόδων της εκπνοής, και κατ' επέκταση του διοξειδίου του άνθρακα (Scheid et al., 2020; W.H.O., 2020)

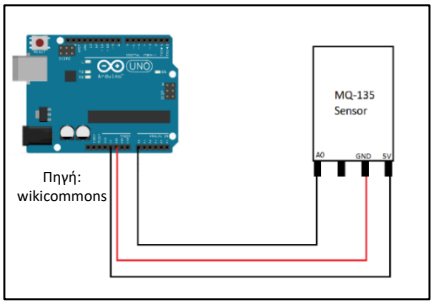
Αβίαστα λοιπόν ανακύπτουν δύο ερευνητικά ερωτήματα, τα οποία μπορούν να διατυπωθούν ως εξής: «Δεσμεύεται μεταξύ μάσκας και προσώπου Διοξείδιο του Άνθρακα το οποίο παράγεται από τη διαδικασία της αναπνοής; Τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO_2 κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια;» Τα συγκεκριμένα ερωτήματα έχουν απασχολήσει ευρέως την επιστημονική κοινότητα, όπως υποδεικνύουν οι έρευνες των Scheid και Shriram (Scheid et al., 2020; Shriram et al., 2019).

Μεθοδολογία πειραματικής διαδικασίας

Προκειμένου να απαντηθούν τα παραπάνω ερευνητικά ερωτήματα, σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε και πραγματοποιήθηκε πείραμα με τη χρήση μικροελεγκτή Arduino (Arduino UNO) και αισθητήρα μέτρησης της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (MQ-135). Με το συγκεκριμένο πείραμα μελετήθηκε κατά πόσο δεσμεύεται διοξείδιο του άνθρακα μεταξύ μάσκας και προσώπου (το οποίο επανεισπνέεται). Αυτό κατέστη εφικτό μετρώντας τα επίπεδα CO_2 στο εσωτερικό ενός δοχείου μεταβαλλόμενου όγκου όπου εκπνέει ένα άτομο αρχικά χωρίς τη χρήση μάσκας και έπειτα με μάσκα.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η συνδεσμολογία μεταξύ του αισθητήρα και του μικροελεγκτή καθώς και η βαθμονόμηση του αισθητήρα. Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, ελήφθησαν τιμές αναφοράς της αντίστασης του αισθητήρα στον χώρο όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα. Στη συνέχεια υλοποιήθηκε η πειραματική διάταξη που αποτελείται από μια χειρουργική μάσκα προσώπου, η οποία είναι συνδεδεμένη με έναν σωλήνα μικρού μήκους, ο οποίος καταλήγει στο δοχείο. Έπειτα, ο αισθητήρας τοποθετήθηκε μέσα στο δοχείο μεταβαλλόμενου όγκου, το οποίο σφραγίστηκε αεροστεγώς, με μόνη δίοδο του αέρα τον σωλήνα που προαναφέρθηκε. Ο σωλήνας αυτός καταλήγει σε μία μάσκα οξυγόνου, η οποία όταν

εφαρμόζεται στο πρόσωπο καλύπτει αποκλειστικά την περιοχή του στόματος, ελαχιστοποιώντας την περίπτωση διαφυγής του αέρα από τα πλευρικά τοιχώματα.



Εικόνα 1: σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης

Εικόνα2: φωτογραφία της πειραματικής διάταξης

Το πείραμα διεξήχθη σε τρία (3) στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μετρήθηκε η συγκέντρωση του CO_2 στο δοχείο, σε διάρκεια έξι λεπτών από τα οποία τα πρώτα τρία λεπτά χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση, κι έπειτα με εκπνοή στη μάσκα οξυγόνου. Κατά το δεύτερο στάδιο, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, κάνοντας χρήση χειρουργικής μάσκας κατά τη διάρκεια της εκπνοής στη διάταξη. Τέλος, στο τρίτο στάδιο του πειράματος, ακολουθήθηκε η ίδια πορεία, αυτή τη φορά όμως μετά από συνεχόμενη χρήση της μάσκας για σαρανταπέντε (45) λεπτά (διάρκεια διδακτικής ώρας).

Προκειμένου να εξασφαλιστούν κατά το δυνατό οι ίδιες συνθήκες διενέργειας του πειράματος, καθ' όλη τη διάρκεια, ο αισθητήρας και η συνδεσμολογία δεν μεταβλήθηκαν, ενώ η τοποθεσία διεξαγωγής του παρέμεινε ίδια. Πιο συγκεκριμένα ο χώρος πειραματισμού είναι ένα δωμάτιο λίγων κυβικών μέτρων, με την παρουσία μόνο ενός ατόμου (το οποίο και διενεργεί το πείραμα) έτσι ώστε να μη διαταράσσονται οι συνθήκες του πειράματος. Το δωμάτιο αερίστηκε για ίσο χρονικό διάστημα πριν την διεξαγωγή της εκάστοτε φάσης και ο αισθητήρας προθερμάνθηκε για ίσο χρονικό διάστημα πριν από κάθε μέτρηση. Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως η κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκε την ίδια ώρα της ημέρας, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων στα αποτελέσματα.

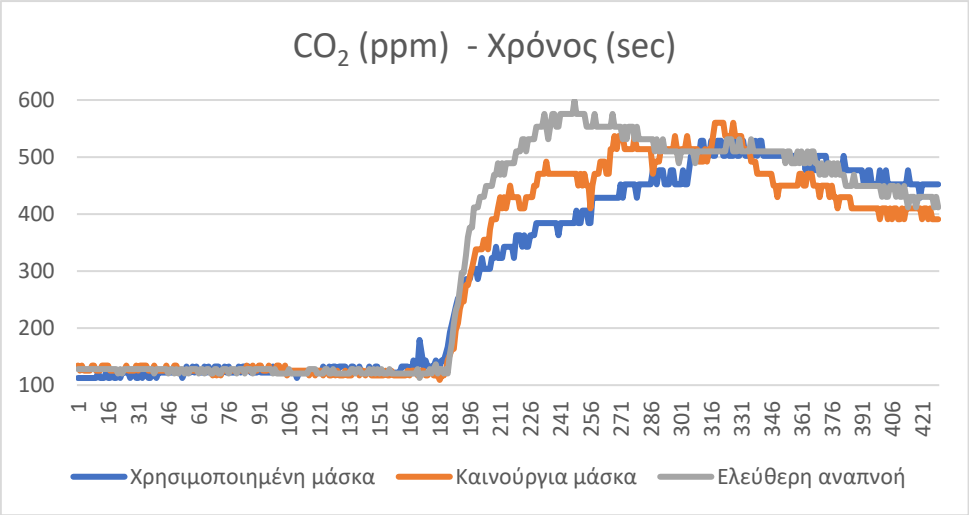
Τέλος, η μάσκα που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά ήταν καινούργια και του ίδιου τύπου και κατασκευαστή, ενώ το πείραμα εκτελέσθηκε όλες τις φορές από τον ίδιο άνθρωπο. Με σκοπό την έγκυρη και αξιόπιστη εξαγωγή συμπερασμάτων, το πείραμα διεξήχθη τέσσερεις (4) φορές, και κάθε φορά τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια, με μικρές αποκλίσεις στην τιμή της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, παρουσιάζοντας όμως την ίδια ποσοστιαία διαφορά ανάμεσα στις μετρήσεις με μάσκα, χωρίς μάσκα και με χρησιμοποιημένη μάσκα. Ένας παράγοντας που θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι επηρεάζει τις μετρήσεις, προκαλώντας αβεβαιότητα σε αυτές, είναι το ίδιο το όργανο που χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή του πειράματος, ο αισθητήρας MQ-135.

Με τη βοήθεια της όλης πειραματικής διάταξης ελήφθησαν μετρήσεις και επιτεύχθηκε η εξαγωγή συμπερασμάτων για την ποσοστιαία συγκέντρωση διοξειδίου

του άνθρακα ανάμεσα στη μάσκα και στο πρόσωπο του χρήστη της, επί της συνολικής εκπνοής CO_2, με μάσκα, με χρησιμοποιημένη μάσκα για σαρανταπέντε (45) λεπτά, και χωρίς τη χρήση μάσκας. Εφόσον εξήχθησαν αποτελέσματα για αυτές τις ποσοστιαίες τιμές, όσον αφορά το σύνολο της ελεύθερης εκπνοής, που αποτελεί το μέτρο σύγκρισης, έγινε δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την επικινδυνότητα της συγκέντρωσης CO_2 που προκύπτει ανάμεσα στη μάσκα και στο πρόσωπο του χρήστη της.

Αποτελέσματα

Μετά την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας και της καταγραφής δεδομένων για τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων και η καταγραφή των αποτελεσμάτων, τα οποία παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Γράφημα 1: Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια του πειράματος σε κάθε στάδιο

Όπως προκύπτει από το Γράφημα 1, παρατηρούμε πως κατά τα πρώτα λεπτά του πειράματος, που δεν υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο δοχείο μεταβαλλόμενου όγκου παραμένει σταθερή σε χαμηλά επίπεδα, και κυμαίνεται στα 120ppm. Η τιμή αυτή σαφώς δεν είναι η πραγματική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο χώρο, αλλά είναι αυτή που προέκυψε από τη βαθμονόμηση του αισθητήρα MQ135. Η βαθμονόμηση αυτή είναι αναγκαία για τον καθορισμό της τιμής της αντίστασης του αισθητήρα στον καθαρό αέρα. Η συγκέντρωση CO_2 στον καθαρό αέρα είναι περίπου 381 ppm και αντιστοιχεί στο 0,04% του συνολικού εισπνεόμενου αέρα. Επομένως, η διαφορά των τιμών της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στον καθαρό αέρα δεν επιδρά στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια, και πάντα στο Γράφημα 1, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2, εξαιτίας της εκπνοής. Μετά τα πρώτα δευτερόλεπτα μετρήσεων με ταυτόχρονη αναπνοή στη διάταξη, παρατηρείται πως το διάλυμα του αερίου που βρίσκεται μέσα σε αυτήν φτάνει σε κορεσμό ως προς τη συγκέντρωση CO_2, γεγονός το οποίο συμβαίνει σε διαφορετική χρονική στιγμή για κάθε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, πρώτα φτάνει σε κορεσμό το διάλυμα του αερίου της αναπνοής χωρίς μάσκα, έπειτα

το διάλυμα της αναπνοής με τη χρήση καινούργιας χειρουργικής μάσκας και τέλος το διάλυμα του αερίου της αναπνοής με τη χρήση χρησιμοποιημένης μάσκας.

Όπως φαίνεται στο γράφημα, η μέγιστη τιμή του εκάστοτε διαλύματος επίσης διαφέρει. Συγκεκριμένα, ως μέσος όρος των τιμών της μέγιστης τιμής της συγκέντρωσης του αερίου διαλύματος σε CO_2 λήφθηκαν όσες τιμές υπερβαίνουν το 85% της μέγιστης συγκέντρωσης του. Στην ελεύθερη αναπνοή, ο μέσος όρος των υψηλότερων τιμών ανέρχεται στα 530,1ppm, ενώ ο μέσος όρος της αναπνοής με χρήση χειρουργικής μάσκας, αγγίζει τα 499,7ppm και ο μέσος όρος των υψηλότερων τιμών της συγκέντρωσης του CO_2 στην περίπτωση της χρησιμοποιημένης μάσκας ανέρχεται στα 477,9ppm.

Τέλος, από το διάγραμμα παρατηρούμε πως μετά τη λήξη της αναπνοής στην πειραματική διάταξη, σε όλες τις περιπτώσεις η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα μειώνεται με σχετικά αργό ρυθμό, σε σύγκριση με τον ρυθμό αύξησης που σημειώθηκε στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας.

Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, προκύπτουν αβίαστα ορισμένα συμπεράσματα, που αφορούν τα αρχικά διατυπωμένα ερευνητικά ερωτήματα, και συμφωνούν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Rice et al., 2020; Scheid et al., 2020; Ong et al., 2020; Beder et al., 2008; Lim et al., 2006; Maresh et al., 1997). Από το διάγραμμα και την περιγραφή του που προηγήθηκε, συμπεραίνουμε πως πράγματι η χειρουργική μάσκα δεσμεύει διοξείδιο του άνθρακα, στον χώρο μεταξύ αυτής και του προσώπου. Αυτή η δέσμευση γίνεται ακόμα πιο αισθητή, στην περίπτωση που η μάσκα έχει ήδη χρησιμοποιηθεί για ένα εύλογο χρονικό διάστημα μίας διδακτικής ώρας (45 λεπτά).

Αρχικά, θα εξεταστεί η περίπτωση της επίδρασης της καινούργιας χειρουργικής μάσκας κατά τη διαδικασία της αναπνοής. Ο μέσος όρος των υψηλότερων τιμών της συγκέντρωσης του αερίου στην ελεύθερη εκπνοή, όπως προαναφέρθηκε, αφορά τις τιμές που υπερβαίνουν το 85% της μέγιστης τιμής, και καταγράφηκαν από τη στιγμή t_1=220s έως τη στιγμή t_2=360s. Όσον αφορά στην εκπνοή με τη χρήση χειρουργικής μάσκας, ο μέσος όρος των υψηλότερων τιμών (>85% της μέγιστης τιμής) εξήχθη από τις τιμές που καταγράφηκαν κατά το χρονικό διάστημα t_4-t_3 με t_3=262s και t_4=348s, ενώ οι τιμές άνω του 85% της μέγιστης τιμής που καταγράφηκαν στις μετρήσεις με χρησιμοποιημένη μάσκα βρέθηκαν μεταξύ των χρονικών στιγμών t_5=272s και t_6=441s.

Ο μέσος όρος των υψηλότερων τιμών της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα κατά την ελεύθερη εκπνοή λοιπόν, είναι αισθητά υψηλότερος από τον αντίστοιχο μέσο όρο της αναπνοής με χρήση χειρουργικής μάσκας. Με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος, παρατηρείται διαφορά μεταξύ των δύο σταδίων του πειράματος που ανέρχεται στα 5,7%, ποσοστό το οποίο προφανώς παραμένει μεταξύ μάσκας και προσώπου του χρήστη της, εφόσον δεν υπάρχει άλλη δίοδος διαφυγής για τον αέρα. Επίσης, από το διάγραμμα, προκύπτει πως η κλίση της καμπύλης της συγκέντρωσης που αναφέρεται στην περίπτωση της ελεύθερης εκπνοής είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης κλίσης στην περίπτωση καινούργιας μάσκας, ενώ επίσης παρατηρείται

πως η μέγιστη τιμή στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα κατά την ελεύθερη εκπνοή επιτυγχάνεται γρηγορότερα από ότι με τη χρήση μάσκας. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτει ότι ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του CO_2 με τη χρήση μάσκας είναι χαμηλότερος από τον αντίστοιχο ρυθμό μεταβολής στην ελεύθερη αναπνοή. Θα μπορούσαμε να γράψουμε:

$$\frac{\Delta ppm_{un}}{\Delta t} > \frac{\Delta ppm_{nm}}{\Delta t} \quad \textbf{(1)}$$

όπου $\frac{\Delta ppm_{un}}{\Delta t}$ ο ρυθμός μεταβολής των ppm στην περίπτωση μη χρήσης μάσκας (Unmasked) και $\frac{\Delta ppm_{nm}}{\Delta t}$ ο αντίστοιχος ρυθμός στην περίπτωση της αχρησιμοποίητης μάσκας (new mask).

Ο αντίστοιχος μέσος όρος των τιμών που κυμαίνονται άνω του 85% της συγκέντρωσης του CO_2 στην περίπτωση χρήσης μάσκας για 45 συνεχόμενα λεπτά ανέρχεται στα 477,9ppm. Το γεγονός αυτό καθιστά την επιπλέον συγκέντρωση διοξειδίου ανάμεσα στη μάσκα και στο πρόσωπο του χρήστη της στα 9,8%, εν συγκρίσει με τη μη χρήση μάσκας Αυτό οδηγεί εύλογα στην υπόθεση, πως με τη χρήση μάσκας για σαρανταπέντε (45) λεπτά της ώρας, η δέσμευση του CO_2 (από τη μάσκα) αυξάνεται κατά 4,1% (σε σχέση με την καινούργια μάσκας). Όμοια με την προηγούμενη περίπτωση, ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στη πειραματική διάταξη (δοχείο μεταβαλλόμενου όγκου) είναι χαμηλότερος, όταν η εκπνοή πραγματοποιείται κάνοντας χρήση για μεγάλο χρονικό διάστημα (45΄) μάσκας. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 1:

	Χωρίς Μάσκα	Καινούργια Μάσκα	Χρησιμοποιημένη Μάσκα
CO_2 ppm > 85% (sec)	220	262	272
max ppm	598,92	560	528,5
M.O. ppm > 85%	530,1	499,7	478
% (ppm_{um} – ppm_m)	-	5,7	9,8

Πίνακας 1: Σύνοψη αποτελεσμάτων για τα τρία στάδια του πειράματος

Μια πιθανή εξήγηση είναι αφενός ο αυξημένος αριθμός σωματιδίων διαφόρων αερίων που έχει ήδη εγκλωβιστεί στη μάσκα, αφετέρου, η δημιουργία στρώματος υγρασίας λόγω της εκτεταμένης συνεχόμενης χρήσης της. Το αέριο H_2O που αποβάλλεται κατά την εκπνοή δημιουργεί μία επιφάνεια εσωτερικά της μάσκας, με αποτέλεσμα να την καθιστά εκτός από αναποτελεσματική όσον αφορά την προστασία από τον Sars-CoV-2 (W.H.O., 2020), και παράγοντα που προκαλεί την περαιτέρω δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα.

Επομένως, εφόσον ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα με τη χρήση μάσκας είναι μικρότερος σε σύγκριση με την ελεύθερη εκπνοή, συμπεραίνουμε πως όσο πιο μειωμένος είναι, τόσο περισσότερο CO_2 συγκρατείται στο χώρο μεταξύ μάσκας και προσώπου, ανά δευτερόλεπτο. Αναλύοντας το γράφημα, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, η αναπνοή με τη χρήση χρησιμοποιημένης μάσκας έχει αρκετά χαμηλότερο ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στο δοχείο μεταβαλλόμενου όγκου, σε

σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη περίπτωση του πειράματος. Επίσης, όπως παρατηρήθηκε, η χρησιμοποιημένη μάσκα συγκράτησε περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα κατά την πειραματική διαδικασία. Τα παραπάνω δεδομένα μας οδηγούν στην υπόθεση ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος χρήσης μιας χειρουργικής μάσκας, τόσο περισσότερο CO_2 δεσμεύεται μεταξύ της μάσκας και του προσώπου του χρήστη της, γεγονός το οποίο όμως χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως σε πραγματικές συνθήκες, η μάσκα δεν εφαρμόζει πλήρως και κατ' επέκταση αεροστεγώς στο πρόσωπο του χρήστη της. Επομένως, η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ της μάσκας και του προσώπου σε πραγματικές συνθήκες χρήσης της είναι χαμηλότερη, καθώς ο αέρας εύκολα διαφεύγει από τα πλευρικά τοιχώματα της μάσκας, εξαιτίας της διαφοράς πίεσης ανάμεσα στον χώρο μεταξύ της μάσκας και του προσώπου, και στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτή η διαφορά πίεσης οφείλεται στην αύξηση συγκέντρωσης των σωματιδίων εσωτερικά της μάσκας. Έτσι, η αύξηση της πυκνότητας του αερίου διαλύματος στον χώρο μεταξύ της μάσκας και του προσώπου, συνεπάγεται και την αύξηση της πίεσης εκεί.

Σύμφωνα την παραπάνω παρατήρηση, η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα που δεσμεύεται ανάμεσα στη μάσκα και στο πρόσωπο του χρήστη, εκτιμάται πως κυμαίνεται μεταξύ 2% και 5% της συνολικής εκπνοής, εφόσον τα πειραματικά δεδομένα με καλή εφαρμογή της μάσκας υποδεικνύουν πως δεσμεύεται 5,7%. Αντίστοιχα, με τη χρήση μάσκας για 45΄, η συγκέντρωση μεταξύ του προσώπου και της μάσκας πιθανότατα βρίσκεται ανάμεσα στο 5% και 9%. Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Ejaimi et al., 2017), η συγκέντρωση CO_2 που βρίσκεται στην εκπνοή ανέρχεται περίπου στα 38.100 ppm, καθώς αποτελεί το 4% του όγκου των αερίων της εκπνοής, και είναι εκατονταπλάσια της συγκέντρωσης του CO_2 που λαμβάνεται κατά την εισπνοή (0,04%). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει πως μεταξύ καινούργιας χειρουργικής μάσκας και προσώπου δεσμεύονται περίπου 762-1.905ppm. Μεταξύ χρησιμοποιημένης μάσκας και προσώπου, το δεσμευμένο διοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται μεταξύ των τιμών 1.905 ppm και 3.429 ppm. Οι παραπάνω συγκεντρώσεις CO_2 δεν αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία, καθώς ανήκουν στο εύρος των ανεκτών ορίων (Rice et al., 2020; Norbäck et al., 2013). Ωστόσο, η παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπου σε αέρα αυτής της περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα, ενδέχεται να προκαλέσει αισθήματα νύστας, ζαλάδας ή ελαφριάς δυσφορίας και νωθρότητας (Norbäck et al., 2013; Lim et al., 2006; Ong et al., 2020).

Εν κατακλείδι, είναι πραγματικότητα πως δεσμεύεται διοξείδιο του άνθρακα στον χώρο μεταξύ της μάσκας και του προσώπου του χρήστη της, και όσο αυξάνεται η χρονική διάρκεια της συνεχόμενης χρήσης τόσο αυξάνεται και η δέσμευση CO_2, συμπέρασμα το οποίο ωστόσο απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση. Παρ' όλ' αυτά, το δεσμευμένο διοξείδιο του άνθρακα είναι αρκετά χαμηλής συγκέντρωσης, γεγονός το οποίο το καθιστά αβλαβές για την ανθρώπινη υγεία. Με παρατεταμένη ωστόσο χρήση της μάσκας, έχει παρατηρηθεί δυσφορία, η οποία είναι πιθανό να προκαλείται από την επανεισπνοή διοξειδίου του άνθρακα.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Beder A., Büyükkoçak Ü., Sabuncuoğlu H., KeskilZ. A., Keskil S., Neurocirugía, (2008), *Preliminary report on surgical mask induced deoxygenation during major surgery*, Volume 19, Issue 2, Pages 121-126, ISSN 1130-1473, https://doi.org/10.1016/S1130-1473(08)70235-5

Ejaimi G., Sittelnissa A., Saeed. (2017) *An Introduction to Airway Assessment and Management (Concise Airway Anatomy and Pathophysiology),* Ann. Int. Med. Den. Res.; 3(1):AN01-AN07

Lim, E.C.H., Seet, R.C.S., Lee, K.-H., Wilder-Smith, E.P.V., Chuah, B.Y.S. and Ong, B.K.C. (2006), *Headaches and the N95 face-mask amongst healthcare providers*. Acta Neurologica Scandinavica, 113: 199-202. https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2005.00560.x

Maresh CM, Armstrong LE, Kavouras SA, et al., (1997), *Physiological and psychological effects associated with high carbon dioxide levels in healthy men*, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 68(1):41-45.

Norbäck, D., Nordström, K. & Zhao, Z., (2013), *Carbon dioxide (CO2) demand-controlled ventilation in university computer classrooms and possible effects on headache, fatigue and perceived indoor environment: an intervention study*, International Archive of Occupational and Environmental Health, 86, 199–209.

Ong JJY., Bharatendu C., Goh Y., Tang JZY., Sooi KWX., Tan YL., Tan BYQ., Teoh HL., Ong ST., Allen DM., Sharma VK., (2020), *Headaches Associated with Personal Protective Equipment - A Cross-Sectional Study Among Frontline Healthcare Workers During COVID-19*.

Rice, Susan & Rice, A.& Associates, (2020), *Human Health Risk Assessment of CO_2: Survivors of Acute High-Level Exposure and Populations Sensitive to Prolonged Low-Level Exposure*.

Scheid, J.L.; Lupien, S.P.; Ford, G.S.; West, S.L., (2020*), Commentary: Physiological and Psychological Impact of Face Mask Usage during the COVID-19 Pandemic*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 17, 6655, doi:10.3390/ijerph17186655.

Shriram, S., Ramamurthy, K., Ramakrishnan, S., (2019), *Effect of occupant-induced indoor CO2 concentration and bioeffluents on human physiology using a spirometric test, Building and Environment*, Volume149, Pages58-67, ISSN0360-1323, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.015

Weibel, Ewald R., (1984), *The Pathway for Oxygen: Structure and Function in the Mammalian Respiratory System*, Harvard University Press, Cambridge

World Health Organization, (2020), *Mask use in context of COVID-19*.