ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΧΗΜΕΙΑΣ»
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ «ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Μέταλλα και ιχνοστοιχεία. Η σημασία τους για τον ανθρώπινο οργανισμό
Μια πρόταση διδασκαλίας βασικών εννοιών Χημείας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

ΜΙΧΑΗΛ ΓΚΕΚΟΣ
ΧΗΜΙΚΟΣ M.Sc.

ΑΘΗΝΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Μέταλλα και ιχνοστοιχεία. Η σημασία τους για τον ανθρώπινο οργανισμό - Μια πρόταση διδασκαλίας βασικών εννοιών Χημείας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

ΓΚΕΚΟΣ ΜΙΧΑΗΛ

Α.Μ.: 281103

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΣΤΑΜΠΑΚΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δ. Σταμπάκη - Χατζηπαναγιώτη
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήματος Χημείας ΕΚΠΑ

Μ. Μαυρή - Βαβαγιάννη
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήματος Χημείας ΕΚΠΑ

Π. Παρασκευοπούλου
Λέκτορας Τμήματος Χημείας ΕΚΠΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 26/10/2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καθημερινά, οι μαθητές διαβάζουν ετικέτες διαφόρων διατροφικών προϊόντων όπου αναγράφονται, μεταξύ άλλων, τα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία που αυτά περιέχουν. Όμως, οι μαθητές στην πραγματικότητα, γνωρίζουν ελάχιστα για τη δράση των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων και πόσο σημαντικά είναι αυτά για τη σωστή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί ο βιολογικός ρόλος των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό και να παρουσιαστεί μια διδακτική πρόταση, όπου θα διδάσκονται βασικές έννοιες Χημείας και Βιολογίας, βασιζόμενες στη δράση των χημικών αυτών στοιχείων. Δευτερεύων στόχος ήταν να εκτιμηθεί από τους μαθητές η αξία της σωστής και ισορροπημένης διατροφής.

Η σύνθεση του θεωρητικού υλικού στηρίχθηκε σε ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία και είχε σαν κύριο στόχο την καταγραφή των σημαντικότερων, για τον ανθρώπινο οργανισμό, βιολογικών ρόλων των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων, καθώς και των ασθενειών που προκαλούνται από έλλειψη ή περίσσεια τους, ώστε να καταφανεί και να υπογραμμιστεί η σημασία τους στη διατροφή του σύγχρονου ανθρώπου.

Η διδακτική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στη σύνθεση των προτεινόμενων σχεδίων μαθήματος και μιας συνθετικής εργασίας ήταν ο μονόλογος, σε συνδυασμό με την καθοδηγούμενη ανακάλυψη και την ομαδοσυνεργατική.

Εκπονήθηκαν πέντε σχέδια μαθήματος και μια συνθετική εργασία όπου παρουσιάζονται έννοιες Χημείας όπως η ώσμωση, η χημική αντίδραση, η οξειδοαναγωγή, τα σύμπλοκα και η δράση των καταλυτών, μέσα από το βιολογικό ρόλο των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων. Τα σχέδια μαθήματος μπορούν να αξιοποιηθούν κατά τη διδασκαλία των μαθημάτων Χημείας και Βιολογίας της Α΄, Β΄ και Γ΄ Λυκείου.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Συσχέτιση της Χημείας με τη Βιολογία και την Καθημερινή Ζωή

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μέταλλα και ιχνοστοιχεία, ανθρώπινος οργανισμός, ένζυμα, διατροφή, διδακτική πρόταση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση

ABSTRACT

Everyday, students read various labels of nutritional products, showing, among others, the metals and trace elements they contain. However, students actually know little about the effect of metals and trace elements and how important they are for the proper functioning of the human organism.

The purpose of this study was to examine the biological role of metals and trace elements in the human organism and present a teaching proposal, where basic concepts of Chemistry and Biology will be taught, based on the role of these chemical elements. Another purpose was to help students understand the value of a proper and balanced diet.

To write the theoretical part, we were based on greek and international bibliography and our main purpose was to record the most important biological roles of metals and trace elements, as long as the diseases caused by lack or excess, in order to highlight their importance in the diet of modern man.

In the formation of the proposed lesson plans and the project, we used the following teaching methods: monologue, along with the guided discovery and group cooperative learning.

Finally, we propose five lesson plans and a project, where we present chemical concepts, such as osmosis, chemical reaction, redox, complexes and the action of catalysts, through the biological role of metals and traces. The lesson plans can be used in the teaching process of Chemistry and Biology in the first, second and third grade of high school.

SUBJECT AREA: Correlation between Chemistry, Biology and Everyday Life

KEYWORDS: metals and trace elements, human organism, enzymes, diet, teaching proposal, secondary education

Στη φίλη μου Μαρία και στην Όλγα….

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα. Σταμπάκη - Χατζηπαναγιώτη Δέσποινα, πρώτον για την προθυμία της να αναλάβει την επίβλεψη της παρούσας εργασίας, δεύτερον για την άψογη συνεργασία μας και τρίτον για την αμέριστη βοήθεια και υποστήριξη που μου πρόσφερε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κα. Μ. Μαυρή – Βαβαγιάννη και κα. Π. Παρασκευοπούλου, που δέχτηκαν να αξιολογήσουν την παρούσα εργασία, τη Διευθύντρια του προγράμματος ΔιΧηΝΕΤ, κα. Χ. Τζουγκράκη, που μου έδωσε την ευκαιρία να παρακολουθήσω το συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, καθώς και όλους τους καθηγητές του ΔιΧηΝΕΤ, για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν.

Ξεχωριστές ευχαριστίες ανήκουν στις υπεύθυνες της γραμματείας του ΔιΧηΝΕΤ κα. Κ. Πασχαλίδου και κα. Ε. Σακκή, αλλά και την κα. Κ. Σάλτα, που ήταν πάντα πρόθυμες να μου προσφέρουν τη βοήθεια τους καθ’ όλη τη διάρκεια φοίτησης μου, καθώς και στους συμφοιτητές μου για την αρμονική συνεργασία που είχαμε και το πολύ καλό κλίμα.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συμφοιτήτρια και φίλη μου κα. Μαρία Χουλιαροπούλου, τόσο για την έμπρακτη βοήθεια της, όσο και για την ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και τη φίλη μου Όλγα Φουντουλάκη για την συμπαράσταση της. Πραγματικά τις ευχαριστώ, γιατί χωρίς τη βοήθεια τους η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήταν αμφίβολη.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου, για την αμέριστη υλική και ψυχολογική συμπαράσταση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια όλων των φοιτητικών μου ετών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 20
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 21
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 24
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή σε επιλεγμένες μορφές και μεθόδους διδασκαλίας 24
1.1 Μέθοδοι Διδασκαλίας 24
1.1.1 Η θεωρία του εποικοδομητισμού 24
1.1.2 Διεπιστημονικότητα και Διαθεματικότητα 28
1.1.3 Η Μέθοδος project (συνθετική εργασία) 30
1.1.4 Η καθοδηγούμενη διερεύνηση 33
1.1.5 Το πείραμα 35
1.1.6 Η Μελέτη πεδίου (field research)– Η Επίσκεψη στο πεδίο (field trip) – Η Εργασία στο πεδίου (fieldwork) 37
1.2 Μορφές Διδασκαλίας 38
1.2.1 Μονολεκτικές μορφές διδασκαλίας 38
1.2.2 Διαλογικές μορφές διδασκαλίας 39
1.2.3 Η μετωπική διδασκαλία 40
1.2.4 Η Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία (διδασκαλία σε ομάδες) 41
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία 44
2.1 Μέταλλα και αμέταλλα 44
2.2 Η παρουσία των χημικών στοιχείων στα βιολογικά συστήματα 46
2.3 Μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία στον ανθρώπινο οργανισμό 46
2.3.1 Μακροστοιχεία 47
2.3.2 Ιχνοστοιχεία 47
2.4 Πως προσλαμβάνει ο οργανισμός τα μακροστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία 48
2.5 Επάρκεια και ευεργετική δράση των ιχνοστοιχείων 49
2.6 Φυσικοχημικές ιδιότητες και βιολογική δράση των στοιχείων 51
2.6.1 Μέγεθος και φορτίο 51
2.6.2 Γεωμετρία 51
2.6.3 Οξύτητα κατά Lewis 52
2.6.4 Μεταβολή οξειδωτικής κατάστασης 52
2.6.5 Συμπλεκτική ικανότητα 54
2.7 Ένζυμα 55
2.7.1 Ο ρόλος των μεταλλικών ιόντων κατά τις ενζυματικές δράσεις 59
2.8 Μεταλλοπρωτεΐνες 63
2.8.1 Μεταλλοένζυμα 63
2.8.2 Οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα 64
2.8.3 Μη οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα 66
2.9 Διαλυτότητα αλάτων 67
2.10 Ωσμωτική ισορροπία και διάδοση βιολογικών σημάτων 68
2.11 Η φυσική επιλογή των στοιχείων από τους βιολογικούς οργανισμούς 68
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Η βιολογική δράση των μακροστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό 70
3.1 Κάλιο και Νάτριο 70
3.1.1 Βιολογική δράση καλίου και νατρίου 70
3.1.2 Νευρικό ερέθισμα και Na^+/K^+ 72

3.1.3 Νευρικό σύστημα 73
3.1.4 Νευρικά κύτταρα 74
3.1.4.1 Η λειτουργία των νευρικών κυττάρων 76
3.1.5 Νευρική ώση 77
3.1.6 Συνάψεις και μεταφορά του μηνύματος 83
3.1.7 Τροφές που περιέχουν νάτριο και κάλιο 85
3.1.8 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια νατρίου και καλίου 86
3.2 Ασβέστιο 87
3.2.1 Βιολογική δράση ασβεστίου 87
3.2.2 Σύμπλοκα – πρωτεΐνες ασβεστίου 89
3.2.3 Μυϊκή συστολή και Ca^{2+} 89
3.2.4 Μυϊκός ιστός 90
3.2.5 Μυϊκή συστολή 95
3.2.6 Ο ρόλος των Ca^{2+} στη μυϊκή συστολή 97
3.2.7 Το φαινόμενο της ώσμωσης και ωσμωτική πίεση 100
3.2.8 Τροφές που περιέχουν ασβέστιο 101
3.2.9 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια ασβεστίου 102
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Η βιολογική δράση των ιχνοστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό 103
4.1 Χαλκός 103
4.1.1 Βιολογική δράση χαλκού 103
4.1.2 Ο ρόλος του χαλκού στην κυτταρική αναπνοή 104
4.1.3 Μιτοχόνδρια 105
4.1.4 Κυτταρική αναπνοή 106
4.1.5 Αερόβια και αναερόβια αναπνοή 109
4.1.6 Αερόβια αναπνοή και ο ρόλος της κυτοχρωμικής οξειδάσης 110
4.1.7 Δομή και δράση κυτοχρωμικής οξειδάσης – Ο ρόλος του χαλκού 113
4.1.8 Τροφές που περιέχουν χαλκό 116
4.1.9 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια χαλκού 116
4.2 Μαγγάνιο 117
4.2.1 Βιολογική δράση μαγγανίου 117
4.2.2 Το μαγγάνιο στη σουπεροξειδική δισμουτάση 118
4.2.3 Δομή και δράση της σουπεροξειδικής δισμουτάσης 119
4.2.4 Άλλες πρωτεΐνες μαγγανίου 121
4.2.5 Τροφές που περιέχουν μαγγάνιο 122
4.2.6 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια μαγγανίου 122
4.3 Σίδηρος 123
4.3.1 Βιολογική δράση σιδήρου 123
4.3.2 Ο σίδηρος ως μεταφορέας οξυγόνου 124
4.3.3 Η ανταγωνιστική δράση του CO στην αιμοσφαιρίνη 127
4.3.4 Ο σίδηρος ως μεταφορέας ηλεκτρονίων 128
4.3.5 Τροφές που περιέχουν σίδηρο 129
4.3.6 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια σιδήρου 129

4.3.7 Ασθένειες που οφείλονται σε γενετικά διαφοροποιημένες αιμοσφαιρίνες 129
4.3.7.1 Δρεπανοκυτταρική αναιμία 131
4.3.7.2 Θαλασσαιμίες 132
4.4 Ψευδάργυρος 132
4.4.1 Βιολογική δράση ψευδαργύρου 132
4.4.2 Ο ψευδάργυρος ως οξύ κατά Lewis 133
4.4.3 Ο ψευδάργυρος στις καρβοξυπεπτιδάσες 134
4.4.4 Ο ψευδάργυρος στην καρβονική ανυδράση 137
4.4.5 Τροφές που περιέχουν ψευδάργυρο 139
4.4.6 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια ψευδαργύρου 139
4.5 Βανάδιο 140
4.5.1 Βιολογική δράση βαναδίου 140
4.5.2 Τροφές που περιέχουν βανάδιο 140
4.5.3 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια βαναδίου 140
4.6 Χρώμιο 141
4.6.1 Βιολογική δράση χρωμίου 141
4.6.2 Το χρώμιο στο μεταβολισμό των σακχάρων 141
4.6.3 Τροφές που περιέχουν χρώμιο 142
4.6.4 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια χρωμίου 142
4.7 Κοβάλτιο 142
4.7.1 Βιολογική δράση κοβαλτίου 142
4.7.2 Το κοβάλτιο στη βιταμίνη B_{12} 142
4.7.3 Τροφές που περιέχουν κοβάλτιο 146
4.7.4 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια κοβαλτίου 146
4.8 Σελήνιο 146
4.8.1 Βιολογική δράση σεληνίου 146
4.8.2 Το σελήνιο στην υπεροξειδάση της γλουταθειόνης 148
4.8.3 Τροφές που περιέχουν σελήνιο 150
4.8.4 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια σεληνίου 150
4.9 Μολυβδαίνιο 151
4.9.1 Βιολογική δράση μολυβδαινίου 151
4.9.2 Το μολυβδαίνιο στην οξειδάση και αφυδρογονάση της ξανθίνης 152
4.9.3 Το μολυβδαίνιο στην οξειδάση των αλδεϋδών και οξειδάση των θειωδών 153
4.9.4 Τροφές που περιέχουν μολυβδαίνιο 154
4.9.5 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια μολυβδαινίου 154
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ 155
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Σχέδια μαθήματος 155
5.1 Σχέδιο μαθήματος: Μυϊκή συστολή 155
5.1.1 Φύλλο εργασίας 160
5.1.2 Φύλλο εργασίας πειράματος 163
5.1.3 Φύλλο αξιολόγησης 166
5.2 Σχέδιο μαθήματος: Νευρικό ερέθισμα 171
5.2.1 Φύλλο εργασίας 177
5.2.2 Φύλλο αξιολόγησης 186
5.3 Σχέδιο μαθήματος: Ο χαλκός σε οξειδοαναγωγικά ένζυμα 191

5.3.1 Φύλλο εργασίας 198
5.3.2 Φύλλα εργασίας πειραμάτων 201
5.3.3 Φύλλο αξιολόγησης 207
5.4 Σχέδιο μαθήματος: Το μαγγάνιο σε οξειδοαναγωγικά ένζυμα 214
5.4.1 Φύλλο εργασίας 219
5.4.2 Φύλλο εργασίας πειράματος 220
5.4.3 Φύλλο αξιολόγησης 223
5.5 Σχέδιο μαθήματος: Η δράση των ιχνοστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό 227
5.5.1 Φύλλο εργασίας 233
5.5.2 Φύλλο εργασίας πειράματος 236
5.5.3 Φύλλο αξιολόγησης 238
5.6 Συνθετική εργασία - Project 242
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 245
ΑΝΑΦΟΡΕΣ 275

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 **Διάγραμμα συσχετισμού της συγκέντρωσης του ιχνοστοιχείου και της λειτουργικότητας.** 50

Σχήμα 2 **Κατάταξη της βιολογικής σημασίας συμπλόκων.** 62

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1	**Τα O, N και S είναι τα συνήθη άτομα δότες των βιολογικών μορίων. Η γεωμετρία των συμπλόκων εξαρτάται από το μέταλλο και τη δομή των βιομορίων.**	60
Εικόνα 2	**Σχηματική αναπαράσταση ενός ενεργού κέντρου μιας μεταλλοπρωτεΐνης. Το ενεργό κέντρο, που συνδέεται με το μέταλλο, είναι αποτέλεσμα της ιδιαίτερης δομής που αποκτά το βιομόριο.**	61
Εικόνα 3	**Συντακτικός τύπος φλαβίνης.**	64
Εικόνα 4	**Συντακτικός τύπος ιμιδαζολίου.**	67
Εικόνα 5	**Τμήματα μαγνητίτη που βρίσκονται στο ράμφος των περιστεριών, λειτουργούν σαν μαγνήτες και τα βοηθούν να προσανατολιστούν.**	68
Εικόνα 6	**Αναπαράσταση λειτουργίας αντλίας Na^+/K^+.**	72
Εικόνα 7	**Ανοιχτή (δεξιά) και κλειστή (αριστερή) διαμόρφωση καναλιού διέλευσης K^+. Αλλαγή στη διαφορά δυναμικού οδηγεί από τη μια διαμόρφωση στην άλλη.**	73
Εικόνα 8	**Κάτοψη καναλιού διέλευσης K^+. Το μωβ σφαιρίδιο στο κέντρο είναι το K^+.**	73
Εικόνα 9	**Ατομικές ακτίνες διαφόρων κατιόντων και ανιόντων.**	73
Εικόνα 10	**Τα δύο είδη κυττάρων του νευρικού ιστού.**	74
Εικόνα 11	**Η δομή του νευρώνα.**	75
Εικόνα 12	**Οι συγκεντρώσεις των ιόντων στον ενδοκυττάριο και τον εξωκυττάριο χώρο.**	77
Εικόνα 13	**Η πολικότητα της κυτταρικής μεμβράνης κατά μήκος του νευρώνα.**	78
Εικόνα 14	**Η πρωτεϊνική αντλία στην κυτταρική μεμβράνη του νευρώνα χρησιμοποιεί ενέργεια από το ATP για αποβάλλει Na^+ έξω από το κύτταρο και να εισάγει K^+ εντός του κυττάρου.**	78
Εικόνα 15	**Κατάσταση των καναλιών Na^+ και των καναλιών K^+ σε δυναμικό ηρεμίας.**	79
Εικόνα 16	**Στάδια μεταβολής του δυναμικού της μεμβράνης μετά από δράση ερεθίσματος.**	80
Εικόνα 17(α),17(β), 17(γ)	**Μετάδοση της νευρικής ώσης.**	81
Εικόνα 18	**ε. Μεταβολές στο δυναμικό.**	82
	στ. Μεταβολές στη διαπερατότητα των Na^+ και K^+.	
Εικόνα 19	**Συνάψεις μεταξύ νευρώνων.**	83
Εικόνα 20	**Σύναψη μεταξύ νευρώνα και μυός.**	83
Εικόνα 21	**Ακετυλοχολίνη (αριστερά), επινεφρίνη (δεξιά).**	83
Εικόνα 22	**Συναπτική σχισμή και νευροδιαβιβαστές.**	84
Εικόνα 23	**Διάχυση νευροδιαβιβαστή στη συναπτική σχισμή και πρόσδεσή του στους υποδοχείς του μετασυναπτικού άκρου.**	85
Εικόνα 24	**Κολλαγόνο και υδροξυαπατίτης συνθέτουν τα οστά.**	88

Εικόνα 25	**Δισδιάστατη (πάνω) και τρισδιάστατη (κάτω) δομή του υδροξυαπατίτη.**	88
Εικόνα 26	**Παρβαλβουμίνη που έχει δεσμεύσει δύο ιόντα Ca^{2+}.**	89
Εικόνα 27	**Δομή του σκελετικού μυ.**	91
Εικόνα 28	**Δομή της μυϊκής ίνας.**	92
Εικόνα 29	**Το μόριο της μυοσίνης.**	92
Εικόνα 30	**Το σύμπλεγμα των πρωτεϊνών ακτίνη, τροπομυοσίνη και τροπονίνη.**	92
Εικόνα 31	**Δομή σαρκομεριδίου.**	93
Εικόνα 32	**Δομή ενός μυϊκού ινιδίου και άποψη ενός σαρκομεριδίου.**	94
Εικόνα 33	**Σχηματική απεικόνιση της σχέσης και της αλληλεπίδρασης ακτίνης και μυοσίνης.**	95
Εικόνα 34	**Σχηματική απεικόνιση των τεσσάρων σταδίων της μυϊκής συστολής.**	96
Εικόνα 35	**Ο κινητήρας μυοσίνης παράγει μηχανικό έργο ωθώντας μια ίνα ακτίνης με κυκλικό τρόπο: (1) σύνδεση με το ινίδιο, (2) ώθηση του ινιδίου, (3) απελευθέρωση του ινιδίου, και (4) ανεφοδιασμός (ένα μόριο ATP).**	97
Εικόνα 36	**Πρωτεΐνη που λειτουργεί ως κανάλι και επιτρέπει μόνο σε κατιόντα Ca (II) να εισέλθουν στο κύτταρο.**	98
Εικόνα 37	**Βήμα προς βήμα η μυϊκή συστολή. Από τη μετάδοση του νευρικού ερεθίσματος μέχρι και το τέλος της συστολής.**	99
Εικόνα 38	**Το φαινόμενο της ώσμωσης.**	100
Εικόνα 39	**Τρισδιάστατη μορφή της τυροσινάσης.**	104
Εικόνα 40	**Τρισδιάστατη μορφή της σερουλοπλασμίνης.**	104
Εικόνα 41	**Δομή του μιτοχονδρίου.**	105
Εικόνα 42	**Δομή του ATP: αδενίνη, ριβόζη, τριφωσφορική ομάδα.**	106
Εικόνα 43	**Δημιουργία και διάσπαση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP).**	107
Εικόνα 44	**Τα τρία στάδια της οξείδωσης των τροφών για παραγωγή ενέργειας.**	109
Εικόνα 45	**Σχεδιαγραμματική απεικόνιση της πορείας που ακολουθείται για την παραγωγή ενέργειας (ATP) στο κύτταρο.**	111
Εικόνα 46	**Σύμπλοκο III: Κυτοχρωμική οξειδάση.**	112
Εικόνα 47	**Η πλήρης οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης αποδίδει 36 μόρια ATP.**	113
Εικόνα 48	**Στα αριστερά η πορεία δράσης του συμπλέγματος της κυτοχρωμικής οξειδάσης και δεξιά η δομή του.**	115
Εικόνα 49	**Η δομή του κέντρου CuA.**	115
Εικόνα 50	**(α) Η ανθρώπινη μιτοχονδριακή Mn-SOD, και (β) το ενεργό της κέντρο.**	120

Εικόνα 51	**Τριτοταγής δομή μυοσφαιρίνης σε τρισδιάστατη (αριστερά) και δισδιάστατη (δεξιά) μορφή. Και στις δύο διακρίνεται η ομάδα της αίμης.**	125
Εικόνα 52	**Τεταρτοταγής δομή αιμοσφαιρίνης (αριστερά) και η αίμη (δεξιά), όπου φαίνεται το άτομο σιδήρου, συμπλεγμένο με την πορφυρίνη.**	126
Εικόνα 53	**Παρουσιάζεται η μεταφορά του οξυγόνου μέσω του αίματος.**	126
Εικόνα 54	**Τρισδιάστατη δομή κυτοχρώματος c.**	128
Εικόνα 55	**Τετραεδρική δομή καρβοξυπεπτιδάσης Α (αριστερά) και το καταλυτικό της κέντρο (δεξιά).**	135
Εικόνα 56	**Τετραεδρική δομή καρβοξυπεπτιδάσης Β (αριστερά) και το καταλυτικό της κέντρο (δεξιά).**	135
Εικόνα 57	**α) Το ένζυμο χωρίς υπόστρωμα, β) Το ένζυμο με υπόστρωμα. Τρία αμινοξέα (κόκκινα) άλλαξαν θέση προκειμένου να πλησιάσουν το υπόστρωμα.**	136
Εικόνα 58	**Αντίδραση υδρόλυσης πολυπεπτιδίου καταλυόμενη από το ένζυμο καρβοξυπεπτιδάση.**	136
Εικόνα 59	**Τετραεδρική δομή καρβονικής ανυδράσης (αριστερά) και το ενεργό κέντρο της (δεξιά) όπου φαίνεται το άτομο Zn συνδεδεμένο με τις τρεις ιστιδίνες.**	137
Εικόνα 60	**Η δράση της καρβονικής ανυδράσης εντός του κυττάρου και η ρύθμιση του pH του αίματος.**	138
Εικόνα 61	**Μηχανισμός δράσης καρβονικής ανυδράσης σε τέσσερα στάδια.**	138
Εικόνα 62	**Μηχανισμός δράσης του χρωμίου. Σύνδεση της ινσουλίνης στον κατάλληλο υποδοχέα ενεργοποιεί τη δράση του χρωμίου το οποίο με τη σειρά του ενισχύει την ινσουλίνη, όπου Apo-LC = Πεπτίδιο.**	141
Εικόνα 63	**Συντακτικός τύπος του συνενζύμου Β12.**	143
Εικόνα 64	**Δακτύλιος κορρίνης.**	144
Εικόνα 65	**Μηχανισμός καταστροφής της κυτταρικής μεμβράνης από τις ελεύθερες ρίζες.**	147
Εικόνα 66	**α) Αμινοξύ κυστεΐνη, β) Αμινοξύ σεληνοκυστεΐνη, γ) Αμινοξύ μεθειονίνη, δ) Αμινοξύ σεληνομεθειονίνη.**	148
Εικόνα 67	**Τεταρτοταγής δομή υπεροξειδάσης της γλουταθειόνης και μηχανισμός αναγωγής ομάδας υπεροξειδιου.**	149
Εικόνα 68	**Ανηγμένη μονομερής γλουταθειόνη (GSH).**	150
Εικόνα 69	**Δισουλφίδιο της γλουταθειόνης (GS – GS).**	150
Εικόνα 70	**Δομή συνενζύμου μολυβδαινίου (Moco).**	152

Εικόνα 71 **Οξείδωση της ξανθίνης προς ουρικό οξύ.** 153

Εικόνα 72 **Το ενεργό κέντρο της οξειδάσης των θειωδών.** 153

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	**Περιοδικός πίνακας των στοιχείων όπου παρουσιάζονται τα μέταλλα, τα αμέταλλα και τα μεταλλοειδή.**	44
Πίνακας 2	**Περιοδικός πίνακας των στοιχείων όπου επισημαίνονται οι διάφορες ομάδες των βιολογικού ενδιαφέροντος στοιχείων.**	46
Πίνακας 3	**Σύσταση ανθρώπινου σώματος σε χημικά στοιχεία.**	48
Πίνακας 4	**Δυναμικά οξειδοαναγωγής των κυριότερων μεταλλικών ιχνοστοιχείων για σχηματισμό των αντίστοιχων υδροξειδίων σε pH=7.**	53
Πίνακας 5	**Ενδεικτικές τιμές των συγκεντρώσεων των ιόντων στον εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο χώρο.**	77

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τη Χημεία τη βλέπουμε, την ακούμε, τη μυρίζουμε, την αισθανόμαστε και τη γευόμαστε καθημερινά, δηλαδή η Χημεία δεν είναι απλά μέσα στη ζωή, είναι η ίδια η ζωή. Αυτό το μήνυμα πρέπει να περάσει στους μαθητές, από το πρώτο μάθημα, στο οποίο θα έρθουν σε επαφή με το μάθημα της Χημείας. Γι' αυτό θα πρέπει να επισημαίνουμε στους μαθητές γεγονότα της καθημερινής ζωής, που έχουν άμεση σχέση με τη Χημεία. Για παράδειγμα, το μαγείρεμα των τροφίμων είναι μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Τα μεγάλα μόρια των τροφίμων (πρωτεΐνες, σάκχαρα, λίπη κ.ά.), μέσω χημικών και βιολογικών διεργασιών, μετατρέπονται σε απλούστερα μόρια στον οργανισμό μας, που μπορούν να αξιοποιηθούν (π.χ. αμινοξέα, λιπαρά οξέα, ιχνοστοιχεία κ.ά.). Τα ποικίλα προϊόντα των διεργασιών αυτών φτάνουν με το αίμα στους διάφορους ιστούς, όπου αξιοποιούνται τα χρήσιμα συστατικά και αποβάλλονται τα άχρηστα. Η αξιοποίηση αυτή βέβαια γίνεται και αυτή με χημικές διεργασίες. Η καύση, για παράδειγμα, των τροφίμων περιλαμβάνει μια σειρά από πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις, αποτέλεσμα των οποίων είναι να αντλούν οι ζωντανοί οργανισμοί, την απαραίτητη ενέργεια που χρειάζονται, για τις διάφορες ανάγκες του οργανισμού (π.χ. κίνηση).

Για να τονίσει ο εκπαιδευτικός τη σπουδαιότητα της Χημείας, μπορεί να αναφέρει το ρόλο της, τόσο στις άλλες επιστήμες, όπως στην Ιατρική, στη Φαρμακευτική, στη Γεωπονία, στη Βιολογία και τη Βιοχημεία, στη Γεωλογία, ακόμη και στην Αστρονομία και την Αστροχημεία, όσο και στη βιομηχανία και την τεχνολογία.

Στη σύγχρονη κοινωνία υπάρχουν προβλήματα ζωτική σημασίας, όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος, όπου οι πολίτες εμπλέκονται έμμεσα, άλλα και καθημερινά προβλήματα που αντιμετωπίζει κάθε άνθρωπος, των οποίων η ορθολογιστική αντιμετώπιση απαιτεί ορισμένες φορές γνώσεις Χημείας. Δεν θα πρέπει οι πολίτες να δέχονται παθητικά τη σωρεία διαφημιστικών τεχνασμάτων και «σλόγκαν», που αφορούν τρόφιμα, καλλυντικά, φάρμακα κλπ. Θα πρέπει να μάθουν, μέσα από τη διδασκαλία του μαθήματος της Χημείας, να αντιμετωπίζουν τις περιπτώσεις αυτές με κριτικό πνεύμα και να προσεγγίζουν ανάλογα προβλήματα με ρεαλισμό.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός – Πρωτοτυπία της εργασίας

Οι μαθητές όλων των ηλικιών έρχονται καθημερινά σε επαφή με διάφορα διατροφικά προϊόντα, κατά κύριο λόγο στο σπίτι τους αλλά και αλλού, όπως στο κυλικείο του σχολείου τους, στο σούπερ μάρκετ και στα περίπτερα. Τα προϊόντα διαθέτουν στις συσκευασίες τους ετικέτες, όπου αναγράφονται τα συστατικά που περιέχουν και οι ποσότητες αυτών. Στις περισσότερες ετικέτες αναγράφονται οι ποσότητες των πρωτεϊνών, των υδατανθράκων, των λιπών, των βιταμινών, των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων. Πέρα από τα προϊόντα διατροφής, οι μαθητές, κυρίως Λυκείου, προκειμένου να ανταπεξέλθουν στους απαιτητικούς ρυθμούς που χαρακτηρίζουν το σύγχρονο σχολείο, καταφεύγουν σε συμπληρώματα διατροφής που περιέχουν πλήθος βιταμινών, μετάλλων και ιχνοστοιχείων, τα οποία διαφημίζεται συνήθως ότι προσφέρουν ευεξία, ενέργεια και άλλες ευεργετικές δράσεις. Οι μαθητές, αν και είναι εξοικειωμένοι σε ένα βαθμό με τις πρωτεΐνες, τους υδατάνθρακες, τα λίπη και τις βιταμίνες, τόσο από το σχολείο (Ενδεικτικά αναφέρονται: Χημεία Γ' Γυμνασίου, Χημεία Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας, Βιολογία Γ' Γυμνασίου, Βιολογία Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας και Βιοχημεία Γ' Λυκείου), όσο και από την καθημερινότητα τους, κατέχουν μηδαμινές γνώσεις για τη σημασία των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων για τον οργανισμό τους [1]. Προκύπτουν λοιπόν τα εξής ερωτήματα:

1^{ον} Έχουν οι μαθητές την ικανότητα να αναγνωρίσουν τη σημασία των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων που παίρνουν από τις τροφές τους και τα συμπληρώματα διατροφής;

2^{ον} Μπορούν να αποφασίσουν πότε ένα διατροφικό προϊόν περιέχει απαραίτητα συστατικά για τον οργανισμό τους και πότε όχι;

Ερωτήματα σημαντικά, τα οποία οι μαθητές θα πρέπει να μπορούν να απαντήσουν, ειδικά τη σημερινή εποχή, όπου βομβαρδίζονται από πλήθος πληροφοριών αμφιβόλου προέλευσης και εγκυρότητας.

Είναι προφανές, ότι τα μαθήματα της Χημείας και της Βιολογίας είναι τα πλέον κατάλληλα για να διδαχθούν οι μαθητές τα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία, καθώς

και τους λόγους που τα κάνουν απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Είμαστε πεπεισμένοι ότι αποτελεί απαραίτητη γνώση για τους μαθητές, και μόνο θα τους ωφελήσει, γιατί θα κατανοήσουν άμεσα τις ευεργετικές ιδιότητες των συστατικών αυτών, καθώς και τις δυσμενείς επιδράσεις που μπορεί να προκαλέσει η έλλειψη ή η περίσσειά τους. Παράλληλα θα αποτελέσει κίνητρο για την διερεύνηση από τους μαθητές κι άλλων θεμάτων που σχετίζονται με τη διατροφή τους, την υγεία τους και τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, μέσα από το πρίσμα της Χημείας και της Βιολογίας και θα συνδέσουν τις δύο επιστήμες με την καθημερινή τους ζωή [2,3].

Η παρούσα εργασία θα αποτελέσει βοήθημα για κάθε εκπαιδευτικό δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που διδάσκει Χημεία και Βιολογία. Θα μπορέσει να διδάξει με έναν ιδιαίτερα ελκυστικό για τους μαθητές τρόπο, μέσα από τη Χημεία, και τη βιολογική σημασία των στοιχείων αυτών καθώς και άλλα θέματα που αφορούν τη Χημεία και τη Βιολογία, όπως την ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων, το χημικό δεσμό, τη χημική αντίδραση, τη χημική ισορροπία, τη χημική κινητική, την οξειδοαναγωγή, τη στερεοϊσομέρεια, τη λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών, τη λειτουργία των ενζύμων, τη μεταφορά του οξυγόνου, το μεταβολισμό, τη σύσταση και την κατασκευή των οστών, τη λειτουργία των μυών κ.α.

Πριν την επιλογή του θέματος προηγήθηκε βιβλιογραφική έρευνα και παρατηρήθηκε ότι δε βρέθηκε εργασία που να έχει ασχοληθεί συνολικά με τη σημασία των μετάλλων και των ιχνοστοιχείων στη λειτουργία του ανθρωπίνου σώματος. Υπάρχουν εργασίες που έχουν ερευνήσει το βιοχημικό ρόλο μικρού αριθμού μεταλλικών ιόντων στις πρωτεΐνες και άλλα βιολογικά μόρια [4,5], ενώ αρκετές εργασίες έχουν μελετήσει το ρόλο κάθε μετάλλου στη λειτουργία των ενζύμων ξεχωριστά [6,7,8,9]. Επίσης, δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία εργασία που να εντάσσει τη βιοχημεία των συστατικών αυτών στη διδακτική διαδικασία, εκτός από εργασίες που προσεγγίζουν διδακτικά γενικά τα χημικά στοιχεία [10,11,12] και κάποιες που παρουσιάζουν τη δράση τους πολύ επιφανειακά [13,14]. Αυτό το κενό έχει σαν στόχο να καλύψει η διπλωματική αυτή εργασία.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι:

1. Να ερευνηθεί βιβλιογραφικά και σε επίπεδο μικρόκοσμου η σημασία των κυριότερων μετάλλων και ιχνοστοιχείων (K, Na, Ca, Mg, V, Fe, Co, Zn, Se, Mo, Cu, Cr, Mn,) για τον ανθρώπινο οργανισμό.
2. Να παρουσιαστούν οι λειτουργίες του οργανισμού ως αποτέλεσμα βιοχημικών διεργασιών, έτσι ώστε να αντιληφθούν οι μαθητές πόσο απαραίτητη είναι η Χημεία για την κατανόηση τους.
3. Να μπορούν οι μαθητές να συνδέουν τα αναγραφόμενα στις ετικέτες με τις ανάγκες και τις λειτουργίες του σώματος τους.
4. Να αναγνωρίζουν οι μαθητές τη σημασία της σωστής διατροφής.
5. Να προταθεί η διδασκαλία μέρους της σχολικής ύλης Χημείας και Βιολογίας μέσω θεμάτων της χημείας των μετάλλων και ιχνοστοιχείων του ανθρωπίνου σώματος.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή σε επιλεγμένες μορφές και μεθόδους διδασκαλίας

1.1 Μέθοδοι Διδασκαλίας

1.1.1 Η θεωρία του εποικοδομητισμού

Ο μαθητής, όταν έρχεται σε επαφή με τις γνώσεις της Χημείας του Γυμνασίου, έχει ήδη κατακτήσει ένα εννοιολογικό πλαίσιο στηριγμένο σε εμπειρίες από την καθημερινή του ζωή, σε προϋπάρχουσες γνώσεις και σε αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου, τις οποίες έχει ήδη οικοδομήσει με βάση τις προσλαμβάνουσες παραστάσεις του.

Η διαδικασία με την οποία η συγκρότηση και η οικοδόμηση της γνώσης στηρίζεται στην αλληλεπίδραση της αισθητηριακής εμπειρίας και της λογικής ονομάζεται εποικοδομητισμός [15].

Σύμφωνα με τη θεωρία του εποικοδομητισμού, η γνώση αποτελεί ανθρώπινο κατασκεύασμα και οικοδομείται από το ίδιο το άτομο, το οποίο συμμετέχοντας ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία, χρησιμοποιεί τις προϋπάρχουσες γνώσεις για να οικοδομήσει πάνω σε αυτές καινούριες. Έτσι, η ερμηνεία ενός φαινομένου δεν εξαρτάται μόνο από τα δικά του χαρακτηριστικά, αλλά και από τις αναλύσεις που κάνει το άτομο για να τις προσεγγίσει. Η γνώση αποτελεί επομένως νοητική κατασκευή, δεν υπάρχει ανεξάρτητα από αυτόν που μαθαίνει κι έτσι δεν είναι μοναδική και κοινή για όλους τους ανθρώπους. Σε επίπεδο σχολείου, ο εποικοδομητισμός υποστηρίζει ότι οι μαθητές φέρουν ήδη συγκεκριμένες αντιλήψεις για τα φαινόμενα που εξετάζουν οι επιστήμες, οι οποίες μπορεί να μην είναι σύμφωνες με αυτό που έχει οριστεί ως επιστημονική γνώση, τη γνώση δηλαδή που είναι κατασκευασμένη από μία κοινότητα επιστημόνων. Έτσι, ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να ανακαλύψει τις προϋπάρχουσες γνώσεις των μαθητών (παρανοήσεις) και να διαμορφώσει τη

διδακτική του μέθοδο με σκοπό την αναδιαμόρφωση των λανθασμένων ιδεών τους [16]. Ως προς τις φυσικές επιστήμες, η θεωρία του εποικοδομητισμού βρίσκει μεγάλη εφαρμογή. Οι μαθητές «κουβαλούν» από την καθημερινή τους ζωή πολλές γνωστικές κατασκευές, τις οποίες ο καθηγητής πρέπει να φέρει στο φως και να ανακατασκευάσει σύμφωνα με τα επιστημονικά δεδομένα, προσφέροντας παράλληλα δυνατότητες για δραστηριότητες που θα βοηθήσουν το μαθητή να οικοδομήσει και να εμπεδώσει τη νέα γνώση [16,17].

Η εποικοδομητική προσέγγιση της διδασκαλίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:

1. Φάση του προσανατολισμού

Η φάση αυτή περιλαμβάνει δύο βασικά στοιχεία:

- τη διέγερση του ενδιαφέροντος και της περιέργειας του μαθητή,

- την έναρξη της διαδικασίας αναγνώρισης ιδεών, με αφορμή τα υλικά που παρουσιάστηκαν στην τάξη. Με την έναρξη του μαθήματος, ο εκπαιδευτικός εξηγεί στους μαθητές τι πρόκειται να επακολουθήσει, ώστε να είναι ενήμεροι και να αφοσιωθούν καλύτερα στις δραστηριότητες που οι ίδιοι θα διεξάγουν. Η διδασκαλία στη φάση αυτή μπορεί να αρχίσει με την παρατήρηση ενός φαινομένου, την παρουσίαση αντικειμένων κ.α. Ο ρόλος του καθηγητή περιορίζεται στο να εισάγει τα παιδιά στις νέες έννοιες, διεγείροντας τις αισθήσεις και τη φαντασία τους, και να τα προετοιμάσει για αυτά που πρόκειται να ακολουθήσουν.

2. Φάση της ανάδειξης των ιδεών των μαθητών

Στη φάση αυτή, οι μαθητές ενθαρρύνονται να δομήσουν, να οργανώσουν και να εκφράσουν (προφορικά ή γραπτά) τις απόψεις και τις ιδέες που τους δημιουργήθηκαν κατά τη φάση του προσανατολισμού και να τις συγκρίνουν με αυτές των συμμαθητών τους. Η ανάδειξη μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από κατάλληλες ερωτήσεις, ερωτηματολόγια, ατομικές εργασίες και υποθετικά πειράματα. Ο καθηγητής ανακαλύπτει τι σκέπτονται οι μαθητές και προγραμματίζει ανάλογα τη διδασκαλία του. Για την ανάδειξη των ιδεών, οι μαθητές εργάζονται στην αρχή ατομικά και στη συνέχεια σε ομάδες, όπου

ενθαρρύνεται η συζήτηση και η ανταλλαγή των ιδεών. Τέλος, ο καθηγητής συγκεντρώνει τις απόψεις τους, τις καταγράφει και τις κωδικοποιεί.

3. Φάση αναδόμησης των ιδεών

Επιδίωξη του καθηγητή σε αυτή τη φάση είναι η μετατόπιση των μαθητών από τις δικές τους ιδέες σε άλλες, επιστημονικά σωστές. Οι μαθητές ενθαρρύνονται να ελέγξουν τις ιδέες τους, με σκοπό να τις προεκτείνουν, να τις αναπτύξουν ή να τις αντικαταστήσουν από άλλες. Για το σκοπό αυτό, ζητείται από τους μαθητές να εκτελέσουν τα υποθετικά πειράματα της προηγούμενης φάσης, χωριζόμενοι σε μικρές ομάδες και ακολουθώντας γραπτές οδηγίες. Ανάλογα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων, οι μαθητές είτε επαληθεύουν την προηγούμενη γνώση τους, είτε οδηγούνται μόνοι τους σε «γνωστική σύγκρουση», η οποία μπορεί να επιφέρει την επιδιωκόμενη «εννοιολογική αλλαγή».

4. Φάση της εφαρμογής

Σε αυτή τη φάση, οι μαθητές καλούνται να συσχετίσουν τη νέα γνώση με την καθημερινή ζωή. Αναζητώντας και ανακαλύπτοντας τέτοιες συσχετίσεις, μπορούν να αντιληφθούν τη χρησιμότητα των νέων γνώσεων και να τις εμπεδώσουν με μεγαλύτερη ευκολία.

5. Φάση της ανασκόπησης

Οι μαθητές πρέπει να αναγνωρίσουν τη σημασία όσων ανακάλυψαν, να συγκρίνουν τις αρχικές με τις νέες απόψεις τους, να συνειδητοποιήσουν την προηγούμενη με την τωρινή κατάσταση, καθώς και την πορεία που ακολούθησαν, μέχρι να φτάσουν στην αλλαγή ιδεών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **μεταγνώση**.

Στα βασικά πλεονεκτήματα της εποικοδομητικής προσέγγισης της διδασκαλίας συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

α. συνδυάζει με επιτυχία την επιστημονική μέθοδο με τις γνώσεις μας για τη νοητική ανάπτυξη του ατόμου,

β. η μάθηση αποκτά ένα φυσικό και λογικό χαρακτήρα και συνδέεται άμεσα με τις επιστημονικές διαδικασίες,

γ. βελτιώνεται σημαντικά η στάση των μαθητών προς το αντίστοιχο μάθημα,

δ. μαθητές με προβλήματα κοινωνικής συμπεριφοράς, εντάσσονται ευκολότερα στη μαθησιακή διαδικασία,

ε. δημιουργείται κλίμα εμπιστοσύνης και ασφάλειας, λόγω της στενής σχέσης που αναπτύσσεται μεταξύ μαθητών και καθηγητή και της αλληλεπίδρασής τους [17].

Παρόλα αυτά, ο εποικοδομητισμός έχει δεχτεί και επικρίσεις, κυρίως ως προς την αποτελεσματικότητα του τρόπου εφαρμογής του στη σχολική τάξη. Οι μέθοδοι διδασκαλίας που στηρίζονται σε αυτόν, δύσκολα μπορούν να εφαρμοστούν σε μία τάξη με περισσότερους από 25 μαθητές, ενώ προϋποθέτουν πολύ χρόνο, εις βάρος του εύρους της ύλης που μπορεί πραγματικά να διδαχθεί.

Οι εκπαιδευτικές προσεγγίσεις του εποικοδομητισμού μπορούν να συνοψιστούν σε τέσσερα κυρίως σημεία:

α. στη σημασία της ενεργητικής συμμετοχής του μαθητή στη διαδικασία της σκέψης με στόχο την ουσιαστική κατανόηση,

β. στη σημασία του σεβασμού του μαθητή και των ιδεών του,

γ. στο σχεδιασμό μιας διδασκαλίας που δίνει προτεραιότητα στη δημιουργία νοήματος, λαμβάνοντας υπόψη και χρησιμοποιώντας την προϋπάρχουσα γνώση των μαθητών και αντιμετωπίζοντας τις δυσκολίες που προέρχονται από τις παρανοήσεις τους [17,18].

- **Ο ρόλος του εκπαιδευτικού στον εποικοδομητισμό**

Ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει το πρόβλημα ή το θέμα σε μορφή «ελατηρίου» (springboard). Ο σκοπός της διδασκαλίας είναι να διασαφηνίσει το πρόβλημα ή το θέμα, να προτείνει διαφορετικές υποθέσεις ή θέσεις σχετικά με αυτό και μετά να λύσει συγκρούσεις που προκύπτουν και να καθορίσει λύσεις που να μπορεί κανείς να υπερασπιστεί. Ο βασικός ρόλος του εκπαιδευτικού είναι να δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες, μέσα από τις οποίες ένα πρόβλημα μπορεί να αναπτυχθεί, αλλά και το να θέτει υλικά και πόρους στη διάθεση των μαθητών για να είναι σε θέση να εξερευνήσουν το θέμα. Επιπρόσθετα, οφείλει να ενθαρρύνει τους μαθητές με ερωτήσεις για προεκτάσεις (να διατυπώσουν υποθέσεις και μετά να διασαφηνίσουν, εξερευνήσουν και

λύσουν συγκρουόμενες ιδέες και θέσεις). Στη μορφή αυτή της εργασίας, οι μαθητές αντί να αποστηθίζουν γνώσεις, μαθαίνουν πώς να μαθαίνουν. Ο εκπαιδευτικός, αντί να ενεργεί ως «παρουσιαστής» έτοιμων πληροφοριών και συμπερασμάτων, διδάσκει τους μαθητές να «σκέπτονται για τους εαυτούς τους» και να χρησιμοποιούν μεθόδους πειθαρχημένης έρευνας, για να εξερευνήσουν το άγνωστο στις διάφορες περιοχές της γνώσεως και να μελετήσουν το γύρω κόσμο [18,19].

1.1.2 Διεπιστημονικότητα και Διαθεματικότητα

Συγκεκριμένα, με τον όρο διεπιστημονικότητα (inter-disciplinarity) αναφερόμαστε στη θεωρητική αρχή οργάνωσης του αναλυτικού προγράμματος που διατηρεί τα διακριτά μαθήματα με τα ιδιαίτερα προσδιοριστικά τους, όπως είναι οι ουσιώδεις γνώσεις, η οριοθέτηση και η αλληλουχία των εννοιών, οι συστημικές σχέσεις και οι ίδιες διαδικασίες, αλλά ταυτόχρονα επιχειρεί με ποικίλους τρόπους, τεχνικές και προσεγγίσεις να κάνει διασυνδέσεις και συσχετίσεις μεταξύ του περιεχομένου των διαφορετικών μαθημάτων, προκειμένου να εξασφαλίσει πληρέστερη και σφαιρικότερη μελέτη του περιεχομένου των μαθημάτων. Το είδος της συσχέτισης, ο βαθμός διασύνδεσης και ο τρόπος οργάνωσης του γνωσιακού περιεχομένου που προκύπτουν, διαφοροποιούνται από προσέγγιση σε προσέγγιση. Αυτό σημαίνει ότι, στα διεπιστημονικά προγράμματα σπουδών, σημείο εκκίνησης, κριτήρια επιλογής και πλαίσιο οργάνωσης της σχολικής γνώσης αποτελούν η λογική, η εννοιολογική υποδομή, οι κυρίαρχες δομές, οι αλληλουχίες και οι μεθοδολογικές επιλογές των αντίστοιχων επιστημονικών κλάδων. Με τον τρόπο αυτό τα μαθήματα διατηρούν τα όρια και τα προσδιοριστικά χαρακτηριστικά τους και ζητούμενο αποτελεί η ανεύρεση τρόπων σύμπραξης και συσχέτισης του περιεχομένου τους, που θα διευκολύνουν τους μαθητές στη βαθύτερη κατανόηση του περιεχομένου τους, χωρίς, όμως, να απομακρύνονται από τη λογική των εμπλεκομένων στη διεπιστημονική σύμπραξη κλάδων [20].

Αντίθετα, με τον όρο διαθεματικότητα (thematic ή cross curricular thematic approach) αναφερόμαστε στη θεωρητική αρχή οργάνωσης του αναλυτικού προγράμματος που καταλύει τα διακριτά μαθήματα ως πλαίσια οργάνωσης

της σχολικής γνώσης και επιχειρεί να προσεγγίσει τη σχολική γνώση ενιαιοποιημένη, όπως προκύπτει από τη σφαιρική μελέτη θεμάτων καθολικού ενδιαφέροντος και μείζονος σημασίας για τον πολιτισμό.

Προτεραιότητα στα διαθεματικά προγράμματα σπουδών, δεν έχουν οι δομές, οι οργανωμένες γνώσεις και οι αλληλουχίες που έχουν εμπεδώσει οι εμπλεκόμενοι επιστημονικοί κλάδοι, αλλά τα υπό μελέτη θέματα που αποτελούν μέρος της πραγματικότητας και απαιτούν, για να γίνουν κατανοητά, τη σύμπραξη γνώσεων από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους. Μέσα σε αυτά, οι γνώσεις εμφανίζονται ως ενιαιοποιημένα μορφώματα και όχι ως κατακερματισμένες και αποπλαισιωμένες αφαιρέσεις. Η επιλογή των γνώσεων από τις διαφορετικές επιστήμες και η οργάνωση τους γίνονται με βάση τις ανάγκες του θέματος και όχι με βάση τις δομές, τις αλληλουχίες και τη γενικότερη λογική των επιστημονικών κλάδων. Αυτό σημαίνει, πολύ απλά, ότι οι μαθητές θα μάθουν Ιστορία, Φυσική, Γλώσσα, Μαθηματικά κ.τ.λ., όταν και όσο και με όποια σειρά απαιτεί η μελέτη των θεμάτων. Η προσέγγιση της γνώσης, όμως, δεν γίνεται με τη «λογική» των εμπλεκόμενων επιστημών, αλλά με βάση τις ανάγκες του υπό μελέτη θέματος [20].

Στα διαθεματικά προγράμματα σπουδών, λοιπόν, οι επιστήμες χάνουν τα διακριτά τους όρια και ως σημείο εκκίνησης και πλαίσιο οργάνωσης της σχολικής γνώσης λειτουργούν τα εξεταζόμενα θέματα, όπως αυτά συσχετίζονται με τα ενδιαφέροντα, τις εμπειρίες και τις ανάγκες των μαθητών. Ζητούμενο αποτελεί ποια γνώση πρέπει να επιλεγεί κάθε φορά, από ποιον επιστημονικό τομέα και με ποια σειρά, προκειμένου να κατανοήσουν, άμεσα, οι μαθητές τα υπό μελέτη θέματα και μακροπρόθεσμα, να αποκτήσουν μια συγκροτημένη γνώση για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο κόσμος [15,21].

Στη σύγχρονη ελληνική βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται, αντίστοιχα, οι όροι διαθεματικό και διεπιστημονικό πρόγραμμα, χωρίς να είναι πάντοτε σαφής η διάκριση μεταξύ των δύο όρων, παρά το γεγονός ότι η ετυμολογία τους επιβάλλει την εννοιολογική διάκριση τους. Εμείς, όπως ήδη αναφέραμε, θεωρούμε τους όρους συναφείς, αλλά διακριτούς, και αποδίδουμε τον όρο inter-disciplinarity ως διεπιστημονικότητα και τον όρο integration ως ενιαιοποίηση, την οποία συχνά προσδιορίζουμε ως διαθεματική ενιαιοποίηση.

Μερικοί θεωρούν περιττό το πρόθεμα δια- και προτείνουν, κατ' αναλογία προς τον αγγλόφωνο όρο thematic curriculum, τους όρους θεματικό ή θεματικο-κεντρικό πρόγραμμα σπουδών. Υπάρχει όμως και στη αγγλόφωνη βιβλιογραφία ο όρος cross curricular themes, που αντιστοιχεί στον ελληνικό όρο διαθεματικό πρόγραμμα σπουδών [20].

1.1.3 Η Μέθοδος project (συνθετική εργασία)

- **Βασικές αρχές**

Η μέθοδος project είναι μια διεπιστημονική, βιωματική μέθοδος σχεδιασμένης αναζήτησης της γνώσης και διερεύνησης των ζητημάτων. Η μέθοδος project ή «μέθοδος βιωμάτων» ή «πρόγραμμα δράσης», ή «συνθετική εργασία», όπως έχει μεταφραστεί ο όρος στη γλώσσα μας, είναι μια μέθοδος, η οποία συγκαταλέγεται στις εναλλακτικές στρατηγικές διδασκαλίας και μάθησης. Προφανώς, οι όροι δίνουν την έμφασή τους σε διαφορετικά χαρακτηριστικά, δηλαδή ο όρος «μέθοδος βιωμάτων», ουσιαστικά προβάλει την οικοδόμηση προσωπικών εμπειριών μέσα από το project, ενώ ο όρος «σχέδιο δράσης», αναδεικνύει τη σημασία του σχεδιασμού κάποιων δράσεων και την εκπλήρωσή τους [20,22].

Στο σχολικό χώρο ορίζουμε ως συνθετική εργασία κάθε οργανωμένη μαθησιακή δραστηριότητα, συλλογικής συνήθως μορφής, που αναπτύσσεται σε πλαίσιο ελεύθερης επιλογής, με βάση προκαθορισμένο σχέδιο, και αποβλέπει στη διερεύνηση, οργάνωση και διαχείριση γνώσεων, υλικών, αξιών και δράσεων, οι οποίες αφορούν ολιστικές καταστάσεις της πραγματικότητας και ενδιαφέρουν άμεσα τους εμπλεκόμενους μαθητές ως άτομα ή ως μέλη κοινωνικών ομάδων. Επειδή ο παραπάνω ορισμός είναι αναγκαστικά περιοριστικός και δεν συμπεριλαμβάνει όλα τα προσδιοριστικά στοιχεία και την ποικιλία των σχεδίων εργασίας που, όπως αναφέραμε, είναι ανοιχτές μορφές μάθησης χωρίς σταθερά όρια και συγκεκριμένη δομή, τον συμπληρώνουμε με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Οι συνθετικές εργασίες:

- αποτελούν σκόπιμες και μεθοδευμένες μορφές δράσης, που οδηγούν στην επίλυση προβλημάτων προσωπικής ή κοινωνικής φύσης, στη

θεωρητική μελέτη θεμάτων ή ζητημάτων, στην παραγωγή κατασκευών και στη σύνθεση καλλιτεχνικών δημιουργημάτων,

- κινητοποιούν την ολόψυχη εμπλοκή των μαθητών, επειδή αφορούν θέματα που τους ενδιαφέρουν,
- διεξάγονται μέσα από συλλογικές διαδικασίες, τις οποίες οι μαθητές προτιμούν, διότι αφενός συμβάλλουν στην κοινωνικοποίηση των ατόμων, στην κοινωνική ένταξη των «διαφορετικών» και στον εκδημοκρατισμό των ομάδων και αφετέρου εξασφαλίζουν ευνοϊκές συνθήκες μάθησης και ανάπτυξης,
- αναζητούν τις αναγκαίες πληροφορίες τόσο εντός του σχολείου (βιβλιοθήκη), όσο και εκτός, σε κοινωνικούς και φυσικούς χώρους,
- παρέχουν στους μαθητές, σε ατομικό ή συλλογικό επίπεδο, δυνατότητες ελεύθερης επιλογής θεμάτων, μέσων διαδικασιών και τρόπων παρουσίασης των αποτελεσμάτων [20,23].

Η Φιλοσοφία της μεθόδου

Το κύριο επιχείρημα των παιδαγωγών που επεξεργάστηκαν και πρότειναν τη μέθοδο αυτή, είναι ότι το σχολείο αποτελεί έναν περιχαρακωμένο χώρο, αποκομμένο από την ζωή, που εκτυλίσσεται εκτός των τειχών του και αντλεί τη γνώση μέσα από τα σχολικά εγχειρίδια και τους δασκάλους. Ακριβώς λοιπόν αυτή την κατάσταση έρχεται να θεραπεύσει η μέθοδος project η οποία προτείνει το άνοιγμα του σχολείου στην πραγματική ζωή.

Μαθητής:

Ο μαθητής, ο οποίος στο παραδοσιακό σχολείο συσσωρεύει παθητικά γνώσεις, μέσα από τις διαδικασίες του project, λειτουργεί ως ένας δυναμικός αναζητητής της πληροφορίας και της γνώσης.

- Η μοναξιά της ατομικής προσπάθειας, αντικαθίσταται από τη χαρά της ομαδικής συνεργασίας και δράσης. Η παθητικότητα της ακρόασης, αντικαθίσταται από το δυναμισμό της κοινωνικής διερεύνησης και δράσης.
- Από απλός ακροατής γίνεται σχεδιαστής του προγράμματος (ή

τουλάχιστον τροποποιητής αυτού), το οποίο θα ακολουθήσει και θα προσπαθήσει να εκπληρώσει τους στόχους του.

- Παράγει ένα συγκεκριμένο έργο, με την ομάδα του ασφαλώς, το οποίο συνήθως αποτυπώνεται σε κάποιο τελικό χειροπιαστό προϊόν (έκδοση, ταινία, συλλογές, μια συγκεκριμένη δράση κ.ά.)

Γνώση:

Παραδοσιακά, η γνώση που παρουσιάζεται ως τελειωμένη και στατική, τώρα αποκτάει μια άλλη δυναμική και αναζητείται με την αξιοποίηση όλων των δυνατών πηγών γνώσης, όπως είναι:

- Το περιβάλλον
- Οι άνθρωποι
- Ποικίλα έντυπα υλικά
- Οι ειδικοί

Επίσης, η γνώση στο παραδοσιακό σχολείο προσφέρεται κατακερματισμένη στα επιμέρους γνωστικά αντικείμενα και συχνά έχει διαπιστωθεί αδυναμία σύνδεσής της από τους μαθητές. Στη μέθοδο project, η γνώση παρέχεται διεπιστημονικά, αφού για τη μελέτη πολύπλοκων πραγματικών ζητημάτων, απαιτείται η συνεργασία πολλών επιμέρους γνωστικών αντικειμένων.

Εκπαιδευτικός:

Ο εκπαιδευτικός χάνει τον κυρίαρχο ρόλο του, λειτουργεί ως εμψυχωτής και συντονιστής, και υπηρετεί ουσιαστικά την εκπλήρωση των στόχων του προγράμματος.

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της μεθόδου είναι τα παρακάτω:

- Είναι η πιο διαδεδομένη στην Π.Ε. και αυτή που αγαπήθηκε περισσότερο στα ελληνικά σχολεία.
- Διευκολύνει τη μάθηση, καθώς στηρίζεται πάνω στην εμπειρία και το βίωμα. Γιατί η βιωματική προσέγγιση και η ενεργητική μάθηση που απαιτείται για την εκπόνησή του, θεωρείται η καταλληλότερη για την επίτευξη των στόχων της Π.Ε.

- Η ενεργητική συμμετοχή των μαθητών στις διαδικασίες μάθησης διευκολύνει την απόκτηση πληροφοριών.
- Ταυτόχρονα αυξάνεται η ευνοϊκή διάθεση των μαθητών, αποκτούν δηλαδή θετικές στάσεις ως προς το θέμα που μελετάται, αλλά και γενικότερα προς το σχολείο και τη μάθηση.
- Παράλληλα, οι μαθητές αποκτούν ικανότητες και δεξιότητες που ο παραδοσιακός τρόπος μάθησης δεν θα μπορούσε να τους προσφέρει.

Τα project είναι προσανατολισμένα σε πραγματικές καταστάσεις και οδηγούν τους μαθητές σε αναζήτηση πληροφοριών και γνώσεων που έχουν σχέση με τις καταστάσεις αυτές. Έτσι, η γνώση αποκτά νόημα, γίνεται συγκεκριμένος στόχος που φωτίζει το προς μελέτη θέμα και η μάθηση γίνεται μια κοινωνική εμπειρία, καθώς οι μαθητές εμπλέκονται στην αναζήτηση της και εργάζονται ομαδικά. Σε κάθε τέτοια περίπτωση, κάθε άτομο συμβάλλει με τις δυνάμεις του έτσι ώστε να ολοκληρώνεται το συνολικό έργο και να παράγεται το τελικό προϊόν. Εδώ, ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι να καθοδηγεί τους μαθητές, όταν αυτοί χρειαστούν βοήθεια και καθοδήγηση, καθώς και να τους εμψυχώνει για την εκτέλεση του όλου έργου, διατηρώντας αμείωτο το ενδιαφέρον τους [20,24].

1.1.4 Η Καθοδηγούμενη διερεύνηση

- **Βασικές αρχές**

Σήμερα η διερεύνηση αποτελεί μία βασική εκπαιδευτική επιστημονική προσέγγιση. Πολλοί εκπαιδευτικοί φυσικών επιστημών χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διερεύνησης, για να επιτύχουν ποικίλους εκπαιδευτικούς στόχους. Η διερεύνηση συνδέεται με μία σειρά θετικών επιδράσεων στους μαθητές, όπως η αύξηση της κατανόησης εννοιών και η ανάπτυξη κριτικών δεξιοτήτων. Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να διαμορφώνουν τη διερευνητική μέθοδο με διάφορους τρόπους και για διαφορετικούς σκοπούς και στόχους. Γενικά, αυτό που επιτυγχάνεται είναι να παρακινηθούν οι μαθητές, ώστε να εξερευνούν και να αντιλαμβάνονται τα φαινόμενα γύρω τους, προβαίνοντας σε διαδικασίες, όμοιες με αυτές που εκτελεί ένας επιστήμονας. Χαρακτηριστικό της σχολικής τάξης στην οποία εφαρμόζονται τέτοια μοντέλα, είναι η επικράτηση ενός

ψυχολογικού κλίματος ανοικτού στη συζήτηση. Η διερευνητική μέθοδος είναι διαδικασία για το σχηματισμό και τον έλεγχο ιδεών, και έχει ως επακόλουθο μια ανοικτή δημοκρατική ατμόσφαιρα στην τάξη, που ενθαρρύνει τους μαθητές να πάρουν μέρος στη συζήτηση και να εκφράσουν απόψεις διαφορετικές από αυτές που έχουν ήδη αναφερθεί.

- **Η Στρατηγική της κατευθυνόμενης διερευνητικής μεθόδου**

Όσον αφορά στη διεξαγωγή της κατευθυνόμενης διερεύνησης, προτείνεται από τη βιβλιογραφία ένα ακόμα οργανόγραμμα, που αποτελείται από 25 διδακτικές δραστηριότητες οργανωμένες σε 8 φάσεις. Η σειρά των δραστηριοτήτων του οργανογράμματος που προτείνεται, έχει ενδεικτικό χαρακτήρα και η φύση του αντικειμένου, καθώς και η φυσική εξέλιξη της επικοινωνίας, δίνει τη δυνατότητα στον εκπαιδευτικό, να ακολουθήσει εναλλακτικές πορείες, συγχωνεύοντας ή αλλάζοντας τη σειρά ορισμένων δραστηριοτήτων, ακόμη και τροποποιώντας το οργανόγραμμα εκεί που ο ίδιος κρίνει σκόπιμο [19,24].

- **Η διαδικασία της καθοδηγούμενης διερεύνησης ως εφαρμογή της θεωρίας του εποικοδομητισμού**

Απαραίτητη είναι η χρήση της εποικοδομητικής μεθόδου κατά τη διάρκεια εφαρμογής της καθοδηγούμενης διερεύνησης. Ο εποικοδομητισμός αποτελεί μια φιλοσοφική - επιστημολογική θεωρία που βασίζεται στον εμπειρισμό, δηλαδή το αντίθετο του ρεαλισμού. Σύμφωνα με τη ρεαλιστική διάσταση, ο εκπαιδευτικός δεν κάνει τίποτε άλλο, παρά να μεταβιβάζει στους μαθητές αξιώματα, νόμους ή και θεωρίες, οι οποίοι πρέπει να γίνονται δεκτοί χωρίς συζήτηση, ούτε αμφισβήτηση. Ο ρόλος του μαθητή περιορίζεται στον απλό αποδέκτη της έτοιμης γνώσης. Από την σκοπιά όμως του εμπειρισμού, όπως οι επιστήμονες, για παράδειγμα, των φυσικών επιστημών κατασκευάζουν τις απόψεις τους, κάτι παρόμοιο κάνουν (σε μικρότερη προφανώς κλίμακα και με πολύ μικρότερη επιτυχία) και οι μαθητές: κατασκευάζουν τη δική τους ερμηνεία για τον φυσικό κόσμο, τόσο έξω και πριν από το σχολείο, όσο και μέσα από αυτό. Ο εποικοδομητισμός δεν είναι επομένως τίποτε άλλο παρά αυτή ακριβώς η εμπειρική προσέγγιση της γνώσης [19,25].

1.1.5 Το πείραμα

- **Η σημασία του πειράματος στη διδασκαλία**

Η πράξη αυτή καθ' αυτή σημαίνει ενεργό συμμετοχή, γεγονός που γεννά το ενδιαφέρον, που με τη σειρά του θα συμβάλλει στη μάθηση. Γιατί όπου υπάρχει ενδιαφέρον, εκεί μπορεί να υπάρξει αληθινή μάθηση, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε ενσυνείδητη δράση. Υποστηρίζεται ότι αληθινή μάθηση επιτυγχάνεται μόνο όταν ο μαθητής παίζει διπλό ρόλο, όταν, δηλαδή, είναι συγχρόνως μαθητής και δάσκαλος, δημιουργός και κριτικός, ακροατής και ομιλητής. Η μάθηση ως βιολογικό φαινόμενο, προϋποθέτει ότι ο μαθητής συλλέγει και ερμηνεύει τις πληροφορίες για να χτίσει τη δική του γνώση και δεν τις αντιγράφει ατόφιες, όπως φθάνουν στις αισθήσεις του. Κατά συνέπεια, η πράξη είναι απαραίτητη στη μάθηση, αφού τότε ο μαθητής ταυτίζει τον εαυτό του με ιδέες και αντικείμενα.

Το πείραμα στη σχολική πράξη παρουσιάζεται με δύο μορφές πολύ διαφορετικές: το φυσικό πείραμα και το λογικό μαθηματικό πείραμα. Το πρώτο, χαρακτηρίζεται από το να επιδρά κανείς πάνω στα αντικείμενα και να ανακαλύπτει χαρακτηριστικές ιδιότητες. Το δεύτερο, χαρακτηρίζεται επίσης, από το να δρα κανείς πάνω στα αντικείμενα, αυτή τη φορά όμως, να αποκαλύπτει αφαιρετικά ιδιότητες, ξεκινώντας όχι από τα ίδια τα αντικείμενα, αλλά από τις δράσεις πάνω σε αυτά. Η σύγχρονη ψυχολογία διδάσκει, ότι για την παραγωγή της γνώσης είναι απαραίτητη η αλληλεπίδραση, μεταξύ της δραστηριότητας και της σκέψης του ατόμου. Αν η γνώση παράγεται από τις πράξεις του δρώντος ατόμου, τότε ο ρόλος του πειράματος είναι ουσιαστικός στη γνωστική διαδικασία [26,27].

- **Το πείραμα από το μαθητή**

Το πείραμα, λόγω των σκοπών που υπηρετεί, είναι τελείως απαραίτητο, ανεξάρτητα από την ηλικία των μαθητών. Γιατί, εκτός από την κατανόηση της θεωρίας, συμβάλλει και στην ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες στο σύγχρονο άνθρωπο. Τέτοιες δεξιότητες είναι η σωστή χρησιμοποίηση συσκευών, η κατανόηση και εκτέλεση οδηγιών, ειδικές δεξιότητες των χεριών κ.λπ.

Κατά συνέπεια, η μέθοδος των διαλέξεων που εφαρμόζεται σε μεγάλη έκταση στα σχολεία είναι ξεπερασμένη. Ο μαθητής ξεχνάει γρήγορα αυτά που ακούει, ενώ, αντιθέτως, τα θυμάται όταν είναι αποτελέσματα πειραματικών διαδικασιών. Εκτελώντας πειράματα είναι υποχρεωμένος να εργαστεί μόνος του, να κάνει υποθέσεις, να επιλέξει τα μέσα που θα χρησιμοποιήσει, να παρατηρήσει προσεκτικά, να κάνει μετρήσεις, να εφαρμόσει τρόπους, να καταλήξει σε συμπεράσματα, τα οποία και να επαληθεύσει. Με τον τρόπο αυτό εξοικειώνεται με την επιστημονική μεθοδολογία.

Επιπλέον, συνηθίζει στη νοοτροπία του επιστήμονα, αποκτώντας επωφελείς συνήθειες, όπως επιμονή, υπομονή και θάρρος, μαθαίνει να παίρνει πρωτοβουλίες και να βασίζεται στις δικές του δυνάμεις. Το πείραμα του διεγείρει και του διατηρεί το ενδιαφέρον, του προκαλεί την ευχαρίστηση που νιώθει ο δημιουργικά εργαζόμενος και του μαθαίνει να είναι αντικειμενικός. Τέλος, η εκτέλεση των πειραμάτων από τους ίδιους τους μαθητές έχει και άλλα πλεονεκτήματα. Π.χ. απελευθερώνεται ο δάσκαλος από την ανάγκη τήρησης της πειθαρχίας και την υποχρέωση να μιλά μόνο ο ίδιος, βρίσκοντας έτσι το χρόνο για να δώσει οδηγίες και να επιβλέψει τη δουλειά κάθε μαθητή, ενώ παράλληλα και ο ίδιος ο μαθητής υποχρεώνεται να δουλέψει συνειδητά [26].

- **Το πείραμα επίδειξης**

Η πειραματική επίδειξη στην τάξη περιλαμβάνει μια σειρά ενεργειών καλά προγραμματισμένων και σχεδιασμένων, που αποβλέπουν στην απεικόνιση ενός φαινομένου και την κατανόησή του από τους μαθητές. Μπορεί να γίνεται τόσο από το δάσκαλο, όσο και από μαθητές. Αν χρησιμοποιηθεί στην αρχή του μαθήματος, κάνει την παρουσίαση περισσότερο ζωντανή και προκαλεί το ενδιαφέρον των μαθητών.

Με το πείραμα επίδειξης, ο εκπαιδευτικός πρέπει να προβληματίσει τους μαθητές, ζητώντας τους να καταγράψουν τις παρατηρήσεις τους, να κάνουν τις υποθέσεις τους και να βγάλουν τα συμπεράσματά τους. Διαφορετικά το κέρδος θα είναι πολύ μικρό [27].

1.1.6 Η Μελέτη πεδίου (field research) – Η Επίσκεψη στο πεδίο (field trip) – Η Εργασία στο πεδίο (fieldwork)

Οποιαδήποτε δραστηριότητα γίνεται εκτός των τειχών διδασκαλίας του σχολείου, λέμε ότι αποτελεί «εκπαίδευση εκτός των τειχών» (Outdoor Education). Η διδασκαλία γίνεται με τρόπο διαφορετικό από τον παραδοσιακό. Χρησιμοποιούνται μέθοδοι οι οποίες χαρακτηρίζονται ως μέθοδοι βιωματικής και ενεργητικής μάθησης. Αυτές αναδείχθηκαν κυρίως μέσα από τα διάφορα παιδαγωγικά ρεύματα, που αναπτύχθηκαν από τα τέλη του 19ου αιώνα και συνεχίστηκαν μέχρι τον 20^{ο}, ως κίνημα της Νέας Αγωγής, με διάφορες ορολογίες. Έτσι, συναντάται ο όρος «επίσκεψη στο πεδίο» («field trip»), με τον οποίο νοείται ως «μία επίσκεψη, η οποία οργανώνεται από το σχολείο και διεξάγεται για εκπαιδευτικούς σκοπούς, κατά την οποία οι μαθητές μεταβαίνουν σε χώρους στους οποίους μπορούν να παρατηρήσουν και να μελετήσουν απ' ευθείας το αντικείμενο που τους ενδιαφέρει» [25]. Για παράδειγμα, μία επίσκεψη σε μία βιομηχανία, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του πόσιμου νερού, σε ένα δάσος ή έναν κήπο, ένα μουσείο κλπ.

Στα λεξικά αναφέρονται ως συνώνυμα και οι όροι: «διδακτική επίσκεψη» («instructional trip»), «σχολική εκδρομή» («school excursion») και «σχολικό ταξίδι» («school journey»). Η χρήση του όρου «fieldwork», δίνει έμφαση σε μια άλλου είδους επίσκεψη, η οποία γίνεται έξω από την τάξη, κατά την οποία οι εκπαιδευτικοί ακολουθούν τη λογική που υπάρχει στις μελέτες πεδίου, τις οποίες ακολουθεί η επιστήμη της Βιολογίας, της Γεωλογίας και της Γεωγραφίας.

Στη βιβλιογραφία συναντάται και ο όρος «έρευνα πεδίου» («field research»). Οι έρευνες πεδίου, έχουν χαρακτήρα έρευνας από τους μαθητές με συγκεκριμένο αντικείμενο. Οι ερευνητές στο χώρο της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης επισημαίνουν, ότι η έρευνα πεδίου σε σχέση με μια επίσκεψη στο πεδίο (fieldtrip) είναι περισσότερο αποδοτική και ότι μια απλή εκδρομή σπάνια δικαιώνεται ως αποτελεσματικός τρόπος χρησιμοποίησης του διαθέσιμου χρόνου και των πηγών. Άλλωστε, είναι κοινός τόπος στη διεθνή βιβλιογραφία, ότι η μάθηση είναι πιο αποτελεσματική, όταν οι μαθητές ερευνούν μόνοι τους ένα πρόβλημα ή ένα αντικείμενο. Για να είναι μια

επίσκεψη πεδίου αποδοτική είναι προτιμότερο να κατευθύνεται από συγκεκριμένα ερωτήματα και να έχει χαρακτήρα έρευνας.

Όταν χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι διδασκαλίας για εργασία στο πεδίο αξιοποιούμε ουσιαστικά τρεις πηγές γνώσης:

- Το περιβάλλον (φυσικό, κοινωνικό, πολιτιστικό)
- Τους ανθρώπους (απλούς πολίτες, ειδικούς επιστήμονες)
- Το έντυπο υλικό (βιβλία, περιοδικά, εφημερίδες)

Ο χρόνος που διατίθεται για διδασκαλία στο πεδίο, μπορεί να κυμαίνεται από λίγες ώρες, που θα αξιοποιηθούν για τη συμπλήρωση της γνώσης που αποκτήθηκε στην τάξη, π.χ. αφού διδάξουμε κάτι σχετικό με τα φυτά, μπορούν οι μαθητές στην αυλή του σχολείου να παρατηρήσουν αυτά που διδάχτηκαν, μέχρι μερικές εβδομάδες ή μερικούς μήνες, αν το υπό μελέτη θέμα χρειάζεται να το παρατηρήσουμε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα [28,29].

1.2 Μορφές Διδασκαλίας

Διακρίνουμε δύο γενικότερες κατηγορίες μορφών διδασκαλίας: αυτές όπου υπάρχει επικοινωνία του δασκάλου και του μαθητή και εκείνες, όπου υπάρχει επικοινωνία, τόσο μεταξύ δασκάλου – μαθητή, όσο και ανάμεσα στους μαθητές. Έτσι έχουμε: τις *μονολογικές* και τις *διαλογικές* μορφές και τη *μετωπική* και την *ομαδοσυνεργατική* μορφή διδασκαλίας αντίστοιχα.

Παρακάτω θα γίνει μικρή αναφορά στις τρεις πρώτες περιπτώσεις (μονολογικές, διαλογικές μορφές και μετωπική διδασκαλία) και μεγαλύτερη αναφορά θα γίνει για την ομαδοσυνεργατική διδασκαλία, καθώς αυτή τη μορφή κυρίως, θα αξιοποιήσουμε στα σχέδια μαθήματος που παρουσιάζονται στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας [16].

1.2.1 Μονολεκτικές μορφές διδασκαλίας

Στις μορφές αυτές συγκαταλέγεται η παρουσίαση, η περιγραφή, η αφήγηση – διάλεξη και η επεξήγηση. Με το μονόλογο, ο εκπαιδευτικός μπορεί να παρουσιάσει πληροφορίες, να επισημάνει και να επεξηγήσει κάποια σημεία

της διδασκαλίας, να κάνει εισαγωγή σε ένα θέμα, κ.ά. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του μονόλογου είναι ότι ο καθηγητής μπορεί να παρουσιάσει πολλές πληροφορίες σε λίγο χρόνο. Τα βασικά του μειονεκτήματα βέβαια είναι αρκετά, καθώς ο μονόλογος:

- Παθητικοποιεί σε μεγάλο βαθμό τους μαθητές και τους κάνει απλούς δέκτες της γνώσης.
- Δεν προσφέρει στους μαθητές ευκαιρίες ενεργού συμμετοχής, αυτενέργειας και άσκησης/ανάπτυξης της κοινωνικότητάς τους (συνεργασία και επικοινωνία).
- Ο ρυθμός είναι ενιαίος για όλη την τάξη, με αποτέλεσμα κάποιοι μαθητές να μην μπορούν να τον ακολουθήσουν.
- Δεν δίνεται ανατροφοδότηση στον εκπαιδευτικό σχετικά με το εάν οι μαθητές κατανοούν αυτά που τους λέει [16,30].

1.2.2 Διαλογικές μορφές διδασκαλίας

Στις διαλογικές μορφές ανήκουν οι ερωταποκρίσεις, η διαλεκτική αντιπαράθεση, ο ελεύθερος διάλογος/συζήτηση, η σωκρατική μαιευτική κ.ά. Ο εκπαιδευτικός με ερωτήσεις – απαντήσεις επιχειρεί να καθοδηγήσει τους μαθητές στην επίτευξη των στόχων της διδασκαλίας. Κατά το διάλογο ο εκπαιδευτικός πρέπει να:

- Ασκεί τους μαθητές του να κάνουν δημοκρατικό διάλογο, να επιχειρηματολογούν και να θεμελιώνουν λογικά τις απόψεις τους, καθώς και να σέβονται τη διαφορετική άποψη.
- Ενθαρρύνει τη συμμετοχή όλων των μαθητών και την ελεύθερη έκφραση, χωρίς να υποτιμά καμία άποψη.
- Αξιοποιεί εύστοχα τις ερωτήσεις και τις απαντήσεις των μαθητών.
- Αποτρέπει παρεκκλίσεις από το θέμα ή προβολή απόψεων με δογματικό τρόπο.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των διαλεκτικών μορφών είναι ότι με το διάλογο:

- οι μαθητές εμπλέκονται – συμμετέχουν στη διδακτική διαδικασία, οπότε τους δίνεται η δυνατότητα να προβληματίζονται, να αξιολογούν, να συμπεραίνουν και να διατυπώνουν τις απόψεις τους μέσα από διαδικασίες διαλεκτικής αντιπαράθεσης.
- ο εκπαιδευτικός ανιχνεύει δυσκολίες και παρανοήσεις/εσφαλμένες ιδέες και απόψεις των μαθητών και τους δίνει άμεση ανατροφοδότηση.

Στα μειονεκτήματα αυτής της μορφής συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

- ο διάλογος αρχίζει με προβληματισμούς που, κατά κανόνα, θέτει ο εκπαιδευτικός,
- ο διάλογος μπορεί να είναι χρονοβόρος,
- κατά το διάλογο, δε συμμετέχουν συνήθως οι «αδύνατοι» και οι συνεσταλμένοι μαθητές [31,32].

1.2.3 Η μετωπική διδασκαλία

Μετωπική ονομάζεται η διδασκαλία κατά την οποία ο εκπαιδευτικός κατευθύνει και ελέγχει τις διαδικασίες επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης με τους μαθητές, αλλά και μεταξύ των ίδιων των μαθητών, και ρυθμίζει τη διδακτική/μαθησιακή διαδικασία απευθυνόμενος ταυτόχρονα σε όλα τα μέλη της σχολικής ομάδας, τα οποία εργάζονται υπό την ***άμεση*** καθοδήγηση του δασκάλου (***δασκαλοκεντρική***).

Η μετωπική διδασκαλία είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για:

- Την εισαγωγή μιας νέας έννοιας ή την ανάδειξη ενός προβλήματος ή μιας διαδικασίας.
- Την επικέντρωση της προσοχής του μαθητή σε συγκεκριμένο θέμα και τη διασφάλιση σε μεγάλο βαθμό της πειθαρχημένης εργασίας του μαθητή.
- Τη σχετικά γρήγορη ολοκλήρωση της διδακτέας ύλης (χωρίς ωστόσο σε αυτή την περίπτωση να εξασφαλίζεται αποτελεσματική μάθηση).

Παρόλα αυτά θα πρέπει να παραθέσουμε και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα:

- Η περιορισμένη δυνατότητα για διαφοροποίηση και εξατομίκευση. Ο εκπαιδευτικός δεν είναι εύκολο να ανταποκριθεί στις ατομικές ανάγκες/ ικανότητες επίδοσης του κάθε μαθητή, καθώς η τάξη θεωρείται ότι απαρτίζεται από μαθητές με ίδιες απαιτήσεις επίδοσης, αφού απευθύνεται στο «μέσο» μαθητή. Επίσης, υπάρχει ο κίνδυνος να εργάζεται ο καθηγητής με τους λίγους καλούς μαθητές, με αποτέλεσμα κάποιοι μαθητές να μην μπορούν να παρακολουθήσουν.

- Η περιορισμένη συνεργασία μεταξύ των μαθητών. Συνήθως οι μαθητές κάθονται προσανατολισμένοι προς τον πίνακα και δίνεται βαρύτητα κυρίως στην επικοινωνία μεταξύ εκπαιδευτικού και μαθητών, ενώ η κύρια ενασχόληση των μαθητών περιορίζεται στο να παρακολουθούν, να ερωτούν – απαντούν, να κρατούν σημειώσεις.

- Η περιορισμένη ανταπόκριση των μαθητών δημιουργεί προβλήματα στην εκτίμηση της απόδοσης τους, γιατί στην καλύτερη περίπτωση ο εκπαιδευτικός ζητά από δυο, τρεις μαθητές να απαντήσουν σε διάφορες ερωτήσεις του [16,17].

1.2.4 Η Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία (διδασκαλία σε ομάδες)

Κατά την ομαδοσυνεργατική διδασκαλία οι μαθητές χωρίζονται σε ομάδες και συμμετέχοντας σε συλλογικές δραστηριότητες, συνεργάζονται μεταξύ τους με ***έμμεση*** καθοδήγηση του εκπαιδευτικού (***μαθητοκεντρική***). Για να εφαρμοστεί η ομαδοσυνεργατική μορφή διδασκαλίας, πρέπει να καθοριστεί η σύνθεση των ομάδων, ο αριθμός των μελών της ομάδας (2-5 μέλη) και ο ρόλος των μελών της κάθε ομάδας [22,24].

- **Οι Στόχοι της Ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας**

Αν εστιάσουμε το ενδιαφέρον μας στις επιπτώσεις της ομαδικής εργασίας στους μαθητές, θα διαπιστώσουμε από τη βιβλιογραφία ότι επιτυγχάνονται:

1. Κοινωνικοί στόχοι, επιτυγχάνεται δηλαδή ανάπτυξη της κοινωνικοποίησης των μαθητών, καθώς μέσα από την ομαδοσυνεργατική διδασκαλία:

- Προσφέρονται περισσότερες ευκαιρίες επικοινωνίας ανάμεσα στα άτομα της ομάδας.
- Καλλιεργείται η ικανότητα επίλυσης των συγκρούσεων.
- Αναπτύσσεται η αίσθηση της αλληλεξάρτησης και της αποδοχής των άλλων.
- Μυούνται στη δημοκρατική λειτουργία του κοινωνικού συστήματος και θεωρούν ότι μπορούν να το επηρεάσουν.
- Αναπτύσσονται θετικές στάσεις προς τη μάθηση και το σχολείο [24].

2. Ψυχολογικοί στόχοι, αναπτύσσονται δηλαδή στους μαθητές:

- Επιθυμητά χαρακτηριστικά όπως είναι η αυτοεκτίμηση, δηλαδή οι μαθητές μέσα στο κλίμα αποδοχής και συνεργασίας που δημιουργείται, μπορούν να αναπτύξουν θετική εικόνα του εαυτού τους, στοιχείο σημαντικό για την κοινωνική προσαρμογή και για τη μάθηση.
- Ψυχική υγεία, αφού η ανάπτυξη ομαλών κοινωνικών σχέσεων είναι πολύ σημαντική για την εξασφάλισή της.
- Ψυχολογικό κλίμα, αφού μειώνεται το σχολικό άγχος και ο ανταγωνισμός ανάμεσα στους μαθητές.

3. Μαθησιακοί στόχοι.

- Μέσα από την ομαδοσυνεργατική διδασκαλία, προάγεται η νοητική ανάπτυξη των μαθητών, η γλωσσική τους ανάπτυξη, ο χρόνος της ενεργητικής συμμετοχής στο μάθημα και άλλοι παράγοντες οι οποίοι συντελούν τελικά στην μεγιστοποίηση της επίδοσής τους.

Η καθοδήγηση της Ομαδικής Εργασίας

***α. Ρόλος του δασκάλου*:** Όσο μικρότερης ηλικίας και ανεξοικείωτες στο συνεργατικό τρόπο εργασίας είναι οι τάξεις, τόσο ενεργητικότερος είναι και ο καθοδηγητικός ρόλος του δασκάλου. Αργότερα ο ρόλος του μειώνεται

σταδιακά υπέρ του ρόλου των μαθητών. Ο δάσκαλος πρέπει να καθορίσει συγκεκριμένους τρόπους συστηματικής παρακολούθησης του έργου της ομάδας, καθώς επίσης και τρόπους καθοδήγησης και άμεσης παροχής ανατροφοδότησης. Όταν οι περιστάσεις το απαιτούν, ο εκπαιδευτικός πρέπει να είναι έτοιμος να διδάξει επί τόπου συγκεκριμένες κοινωνικές ικανότητες ή να υποδείξει διαδικασίες επεξεργασίας του υλικού.

***β. Ρόλος των μαθητών*:** Ο δάσκαλος πρέπει να καθορίσει εκ των προτέρων, ποιοι από τους ρόλους θα ανατεθούν και σε ποιους μαθητές. Άμεση ανατροφοδότηση και ενθάρρυνση πρέπει να προσφέρει ο δάσκαλος και στους υπεύθυνους των ομάδων, για τον τρόπο με τον οποίο φέρουν σε πέρας το έργο τους [22,24].

J. Bruner: «Τι θέλετε; Μαθητές που να μπορούν να απαντούν σε ερωτήσεις που θέτουν οι άλλοι ή μαθητές που είναι ικανοί να ερωτούν τους εαυτούς τους και να ψάχνουν μόνοι τους τις απαντήσεις;»

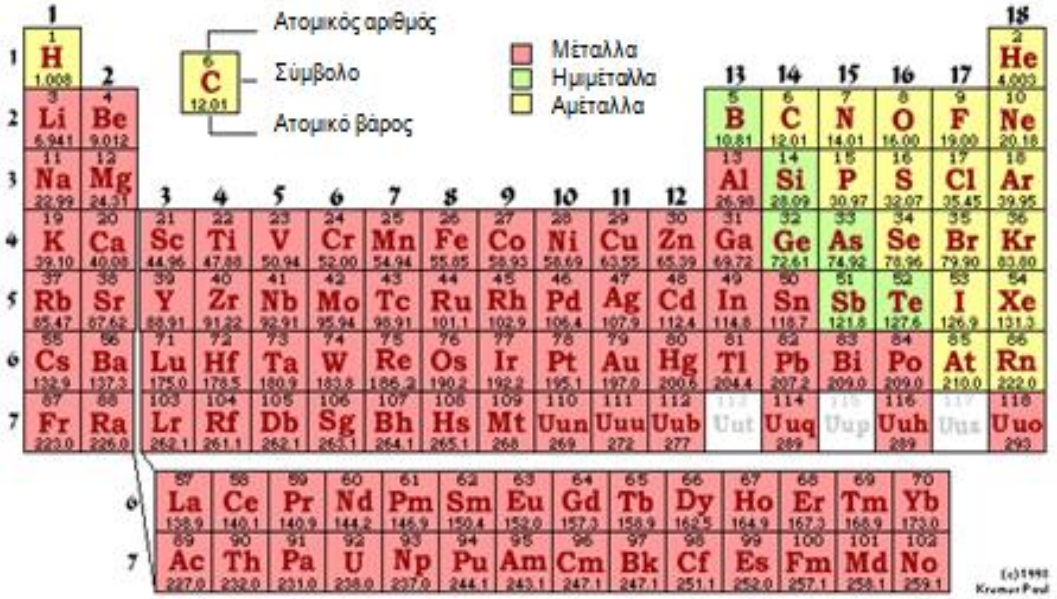
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία

2.1 Μέταλλα και αμέταλλα

Ως μέταλλα χαρακτηρίζονται τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα, των οποίων τα άτομα έχουν σχετικά μικρή ενέργεια ιοντισμού, ηλεκτρονική συγγένεια και ηλεκτραρνητικότητα. Αντίθετα, τα στοιχεία των οποίων τα άτομα έχουν σχετικά μεγάλη ενέργεια ιοντισμού, ηλεκτρονική συγγένεια και ηλεκτραρνητικότητα, χαρακτηρίζονται ως αμέταλλα. Τα μέταλλα βρίσκονται στο κεντρικό και αριστερό κομμάτι του περιοδικού πίνακα, ενώ τα αμέταλλα στο δεξί. Ως διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα μέταλλα και στα αμέταλλα λαμβάνεται η διαγώνιος που περιλαμβάνει τα στοιχεία B (Βόριο), Si (Πυρίτιο), As (Αρσενικό) και Te (Τελλούριο). Τα στοιχεία που βρίσκονται πάνω ή κοντά στη διαγώνιο δεν μπορούν να ταξινομηθούν σαφώς ως μέταλλα ή αμέταλλα και γι' αυτό χαρακτηρίζονται ως ημιμέταλλα ή μεταλλοειδή (Πίνακας 1) [33].

Πίνακας 1: Περιοδικός πίνακας των στοιχείων όπου παρουσιάζονται τα μέταλλα, τα αμέταλλα και τα μεταλλοειδή.



Ο s τομέας του περιοδικού πίνακα αποτελείται από 14 στοιχεία, εκ των οποίων τα 12 είναι μέταλλα και μόνο το H (Υδρογόνο) και το He (Ήλιο) είναι αμέταλλα. Τα μέταλλα του τομέα ανήκουν είτε στα αλκάλια, δηλαδή στην 1^{η}

ομάδα του Π.Π., είτε στις αλκαλικές γαίες, δηλαδή στην $2^η$ ομάδα του Π.Π. Επειδή έχουν εξωτερική ηλεκτρονική κατανομή s^1 και s^2, έχουν την τάση να αποβάλλουν ένα ή δύο ηλεκτρόνια. Γι' αυτό τα αλκάλια βρίσκονται συνήθως σε οξειδωτική κατάσταση +1 και οι αλκαλικές γαίες σε +2 και σε αυτές τις οξειδωτικές καταστάσεις απαντώνται στη φύση. Τέλος, εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους των ατόμων, τα μέταλλα των αλκαλίων και, σε μικρότερο βαθμό, των αλκαλικών γαιών, έχουν στη στερεά κατάσταση σχετικά μικρή πυκνότητα, σε αντίθεση με τα άλλα μέταλλα, που κατά κανόνα έχουν μεγάλες πυκνότητες.

Ο p τομέας αποτελείται από 30 στοιχεία, τα οποία μπορεί να ανήκουν στα μέταλλα, στα αμέταλλα, στα μεταλλοειδή ή στα ευγενή αέρια [33].

Ο d τομέας αποτελείται από 40 στοιχεία και ανήκουν όλα στα μέταλλα. Τα περισσότερα απαντώνται με διάφορους αριθμούς οξείδωσης γιατί χρησιμοποιούν στις ενώσεις τους όλα ή μερικά από τα s και d ηλεκτρόνιά τους [33]. Τα στοιχεία του χαρακτηρίζονται και ως στοιχεία μεταπτώσεως, ενώ έχει παρατηρηθεί ότι δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στις ιδιότητες τους. Έτσι, πέρα από το ότι όλα έχουν μεταλλικό χαρακτήρα, εμφανίζουν και άλλες κοινές ιδιότητες, όπως το ότι σχηματίζουν σύμπλοκα ιόντα και έγχρωμες ενώσεις, έχουν την ικανότητα να καταλύουν αντιδράσεις και εμφανίζουν πολλούς αριθμούς οξείδωσης. Επίσης, τα περισσότερα από τα μέταλλα μεταπτώσεως είναι παραμαγνητικά, λόγω της ύπαρξης ασύζευκτων ηλεκτρονίων στα d τροχιακά. Γενικά τα στοιχεία μεταπτώσεως σε μεταλλική κατάσταση δεν είναι δραστικά. Είναι λιγότερο ηλεκτροθετικά από τα μέταλλα του τομέα s και σχηματίζουν ιοντικές ενώσεις σε μικρότερη έκταση [34].

Ο f τομέας αποτελείται από 28 στοιχεία, ανήκουν όλα στα μέταλλα και χωρίζονται σε δύο ομάδες - σειρές. Η πρώτη είναι η ομάδα του Λανθανίου και η δεύτερη του Ακτινίου. Τα άτομα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους κυρίως στον αριθμό των ηλεκτρονίων f. Επειδή όμως τα ηλεκτρόνια f συμβάλλουν ελάχιστα στον καθορισμό των ιδιοτήτων, τα στοιχεία αυτά εμφανίζουν εντυπωσιακές ομοιότητες μεταξύ τους, και ιδίως τα στοιχεία της σειράς του Λανθανίου [33].

2.2 Η παρουσία των χημικών στοιχείων στα βιολογικά συστήματα

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν στον πλανήτη μας περίπου 500.000 είδη φυτών και περίπου 1.200.000 είδη ζώων. Αναλύσεις που έχουν γίνει σε ποσοστό 4-5% των βιολογικών αυτών συστημάτων έδειξαν ότι μόνο 11 στοιχεία εμφανίζονται σε όλα τα βιολογικά συστήματα. Αυτά είναι τα στοιχεία H, O, C, N, Na, K, Ca, Mg, P, S και Cl και θεωρούνται απολύτως απαραίτητα, ενώ 18 ακόμη στοιχεία έχουν βρεθεί σε βιολογικά συστήματα, εκ των οποίων τα 10 θεωρούνται απαραίτητα σε ορισμένα φυτά ή ζώα αλλά όχι σε όλα. Αυτά είναι τα: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, B, Si και Se. Τα υπόλοιπα 8 στοιχεία, V, Cr, F, I, As, Br, Sn και W, απαντούν σε ορισμένα ζώα ή φυτά, χωρίς όμως να θεωρείται απαραίτητη η παρουσία τους (Πίνακας 2) [35].

Πίνακας 2: Περιοδικός πίνακας των στοιχείων όπου επισημαίνονται οι διάφορες ομάδες των βιολογικού ενδιαφέροντος στοιχείων.

2.3 Μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία στον ανθρώπινο οργανισμό

Κάποιες ουσίες χαρακτηρίζονται ως απαραίτητες για τον ανθρώπινο οργανισμό, γιατί η απουσία τους ή η ανεπάρκεια τους μπορεί να προκαλέσει ασθένειες, ανωμαλίες ή σοβαρές δυσλειτουργίες. Οι ουσίες αυτές, που είναι απαραίτητες για την υγεία μας, δεν παράγονται στον οργανισμό μας και πρέπει να τις πάρουμε έτοιμες με τα τρόφιμα. Όπως όλες οι χημικές ουσίες, έτσι κι αυτές αποτελούνται από χημικά στοιχεία. Τα χημικά στοιχεία που είναι

απαραίτητα για τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα μακροστοιχεία και στα ιχνοστοιχεία [36].

2.3.1 Μακροστοιχεία

Στα μακροστοιχεία ανήκουν τα στοιχεία που έχουν βρεθεί στον ανθρώπινο οργανισμό και οι ανάγκες τους οργανισμού μας σε αυτά περιορίζονται σε κάποια γραμμάρια ανά κιλό ανθρωπίνου σώματος. Τα στοιχεία αυτά είναι το οξυγόνο, ο άνθρακας, το υδρογόνο, το άζωτο (όλα αυτά αποτελούν τα κύρια συστατικά των πρωτεϊνών, των λιπών και των υδατανθράκων) και το θείο. Σε αισθητά μικρότερες ποσότητες, αλλά πάλι της τάξης των g ανά kg ανθρωπίνου σώματος, έχουμε το νάτριο, το κάλιο, το μαγνήσιο, το ασβέστιο, το φωσφόρο και το χλώριο (υπό τη μορφή διαφόρων ενώσεων αποτελούν συστατικά διαφόρων ιστών) [36].

2.3.2 Ιχνοστοιχεία

Στα ιχνοστοιχεία ανήκουν τα στοιχεία που έχουν βρεθεί στον ανθρώπινο οργανισμό και οι ανάγκες τους οργανισμού μας σε αυτά περιορίζονται σε mg ή μg. Επειδή τα χρειαζόμαστε σε «ίχνη» ονομάζονται ιχνοστοιχεία. Συγκεκριμένα, ένα στοιχείο κατατάσσεται στα ιχνοστοιχεία όταν οι απαιτήσεις του οργανισμού μας σε αυτό ημερησίως είναι μικρότερες των 25 mg. Μέχρι στιγμής, στα ιχνοστοιχεία κατατάσσονται τα στοιχεία σίδηρος, ψευδάργυρος, χαλκός, κασσίτερος, μαγγάνιο, ιώδιο, πυρίτιο, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, σελήνιο, χρώμιο, βανάδιο, φθόριο, νικέλιο και αρσενικό (Πίνακας 3). Τα ιχνοστοιχεία που είναι απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό καλούνται και απαραίτητα ιχνοστοιχεία. Ένα χημικό στοιχείο κρίνεται ως απαραίτητο όταν η έλλειψη του προκαλεί ανωμαλίες, οι οποίες προλαμβάνονται ή και θεραπεύονται με τη χορήγηση αποκλειστικά και μόνο του στοιχείου αυτού [36].

Πολλά χημικά στοιχεία που αρχικά μελετήθηκαν για την τοξικότητα τους, απεδείχθη αργότερα ότι ήταν απαραίτητα ιχνοστοιχεία. Για παράδειγμα το σελήνιο, του οποίου η ανεπάρκεια είναι πιο επιβλαβής από την τοξικότητα του. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με το χρώμιο [36].

Τα ιχνοστοιχεία, όπως και οι βιταμίνες, δεν παράγονται στον οργανισμό μας, αλλά τα προμηθευόμαστε από εξωτερικές πηγές. Κάθε χημικό στοιχείο ακολουθεί το βιογεωχημικό κύκλο: από τα ορυκτά και τα πετρώματα στο έδαφος, από το έδαφος στα φυτά, από τα φυτά στα ζώα και με διάφορους τρόπους ξανά στο έδαφος [36].

Πίνακας 3: Σύσταση ανθρώπινου σώματος σε χημικά στοιχεία.

Στοιχεία	Ποσοστό %
Οξυγόνο	64,6
Ανθρακας	18,0
Υδρογόνο	10,0
Αζωτο	3,1
Ασβέστιο	1,9
Φωσφόρος	1,1
Χλώριο	0,40
Κάλιο	0,36
Θείο	0,25
Νάτριο	0,11
Μαγνήσιο	—
Σίδηρος	—
Ψευδάργυρος	—
Χαλκός	—
Κασσίτερος	—
Μαγγάνιο	—
Ιώδιο	—
Πυρίτιο	—
Κοβάλτιο	—
Μολυβδαίνιο	—
Σελήνιο	—
Χρώμιο	—
Βανάδιο	—
Φθόριο	—
Νικέλιο	—
Αρσενικό	—

2.4 Πως προσλαμβάνει ο οργανισμός τα μακροστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία

Τα ιχνοστοιχεία που προσλαμβάνουμε με τις τροφές ή με το νερό, βρίσκονται υπό τη μορφή διαφόρων ενώσεων. Ένα ποσοστό των ενώσεων αυτών υδρολύεται με το σάλιο στο στόμα, και τα ιχνοστοιχεία που περιέχουν απορροφώνται από τους σιελογόνους αδένες και τελικά καταλήγουν στο αίμα. Το μεγαλύτερο μέρος όμως των ενώσεων των ιχνοστοιχείων πηγαίνει στο στομάχι και στη συνέχεια στα έντερα, όπου γίνονται ορισμένες χημικές αντιδράσεις. Το είδος των χημικών αντιδράσεων εξαρτάται από τις συνθήκες,

το pH των υγρών του στομάχου ή των εντέρων και από το είδος των ενώσεων των ιχνοστοιχείων.

Στο πολύ όξινο περιβάλλον του στομάχου οι ενώσεις των ιχνοστοιχείων διαλύονται, αλλά στο αλκαλικό περιβάλλον των εντέρων παίρνουν τη μορφή των αδιάλυτων υδροξειδίων. Με τη μορφή αυτή είναι δύσκολη η απορρόφησή τους από τον επιθηλιακό ιστό των εντέρων. Τις περισσότερες όμως φορές, τα ιχνοστοιχεία σχηματίζουν κάποια διαλυτή ένωση με ορισμένες ουσίες που βρίσκονται στις τροφές ή τα υγρά του πεπτικού συστήματος, και με τον τρόπο αυτό η απορρόφηση διευκολύνεται. Επομένως, το κατά πόσο μπορεί ένα ιχνοστοιχείο να είναι αφομοιώσιμο εξαρτάται από τη δυνατότητα που έχει να σχηματίζει κατάλληλη χημική ένωση. Όσο πιο μεγάλη είναι η ποσότητα ενός ιχνοστοιχείου που παίρνουμε με τις τροφές, τόσο πιο μεγάλη ποσότητα της ένωσης σχηματίζεται και τόσο πιο μεγάλη ποσότητα πηγαίνει στο αίμα [36].

Όταν η ποσότητα ενός ιχνοστοιχείου είναι αρκετά μεγάλη, τότε ο οργανισμός φροντίζει για την αποθήκευση του. Αυτό γίνεται μέσω σύνθεσης μιας ειδικής αποθηκευτικής μεταλλοπρωτεΐνης. Για την περίπτωση της υπερεπάρκειας ορισμένων ιχνοστοιχείων, όπως π.χ. του ψευδαργύρου και του χαλκού, η πρωτεΐνη ονομάζεται μεταλλοθειονίνη. Όταν η ποσότητα των ιχνοστοιχείων είναι μικρή, σχηματίζεται μικρότερη ποσότητα μεταλλοθειονίνης και μεγάλο ποσοστό μετάλλου παραμένει ελεύθερο, για άμεση χρήση. Όταν η έλλειψη σε ένα ιχνοστοιχείο είναι μεγάλη, τότε είναι δυνατό να αντλήσει ο οργανισμός το ιχνοστοιχείο από την αποθηκευτική μεταλλοπρωτεΐνη [36].

Με τη μορφή των μεταλλοπρωτεϊνών, η περίσσεια των ιχνοστοιχείων παραμένει συσσωρευμένη σε ορισμένα όργανα για να αξιοποιηθεί σε περιόδους έλλειψης. Καθώς όμως τα επιθηλιακά κύτταρα συνεχώς ανανεώνονται, η απόθετη πρωτεΐνη και τα ιχνοστοιχεία που βρίσκονται σε αυτήν αποβάλλονται στα έντερα και τελικά με τα κόπρανα, αποβάλλονται και από τον οργανισμό. Η περίσσεια όμως των ιχνοστοιχείων μπορεί να αποβληθεί, με σχετικά ανάλογους μηχανισμούς, και από τους νεφρούς (ούρα), τα μαλλιά, τα νύχια, τον ιδρώτα και την αναπνοή [36].

2.5 Επάρκεια και ευεργετική δράση των ιχνοστοιχείων

Γενικά, είναι δύσκολο να αποφανθούμε αν είναι επαρκείς οι ποσότητες των ιχνοστοιχείων που παίρνουμε κάθε μέρα, έστω κι αν ξέρουμε με ακρίβεια την

ποσότητα των ιχνοστοιχείων που περιέχουν οι τροφές που καταναλώνουμε, γιατί όπως είδαμε, η δυνατότητα απορρόφησης από τον οργανισμό μας ενός ιχνοστοιχείου που παίρνουμε με τις τροφές δεν είναι πάντα η ίδια, αλλά εξαρτάται από το είδος του τροφίμου στο οποίο βρίσκεται. Π.χ. τρόφιμα ζωικής προέλευσης είναι καλύτερες πηγές ασβεστίου και ψευδαργύρου απ' ότι είναι τα φυτικής προέλευσης. Το αντίθετο συμβαίνει με το σελήνιο [36].

Οι ποσότητες των ιχνοστοιχείων που απαιτούνται για να έχουν αυτά ευεργετική δράση στον οργανισμό είναι επίσης σχετικές. Η ποσότητα αυτή για κάθε ιχνοστοιχείο βρίσκεται σε μια περιοχή διαφόρων τιμών της συγκέντρωσης. Στο σχήμα 1 φαίνεται η λειτουργικότητα του ιχνοστοιχείου συναρτήσει της συγκέντρωσης του.

Σχήμα 1: Διάγραμμα συσχετισμού της συγκέντρωσης του ιχνοστοιχείου και της λειτουργικότητας.

Η έκταση του τμήματος Γ-Δ είναι διαφορετική για κάθε ιχνοστοιχείο. Η καμπύλη αρχίζει θεωρητικά από τιμή συγκέντρωσης μηδέν. Η λέξη «θεωρητικά» αναφέρεται στο γεγονός ότι είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρχει κάποιος ζωντανός οργανισμός, που να μην έχει κάποιο ιχνοστοιχείο, έστω και σε μια ελάχιστη ποσότητα.

Όταν οι συγκεντρώσεις του ιχνοστοιχείου βρίσκονται κοντά στο μηδέν, οι ανωμαλίες, λόγω της έλλειψης, είναι σοβαρότατες και μπορεί να προκληθεί ακόμα και θάνατος. Όσο όμως οι τιμές της συγκέντρωσης αυξάνονται, τα συμπτώματα από την έλλειψη γίνονται ηπιότερα και γύρω στο σημείο Β, η ανεπάρκεια θεωρείται οριακή και τα συμπτώματα αυτής διαπιστώνονται

δύσκολα. Όταν οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων βρίσκονται μεταξύ των συγκεντρώσεων Γ και Δ, οι διάφορες λειτουργίες που σχετίζονται με τη δράση των ιχνοστοιχείων γίνονται κανονικά. Για τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες του Δ το ιχνοστοιχείο γίνεται επιβλαβές (τοξικό) για τον οργανισμό. Η τοξικότητα αυξάνει με την αύξηση της συγκέντρωσης του ιχνοστοιχείου και στην συγκέντρωση Ε μπορεί να προκληθεί και θάνατος [36].

2.6 Φυσικοχημικές ιδιότητες και βιολογική δράση των στοιχείων

Η φυσική και χημική συμπεριφορά των ατόμων καθορίζεται από τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά τους, όπως είναι το μέγεθος, η ενέργεια ιοντισμού, η ηλεκτρονική συγγένεια και η ηλεκτραρνητικότητα. Χαρακτηριστικά τα οποία έχουν άμεση σχέση με τη διάκριση των στοιχείων σε μέταλλα και αμέταλλα, με το ποια ιόντα κάθε στοιχείου είναι σταθερότερα, με το σθένος των στοιχείων, καθώς και με τις οξειδοαναγωγικές τους ιδιότητες, χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη βιολογική δράση των στοιχείων. Οι ιδιότητες αυτές παρουσιάζουν περιοδικότητα κατά μήκος μιας περιόδου. Συγκεκριμένα το μέγεθος των ατόμων μειώνεται, κατά κύριο λόγο, κατά μήκος μιας περιόδου, ενώ η ενέργεια ιοντισμού, η ηλεκτρονική συγγένεια και η ηλεκτραρνητικότητα αυξάνονται. Όσον αφορά, ειδικότερα, στην αξιοποίηση των χημικών ιδιοτήτων των στοιχείων από τους οργανισμούς, είναι σημαντικό να αναφερθούν τα βασικά πλεονεκτήματα που εμφανίζουν [33,37].

2.6.1 Μέγεθος και φορτίο

Διαφορετικά μεταλλικά κατιόντα έχουν και διαφορετικά μεγέθη, γεγονός το οποίο, σε συνδυασμό με το φορτίο του ιόντος, αναγνωρίζεται από τους βιολογικούς υποκατάστατες και αποτελεί ένα σημαντικό μηχανισμό εκλεκτικότητας και εξειδίκευσης [37].

2.6.2 Γεωμετρία

Οι προτιμητέες γεωμετρίες των διαφόρων ιόντων καθορίζονται από πολλούς παράγοντες και εμφανίζουν μια αξιοσημείωτη ποικιλία. Αυτό, πρακτικά, σημαίνει ότι το μεταλλικό κατιόν αναζητά στην πρωτεΐνη ένα συγκεκριμένο δομικό περιβάλλον και το οποίο, πολλές φορές, είναι απόλυτα εξειδικευμένο για το δεδομένο κατιόν. Όπως δε, γνωρίζουμε, το μεταλλικό κέντρο εμφανίζει χημική

δραστικότητα που εξαρτάται άμεσα από τη γεωμετρία του. Για παράδειγμα, η δέσμευση και η μεταφορά του O_2 από την αιμοσφαιρίνη απαιτεί μια «ακόρεστη» σφαίρα συντάξεως και άρα ο Fe(II) είναι πενταϋποκατεστημένος, ενώ η πρόσληψη και η απόδοση ενός ηλεκτρονίου από κέντρο Fe(II/III) του κυτοχρώματος c, προϋποθέτει διατήρηση της σφαίρας συντάξεως του μεταλλικού κέντρου και αρκεί η μεταβολή στον αριθμό οξειδώσεώς του. Έτσι, ο Fe(II) στο κυτόχρωμα c είναι συμπλεκτικά κορεσμένος και ως εκ τούτου εξαϋποκατεστημένος. Η περίπτωση της αιμοσφαιρίνης αποδεικνύει, επίσης, ότι αξιοποιείται η ευελιξία των κατιόντων των στοιχείων μεταπτώσεως ως προς τον αριθμό συντάξεως [37].

2.6.3 Οξύτητα κατά Lewis

Όλα τα κατιόντα μετάλλων είναι οξέα κατά Lewis, ιδιότητα η οποία είναι πολύ σημαντική σε οξεοβασική κατάλυση βιολογικών αντιδράσεων. Οξεοβασική, όπου όμως υπεισέρχεται κατά ένα ποσοστό και η οξειδοαναγωγή, είναι και η χημεία της δέσμευσης και της μεταφοράς μικρών μορίων, π.χ. του O_2 [37].

2.6.4 Μεταβολή οξειδωτικής καταστάσεως

Η ποικιλία οξειδωτικών καταστάσεων στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα στοιχείο μετάπτωσης, το καθιστά ιδανική επιλογή για τη μεταφορά ηλεκτρονίων, που αποτελεί βασική αντίδραση σε βιολογικά συστήματα. Ένας από τους παράγοντες που ρυθμίζουν την ταχύτητα μεταφοράς των ηλεκτρονίων είναι το δυναμικό αναγωγής του μεταφορέα των ηλεκτρονίων.

Όσον αφορά την οξειδωτική κατάσταση ή τη μορφή με την οποία τα στοιχεία συμμετέχουν σε ένα βιολογικό σύστημα, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί προκειμένου να γίνουν αποδεκτά από αυτό. Ο βασικός περιορισμός είναι ότι το δυναμικό οξειδοαναγωγής τους πρέπει να βρίσκεται μεταξύ -0,4 V και +0,8 V σε pH = 7, που αντιστοιχεί στο σύστημα H^+/H_2 και O_2/OH^-, δηλαδή στις τιμές κάτω από τις οποίες το H_2O ανάγεται σε H_2 και πάνω από τις οποίες το H_2O οξειδώνεται προς O_2. Κι αυτό γιατί το περιβάλλον όπου πραγματοποιούνται οι διάφορες βιολογικές δράσεις είναι το υδατικό, το οποίο πρέπει να παραμένει αναλλοίωτο. Έτσι ο σίδηρος μπορεί να υπάρχει μόνο ως Fe(II) και Fe(III), ο χαλκός ως Cu(I) και Cu(II), το μαγγάνιο ως Mn(II), Mn(III) και Mn(IV), με μόνη

εξαίρεση το μολυβδαίνιο, το οποίο μπορεί να παρουσιάζει αριθμό οξείδωσης από +2 έως +6 [35].

Πίνακας 4: Δυναμικά οξειδοαναγωγής των κυριότερων μεταλλικών ιχνοστοιχείων για σχηματισμό των αντίστοιχων υδροξειδίων σε pH=7.

E(V)											
+5		Cu^{3+}			MnO_4^-		$FeO_4^=$				
+4					$MnO_4^=$					CoO_2	
+3						Ni^{3+}					
+2					MnO_3^-			$CrO_4^=$			
+1		Cu^{2+} Cu^{+}		$MoO_4^=$	MnO_2	Ni^{2+}	Fe^{3+}			Co^{3+} Co^{2+}	
0	Ca	Cu	Mg	Mo	Mn	Ni	Fe	Cr	V	Co	Zn
−1				Mo^{3+}, MoO_2	Mn^{3+}		Fe^{2+}	Cr^{2+}	$H_2VO_4^-$		Zn^{2+}
−2					Mn^{2+}			Cr^{3+}	V^{2+} VO^{2+}		
−3									V^{3+}		
−4			Mg^{2+}								
−5	Ca^{2+}										

Στη γαλάζια ζώνη στον Πίνακα 4, βρίσκονται μεταλλικά ιόντα σε οξειδωτική κατάσταση που τα καθιστά ισχυρά οξειδωτικά, και μπορούν να προκαλέσουν αντιδράσεις που οδηγούν σε σοβαρές δυσλειτουργίες, ακόμη και στο θάνατο του βιολογικού συστήματος. Τα μεταλλοϊόντα τα οποία βρίσκονται στην κίτρινη ζώνη σταθεροποιούνται σε αρνητικά δυναμικά, που σημαίνει ότι τα ιόντα αυτά δεν μπορούν να συμμετάσχουν σε καταλυτικές αντιδράσεις. Τα μεταλλοιόντα στην πράσινη ζώνη, τα οποία παρουσιάζουν παραπάνω από μια οξειδωτική βαθμίδα στο παράθυρο οξειδοαναγωγής του H_2O, είναι αυτά τα οποία μπορούν να δράσουν οξειδοαναγωγικά σε υδατικό περιβάλλον χωρίς να προκληθούν αλλοιώσεις στο μέσο που γίνονται αυτές οι αντιδράσεις. Πρέπει επίσης να παρατηρήσουμε ότι τα αλκάλια και οι αλκαλικές γαίες απαντούν μόνο με ένα σθένος, 1+ και 2+ αντίστοιχα, δηλαδή με τις θερμοδυναμικά σταθερότερες μορφές τους στο νερό [35].

Πρέπει να τονισθεί ότι τα δυναμικά οξειδοαναγωγής που δίνονται στον Πίνακα 4, μπορούν να μεταβληθούν με τη χρήση κατάλληλων υποκαταστατών που

δίνουν σύμπλοκες ενώσεις, στις οποίες το δυναμικό αναγωγής του μετάλλου μπορεί να διαφέρει από ένωση σε ένωση. Ειδικά ο συνδυασμός του μεταλλικού κέντρου και του πρωτεϊνικού περιβάλλοντος έχει εντυπωσιακά αποτελέσματα, αφού έτσι εξασφαλίζεται ένα μεγάλο εύρος δυναμικών αναγωγής. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η συμμετοχή ιχνοστοιχείων ή οξειδωτικών καταστάσεων που βρίσκονται έξω από τα όρια που ορίζονται στον Πίνακα 4. Ο σχηματισμός των ενώσεων συναρμογής (σύμπλοκα) των ιχνοστοιχείων, εκτός των άλλων, είναι πολύ σημαντική διαδικασία ελεγχόμενης αποικοδόμησης των τροφών [35,37].

Χάρη στις διάφορες οξειδωτικές καταστάσεις των μετάλλων, διάφορα υποστρώματα «οργανικής φύσεως» οξειδώνονται ή ανάγονται. Τα απαραίτητα ηλεκτρόνια προσλαμβάνονται ή παρέχονται, αντίστοιχα, κυρίως από στοιχεία μεταπτώσεως [37].

2.6.5 Συμπλεκτική ικανότητα

Κατά τις ενζυμικές αντιδράσεις τα μεταλλικά ιόντα σχηματίζουν σύμπλοκα, έτσι ώστε να μεταβληθεί η γεωμετρία των αντιδρώντων μορίων ή να ενεργοποιηθούν οι δεσμοί τους και να επιταχυνθεί η αντίδραση. Επομένως, η ενζυμική αντίδραση εξαρτάται από την συμπλεκτική ικανότητα του μεταλλικού ιόντος που συμμετέχει. Γενικά τα μακροστοιχεία (Na, K, Ca, Mg) βρίσκονται μαζί με σκληρές βάσεις (δότες ηλεκτρονίων) όπως είναι το -O- και το $-O^-$, μόνο που τα αλκάλια είναι σχετικά ευκίνητα σχηματίζοντας ασθενή σύμπλοκα, ενώ οι αλκαλικές γαιές, που είναι από σχετικά ευκίνητες έως στατικές, με τις ίδιες σκληρές βάσεις σχηματίζουν ισχυρότερα σύμπλοκα. Τα στοιχεία μεταπτώσεως σχηματίζουν γενικά ισχυρά σύμπλοκα και γι' αυτό είναι ιδιαίτερα σταθερά. Αυτά τα μέταλλα μπορούν να βρεθούν σε διάφορες καταστάσεις οξείδωσης και γι' αυτό διαφέρουν οι προτιμήσεις τους σε άτομα δότες καθώς κινούμαστε από το μαγγάνιο στον ψευδάργυρο. Συγκεκριμένα τα ιόντα Mn(II), Mn(III) προτιμούν οξυγονούχους δότες, τα ιόντα Fe(II), Fe(III) και Co(II), Co(III) αζωτούχους και οξυγονούχους δότες, τα ιόντα Cu(I), Cu(II) αζωτούχους και θειούχους και το ιόν Zn(II) θειούχους [33,38].

Όταν η αλληλεπίδραση μετάλλου – υποκαταστάτη έχει τον χαρακτήρα συμπλόκου, το σύμπλεγμα «Μεταλλικό ιόν – Υποκαταστάτης», αποτελεί το

ενεργό κέντρο στο οποίο εστιάζεται και η αντίστοιχη χημική δραστικότητα. Η αλληλεπίδραση αυτή καθορίζεται:

1. Από το φορτίο του κατιόντος και του βιολογικού υποκαταστάτη. Ο γενικός κανόνας είναι ότι όσο περισσότερο αρνητικά φορτισμένος είναι ο υποκατάστατης, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξειδίκευση για μεταλλικά ιόντα υψηλού φορτίου. Να σημειωθεί ότι το εσωτερικό των πρωτεϊνών μπορεί να θεωρηθεί ως ένας «διαλύτης» μικρής διηλεκτρικής σταθεράς και ως εκ τούτου, οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις είναι πιο σημαντικές από αυτές με διαλύτη το H_2O.
2. Από το αν το οξύ ή η βάση χαρακτηρίζεται ως σκληρό/σκληρή ή μαλακό/μαλακή αντίστοιχα, με τα μεταλλικά ιόντα να είναι τα οξέα και οι υποκαταστάτες οι βάσεις κατά Lewis. Ως μαλακά θεωρούνται τα χημικά είδη που έχουν μεγάλο μέγεθος και σχετικά υψηλή πολωσιμότητα, ενώ σκληρά είναι αυτά με μικρό μέγεθος και με μικρότερη πολωσιμότητα. Ο γενικός κανόνας που ακολουθούν τα συστήματα, σχεδόν πάντα, είναι ότι ένα σκληρό/μαλακό μεταλλικό ιόν προτιμά να συμπλεχθεί με μια σκληρή/μαλακή βάση αντίστοιχα.
3. Από τα ειδικά χαρακτηριστικά των υποκαταστατών στη σύμπλεξή τους με τα μεταλλικά κατιόντα. Για παράδειγμα, η επίδραση χηλιώσεως προσδίδει αυξημένη σταθερότητα σε ορισμένα ενεργά κέντρα μεταλλοπρωτεϊνών, με χαρακτηριστική περίπτωση τις μεταλλοπορφυρίνες [37].

2.7 Ένζυμα

Στα κύτταρα όλων των οργανισμών πραγματοποιούνται ταυτόχρονα χιλιάδες διαφορετικές βιοχημικές αντιδράσεις. Ωστόσο, αυτές οι αντιδράσεις, (εκτός από λίγες εξαιρέσεις), για να προχωρήσουν με χρήσιμους ρυθμούς στις δεδομένες φυσιολογικές συνθήκες, απαιτούν τη δράση βιολογικών καταλυτών. Αυτοί οι βιολογικοί καταλύτες είναι τα ένζυμα. Ο όρος ένζυμο (enzyme) καθιερώθηκε από το Φ. Κίνε (F. Kuhne) το 1878, για να δηλώσει τις δραστικές ουσίες που βρίσκονται μέσα στα κύτταρα των ζυμών (μονοκύτταροι μύκητες). Προήλθε από τις ελληνικές λέξεις εν και ζύμη. Η σύνθεση, η αποικοδόμηση και η καταλυτική δράση των ενζύμων, ελέγχονται έτσι ώστε να

ανταποκρίνονται στις ανάγκες του κυττάρου για ενέργεια και δομικά συστατικά [39,40].

Τα ένζυμα, γενικά, καταλύουν αντιδράσεις που θα μπορούσαν να γίνουν και χωρίς την παρουσία τους. Με την παρουσία όμως των ενζύμων η ταχύτητα των αντιδράσεων αυξάνεται ακόμη και 100 εκατομμύρια φορές. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται, με την παρουσία ενζύμων, μέσα σε ένα λεπτό, θα χρειάζονταν έως και 32 μήνες για να πραγματοποιηθούν χωρίς αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των αντιδρώντων μορίων ή μορίων – υποστρωμάτων [40].
Τα ένζυμα, είναι αξιοθαύμαστα μόρια που προσδιορίζουν τον τρόπο των χημικών μετασχηματισμών και μεσολαβούν στον μετασχηματισμό των διαφόρων μορφών ενέργειας. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ενζύμων είναι η καταλυτική τους ισχύς, η εξειδίκευση τους, και ακόμη, το γεγονός ότι σε πολλά ένζυμα γίνεται ρύθμιση της δράσης τους. Σχεδόν όλα τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες. Η πρόσφατη ανακάλυψη των καταλυτικά ενεργών μορίων RNA δείχνει ότι οι πρωτεΐνες δεν έχουν το αποκλειστικό μονοπώλιο της κατάλυσης [41].
Οι πρωτεΐνες, ως μια τάξη μακρομορίων, καταλύουν πολύ αποτελεσματικά διάφορες χημικές αντιδράσεις λόγω της ικανότητας τους να προσδένουν εξειδικευμένα μία ευρεία τάξη μορίων. Τα ένζυμα, χρησιμοποιώντας ολόκληρο το απόθεμα των ενδομοριακών τους δυνάμεων, φέρνουν μαζί τα υποστρώματα σε έναν άριστο προσανατολισμό, που είναι η προετοιμασία για τον σχηματισμό και τη διάσπαση χημικών δεσμών. Στην ουσία, τα ένζυμα καταλύουν αντιδράσεις με το να σταθεροποιούν τις μεταβατικές καταστάσεις (τις υψηλότερες ενεργειακά διαμορφώσεις) στις πορείες των αντιδράσεων. Ένα ένζυμο πραγματοποιεί αυτή τη λειτουργία επιλεκτικά και προσδιορίζει ποια από τις αντιδράσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν λαμβάνει χώρα. Επίσης, τα ένζυμα μπορούν να δρουν ως μοριακοί διακόπτες με το να ρυθμίζουν την καταλυτική δραστικότητα και να μετασχηματίζουν ενέργεια, εξ αιτίας της ικανότητας τους για σύζευξη των δράσεων διαφορετικών περιοχών πρόσδεσης [41].
Ο προσανατολισμός των μορίων - υποστρωμάτων γίνεται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου, που αποτελεί μια μικρή περιοχή του. Η σύνδεση των

αντιδρώντων μορίων με αυτό μοιάζει με το «ταίριασμα του κλειδιού στην κλειδαριά». Η σύνδεση των υποστρωμάτων με το ένζυμο έχει ως αποτέλεσμα να γίνονται ασταθείς οι δεσμοί των αντιδρώντων μορίων. «Σπάνε» πιο εύκολα, κάτι που αποτελεί προϋπόθεση για το σχηματισμό των προϊόντων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το ενεργό κέντρο των ενζύμων αποκτά σχήμα συμπληρωματικό του σχήματος του υποστρώματος μόνο μετά την πρόσδεση του υποστρώματος στο ενεργό κέντρο [40].

Το ενεργό κέντρο ενός ενζύμου είναι, όπως είπαμε, η περιοχή όπου προσδένονται τα υποστρώματα (και η προσθετική ομάδα, εάν υπάρχει) και περιέχει τα αμινοξέα που συμμετέχουν απ' ευθείας στο σχηματισμό ή τη διάσπαση δεσμών. Αυτά τα κατάλοιπα ονομάζονται καταλυτικές ομάδες. Αν και τα ένζυμα διαφέρουν ευρέως στη δομή, την εξειδίκευση και τον τρόπο της κατάλυσης, μπορεί να αναφερθεί ένας αριθμός από γενικεύσεις που αφορούν το ενεργό κέντρο.

1. Το ενεργό κέντρο καταλαμβάνει ένα σχετικά μικρό μέρος από τον συνολικό όγκο ενός ενζύμου.
2. Το ενεργό κέντρο είναι μια τρισδιάστατη οντότητα που έχει σχηματιστεί από ομάδες που προέρχονται από διαφορετικές περιοχές μιας γραμμικής αλληλουχίας αμινοξέων.
3. Τα υποστρώματα προσδένονται στα ένζυμα με πολλαπλές ασθενείς έλξεις.
4. Τα ενεργά κέντρα είναι εσοχές ή σχισμές.
5. Η εξειδίκευση της πρόσδεσης εξαρτάται από την επακριβώς καθορισμένη τοποθέτηση των ατόμων στο ενεργό κέντρο [41].

Το γεγονός ότι τα ένζυμα είναι πρωτεϊνικά μόρια έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες, τουλάχιστον, από τις ιδιότητες τους να είναι κοινές με αυτές των πρωτεϊνών. Ας δούμε τις κυριότερες ιδιότητες των ενζύμων:

- Η καταλυτική δράση των ενζύμων καθορίζεται από την τριτοταγή δομή του πρωτεϊνικού μορίου τους και χάνεται, όταν η δομή αυτή, για κάποιο λόγο, πάψει να υπάρχει.

- Δρουν πολύ γρήγορα. Για παράδειγμα, ένα μόριο καταλάσης μπορεί να καταλύσει, στη θερμοκρασία του κυττάρου, τη διάσπαση έξι εκατομμυρίων μορίων υπεροξειδίου του υδρογόνου μέσα σε ένα λεπτό ($2H_2O_2 \xrightarrow{\text{καταλάση}} 2H_2O+O_2$).

- Δε συμμετέχουν στην αντίδραση που καταλύουν, με την έννοια ότι παραμένουν αναλλοίωτα, και μετά το τέλος της αντίδρασης μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν πολλές φορές, ώσπου να καταστραφούν.
- Εμφανίζουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, που οφείλεται στη διάταξή τους στο χώρο και στη δυνατότητα σύνδεσης του ενεργού τους κέντρου με το υπόστρωμα. Αυτό σημαίνει ότι δρουν συνήθως σε ένα μόνο συγκεκριμένο υπόστρωμα. Ένα ένζυμο, δηλαδή, καταλύει συνήθως μία μόνο χημική αντίδραση ή, το πολύ, μια σειρά από πολύ συγγενικές αντιδράσεις. Η καταλάση, για παράδειγμα, καταλύει μόνο την αντίδραση διάσπασης του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Αντίθετα, η παγκρεατική λιπάση, ένζυμο που εκκρίνεται από το πάγκρεας, καταλύει τις αντιδράσεις διάσπασης μιας σειράς διαφορετικών λιπιδίων.
- Η δραστικότητα των ενζύμων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σ' αυτούς ανήκουν η θερμοκρασία, το pH κ.ά.

Τα ένζυμα, ανάλογα με το αν δρουν μέσα στα κύτταρα του οργανισμού ή εκκρίνονται και δρουν έξω από αυτά, σε κοιλότητες όπως το στομάχι, διακρίνονται σε ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά. Μέσα στο κύτταρο, τα ένζυμα βρίσκονται είτε ελεύθερα είτε δεσμευμένα πάνω σε μεμβράνες. Αυτό προσδιορίζει και το χώρο όπου μπορεί να λαμβάνει χώρα η αντίδραση την οποία κάθε ένζυμο καταλύει. Τα ένζυμα παίρνουν συνήθως το όνομά τους είτε με προσθήκη της κατάληξης - άση στο όνομα του υποστρώματος στο οποίο δρουν, είτε από τον τύπο της αντίδρασης που καταλύουν. Για παράδειγμα, οι λιπάσες καταλύουν αντιδράσεις διάσπασης λιπιδίων [40].

Πολλά ένζυμα (περίπου 30% των γνωστών ενζύμων) περιέχουν μεταλλικά ιόντα (Mg^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}), τα οποία είναι απαραίτητα για την καταλυτική δραστηριότητά τους. Τα ένζυμα αυτά αναφέρονται συνήθως ως μεταλλοένζυμα. Ο τρόπος σύνδεσης του μεταλλικού ιόντος με το ένζυμο ποικίλλει:

α) ορισμένα μεταλλικά ιόντα είναι συνδεδεμένα, μέσω ισχυρών δεσμών, με τις πλευρικές αλυσίδες ορισμένων αμινοξικών καταλοίπων της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Σε αυτήν την περίπτωση τα μεταλλικά ιόντα μετέχουν άμεσα στην κατάλυση, όπως για παράδειγμα ο ψευδάργυρος στην καρβοξυπεπτιδάση Α.

β) πολλές φορές όμως, αποτελούν συστατικό της προσθετικής ομάδας. Σε αυτήν την περίπτωση το μεταλλικό ιόν μετέχει πιο έμμεσα στην κατάλυση,

όπως για παράδειγμα ο σίδηρος του πορφυρινικού δακτυλίου των κυτοχρωμάτων.

γ) ορισμένες φορές, τα μεταλλικά ιόντα δεν είναι ούτε συνδεδεμένα με το πρωτεϊνικό μόριο, ούτε παίζουν ρόλο στην κατάλυση, αλλά απλά είναι απαραίτητα για την εκδήλωση της καταλυτικής δράσης του ενζύμου. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα μεταλλικά ιόντα λειτουργούν ως ενεργοποιητές, δηλαδή μετέχουν έμμεσα στην κατάλυση, επηρεάζοντας την πρόσδεση του υποστρώματος ή δημιουργούν μία πιο ενεργή καταλυτική θέση με το να μεταβάλλουν τη διαμόρφωση του ενζύμου (π.χ. η αλδολάση έχει ως ενεργοποιητή το K^+) [39,42].

2.7.1. Ο ρόλος των μεταλλικών ιόντων κατά τις ενζυματικές δράσεις

Κατά τις ενζυματικές δράσεις τα μεταλλικά ιόντα σχηματίζουν σύμπλοκα, έτσι ώστε να μεταβληθεί η γεωμετρία των αντιδρώντων μορίων ή να ενεργοποιηθούν οι δεσμοί τους και να επιταχυνθεί η αντίδραση. Επομένως, η ενζυματική δράση εξαρτάται από τη συμπλεκτική ικανότητα του μεταλλικού ιόντος που συμμετέχει. Εξαρτάται επίσης από τις συμπλεκτικές ιδιότητες των βιολογικών μορίων, που όμως δεν έχουν ουσιώδεις διαφορές από τις συμπλεκτικές ικανότητες απλούστερων μορίων (υποκαταστατών). Επομένως, οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν το σχηματισμό συμπλόκων σε βιολογικά συστήματα μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

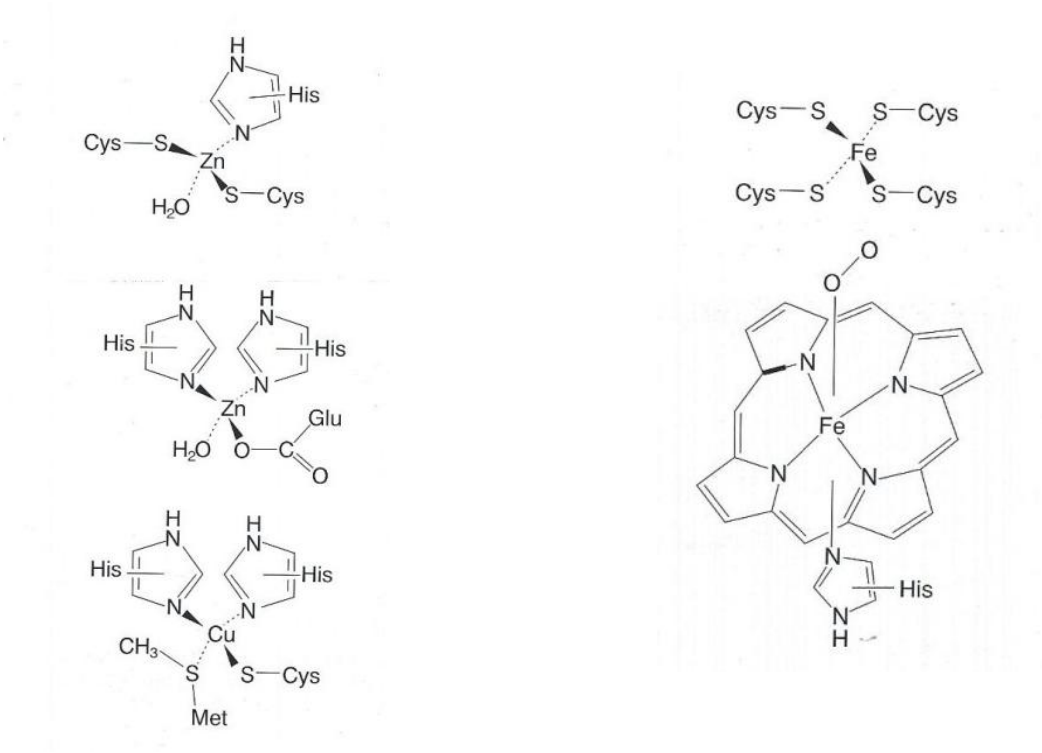
α) Τα άτομα – δότες των βιολογικών μορίων είναι συνήθως τα O, N και S (Εικόνα 1). Για δεδομένο υποκαταστάτη, που συνδέεται με τα άτομα αυτά προς τα συνήθη δισθενή μεταλλικά ιόντα των βιολογικών συστημάτων, η σταθερότητα των σχηματιζόμενων συμπλόκων ακολουθεί, ως επί το πλείστον, τη σειρά:

$$Ba^{2+} < Ca^{2+} < Sr^{2+} < Mg^{2+} < Mn^{2+} < Fe^{2+} < Co^{2+} < Ni^{2+} < Cu^{2+} > Zn^{2+}$$

Πολλά βιολογικά μόρια συνδέονται προς το μεταλλικό ιόν διά μέσου οξυγόνου που ανήκει σε φωσφορική ομάδα. Στην περίπτωση αυτή, η παραπάνω γενική σειρά ακολουθείται σε γενικές γραμμές, αλλά όχι επακριβώς:

$$Ba^{2+} \sim Sr^{2+} \sim Ca^{2+} \sim Mg^{2+} < Mn^{2+} \sim Fe^{2+} \sim Co^{2+} \sim Ni^{2+} < Cu^{2+}$$

Εξάλλου, το ίδιο μεταλλικό ιόν έχει προτίμηση για ορισμένους υποκαταστάτες. Τα σύμπλοκα π.χ. των πρωτεϊνών, που συνδέονται διά μέσου θείου με δισθενή ιόντα στοιχείων μετάπτωσης ή της οικογένειας του ψευδαργύρου, είναι σταθερότερα από τα αντίστοιχα σύμπλοκα με δισθενή ιόντα των αλκαλικών γαιών. Το ίδιο ισχύει για υποκαταστάτες που συνδέονται διά μέσου ιμιδαζολικού αζώτου. Το Mn(II), εξάλλου, προτιμά υποκαταστάτες που συνδέονται διά μέσου οξυγόνου.



Εικόνα 1: Τα O, N και S είναι τα συνήθη άτομα δότες των βιολογικών μορίων. Η γεωμετρία των συμπλόκων εξαρτάται από το μέταλλο και τη δομή των βιομορίων.

β) Οι περισσότεροι από τους υποκαταστάτες έχουν τάση σύνδεσης, όχι μόνο με μεταλλικά ιόντα (οξέα κατά Lewis), αλλά και με πρωτόνια (επίσης οξέα κατά Lewis). Για αυτό υπάρχει πολλές φορές συναγωνισμός μεταξύ μεταλλικών ιόντων και πρωτονίων για την κατάληψη της ίδιας θέσης του υποκαταστάτη. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο σχηματισμός συμπλόκων επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου. Με μεταβολή του pH είναι δυνατό να μεταβληθεί το είδος των συμπλόκων που συμμετέχουν

στο βιολογικό σύστημα και να επέλθουν ριζικές μεταβολές στις αντιδράσεις που γίνονται.

γ) Σημαντικό ρόλο στα βιολογικά συστήματα διαδραματίζει επίσης η χηλίωση. Οι πρωτεΐνες, π.χ., μπορούν να σχηματίσουν χηλικά σύμπλοκα με τις ομάδες □SH, □NH_2, □COOH, □OH κ.λπ., και σπανιότερα με τις ενδιάμεσες αμιδικές (>NH) ομάδες.

δ) Σε βιολογικά συστήματα σχηματίζουν επίσης πολλές φορές μικτά σύμπλοκα, δηλαδή σύμπλοκα που έχουν δύο ή περισσότερα είδη υποκαταστατών. Είναι φανερό ότι τέτοια σύμπλοκα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά τις ενζυματικές δράσεις, που εξαρτώνται από το σχηματισμό μικτού συμπλόκου περιέχοντος τον αρχικό υποκαταστάτη του ενζύμου και του αντιδρώντος υποστρώματος.

ε) Τέλος, τα βιολογικής σημασίας σύμπλοκα επηρεάζονται από την πολικότητα του διαλύτη, καθώς και από τη συγκέντρωση και τη φύση των ηλεκτρολυτών που υπάρχουν στο διάλυμα.

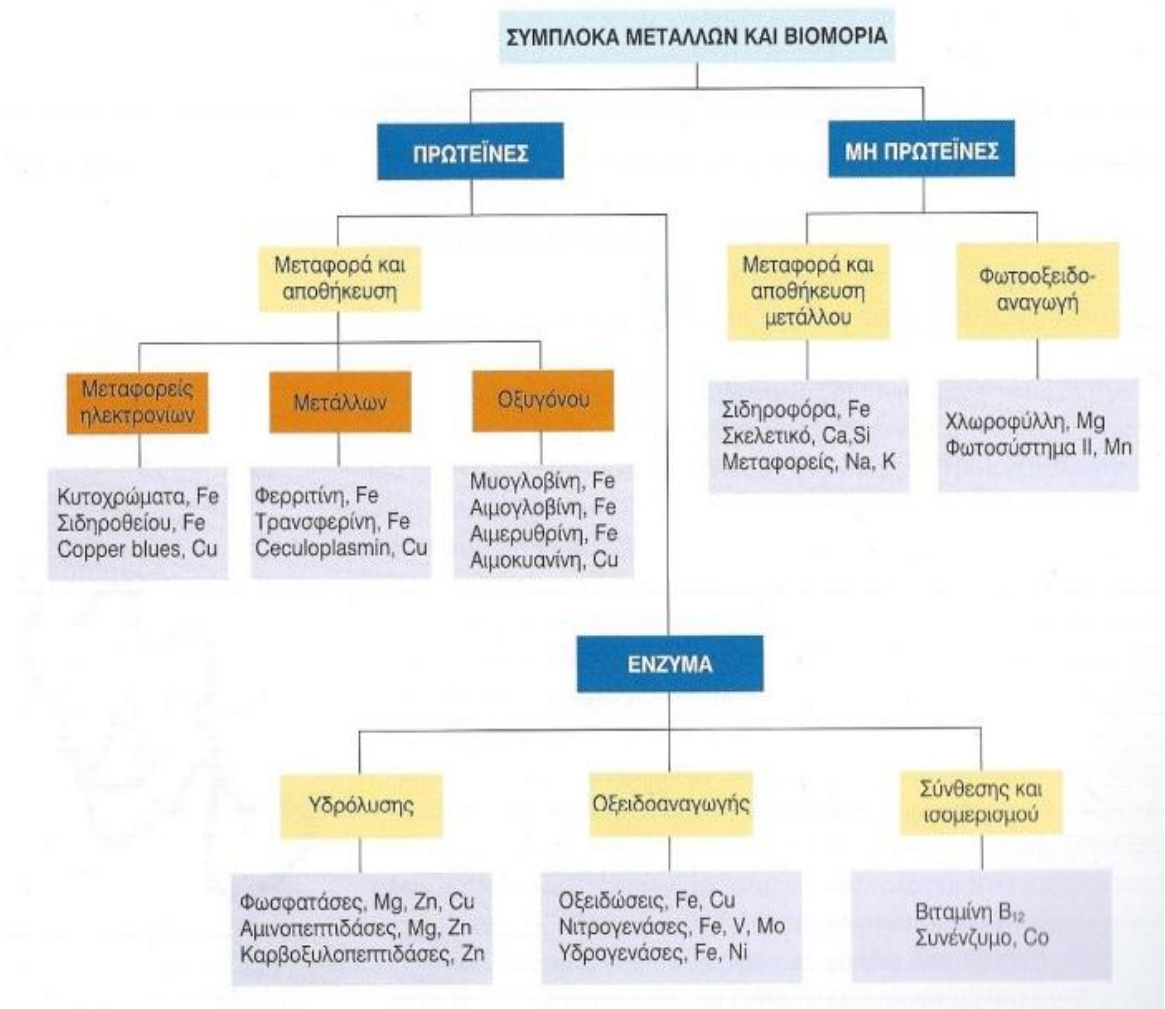
Καλώς εξισορροπημένη ρύθμιση στους ζώντες οργανισμούς όλων των παραπάνω παραγόντων, καθορίζει ποια σύμπλοκα θα σχηματισθούν και πώς θα δράσουν σε κάθε περίπτωση.

Στην εικόνα 1, δόθηκαν ορισμένα παραδείγματα βιολογικής σημασίας συμπλόκων. Στην πραγματικότητα δόθηκαν παραδείγματα μόνο των ∀ενεργών θέσεων∀, δηλαδή τα σύμπλοκα είναι απομονωμένες οντότητες από το υπόλοιπο βιομόριο (πρωτεΐνη). Για την ερμηνεία λοιπόν των ιδιοτήτων των βιολογικής σημασίας συμπλόκων (π.χ. σταθερότητα, ενεργότητα) πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη ότι τα ∀ενεργά κέντρα∀ αποτελούν ένα μικρό μέρος ενός μεγάλου μορίου (μακρομορίου), περιβάλλονται από αυτό και επηρεάζονται από τη δομή του (Εικόνα 2).

Εικόνα 2: Σχηματική αναπαράσταση ενός ενεργού κέντρου μιας μεταλλοπρωτεΐνης. Το ενεργό κέντρο, που συνδέεται με το μέταλλο, είναι αποτέλεσμα της ιδιαίτερης δομής που αποκτά το βιομόριο.

Οι παράγοντες (β) και (ε) π.χ. που αναφέρθηκαν παραπάνω επηρεάζουν τη δομή του βιομορίου, ενώ οι (γ) και (δ) επηρεάζονται από τη δομή του.

Γενικά, ο ρόλος των μεταλλικών ιόντων διακρίνεται σε δομικό και λειτουργικό. Στην πρώτη περίπτωση, το μεταλλικό ιόν σταθεροποιεί τη δομή μιας πρωτεΐνης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση επιδρά καταλυτικά στην ενεργότητά της. Μια γενική ταξινόμηση των βιολογικής σημασίας συμπλόκων παρατίθεται στο σχήμα (Σχήμα 2). Οι πρωτεΐνες που αναφέρονται στο σχήμα είναι πολυμερή αμινοξέων που συνδέονται με αμιδικούς δεσμούς. Τα ένζυμα λειτουργούν ως καταλύτες αντιδράσεων σε φυσιολογικές συνθήκες. Όλα τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες, αλλά όλες οι πρωτεΐνες δεν είναι απαραίτητο να είναι ένζυμα. Τόσο τα μεταλλοένζυμα όσο και οι μεταλλοπρωτεΐνες περιέχουν τουλάχιστον ένα μεταλλικό ιόν [33].



Σχήμα 2: Κατάταξη της βιολογικής σημασίας συμπλόκων.

2.8 Μεταλλοπρωτεΐνες

Ορισμένες πρωτεΐνες συνδέονται με μεταλλικά ιόντα σιδήρου, κοβαλτίου, μαγνησίου, ψευδαργύρου, χαλκού και μαγγανίου τα οποία προσδίδουν καταλυτικούς, δομικούς και μεταφορικούς ρόλους στις πρωτεΐνες. Πολλά ένζυμα περιέχουν μεταλλικά ιόντα συνδεδεμένα με την ενζυμική πρωτεΐνη και καλούνται μεταλλοένζυμα, ή απαιτούνται αυτά τα ιόντα στο περιβάλλον για την ενζυμική δραστικότητα, οπότε καλούνται μεταλλοενεργοποιούμενα ένζυμα. Μια διαφορετική λειτουργικότητα ορισμένων πρωτεϊνών είναι αυτή της σύνδεσης τους με μεταλλικά ιόντα, για τη διευκόλυνση της μεταφοράς τους με το αίμα στον τόπο μεταβολισμού τους. Τέτοιες μεταλλοπρωτεΐνες είναι για παράδειγμα η τρανσφερρίνη, μία β_1-σφαιρίνη που μπορεί να συνδέεται με ιόντα σιδήρου, χαλκού και ψευδαργύρου με κύριο ρόλο τη μεταφορά το σιδήρου, και η σερουλοπλασμίνη, που πρακτικά μεταφέρει όλο τον χαλκό του ορού [43].

2.8.1 Μεταλλοένζυμα

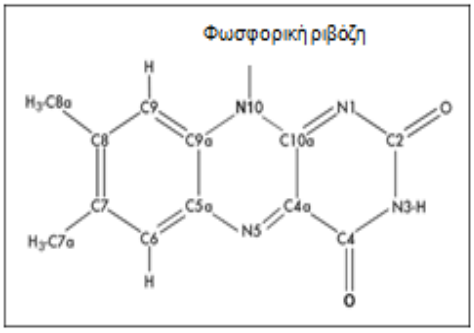
Ως μεταλλοένζυμα μπορούν να ορισθούν τα ένζυμα που περιέχουν ισχυρά συνδεδεμένα μεταλλικά ιόντα, όπου το μεταλλικό ιόν αποτελεί βασικό παράγοντα της καταλυτικής δράσης. Τα μεταλλοένζυμα χωρίζονται, ανάλογα με τις ιδιότητες των μετάλλων που διαθέτουν, σε οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα και σε μη οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα, στα οποία το μεταλλικό ιόν δρα κυρίως ως οξύ κατά Lewis. Τα βιολογικά συστήματα έχουν επιλέξει τα ιόντα Mg(II), Ca(II), Mn(II), Ni(II) και κυρίως Zn(II), προκειμένου να παίξουν το ρόλο των οξέων κατά Lewis στα μεταλλοένζυμα [44].

Ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu) και ο ψευδάργυρος (Zn) βρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από όλα τα ιχνοστοιχεία και είναι απαραίτητα σε κάθε ζωντανό οργανισμό του πλανήτη. Αυτό οφείλεται στο ότι ο σίδηρος και ο χαλκός μπορούν εύκολα να αλλάξουν την οξειδωτική τους κατάσταση και γι' αυτό συμμετέχουν στα περισσότερα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρονίων, ενώ ο ψευδάργυρος δρα ως το σούπερ οξύ κατά Lewis και ευρισκόμενο στο κέντρο πολλών μη οξειδωτικών μεταλλοενζύμων, συμμετέχει στην υδρόλυση ή στη διάσπαση διαφόρων χημικών δεσμών [38].

2.8.2 Οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα

Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις είναι θεμελιώδεις για όλες τις λειτουργίες της ζωής. Οι περιέχουσες χαλκό ή σίδηρο πρωτεΐνες, κυριαρχούν στη διαδικασία της μεταφοράς ηλεκτρονίων, όπου το πεπτιδικό ή πρωτεϊνικό συστατικό εμφανίζεται ως ο «συντονιστής» του μεταλλικού κέντρου, για τον απαιτούμενο οξειδοαναγωγικό ρόλο. Πιστεύεται ότι η πρωτεΐνη αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να μετακινούνται κατά αξιοσημείωτες αποστάσεις από το ένα οξειδοαναγωγικό κέντρο στο άλλο [44].

Η μεταφορά των ηλεκτρονίων ανάμεσα στα οξειδοαναγωγικά κέντρα πρέπει να είναι ελεγχόμενη και εξειδικευμένη, διότι διαφορετικά το όλο σύστημα θα «βραχυκύκλωνε» και το κύτταρο δε θα μπορούσε να αξιοποιήσει την ενέργεια που περιέχουν οι τροφές. Με άλλα λόγια, τα ηλεκτρόνια θα πρέπει να αναγνωρίζουν το επόμενο, κάθε φορά, οξειδοαναγωγικό κέντρο, έτσι ώστε να μην χάνονται σε ανεπιθύμητες και επιβλαβείς οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.



Εικόνα 3: Συντακτικός τύπος φλαβίνης.

Τα οξειδοαναγωγικά κέντρα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων στους βιολογικούς οργανισμούς είναι, είτε μόρια οργανικής φύσεως, π.χ. φλαβίνες (Εικόνα 3), είτε κατιόντα στοιχείων μεταπτώσεως, όπως Fe, Cu, Mn, Co, Ni, Mo και W. Όπως συμβαίνει με κάθε χημική αντίδραση, η μεταφορά των ηλεκτρονίων υπόκειται σε θερμοδυναμικό και κινητικό έλεγχο και ο συνδυασμός των ιδιοτήτων των μεταλλικών κατιόντων και του πρωτεϊνικού περιβάλλοντος, ρυθμίζουν επιθυμητά την ελεύθερη ενέργεια ΔG^o, καθώς και την ταχύτητα μεταφοράς του ηλεκτρονίου. Για τη ρύθμιση των παραμέτρων αυτών συνδυάζονται οι παρακάτω παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με τη θεωρία μεταφοράς ηλεκτρονίων («Θεωρία Marcus»):

1. Η απόσταση ανάμεσα στα οξειδοαναγωγικά κέντρα. Η σταθερά ταχύτητας ελαττώνεται, σε πρώτη προσέγγιση, εκθετικά με την απόσταση. Ο ρόλος του πρωτεϊνικού περιβάλλοντος είναι καθοριστικός, διότι από τη θέση του οξειδοαναγωγικού κέντρου, στο εσωτερικό της πρωτεΐνης, καθορίζεται η απόσταση του με άλλα κέντρα της

ίδιας ή διαφορετικής πρωτεΐνης (ενδομοριακή ή διαμοριακή, μεταφορά ηλεκτρονίου, αντίστοιχα). Στη δεύτερη περίπτωση, είναι απαραίτητοι οι μηχανισμοί «Μοριακής Αναγνώρισης» ανάμεσα στις πρωτεΐνες. Η «Μοριακή Αναγνώριση» μεταξύ πρωτεϊνών επιτυγχάνεται, κυρίως, με την κατανομή φορτίου στην επιφάνεια της πρωτεΐνης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό εξειδικευμένων συμπλεγμάτων «πρωτεΐνης-πρωτεΐνης» [37].

2. Το δυναμικό αναγωγής του μεταλλικού κατιόντος. Καθορίζεται από τις εγγενείς ιδιότητες του κάθε μεταλλικού κατιόντος, καθώς και από την αλληλεπίδραση του με το πρωτεϊνικό περιβάλλον. Η διαφορά ανάμεσα στο δυναμικό αναγωγής δύο οξειδοαναγωγικών κέντρων ($\Delta E° = E_1° - E_2°$), ουσιαστικά παρέχει την ελεύθερη ενέργεια της αντιδράσεως $\Delta G°$, αφού ισχύει η σχέση $\Delta G° = - nF\Delta E°$. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα οξειδοαναγωγικά δυναμικά των μεταλλοσυμπλόκων, σε διαλύτη νερό, μπορούν να συνοψισθούν στις παρακάτω προτάσεις:

   α) Αρνητικά φορτία στον υποκαταστάτη ευνοούν την υψηλότερη οξειδωτική κατάσταση και όσο υψηλότερο το αρνητικό φορτίο, τόσο χαμηλότερο το οξειδοαναγωγικό δυναμικό. Έτσι, το d^9 σύμπλοκο του Cu(II) οξειδώνεται εύκολα στο d^8 σύμπλοκο του Cu(III).

   β) Ισχυροί σ-δότες ευνοούν υψηλές οξειδωτικές καταστάσεις. Αν οι τιμές pKa των υποκαταστατών, χρησιμοποιηθούν ως μέτρο συγκρίσεως της ισχύος του σ-δότη, μια υψηλότερη τιμή pKa δίνει χαμηλότερο οξειδοαναγωγικό δυναμικό, καθώς η συζυγής βάση είναι φτωχότερος δότης.

   γ) Όσο μεγαλύτερη η ισχύς του υποκαταστάτη, ως π-δέκτη, τόσο υψηλότερο το οξειδοαναγωγικό δυναμικό (ευνοείται η χαμηλότερη οξειδωτική κατάσταση).

   δ) Μεταβολές της καταστάσεως του spin, μεταβάλλουν αρκετά τη σπουδαιότητα των παραπάνω (α και β). Για σύμπλοκα του ίδιου φορτίου, το χαμηλού spin σύμπλοκο έχει κανονικά υψηλότερη τιμή E^o παρά το υψηλού spin. Αν και το $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$ εμφανίζει την υψηλού spin

διαμόρφωση $t_{2g}^3e_g^2$, ενώ το $[Fe(CN)_6]^{3-}$ την χαμηλού spin $t_{2g}^5e_g^0$, ευνοείται η αναγωγή του υψηλού spin εφυδατωμένου ιόντος (E^o = + 0,7 V), συγκριτικά με του ανιοντικού συμπλόκου (E^o = + 0,36 V). Η προσθήκη ενός ηλεκτρονίου σε μια αρνητικά φορτισμένη μορφή είναι δυσχερής.

ε) Οι στερεοχημικοί παράγοντες μπορούν να επιλεγούν έτσι ώστε να ευνοείται η μια ή η άλλη οξειδωτική κατάσταση ή κατάσταση spin, με συνέπεια την αναίρεση των παραπάνω (β, γ και δ) [44].

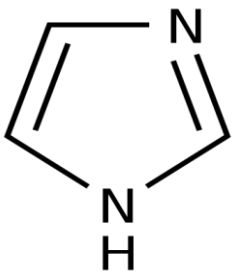
3. Η ενέργεια αναδιοργανώσεως του οξειδοαναγωγικού κέντρου. Σε αντίθεση με τις περιπτώσεις στις οποίες ένα μεταλλικό κατιόν χρησιμοποιείται ως οξεοβασικός ή οξειδοαναγωγικός καταλύτης, σε αντιδράσεις «καθαρής» μεταφοράς ηλεκτρονίων, η σφαίρα συντάξεως του κατιόντος δεν μεταβάλλεται. Η ενέργεια αναδιοργανώσεως είναι ένα μέτρο των δομικών μεταβολών που επιφέρει η αποβολή ή η πρόσληψη των ηλεκτρονίων. Όσο μικρότερες είναι οι μεταβολές αυτές, τόσο ταχύτερη είναι η μεταφορά του ηλεκτρονίου [37].

2.8.3 Μη οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα

Τα μη οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα καταλύουν μη οξειδοαναγωγικές βιολογικές πορείες. Οι βιολογικοί οργανισμοί δεν έχουν ακραίες τιμές pH έτσι ώστε να χρησιμοποιούν ελεύθερα H^+ ή OH^- ως καταλύτες. Σε αυτήν την περίπτωση, η κατάλυση θα ήταν πολύ λίγο εκλεκτική, αφού θα οδηγούσε στην υδρόλυση όλων των εστερικών δεσμών ανεξαιρέτως. Στα μη οξειδοαναγωγικά μεταλλοένζυμα, το μεταλλικό ιόν συμπλέκεται από πλευρικές ομάδες της πρωτεΐνης και σχηματίζεται το ενεργό κέντρο, όπου λαμβάνει χώρα η οξεοβασική κατάλυση και το μεταλλικό ιόν δρα κυρίως ως οξύ κατά Lewis. Γι' αυτό τα βιολογικά συστήματα έχουν επιλέξει τα ιόντα Mg(II) από την τρίτη περίοδο του περιοδικού πίνακα και τα Ca(II), Mn(II), Ni(II) και, κυρίως, τον Zn(II), από την τέταρτη περίοδο. Τα μέταλλα αυτά, λόγω της ηλεκτρονιακής τους διαμόρφωσης, μπορούν να παίξουν το ρόλο των οξέων κατά Lewis στα μεταλλοένζυμα, γιατί χαρακτηρίζονται ως σκληρά οξέα και δε συμμετέχουν σε οξειδοαναγωγικά ένζυμα, καθώς η οξειδοαναγωγική τους δράση (ειδικά των Ca(II), Mn(II), Ni(II) και Zn(II)) δεν απαντάται εύκολα υπό κανονικές βιολογικές

συνθήκες. Εξαίρεση αποτελεί ο Cu(II), ο οποίος αν και σε πρότυπα συστήματα είναι το δραστικότερο οξύ κατά Lewis, δε φαίνεται να δρα σε οποιαδήποτε μη οξειδοαναγωγική μεταλλοπρωτεΐνη, ενώ συμμετέχει σε πλήθος πρωτεϊνών που μεταφέρουν ηλεκτρόνια. Η απλούστερη αιτιολόγηση για την επιλογή των μεταλλικών ιόντων πολλών μεταλλοενζύμων, φαίνεται να είναι ότι τα μεταλλικά ιόντα, τα οποία εύκολα λαμβάνουν μέρος σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (υπό κανονικές βιολογικές συνθήκες), αποκλείονται από τις πρωτεΐνες εκείνες στις οποίες θα εκκαλούντο να παίξουν ένα ρόλο σχετικό με την κατά Lewis οξύτητα τους [37,44].

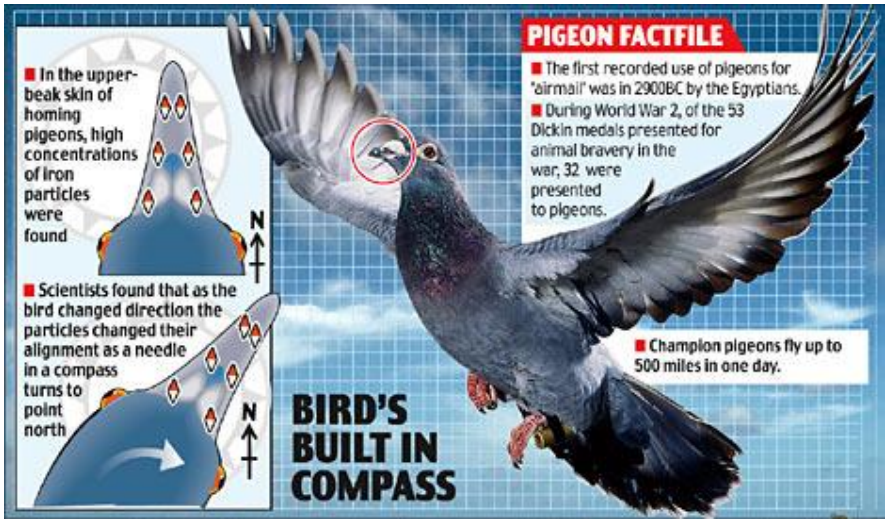
Η κατά Lewis οξύτητα ενός μεταλλοϊόντος μπορεί να περιορίζεται σε κάποιο βαθμό από τους υποκαταστάτες της πρωτεΐνης. Οι υποκαταστάτες είναι βάσεις κατά Lewis και συνεπώς, όσο ισχυρότερη η παροχή σ – ηλεκτρονίων από τον υποκαταστάτη στο μέταλλο, τόσο ασθενέστερη η κατά Lewis οξύτητα του μεταλλικού κέντρου. Υποκαταστάτες, όπως το ιμιδαζόλιο (Εικόνα 4), οι οποίοι είναι τόσο σ – δότες όσο και π – δέκτες, δυνατόν να περιορίζουν τον κατά Lewis όξινο χαρακτήρα του μεταλλοϊόντος κατά τον αντίστοιχο βαθμό της π – αποδοχής [44].



Εικόνα 4: Συντακτικός τύπος ιμιδαζολίου.

2.9 Διαλυτότητα αλάτων

Στοιχεία, των οποίων τα ιόντα σχηματίζουν άλατα με μικρή διαλυτότητα, είναι απαραίτητα σε όλους τους βιολογικούς οργανισμούς. Συγκεκριμένα το Ca^{2+}, σχηματίζει άλατα με μικρή διαλυτότητα, όπως το $Ca_3(PO_4)_2$ και το $CaCO_3$, τα οποία παρουσιάζουν μικρή διαλυτότητα κι έτσι καθίσταται δυνατή η απόθεση τους, και ο σχηματισμός αδιάλυτων, στο νερό, στηρικτικών ιστών, όπως οστά, δόντια και κελύφη οστράκων. Επίσης ο Fe σχηματίζει ένα βιολογικό ορυκτό, το μαγνητίτη (Fe_3O_4), οι μαγνητικές ιδιότητες του οποίου αξιοποιούνται σαν μια εσωτερική πυξίδα από διάφορα έντομα και πτηνά προκειμένου να προσανατολιστούν όταν ταξιδεύουν (Εικόνα 5) [37].



Εικόνα 5: Τμήματα μαγνητίτη που βρίσκονται στο ράμφος των περιστεριών, λειτουργούν σαν μαγνήτες και τα βοηθούν να προσανατολιστούν.

2.10 Ωσμωτική ισορροπία και διάδοση βιολογικών σημάτων

Στα βιολογικά συστήματα είναι απαραίτητη η ρύθμιση του ηλεκτρικού φορτίου στο εσωτερικό και εξωτερικό των κυττάρων, καθώς και η ωσμωτική ισορροπία. Αυτά εξασφαλίζονται από τη χημική συμπεριφορά των αλκαλίων και των αλογόνων. Τα στοιχεία αυτά, ως τα πλέον ηλεκτροθετικά και ηλεκτραρνητικά αντίστοιχα, σχηματίζουν εύκολα κατιόντα και ανιόντα, πχ K^+, Na^+, Cl^-, η σχετική συγκέντρωση των οποίων ισοσταθμίζει επιθυμητά το φορτίο.

Επίσης κάποια μέταλλα είναι υπεύθυνα για την παραγωγή και διάδοση βιολογικών σημάτων που υπεισέρχονται σε βασικές κυτταρικές λειτουργίες, όπως είναι οι ορμονικές ρυθμίσεις. Τέτοια σήματα μπορεί, για παράδειγμα να είναι ελάχιστες μεταβολές στην πολύ μικρή συγκέντρωση ιόντων, όπως Ca^{2+} και Zn^{2+}, στο εσωτερικό του κυττάρου. Από την άλλη πλευρά, κατιόντα που εμφανίζονται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις, όπως Na^+ και K^+, είναι συχνά υπεύθυνα για τη μετάδοση σημάτων, όπως είναι τα νευρικά ερεθίσματα [37].

2.11 Η φυσική επιλογή των στοιχείων από τους βιολογικούς οργανισμούς

Το ερώτημα «Γιατί κάποια στοιχεία είναι απαραίτητα στους βιολογικούς οργανισμούς και κάποια άλλα είναι τοξικά;» βρίσκει απάντηση στη στενή

σχέση που εμφανίζεται μεταξύ των στοιχείων που βρίσκονται σε αφθονία και εκείνων που είναι απαραίτητα για τη ζωή. Δηλαδή σύμφωνα με τη Θεωρία Φυσικής Επιλογής του Δαρβίνου, ένα είδος που ενσωματώνει στον σκελετό του Ca(II), έχει πολύ μεγαλύτερες πιθανότητες αναπτύξεως, από ένα άλλο που χρησιμοποιεί Ba(II), διότι ο φλοιός της Γης περιέχει 100 φορές περισσότερο Ca απ' ότι Ba. Αυτό εξηγεί και το γεγονός ότι ανάμεσα στις τρεις σειρές των στοιχείων μετάπτωσης, τα απαραίτητα στοιχεία είναι κυρίως αυτά της 1^{ης} σειράς, με εξαίρεση το Mo της 2^{ης} και σε μικρότερο βαθμό το W της 3^{ης}, τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερη αφθονία στη φύση.

Υπάρχουν βέβαια και κάποιες εξαιρέσεις στα παραπάνω, που μπορούν όμως εύκολα να εξηγηθούν. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα του στερεού φλοιού της Γης σε Al και Si είναι αρκετά μεγάλη, αλλά και τα δύο είναι χωρίς βιολογικό ενδιαφέρον. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την πολύ μεγάλη διαφορά μεταξύ περιεκτικότητας και βιοδιαθεσιμότητας. Και τα δύο αυτά στοιχεία απαντούν υπό δυσδιάλυτες, στο H_2O, μορφές, κι επομένως μη διαθέσιμες να χρησιμοποιηθούν από βιολογικούς οργανισμούς [37].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η βιολογική δράση των μακροστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό

3.1 Κάλιο και Νάτριο

3.1.1 Βιολογική δράση καλίου και νατρίου

Το κάλιο και το νάτριο είναι στοιχεία απαραίτητα στον ανθρώπινο οργανισμό. Δεν ανήκουν στα ιχνοστοιχεία αλλά στα μακροστοιχεία, γιατί μαζί με τα υπόλοιπα μακροστοιχεία, αποτελούν το 4% περίπου του βάρους του ανθρωπίνου σώματος, ενώ τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία αντιπροσωπεύουν λιγότερο από 0,01 % [44].

Τα ιόντα Na^+ και K^+ συμμετέχουν σε όλα τα βιολογικά συστήματα, ο ρόλος τους είναι καθαρά ηλεκτρολυτικός και η συγκέντρωση τους εξαρτάται από το βιολογικό περιβάλλον. Και τα δύο αυτά στοιχεία συμμετέχουν ενεργά στις εξής διεργασίες: α) Στον έλεγχο της ωσμωτικής πίεσης.

β) Στην ηλεκτρολυτική ισορροπία και τα ηλεκτρικά σήματα, δηλαδή στη δράση των νεύρων.

γ) Στην σταθεροποίηση των πολυηλεκτρολυτών, του DNA, του RNA, των μεμβρανών κ.α.

δ) Στη διατήρηση της ισορροπίας οξέων – βάσεων στον ανθρώπινο οργανισμό, μαζί με τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου [35,36].

Οι κυριότερες δράσεις του καλίου στο ανθρώπινο σώμα είναι:

1. Διατηρεί την ισορροπία του ύδατος μέσα στα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού.
2. Ενεργοποιεί έναν αριθμό ενζύμων, ιδιαίτερα αυτών που παίρνουν μέρος στην παραγωγή ενέργειας.
3. Βοηθάει στο σχηματισμό πρωτεϊνών μέσα στα κύτταρα.

4. Ευαισθητοποιεί τον καρδιακό μυ και τους μύες του σκελετού στο να δεχθούν τα μηνύματα των νεύρων.
5. Ενεργοποιεί τις φυσικές κινήσεις των εντέρων [36].

Η συγκέντρωση του ιόντος Na^+ εντός των ερυθρών αιμοσφαιρίων είναι περίπου 11 mM και του K^+ 92 mM, ενώ εξωκυτταρικά, στο πλάσμα, η συγκέντρωση του ιόντος Na^+ είναι περίπου 160 mM και του K^+ 10 mM. Επομένως ενώ το Na^+ είναι το κύριο εξωκυττάριο κατιόν, το K^+ είναι το κύριο ενδοκυττάριο κατιόν [35,44]. Από τα 140 g του καλίου (υπό μορφή ενώσεων) που βρίσκονται στο σώμα, περίπου τα 137 g περιέχονται στα ενδοκυτταρικά υγρά, κυρίως του μυϊκού ιστού του σκελετού, ενώ τα υπόλοιπα 3 g, βρίσκονται σε υγρά εκτός των κυττάρων [36]. Η κατανομή αυτή των δύο ιόντων γίνεται κυρίως για να υπάρχει ωσμωτική ισορροπία στις δύο πλευρές της κυτταρικής μεμβράνης. Λαμβανομένου υπόψη ότι στο εσωτερικό του κυττάρου υπάρχουν αρνητικά φορτισμένα ιόντα, π.χ. Cl^- και οργανικά ανιονικά συστήματα, όπως DNA, RNA, λιπίδια ή υποστρώματα, θα πρέπει στο εξωτερικό του κυττάρου να υπάρχουν κατιόντα και ανιόντα, τα οποία θα διατηρούν ίση την ωσμωτική πίεση. Αν, δηλαδή, στο εσωτερικό των κυττάρων υπάρχουν 200 mM [K^+], [Cl^-] και [πρωτεΐνες$^-$], θα πρέπει και στο πλάσμα να υπάρχουν 200 mM κατιόντων και ανιόντων [35]. Συνεπώς υπάρχει ένας διακριτικός μηχανισμός, ο οποίος ελέγχει την εκλεκτική απορρόφηση του K^+ στο κύτταρο από το πλάσμα [44].

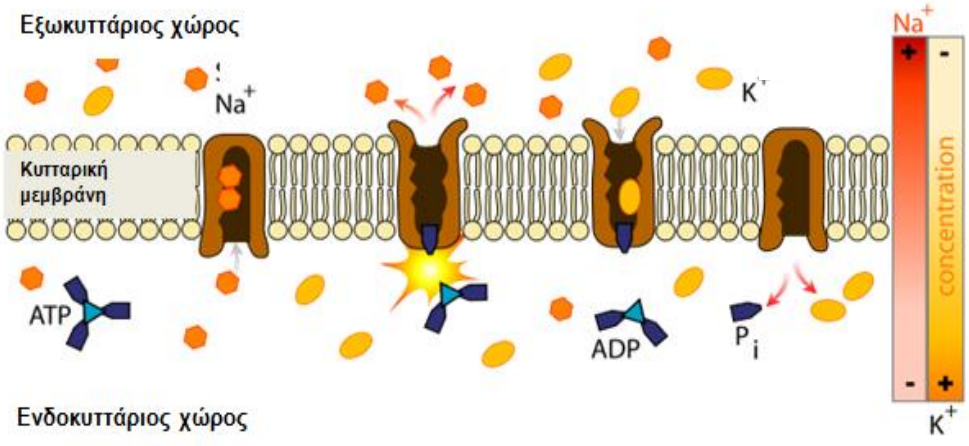
Το 30% με 40% του σωματικού νατρίου πιστεύεται ότι αποθηκεύεται στην επιφάνεια των οστικών κρυστάλλων, από όπου το σώμα μπορεί εύκολα να το απορροφήσει και να το μεταφέρει στην κυκλοφορία του αίματος για να καλύψει τις απώλειες [45].

Για την κατανομή των κατιόντων και ανιόντων εντός και εκτός του κυττάρου, υπάρχουν στη μεμβράνη κανάλια με επιλεκτική διαπερατότητα. Το κανάλι του Na^+ επιτρέπει διαπερατότητα 100% για τα ιόντα Na^+ και μόλις 1% για τα ιόντα K^+ και το αντίστροφο ισχύει για το κανάλι του K^+, με 9% διαπερατότητα για τα ιόντα Na^+, ενώ για άλλα κατιόντα, όπως NH_4^+ και $CH_3NH_3^+$, η διαπερατότητα είναι μικρή και κυμαίνεται από 1% μέχρι 16%. Θα πρέπει να τονισθεί ότι η κατανομή για τα ιόντα Na^+ και K^+ δεν είναι στατική αλλά δυναμική, δηλαδή

παρατηρείται συνεχής ροή ιόντων από το πλάσμα προς το κύτταρο και αντίστροφα και το ίδιο συμβαίνει και με τα ιόντα K^+, αλλά με αντίστροφη διαδικασία (από το κύτταρο προς το πλάσμα). Η σχέση ανταλλαγής Na^+/K^+ ισούται με 3/2, δηλαδή για κάθε 3 ιόντα Na^+ που εισέρχονται ή εξέρχονται του κυττάρου, 2 ιόντα K^+ ακολουθούν την αντίστροφη διαδικασία [35].

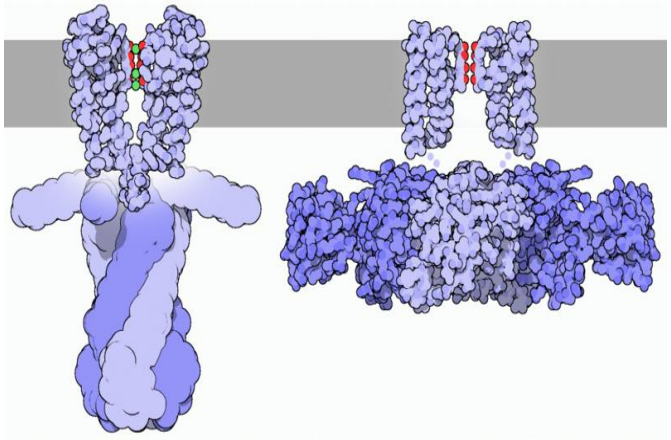
3.1.2 Νευρικό ερέθισμα και Na^+/K^+

Υπάρχει ένα σύστημα αλληλεπίδρασης πληροφοριών που πραγματοποιείται μέσω κυτταρικών διαδικασιών και συνδέει κύτταρα και όργανα. Τα Na^+ και K^+ είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του νευρικού συστήματος (εγκέφαλος και νεύρα), αλλά και στη διατήρηση της ωσμωτικής ισορροπίας ανάμεσα στο εσωτερικό του κυττάρου και στον εξωκυττάριο χώρο. Η ωσμωτική ισορροπία διατηρείται χάρη σε μια πρωτεϊνική αντλία Na^+/K^+, η οποία βρίσκεται στην κυτταρική μεμβράνη και είναι προσανατολισμένη κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να διώχνει τρία ιόντα Na^+ έξω από το κύτταρο και να φέρνει δύο ιόντα K^+ μέσα στο κύτταρο, με τη χρήση ενός μορίου ATP (Εικόνα 6). Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στον ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο χώρο [41,46].

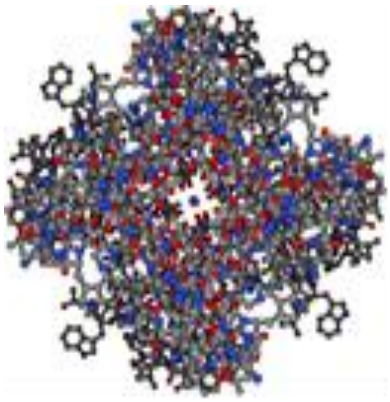


Εικόνα 6: Αναπαράσταση λειτουργίας αντλίας Na^+/K^+.

Επιπροσθέτως, στην κυτταρική μεμβράνη υπάρχουν υψηλής εκλεκτικότητας κανάλια (πρόκειται για τετραμερή) (Εικόνες 7 και 8), που επιτρέπουν μόνο σε ιόντα καλίου να διέλθουν και είναι πολύ σημαντικά για την παραγωγή μεγάλης διαφοράς δυναμικού στο νευρώνα. Έτσι μεταδίδεται το νευρικό ερέθισμα και φτάνει στον εγκέφαλο [46].

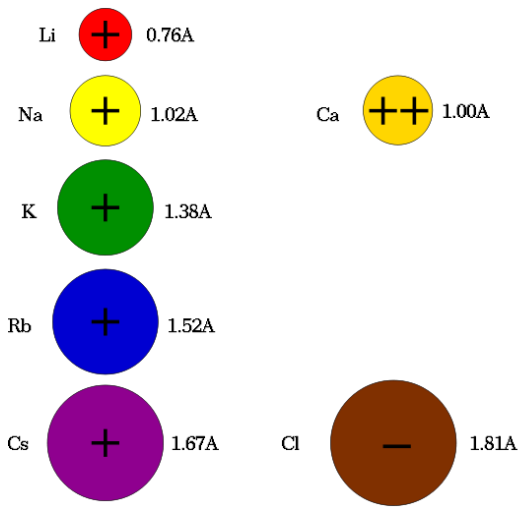


Εικόνα 7: Ανοιχτή (δεξιά) και κλειστή (αριστερή) διαμόρφωση καναλιού διέλευσης K^+. Αλλαγή στη διαφορά δυναμικού οδηγεί από τη μια διαμόρφωση στην άλλη.



Εικόνα 8: Κάτοψη καναλιού διέλευσης K^+. Το μωβ σφαιρίδιο στο κέντρο είναι το K^+.

Λόγω των χημικών τους ιδιοτήτων, τα ιόντα καλίου είναι μεγαλύτερα από τα ιόντα νατρίου (Εικόνα 9). Έτσι, τα κανάλια και οι αντλίες στις μεμβράνες των κυττάρων μπορούν να τα ξεχωρίσουν και να επιτρέψουν στα μεν να εισέλθουν ή να εξέλθουν, μπλοκάροντας τα δε [46]. Γι' αυτό σχεδόν ποτέ τα ιόντα ασβεστίου δε διέρχονται από τα κανάλια διέλευσης των ιόντων καλίου, παρόλο που βρίσκονται σε γειτονικές θέσεις στον περιοδικό πίνακα [47].



Εικόνα 9: Ατομικές ακτίνες διαφόρων κατιόντων και ανιόντων.

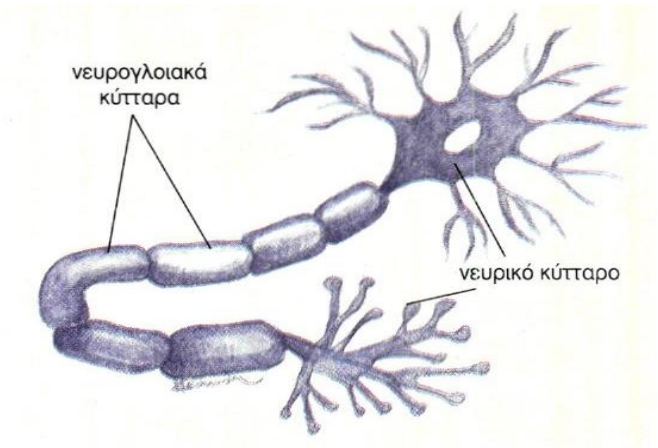
3.1.3 Νευρικό σύστημα

Το νευρικό σύστημα, μαζί με το σύστημα των ενδοκρινών αδένων, συμβάλλει στη διατήρηση σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος (ομοιόσταση), ελέγχοντας και συντονίζοντας τις λειτουργίες των υπόλοιπων συστημάτων του

οργανισμού. Ο οργανισμός πρέπει να αντιλαμβάνεται και να αντιδρά ανάλογα στις μεταβολές του περιβάλλοντος. Οι πληροφορίες για τις μεταβολές αυτές συλλέγονται από τους υποδοχείς και μεταβιβάζονται στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Μετά την επεξεργασία των πληροφοριών, το κεντρικό νευρικό σύστημα δίνει τις κατάλληλες εντολές στους μυς και στους αδένες. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στον οργανισμό να προσαρμόζει τις λειτουργίες του ανάλογα με τις μεταβολές του περιβάλλοντος, απαραίτητη προϋπόθεση για την επιβίωσή του. Τα όργανα του νευρικού συστήματος είναι ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός, που αποτελούν το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), και τα νεύρα, που αποτελούν το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ) [48].

3.1.4 Νευρικά κύτταρα

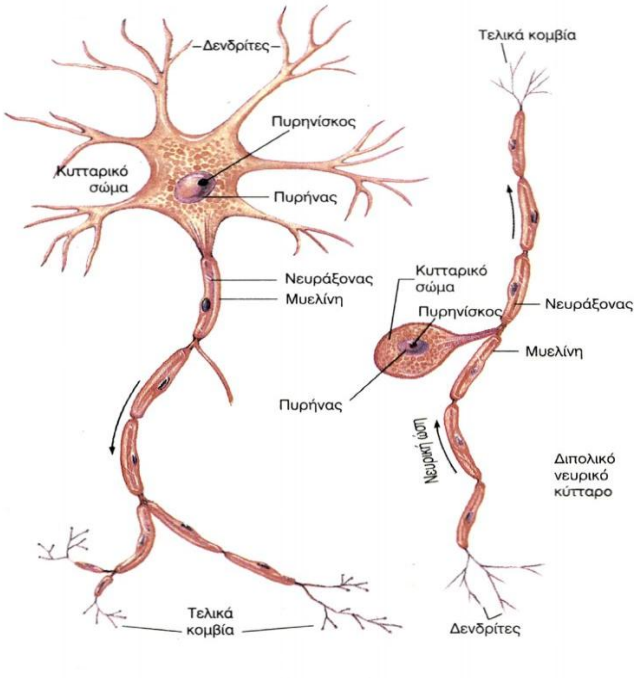
Τα όργανα του νευρικού συστήματος, δηλαδή ο εγκέφαλος, ο νωτιαίος μυελός και τα νεύρα, αποτελούνται από νευρικό ιστό. Τα κύτταρα του νευρικού ιστού είναι δύο ειδών: τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Τα δύο είδη κυττάρων του νευρικού ιστού.

Οι νευρώνες, που αποτελούν τη δομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος, έχουν την ιδιότητα να αντιδρούν σε συγκεκριμένες μεταβολές του περιβάλλοντος, όπως είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας, της πίεσης, της έντασης του φωτός, του pH κ.ά. Κάθε νευρώνας αποτελείται από το κυτταρικό

σώμα και από τις αποφυάδες (Εικόνα 11). Το κυτταρικό σώμα περιέχει τον πυρήνα και τα οργανίδια του κυττάρου. Οι νευρικές αποφυάδες διακρίνονται στους δενδρίτες και στο νευράξονα ή νευρίτη. Αυτές οι περιοχές έχουν πάντα την ίδια διάταξη μεταξύ τους, η οποία προσδίδει έναν προσανατολισμό στη λειτουργία των νευρώνων.



Εικόνα 11: Η δομή του νευρώνα.

Στο κυτταρικό σώμα πραγματοποιούνται όλες εκείνες οι μεταβολικές αντιδράσεις και διεργασίες με τις οποίες ο νευρώνας επιβιώνει (παραγωγή ATP κλπ.). Το σώμα των νευρώνων είναι η περιοχή όπου μετασχηματίζονται σε ηλεκτρικά σήματα (νευρικές ώσεις), τα μηνύματα που δέχεται ο νευρώνας. Οι δενδρίτες είναι συνήθως μικρές, σε μήκος, αποφυάδες με πολλές διακλαδώσεις. Οι δενδρίτες είναι αποφυάδες του κυτταροπλάσματος που διακλαδίζονται εκτεταμένα και αποτελούν μαζί με το σώμα την κύρια περιοχή υποδοχής μηνυμάτων, είτε από άλλα κύτταρα, είτε από το περιβάλλον. Ο νευράξονας ή νευρίτης είναι το τμήμα του νευρώνα που μεταβιβάζει τα σήματα που δημιουργούνται στο σώμα, προς τις απολήξεις του άξονα. Έχει μήκος που σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει το ένα μέτρο, ενώ η διάμετρος τους σπάνια φθάνει το 0,1mm. Διακλαδίζεται σε πολλές μικρές απολήξεις, καθεμία από τις οποίες καταλήγει σε ειδικό άκρο, το τελικό κομβίο. Σε πολλούς νευρώνες οι νευράξονες περιβάλλονται από ένα περίβλημα μυελίνης, που επηρεάζει σημαντικά τη μεταβίβαση των νευρικών ώσεων [48,49,50].

Οι νευρώνες παρουσιάζουν μορφολογικές και λειτουργικές διαφορές και διακρίνονται, ανάλογα με τη λειτουργία που επιτελούν, σε αισθητικούς, κινητικούς και ενδιάμεσους. Οι αισθητικοί νευρώνες μεταφέρουν μηνύματα από τις διάφορες περιοχές του σώματος στο νωτιαίο μυελό και στον εγκέφαλο, δηλαδή από την περιφέρεια στο ΚΝΣ. Αντίθετα, οι κινητικοί

νευρώνες μεταφέρουν τα μηνύματα από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό στα εκτελεστικά όργανα, τα οποία απαντούν είτε με σύσπαση (μύες), είτε με έκκριση ουσιών (αδένες). Τέλος, οι ενδιάμεσοι ή συνδετικοί νευρώνες βρίσκονται αποκλειστικά στον εγκέφαλο και στο νωτιαίο μυελό και κατευθύνουν τα μηνύματα που προέρχονται από τους αισθητικούς νευρώνες στις κατάλληλες περιοχές του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού. Μεταφέρουν επίσης τα μηνύματα από μία περιοχή του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού σε μία άλλη και, τελικά, στους κατάλληλους κινητικούς νευρώνες.

Τα νευρογλοιακά κύτταρα είναι πολύ περισσότερα από τους νευρώνες και έχουν βοηθητικό ρόλο. Τα νευρογλοιακά κύτταρα (νεύρο και γλοία = κόλλα) έχουν ποικίλα σχήματα και ειδικές λειτουργίες. Τα βοηθητικά αυτά κύτταρα προμηθεύουν με θρεπτικά συστατικά το νευρώνα και χρησιμεύουν στην απορρόφηση και απομάκρυνση των άχρηστων ουσιών από αυτούς. Τα νευρογλοιακά κύτταρα, που περιβάλλουν το νευράξονα των περισσότερων από τους νευρώνες, συμβάλλουν στη μόνωσή του και στην επιτάχυνση της μεταφοράς της νευρικής ώσης [48,49,50,51].

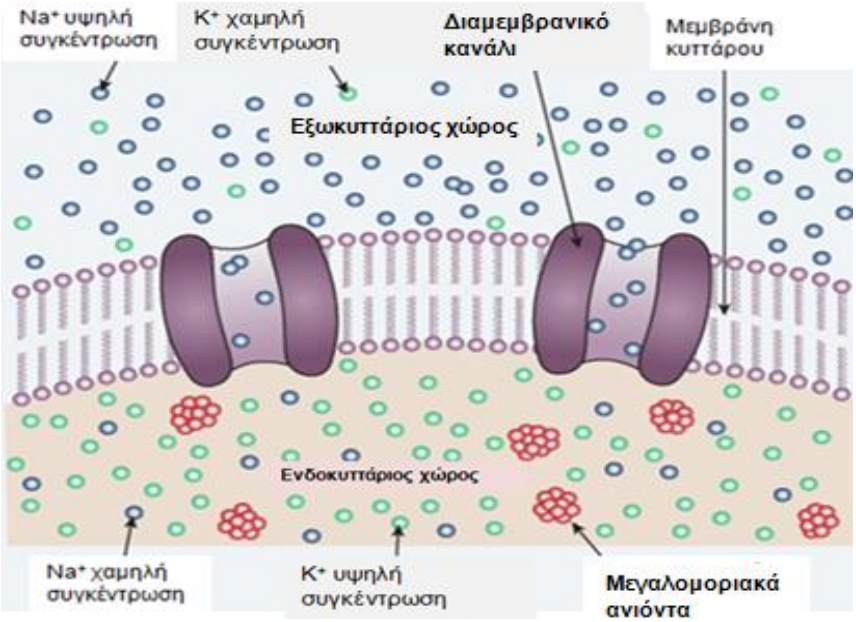
3.1.4.1. Η λειτουργία των νευρικών κυττάρων

Ίσως το πιο θαυμαστό χαρακτηριστικό των νευρώνων είναι η ικανότητά τους να διεγείρονται στιγμιαία και να μεταδίδουν αυτή τη διέγερση και σε άλλα κύτταρα. Αυτή η στιγμιαία αλλαγή της κατάστασής τους, από την "ηρεμία" στη "διέγερση", διαρκεί ελάχιστα, μόλις 2 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms). Η καταπληκτική ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται η λειτουργική κατάσταση των νευρώνων, δίνει τη δυνατότητα στον οργανισμό να επεξεργάζεται ταχύτατα τις πληροφορίες που δέχεται από τα διάφορα εξειδικευμένα όργανα και κύτταρα (π.χ. μάτι, αυτί, υποδοχείς θερμοκρασίας, πόνου κλπ.) και να προσαρμόζει εξίσου ταχύτατα τις αντιδράσεις του (π.χ. κίνηση). Για παράδειγμα, όταν κάποιος αισθητικός νευρώνας (π.χ. υποδοχέας πόνου) δεχθεί ένα ερέθισμα που δηλώνει ότι "εδώ που βρίσκομαι έχει συμβεί μια επώδυνη βλάβη", διεγείρεται και μεταβιβάζει το ερέθισμα (με το νευράξονά του) στο ΚΝΣ. Εκεί, συνάπτεται με κάποιο ενδιάμεσο νευρώνα του ΚΝΣ και τον διεγείρει. Αυτός με τη σειρά του μεταβιβάζει τη διέγερση (μέσω του νευράξονά) σε έναν κινητικό νευρώνα, ο οποίος με τη σειρά του διεγείρεται και στέλνει τη διέγερση (μέσω του νευράξονα) στα κατάλληλα μυϊκά κύτταρα. Τα

τελευταία όταν διεγείρονται, συστέλλονται και απομακρύνουν το απειλούμενο τμήμα του οργανισμού από το επικίνδυνο σημείο [49,50].

3.1.5 Νευρική ώση

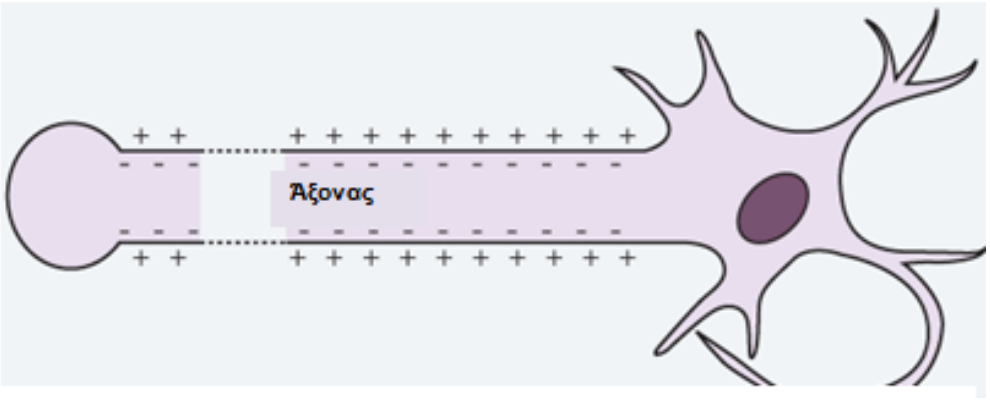
Στην εξωτερική επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης ενός νευρώνα που βρίσκεται σε ηρεμία, δηλαδή που δε δέχεται ερεθίσματα, υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ιόντων νατρίου (Na^+), ενώ στην εσωτερική επιφάνεια υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ιόντων καλίου (K^+) και αρνητικών ιόντων (όπως PO_4^{3-} SO_4^{2-} κ.ά.) (Εικόνα 12). Γι' αυτό η εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης είναι φορτισμένη θετικά και η εσωτερική αρνητικά (Πίνακας 5 και Εικόνα 13).



Εικόνα 12: Οι συγκεντρώσεις των ιόντων στον ενδοκυττάριο και τον εξωκυττάριο χώρο.

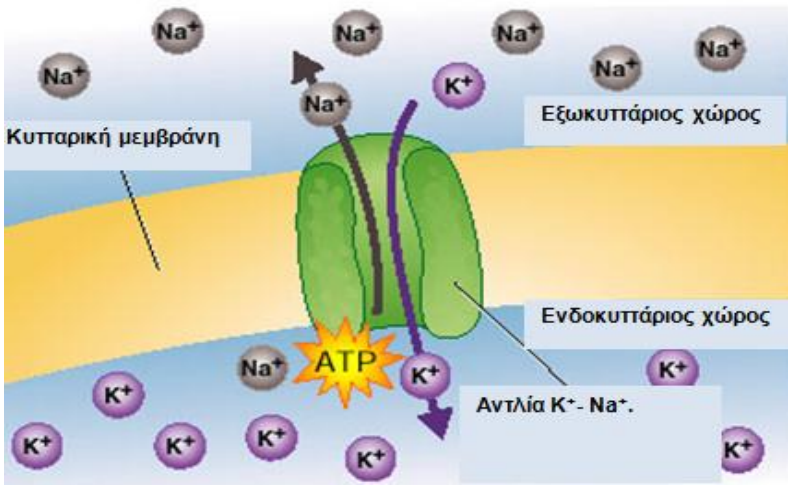
Πίνακας 5: Ενδεικτικές τιμές των συγκεντρώσεων των ιόντων στον εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο χώρο.

	Εξωκυττ. υγρό	*Ενδοκυττ. υγρό*	
Πρωτεΐνες, ATP, κλπ.	30	164	
K^+	5	150	
Na^+	142	4	
Cl^-	103	10	άνθρωπος



Εικόνα 13: Η πολικότητα της κυτταρικής μεμβράνης κατά μήκος του νευρώνα.

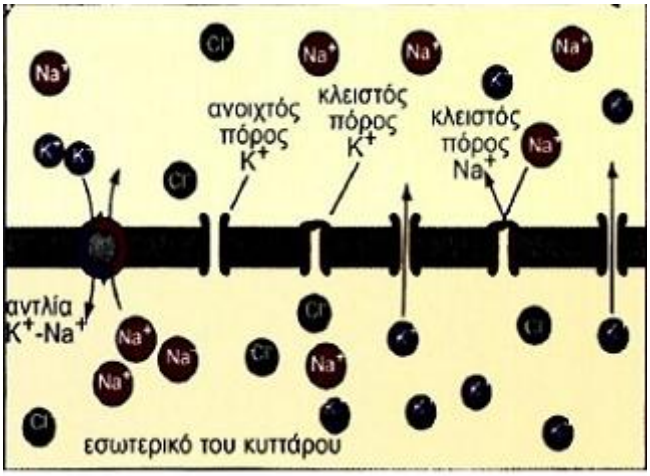
Η μεμβράνη διατηρεί την άνιση αυτή κατανομή των ιόντων με τη βοήθεια ενός μηχανισμού ενεργητικής μεταφοράς, της αντλίας Na^+/K^+, που βρίσκεται στη μεμβράνη του νευρικού κυττάρου. Η αντλία Na^+/K^+ για κάθε τρία Na^+ που απομακρύνει από το εσωτερικό του κυττάρου μεταφέρει ταυτόχρονα στο εσωτερικό δύο K^+ (Εικόνα 14). Βλέπουμε, λοιπόν, ότι τα κύτταρα, με κατανάλωση ενέργειας, διατηρούν τις διαφορετικές συγκεντρώσεις K^+ και Na^+ στο κυτταρόπλασμα. Η λειτουργία της αντλίας K^+/Na^+ είναι σημαντικότατη για την κυτταρική "ομοιόσταση". Είναι χαρακτηριστικό ότι το 40% περίπου των κυτταρικών αποθεμάτων σε ATP καταναλώνεται από την αντλία K^+/Na^+. Ο ρόλος της αντλίας K^+/Na^+ είναι να διατηρεί σταθερά χαμηλή τη συγκέντρωση Na^+ στο εσωτερικό του κυττάρου. Τα αρνητικά ιόντα διαχέονται ελάχιστα.



Εικόνα 14: Η πρωτεϊνική αντλία στην κυτταρική μεμβράνη του νευρώνα χρησιμοποιεί ενέργεια από το ATP για αποβάλλει Na^+ έξω από το κύτταρο και να εισάγει K^+ εντός του κυττάρου.

Η μεγάλη συγκέντρωση θετικών ιόντων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης και αρνητικών ιόντων στην εσωτερική, δημιουργούν διαφορά δυναμικού (ΔV). Το δυναμικό αυτό ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας και είναι περίπου -70 mV (επειδή η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης είναι ηλεκτραρνητικά φορτισμένη σε σχέση με την εξωτερική). Η μεμβράνη του νευρώνα διατηρεί το δυναμικό ηρεμίας για όσο διάστημα δε δέχεται κάποιο ερέθισμα, ή όταν δέχεται ερεθίσματα με ένταση μικρότερη από κάποια οριακή τιμή [40,48,52].

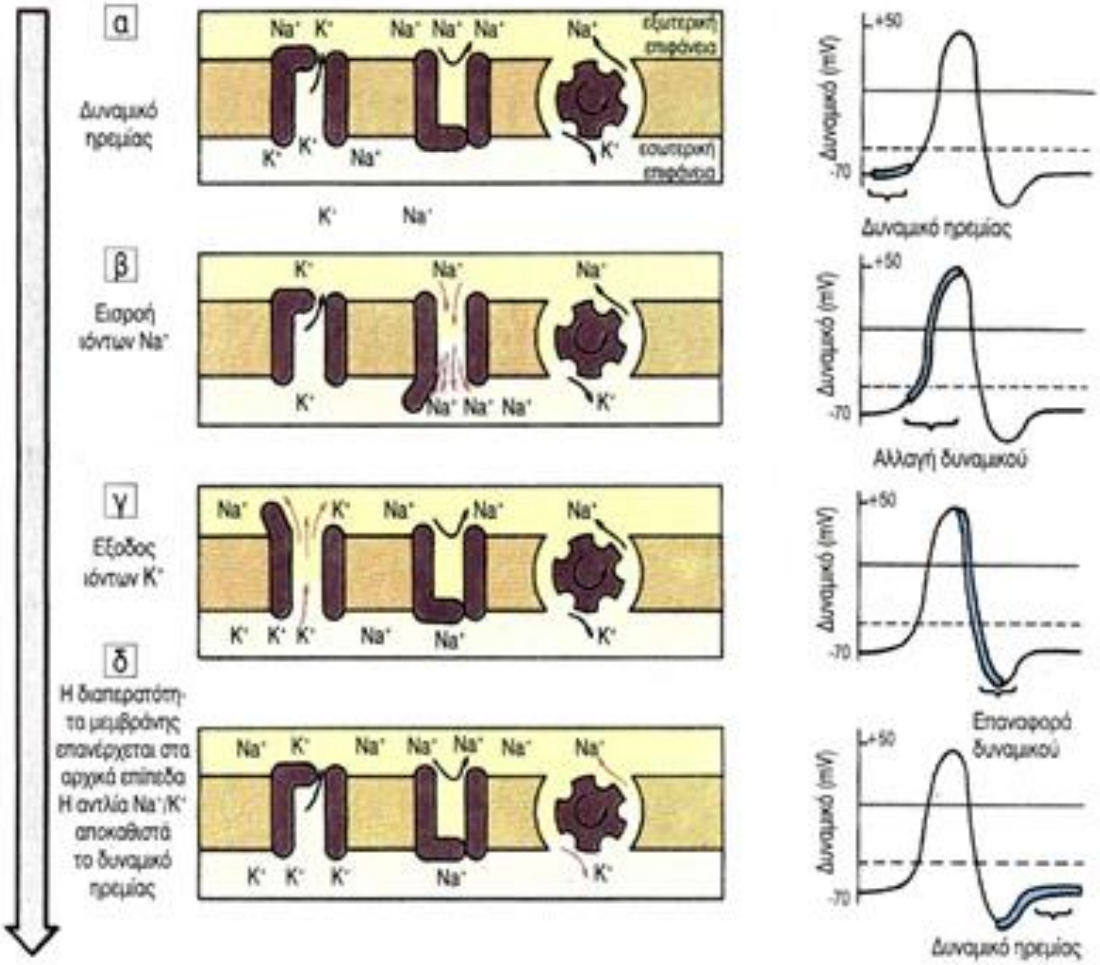
Οι μεταβολές του περιβάλλοντος αποτελούν ερεθίσματα, τα οποία επιδρούν στο δυναμικό ηρεμίας. Όταν ένας νευρώνας δεχτεί σε κάποιο σημείο της μεμβράνης του ερέθισμα με ένταση μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη τιμή, που διαφέρει από νευρώνα σε νευρώνα, τότε αυξάνεται, για 1 msec περίπου, η διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα νατρίου. Αυτό συμβαίνει γιατί τα κανάλια Na^+ παραμένουν κλειστά όταν έχουμε δυναμικό ηρεμίας και ανοίγουν μόνο όταν προκύψει κάποιο ερέθισμα, ενώ από τα κανάλια K^+ κάποια είναι ανοιχτά και κάποια κλειστά (Εικόνα 15). Έτσι τα Na^+ εισρέουν, λόγω διαφοράς



Εικόνα 15: Κατάσταση των καναλιών Na^+ και των καναλιών K^+ σε δυναμικό ηρεμίας.

στη συγκέντρωση (φαινόμενο της ώσμωσης), μαζικά στο κύτταρο, η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης φορτίζεται θετικά σε σχέση με την εξωτερική και η διαφορά του δυναμικού φτάνει στη τιμή των +50 mV περίπου (Εικόνα 16). Μόλις περάσει ο χρόνος του 1 msec, τα κανάλια Na^+ ξανακλείνουν. Στη συνέχεια, αυξάνεται, για μικρό διάστημα, η διαπερατότητα στα ιόντα καλίου γιατί ανοίγουν και τα κλειστά κανάλια K^+ για χρόνο 1 msec. Αυτά εξέρχονται (λόγω διαφοράς στη συγκέντρωση) μαζικά από το κύτταρο,

και το δυναμικό της μεμβράνης φτάνει σε τιμές μικρότερες των -70 mV (Εικόνα 16).



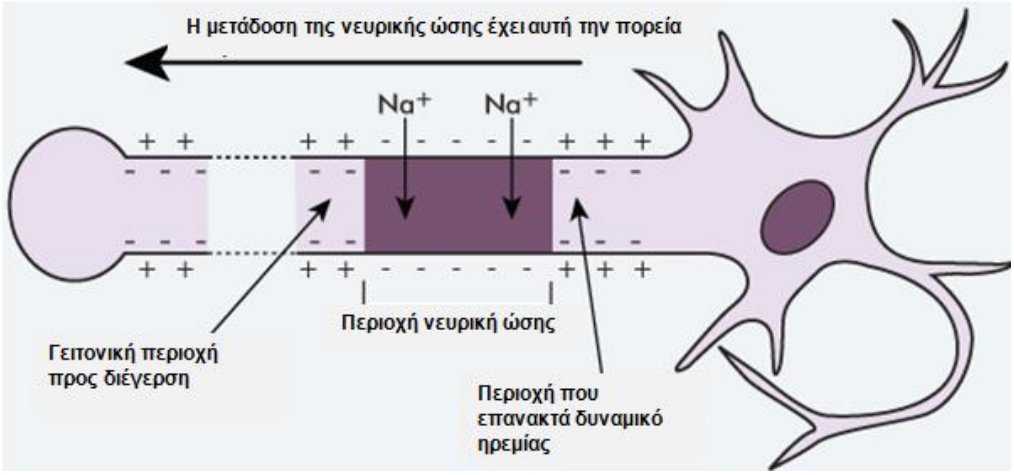
Εικόνα 16: Στάδια μεταβολής του δυναμικού ενέργειας της μεμβράνης μετά από δράση ερεθίσματος.

Όταν η διαπερατότητα της μεμβράνης επανέλθει στα επίπεδα που βρισκόταν πριν από την επίδραση του ερεθίσματος, η ενδοκυτταρική συγκέντρωση K^+ έχει μειωθεί ελαφρώς και αντίστοιχα έχει αυξηθεί ελαφρώς η ενδοκυτταρική συγκέντρωση Na^+. Η αντλία K^+/Na^+ όμως, με κατανάλωση ενέργειας (ATP), επαναφέρει τις συγκεντρώσεις στις αρχικές τιμές και αποκαθίσταται το δυναμικό ηρεμίας στα -70 mV (Εικόνα 16).

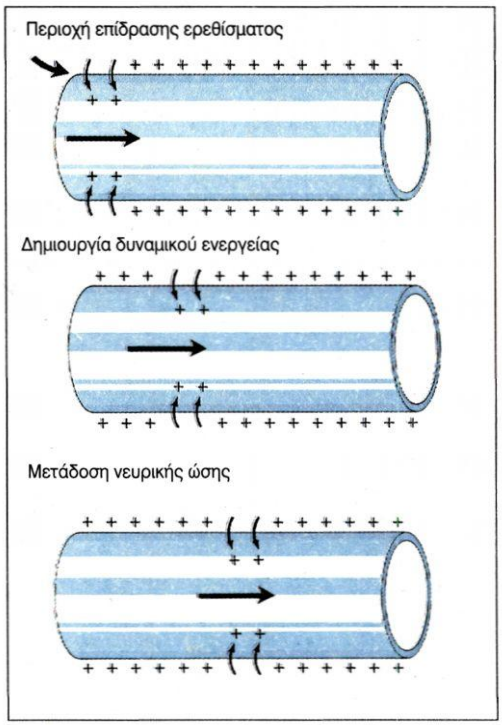
Συνολικά, απ' όλη αυτή την ανταλλαγή ιόντων (αρχικά Na^+ και ακολούθως K^+), το διεγέρσιμο κύτταρο έχει μεταβάλλει το δυναμικό του από τα -70 στα +30

mV και μετά πάλι από τα +30 στα -70 mV. Αυτή η συμπεριφορά του κυτταρικού δυναμικού λέγεται δυναμικό ενέργειας (ΔΕ).

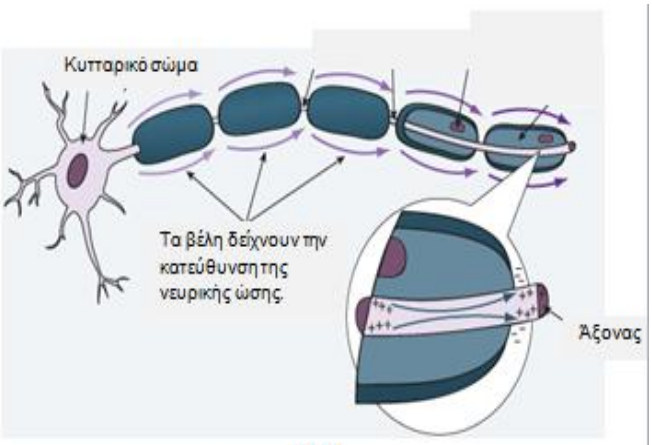
Οι σύντομες μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης (δυναμικό ενεργείας) αποτελούν το ερέθισμα για αντίστοιχες αλλαγές σε γειτονικές περιοχές της μεμβράνης. Με αυτό τον τρόπο το δυναμικό ενεργείας μεταδίδεται κατά μήκος του νευράξονα (σαν τη διαταραχή που ονομάζουμε μηχανικό κύμα) και αποτελεί τη νευρική ώση (Εικόνες 17(α), 17(β), 17(γ)).



17(α)



17(β)

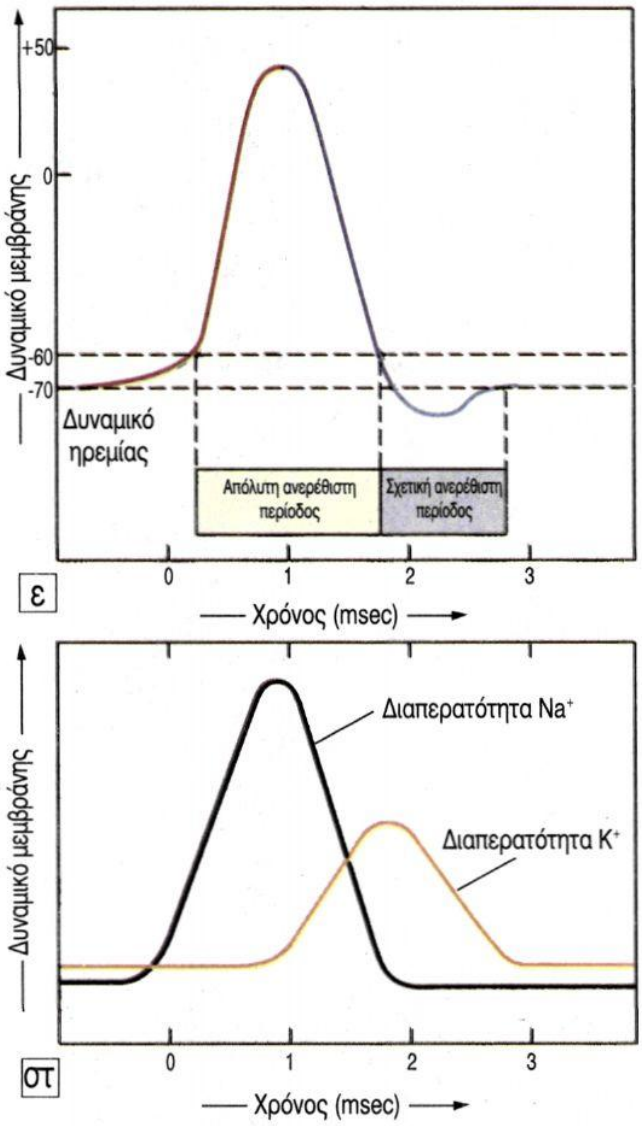


17(γ)

Εικόνες 17(α), 17(β), 17(γ) : Μετάδοση της νευρικής ώσης.

Τα ερεθίσματα τα οποία μπορούν να προκαλέσουν δημιουργία νευρικής ώσης είναι χημικά, ηλεκτρικά, μηχανικά, θερμικά κ.ά. Ερεθίσματα με ένταση μικρότερη από μια οριακή τιμή δεν προκαλούν νευρική ώση.

Ο νευρώνας μπορεί να απαντήσει σε ένα νέο ερέθισμα μόνο μετά την παρέλευση 0,5-2 msec από τη δημιουργία νευρικής ώσης. Το διάστημα αυτό ονομάζεται απόλυτη ανερέθιστη περίοδος. Βλέπουμε λοιπόν πόσο μεγάλο ρόλο παίζει στο νευρικό ερέθισμα η διαπερατότητα της μεμβράνης στα ιόντα Na^+ και K^+ και επομένως το φαινόμενο της ώσμωσης (Εικόνα 18) [48,49,50,51,52].



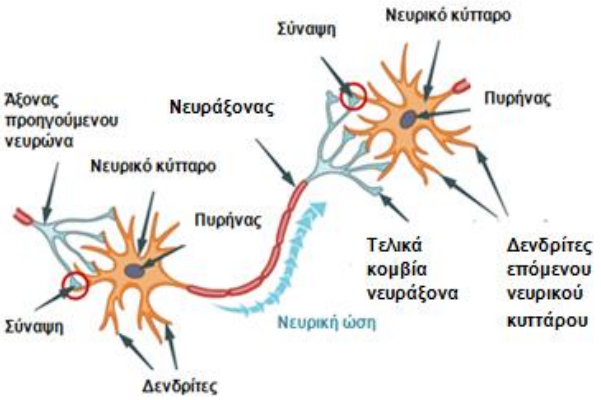
Εικόνα 18:

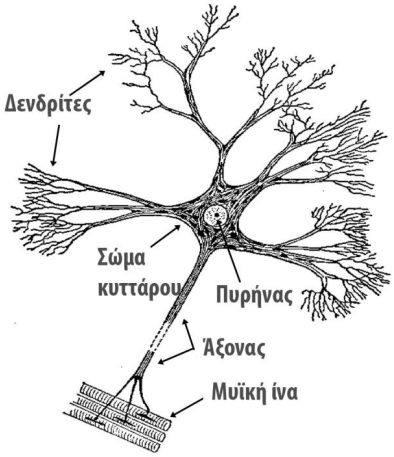
ε. Μεταβολές στο δυναμικό.

στ. Μεταβολές στη διαπερατότητα των Na^+ και K^+.

3.1.6 Συνάψεις και μεταφορά του μηνύματος

Οι νευρώνες συνδέονται με άλλους νευρώνες (ή εκτελεστικά όργανα) με τη βοήθεια συνάψεων. Σύναψη είναι η περιοχή λειτουργικής σύνδεσης των

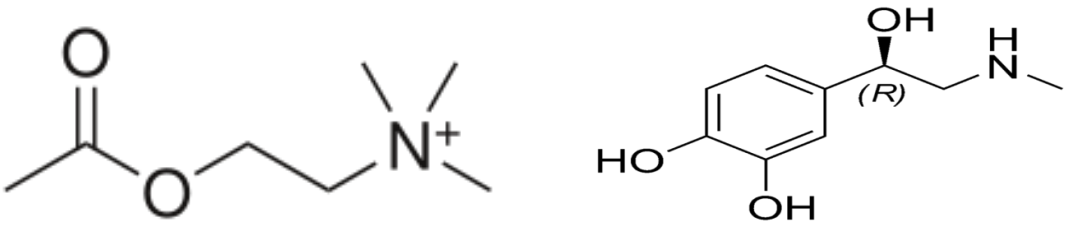




Εικόνα 19: Συνάψεις μεταξύ νευρώνων. **Εικόνα 20: Σύναψη μεταξύ νευρώνα και μυός.**

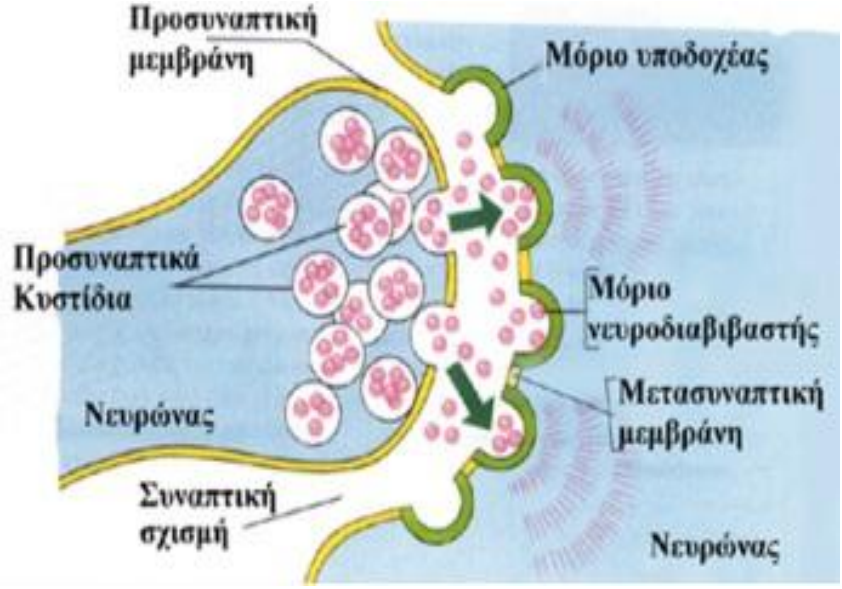
τελικών κομβίων του νευράξονα ενός νευρώνα με άλλα νευρικά κύτταρα (Εικόνα 19) ή με ειδικά διαμορφωμένες θέσεις των εκτελεστικών οργάνων (μυών ή αδένων) (Εικόνα 20).

Η μεταφορά της νευρικής ώσης μέσω των συνάψεων πραγματοποιείται συνήθως με τη βοήθεια χημικών ενώσεων που παράγει το νευρικό κύτταρο, των νευροδιαβιβαστών. Οι νευροδιαβιβαστές συνθέτονται στο σώμα του νευρώνα, μεταφέρονται μέσω του άξονα, αποθηκεύονται στα συνοπτικά κυστίδια και εκκρίνονται από τα τελικά κομβία των νευραξόνων (χημική σύναψη). Δύο από τους σημαντικότερους νευροδιαβιβαστές είναι η ακετυλοχολίνη (ο πιο διαδεδομένος νευροδιαβιβαστής στο ΚΝΣ και στο ΠΝΣ) και η επινεφρίνη (αδρεναλίνη) (ο πιο διαδεδομένος νευροδιαβιβαστής του αυτόνομου συμπαθητικού συστήματος) (Εικόνα 21) [48,53,54].



Εικόνα 21: Ακετυλοχολίνη (αριστερά), επινεφρίνη (δεξιά).

Σε μία σύναψη μπορούμε να διακρίνουμε α) το προσυναπτικό άκρο (τα τελικά κομβία ενός νευρικού κυττάρου), στο οποίο υπάρχουν πολυάριθμα μιτοχόνδρια και συνοπτικά κοκκία (κυστίδια), που περιέχουν τη νευροδιαβιβαστική ουσία. Επίσης, β) το μετασυναπτικό άκρο, που είναι η υποδεκτική επιφάνεια του νευρώνα ή του εκτελεστικού οργάνου (π.χ. μυς), και στο οποίο βρίσκονται οι υποδοχείς της νευροδιαβιβαστικής ουσίας. Το προσυναπτικό και το μετασυναπτικό άκρο δε βρίσκονται σε επαφή, και ο χώρος ανάμεσά τους, η συναπτική σχισμή, έχει πάχος 15-20 nm (Εικόνα 22).

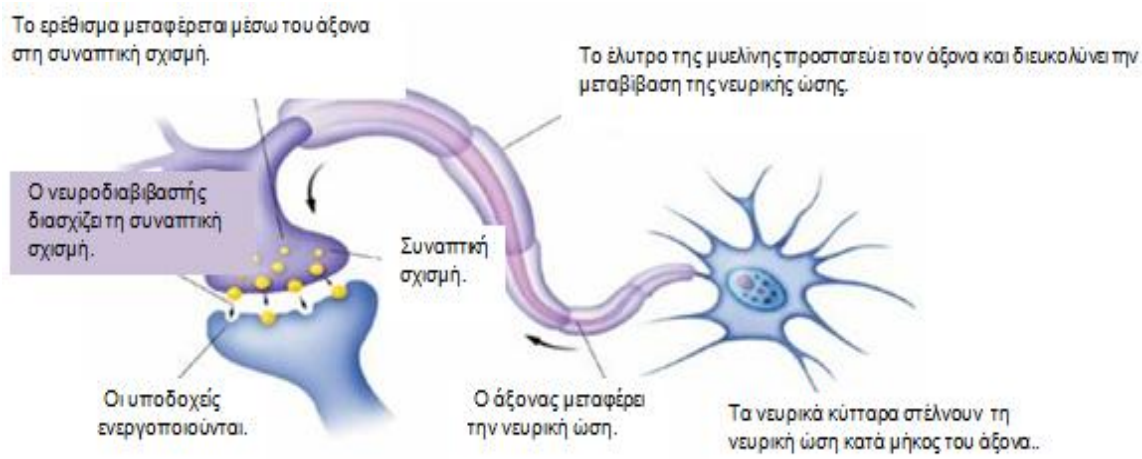


Εικόνα 22: Συναπτική Σχισμή και νευροδιαβιβαστές.

Ένα ερέθισμα με ένταση μεγαλύτερη μιας συγκεκριμένης τιμής δημιουργεί τοπικές αλλαγές στο δυναμικό της μεμβράνης, οι οποίες στη συνέχεια μεταδίδονται σε όλο το μήκος του νευράξονα. Όταν μία νευρική ώση φτάσει στα τελικά κομβία ενός νευρώνα, εκπολώνεται η προσυναπτική μεμβράνη. Όταν εκπολωθεί η μεμβράνη της σύναψης, ανοίγουν ειδικοί πόροι Ca^{2+} και εισέρχονται ιόντα Ca^{2+} στο εσωτερικό της προσυναπτικής απόληξης. Η είσοδος Ca^{2+} οδηγεί στη σύντηξη της μεμβράνης των προσυναπτικών κυστιδίων με την κυτταρική μεμβράνη. Όταν συμβεί αυτό, το περιεχόμενο των κυστιδίων (δηλ. τα μόρια του νευροδιαβιβαστή) απελευθερώνονται στη συναπτική σχισμή, μια πολύ στενή περιοχή (εύρους μόλις 20 nm) μεταξύ της προ- και της μετασυναπτικής μεμβράνης. Στη συνέχεια, ο νευροδιαβιβαστής διαχέεται στη συναπτική σχισμή και προσδένεται στους υποδοχείς του μετασυναπτικού άκρου (Εικόνα 23). Στην περίπτωση που ο νευροδιαβιβαστής

δρα διεγερτικά, προκαλεί αύξηση στη διαπερατότητα της μετασυναπτικής μεμβράνης σε Na^+. Η μαζική εισροή ιόντων νατρίου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νευρικής ώσης κατά μήκος του νευράξονα του μετασυναπτικού νευρώνα.

Η νευροδιαβιβαστική ουσία δρα για περιορισμένο χρονικό διάστημα, διότι είτε επαναρροφάται από το προσυναπτικό άκρο είτε αποικοδομείται με τη βοήθεια ενζύμων.



Εικόνα 23: Διάχυση νευροδιαβιβαστή στη συναπτική σχισμή και πρόσδεσή του στους υποδοχείς του μετασυναπτικού άκρου.

Οι συνάψεις καθορίζουν την κατεύθυνση μεταφοράς των νευρικών ώσεων, διότι μπορούν να μεταφερθούν μόνο από το προσυναπτικό προς το μετασυναπτικό άκρο [48,49,50].

3.1.7 Τροφές που περιέχουν νάτριο και κάλιο

Τις μεγαλύτερες ποσότητες νατρίου ο ανθρώπινος οργανισμός τις λαμβάνει από το μαγειρικό αλάτι (NaCl). Υπάρχουν όμως και άλλα τρόφιμα που περιέχουν νάτριο σε μεγάλες ποσότητες όπως είναι τα δημητριακά, το βοδινό κρέας, οι ελιές, η μουστάρδα και τα καρυκεύματα [45,55].

Το κάλιο βρίσκεται στο εσωτερικό όλων των κυττάρων, επομένως όλα τα τρόφιμα όλων των ειδών το περιέχουν, αρκεί τα κύτταρα τους να είναι άθικτα. Άρα τα τρόφιμα που είναι πλούσια σε κάλιο είναι τα φρέσκα και όχι τα επεξεργασμένα. Τα περισσότερα φρούτα και λαχανικά περιέχουν μεγάλες ποσότητες, ενώ η μπανάνα, παρά τη φήμη της, δεν είναι η πιο πλούσια πηγή

καλίου, αν και συμπεριλαμβάνεται στις πιο πλούσιες. Άλλα τρόφιμα είναι η πατάτα, το γάλα, τα ψάρια, τα πεπόνια και τα φασόλια [45].

3.1.8 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια καλίου και νατρίου

Έλλειψη σε νάτριο θα ήταν βλαβερή, αλλά πολύ λίγες δίαιτες δεν προσφέρουν το απαραίτητο νάτριο. Τα τρόφιμα συνήθως περιέχουν περισσότερο αλάτι απ' ότι χρειαζόμαστε και ο οργανισμός το απορροφά ελεύθερα. Τα νεφρά φιλτράρουν την περίσσεια από το αίμα στα ούρα. Επίσης, κατακρατούν μια ποσότητα νατρίου και στην σπάνια περίπτωση που υπάρχει έλλειψη, επιστρέφουν στη ροή του αίματος την ακριβή απαιτούμενη ποσότητα.

Η περίσσεια νατρίου, από την άλλη, είναι πιο συνηθισμένη και προκαλεί υπέρταση και εγκεφαλική αιμορραγία (σχετιζόμενο με την υπέρταση εγκεφαλικό), ενώ σχετίζεται και με καρδιαγγειακές ασθένειες [45].

Το κάλιο όπως έχουμε δει είναι το κύριο κατιόν στο εσωτερικό των κυττάρων. Παίζει κυρίαρχο ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας των υγρών και των ηλεκτρολυτών. Οι ξαφνικοί θάνατοι που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της νηστείας ή μετά από έντονη διάρροια και σε παιδιά που πάσχουν από "kwashiorkor", μία ασθένεια που προκαλείται όπου η διατροφή είναι ικανοποιητική σε θερμίδες, αλλά φτωχή σε πρωτεΐνες π.χ. σε κουλτούρες που τρώνε μόνο ρύζι ή καλαμπόκι. Εμφανίζεται αμέσως μετά τον απογαλακτισμό του παιδιού (εξ ου και το όνομά του, «εγκαταλελειμμένος», στα Γκανέζικα). Προκαλεί σοβαρές αλλοιώσεις στο συκώτι, τα ηπατοκύτταρα γίνονται ατροφικά, το συκώτι διηθείται από νερό και λίπη που δε μεταβολίζονται. Τυπικό της σύμπτωμα η χαρακτηριστική διογκωμένη κοιλιά (οίδημα πείνας), που βλέπουμε στις φωτογραφίες φτωχών παιδιών ή σε ανθρώπους με διατροφικές διαταραχές, που οφείλεται σε καρδιακή ανεπάρκεια που προκαλείται από έλλειψη καλίου [45,56].

Η αφυδάτωση προκαλεί την απώλεια καλίου από το εσωτερικό των κυττάρων. Αυτή η κατάσταση είναι πολύ επικίνδυνη γιατί όταν τα εγκεφαλικά κύτταρα χάσουν κάλιο, ο ασθενής στερείται της ικανότητας να αντιληφθεί ότι έχει ανάγκη από νερό.

Περίσσεια σε κάλιο μπορεί να δημιουργηθεί μόνο με αλόγιστη χρήση φαρμακευτικών σκευασμάτων και συγκεκριμένα χαπιών χλωριούχου καλίου. Αν και δεν απειλεί συνήθως την υγεία του ανθρώπου, μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να οδηγήσει ακόμα και στο θάνατο, ειδικά σε ανθρώπους με καρδιακές παθήσεις ή νεογέννητα [45].

3.2 Ασβέστιο

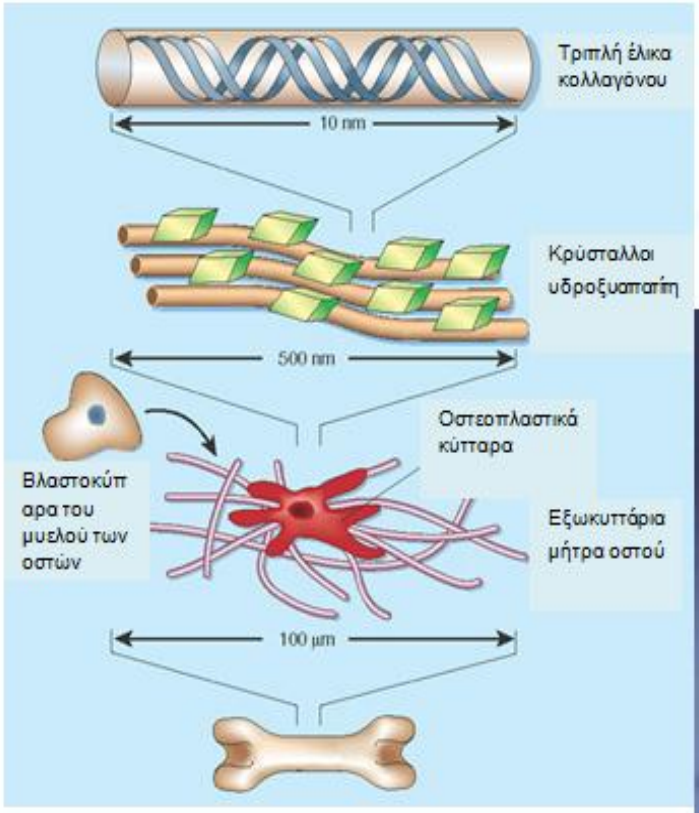
3.2.1 Βιολογική δράση ασβεστίου

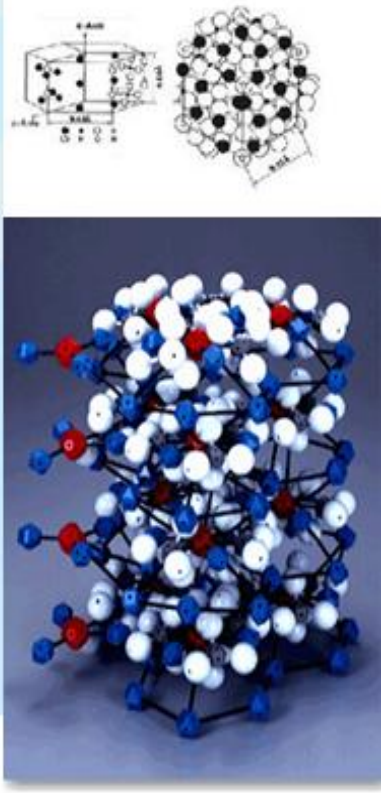
Το ασβέστιο ανήκει στην ομάδα των αλκαλικών γαιών (IIA), που σημαίνει ότι έχει δύο ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους και ηλεκτρονιακή διαμόρφωση $[Ar]4s^2$. Τα δύο ηλεκτρόνια σθένους που διαθέτει αποβάλλονται εύκολα και μετατρέπεται σε δισθενές ιόν Ca^{2+}. Είναι δραστικό και γι' αυτό δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση [47].

Αν και τα ιόντα μαγνησίου υπήρξαν πολύ σημαντικά στις διαδικασίες της πρωτόλειας ζωής, τα ιόντα ασβεστίου απέκτησαν την εξειδικευμένη δράση τους πολύ αργότερα. Οι δράσεις του ασβεστίου περιλαμβάνουν λειτουργίες χαρακτηρίζουσες μόνο τις ανώτερες μορφές ζωής, όπως νευρική μεταβίβαση, μυϊκή συστολή και πήξη αίματος. Στο πλάσμα του αίματος και άλλα βιολογικά υγρά υπερέχουν τα ιόντα ασβεστίου, ενώ η συγκέντρωση του Mg(II) είναι σχετικά χαμηλή. Βέβαια, μέσα στα κύτταρα η συγκέντρωση του Mg(II) είναι υψηλή ενώ η συγκέντρωση του Ca(II) χαμηλή.

Μια ακόμη διαφορά μεταξύ Mg(II) και Ca(II) προκύπτει σε μοριακό επίπεδο. Στις ενζυμικές δράσεις, το Mg(II) αντιδρά κυρίως με το υπόστρωμα παρά με το ένζυμο. Αντίθετα, το ογκωδέστερο Ca(II), έχοντας υψηλότερο αριθμό συντάξεως (έξι, επτά ή οκτώ), συνήθως συνδέεται απ' ευθείας με το μόριο του ενζύμου και μπορεί να προκαλεί ουσιαστικές διαμορφωτικές μεταβολές [44].

Το ασβέστιο βρίσκεται στη φύση σε μεγάλη αφθονία. Είναι το πέμπτο κατά βάρος χημικό στοιχείο στο σώμα του ανθρώπου και υπολογίζεται ότι αποτελεί το 1,9 % του βάρους του ανθρωπίνου σώματος. Γι' αυτό δεν ανήκει στα ιχνοστοιχεία αλλά στα απαραίτητα, για τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, μακροστοιχεία. Από το ασβέστιο που βρίσκεται στο σώμα του ανθρώπου, περίπου το 99 % βρίσκεται στα οστά και τα δόντια με τη μορφή





Εικόνα 24: Κολλαγόνο και υδροξυαπατίτης συνθέτουν τα οστά.

Εικόνα 25: Δισδιάστατη (πάνω) και τρισδιάστατη (κάτω) δομή του υδροξυαπατίτη.

του υδροξυαπατίτη $3Ca_3(PO_4)_6.Ca(OH)_2$ (Εικόνα 24, Εικόνα 25), ενώ με αυτή τη μορφή υπάρχει και στο πλάσμα του αίματος. Το 70 % των οστών αποτελείται από υδροξυαπατίτη. Το υπόλοιπο ασβέστιο κατανέμεται στα νεύρα, στους μύες, στην καρδιά και στο αίμα. Ένα μεγάλο μέρος του ασβεστίου βρίσκεται ενωμένο με πρωτεΐνες, ενώ το υπόλοιπο είναι υπό μορφή ιόντων. Η παρουσία των ιόντων αυτών έχει άμεση σχέση με την πηκτικότητα του αίματος [44,47].

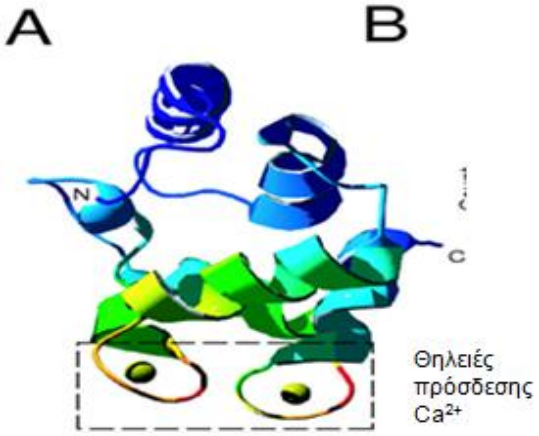
Η αποστολή του ασβεστίου στον ανθρώπινο οργανισμό δεν περιορίζεται μόνο στα οστά και στα δόντια, αλλά, αντιθέτως, είναι πολύπλευρη. Οι κυριότερες δράσεις του είναι:

1. Ρυθμίζει την ευαισθησία των νεύρων και των μυών.
2. Εξασφαλίζει την κανονική λειτουργία του καρδιακού μυός.
3. Ελέγχει τη συστολή των μυών.
4. Εξασφαλίζει την ομαλή διαβίβαση των μηνυμάτων, μέσω των νευρών στον εγκέφαλο.
5. Ρυθμίζει την έκκριση ορμονών κατά τη γαλουχία.

6. Παίρνει μέρος στο μηχανισμό της πήξεως του αίματος.
7. Βοηθάει στην απορρόφηση της βιταμίνης B_{12}.
8. Ρυθμίζει τη στάθμη της χοληστερόλης. Ειδικότερα, εμποδίζει την απορρόφηση της χοληστερόλης των τροφών [36].

3.2.2 Σύμπλοκα – πρωτεΐνες ασβεστίου

Μελέτες των συμπλόκων του Ca^{2+} με μικρούς υποκαταστάτες, καθόρισαν ότι το οξυγόνο προτιμάται ως άτομο δότης, έστω και αν είναι διαθέσιμο στον υποκαταστάτη και άζωτο δότης. Ο αριθμός συντάξεως είναι συνήθως οκτώ και σπανιότερα επτά ή έξι. Για την σύνταξη με οκτώ υποκαταστάτες, η γεωμετρία περιγράφεται καλύτερα ως τετραγωνικό αντίπρισμα, ενώ τα σύμπλοκα με αριθμό συντάξεως επτά είναι πενταγωνικές διπυραμίδες, ενώ με έξι υποκαταστάτες σχηματίζει ένα σχεδόν κανονικό οκτάεδρο. Τα γνωστότερα σύμπλοκα – πρωτεΐνες είναι η παρβαλβουμίνη, η τροπονίνη, η καλσικουεστρίνη, η κονκαναβαλίνη Α, η σταφυλοκοκκική νουκλεάση και η θερμολυσίνη. Από τις παραπάνω πρωτεΐνες, άλλες δεσμεύουν ιόντα ασβεστίου (παρβαλβουμίνη, τροπονίνη, καλσικουεστρίνη) (Εικόνα 26), άλλες χρειάζονται το Ca^{2+} για να διατηρήσουν την τεταρτοταγή δομή τους (θερμολυσίνη) και σε άλλες το Ca^{2+} συμμετέχει στην ενζυμική κατάλυση (σταφυλοκοκκική νουκλεάση, θερμολυσίνη) [44].



Εικόνα 26: Παρβαλβουμίνη που έχει δεσμεύσει δύο ιόντα Ca^{2+}.

3.2.3 Μυϊκή συστολή και Ca^{2+}

Οι συγκεντρώσεις του Ca(II) εντός και εκτός του κυττάρου είναι περίπου 10^{-6} mol/dm^3 και 10^{-3} mol/dm^3, αντίστοιχα. Μια σειρά από βιοχημικές και φυσιολογικές δράσεις πυροδοτούνται με την είσοδο του Ca(II) στο κύτταρο ή με την απελευθέρωση του από τα εσωτερικά οργανίδια. Το Ca(II) (r = 0,99 ⇐) έχει μεγαλύτερη ιοντική ακτίνα από το Mg(II) (r = 0,65 ⇐), έτσι το ιόν ασβεστίου εμφανίζει πολύ μικρότερη πυκνότητα φορτίου. Συνεπώς, οι

αντιδράσεις υποκαταστάσεως επί του Ca(II) είναι πολύ ταχύτερες από εκείνες του Mg(II). Αυτές οι ιδιότητες παρέχουν την ικανότητα στο Ca(II) να κινείται πολύ γρήγορα στους ζωντανούς ιστούς. Γι' αυτό στους τελειότερους οργανισμούς το ασβέστιο εξελίχθηκε σε σκανδάλη για τη μεταφορά μηνυμάτων μεταξύ διαφόρων κυττάρων. Αυτός είναι και ο ρόλος του στη μυϊκή συστολή [44,57].

3.2.4 Μυϊκός ιστός

Το σύνολο των μυών του σώματος αποτελεί το μυϊκό σύστημα, του οποίου ο βασικότερος ιστός είναι ο μυϊκός. Χαρακτηριστική ιδιότητα των κυττάρων του μυϊκού ιστού, που κατάγονται από τα μεσόδερμα, είναι η ικανότητα συστολής. Τα μυϊκά κύτταρα έχουν μεγάλο μήκος (μερικά πάνω από 20 cm) και όπως είπαμε, έχουν αναπτύξει την ικανότητα της συστολής, δηλαδή την ικανότητα να μικραίνουν το μήκος τους και μετά να επανέρχονται στην αρχική τους κατάστασή. Ακριβώς επειδή είναι επιμήκη, ονομάζονται μυϊκές ίνες. Υπάρχουν τρία είδη μυϊκού ιστού που χαρακτηρίζονται από ιδιαιτερότητες στη δομή και στη λειτουργία των κυττάρων από τα οποία αποτελούνται, ο καρδιακός μυϊκός ιστός, ο λείος μυϊκός ιστός και ο σκελετικός μυϊκός ιστός. Μόνο στον τελευταίο η συστολή γίνεται με τη θέληση μας [48,49].

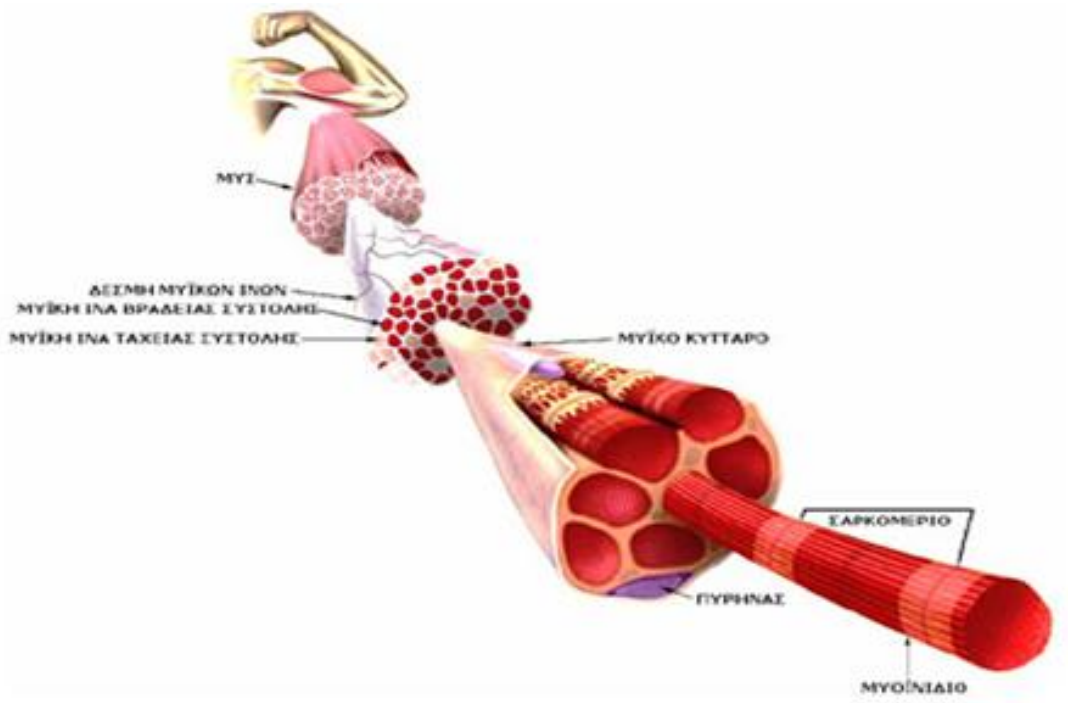
Οι καρδιακές μυϊκές ίνες (δηλ. οι ίνες του μυοκαρδίου) μοιάζουν τόσο στις γραμμωτές, όσο και στις λείες ίνες. Αν και έχουν γραμμώσεις, η συστολή τους δεν υπακούει στη θέλησή μας.

Οι λείες μυϊκές ίνες δεν εμφανίζουν γραμμώσεις και η λειτουργία τους δεν εξαρτάται από την θέληση μας. Επενδύουν κυρίως τοιχώματα αυλών, (γαστρεντερικός σωλήνας, αγγεία) και κοιλοτήτων (κύστη κλπ.) [49].

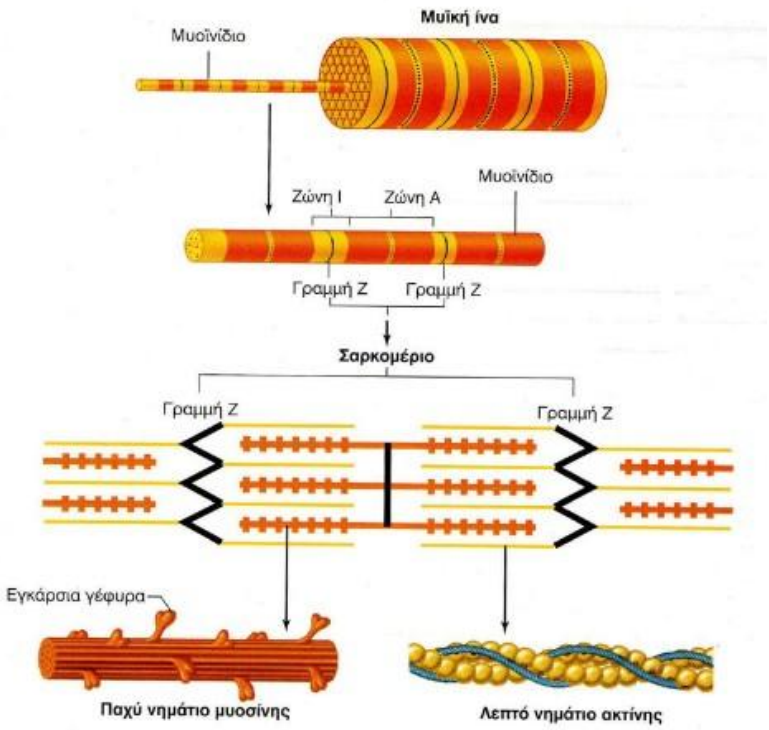
Ο σκελετικός μυϊκός ιστός, ή γραμμωτός, συναντάται στους σκελετικούς μυς και αποτελείται από σχετικά μακριές κυλινδρικές μυϊκές ίνες που φέρουν γραμμώσεις, δηλαδή εναλλασσόμενες σκουρόχρωμες και ανοιχτόχρωμες περιοχές κατά μήκος τους. Οι σκελετικοί μύες προσφύονται στα οστά και είναι αυτοτελή όργανα, που όπως είπαμε υπακούουν στη θέληση μας. Κάθε γραμμωτός μυς μπορεί να αποτελείται από χιλιάδες μυϊκές ίνες, οι οποίες δεν αθροίζονται με τυχαίο τρόπο, αλλά διατάσσονται σε δεσμίδες (μυϊκές δέσμες), οι οποίες περιβάλλονται από πυκνό συνδετικό ιστό. Από πυκνό συνδετικό ιστό περιβάλλεται και ο ίδιος ο μυς [48,49].

Η δομική και λειτουργική μονάδα των γραμμωτών μυών, δηλαδή το μυϊκό κύτταρο, είναι η γραμμωτή μυϊκή ίνα. Το σχήμα της είναι κυλινδρικό, ενώ το μήκος της μπορεί να φτάσει από λίγα χιλιοστά έως 15 cm. Η κυτταρική της μεμβράνη ονομάζεται σαρκείλημα και στο κυτταρόπλασμα, που λέγεται σαρκόπλασμα, υπάρχουν πολυάριθμα μιτοχόνδρια και αναπτυγμένο ενδοπλασματικό δίκτυο, που ονομάζεται σαρκοπλασματικό δίκτυο [48].

Στο εσωτερικό της μυϊκής ίνας υπάρχουν μερικές εκατοντάδες ή χιλιάδες μυϊκά ινίδια, που διατάσσονται παράλληλα και εκτείνονται σε όλο της το μήκος (Εικόνα 27). Τα μυϊκά ινίδια, ή μυοϊνίδια, είναι παράλληλα διατεταγμένα και στην ίδια κατεύθυνση με τον επιμήκη άξονα της μυϊκής ίνας. Τα μυοϊνίδια αποτελούνται ουσιαστικά από έναν σχηματισμό, το σαρκομερίδιο, που επαναλαμβάνεται χιλιάδες φορές κατά μήκος του μυοϊνιδίου. Τα σαρκομερίδια συνιστούν τη "στοιχειώδη μονάδα" συστολής των μυοϊνιδίων, και κατ' επέκταση της μυϊκής ίνας και του μυός (Εικόνα 28).



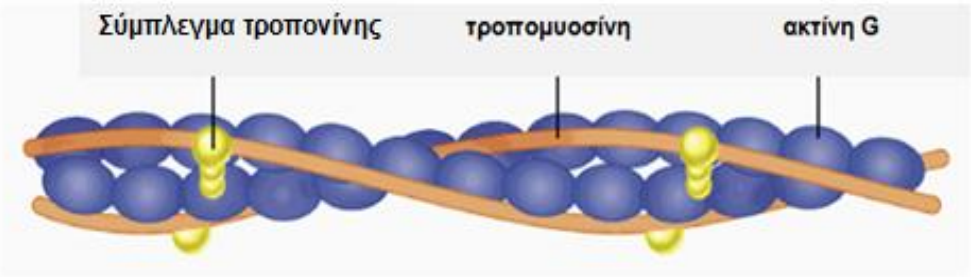
Εικόνα 27: Δομή του σκελετικού μυ.



Εικόνα 28: Δομή της μυϊκής ίνας.

Στη μυϊκή συστολή παίζουν σημαντικό ρόλο οι πρωτεΐνες μυοσίνη (Εικόνα 29), ακτίνη, τροπομυοσίνη και τροπονίνη (Εικόνα 30).

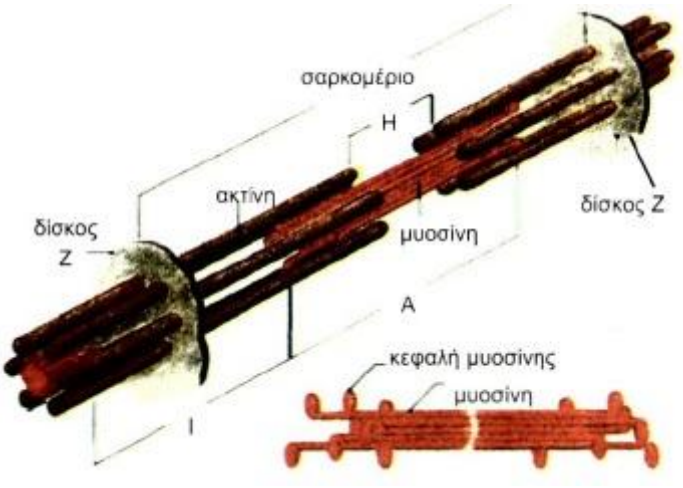
Εικόνα 29: Το μόριο της μυοσίνης.



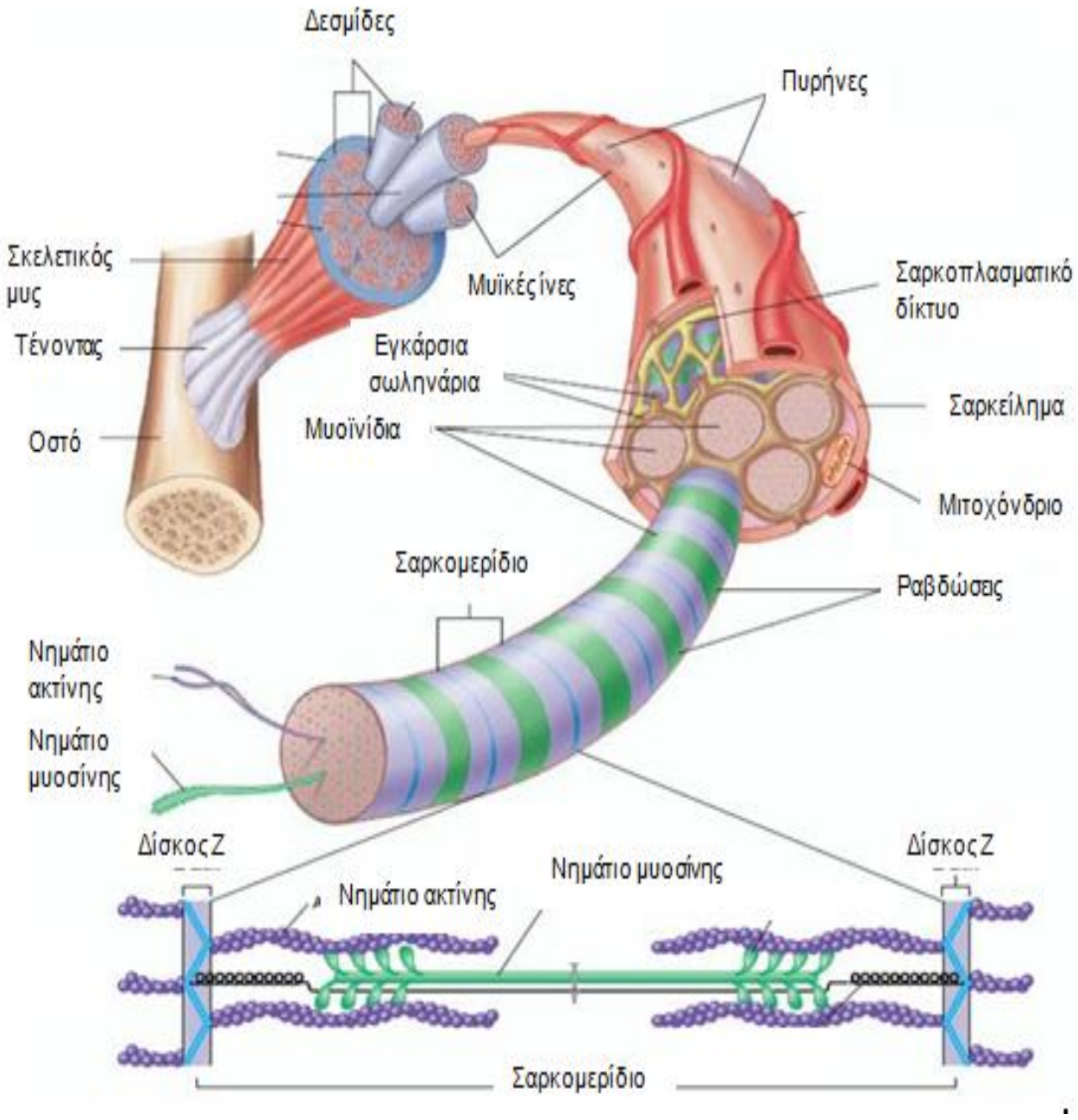
Εικόνα 30: Το σύμπλεγμα των πρωτεϊνών ακτίνη, τροπομυοσίνη και τροπονίνη.

Η συστολή οφείλεται στην αλληλεπίδραση ακτίνης και μυοσίνης στα σαρκομερίδια, τα οποία αποτελούν ένα μυϊκό ινίδιο. Κάθε ινίδιο αποτελείται από πολλά νημάτια ακτίνης και μυοσίνης. Κατά μήκος των ινιδίων παρεμβάλλονται κάθετα διάτρητες μεμβράνες που λέγονται δίσκοι Z. Το τμήμα του ινιδίου μεταξύ δύο διαδοχικών μεμβρανών αποτελεί το σαρκομερίδιο. Επάνω στους δίσκους Z είναι προσδεδεμένα σε εξαγωνική διάταξη πολλά λεπτά νημάτια ακτίνης. Ανάμεσα σ' αυτήν την εξαγωνική "θήκη" των νηματίων ακτίνης υπάρχουν τα παχιά νημάτια μυοσίνης (Εικόνες 31, 32). Τα νημάτια μυοσίνης αποτελούνται από πολλά μόρια μυοσίνης, καθένα από τα οποία έχει μια κεφαλή που προεξέχει προς την πλευρά των νηματίων ακτίνης και η οποία (όπως θα δούμε στη συνέχεια) μπορεί να κάμπτεται. Η σχέση των νηματίων μυοσίνης ως προς τα νημάτια ακτίνης καθορίζει τη μυϊκή συστολή.

Όταν δεν συστέλλεται μια μυϊκή ίνα, οι κεφαλές της μυοσίνης παραμένουν ανεξάρτητες από τα μόρια της ακτίνης. Έτσι, τα νημάτια της ακτίνης μπορούν να κινούνται ανεξάρτητα από τα νημάτια μυοσίνης και οι δίσκοι Z των σαρκομερίων να απομακρύνονται (μέχρι ενός ορίου) ο ένας από τον άλλον. Αυτή η ανεξαρτησία των νηματίων ακτίνης και μυοσίνης δίνει στους μύες την ελαστικότητα, σε ό,τι αφορά το μήκος τους [48,49].



Εικόνα 31: Δομή σαρκομεριδίου.



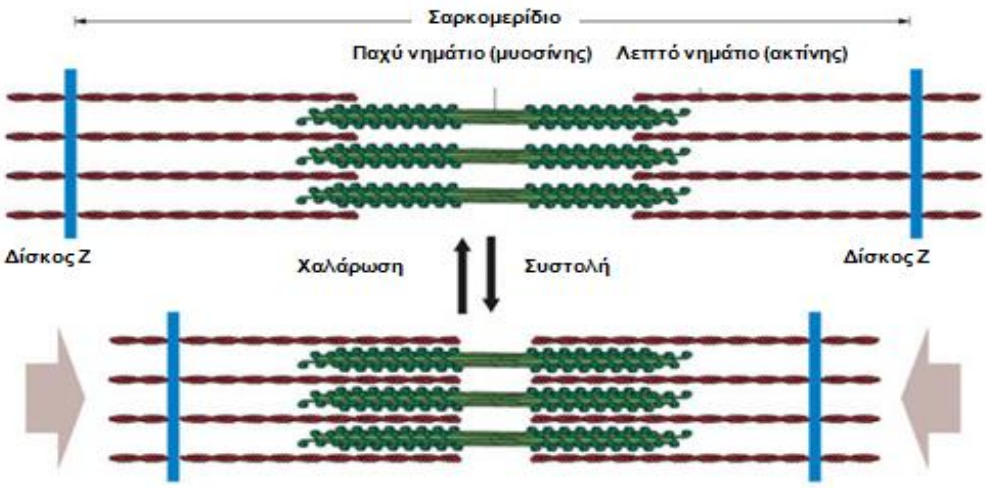
Εικόνα 32: Δομή ενός μυϊκού ινιδίου και άποψη ενός σαρκομεριδίου.

3.2.5 Μυϊκή συστολή

Η μυϊκή συστολή ξεκινά μετά από κάποιο ερέθισμα του νευρικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια της μυϊκής συστολής τα ινίδια ακτίνης ολισθαίνουν πάνω στα ινίδια μυοσίνης. Με το μηχανισμό αυτό ελαττώνεται το μήκος των σαρκομερίων και κατ' επέκταση της μυϊκής ίνας. Την ενέργεια για την συστολή του μυός την παρέχει το ATP, όταν διασπάται σε ADP.

$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi + H^+$$

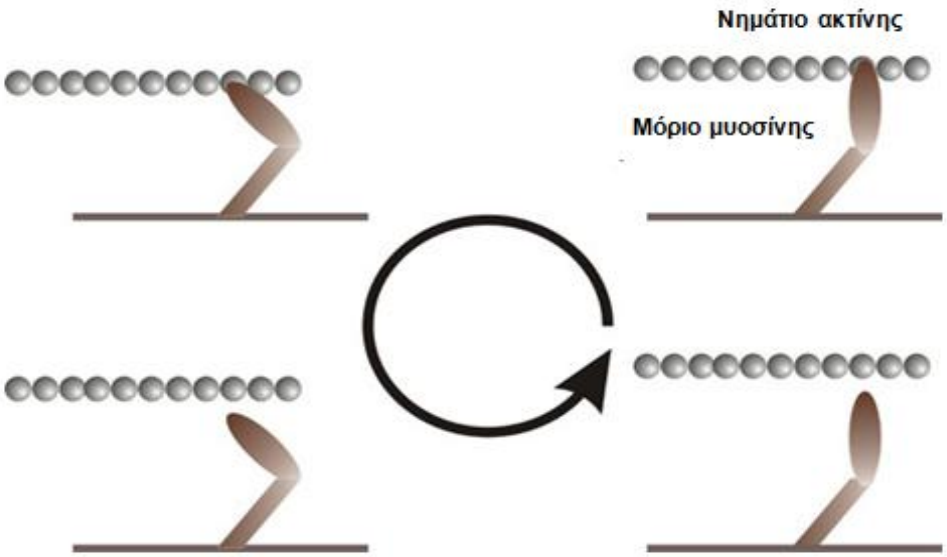
Το οξυγόνο είναι δεσμευμένο σε μια πρωτεΐνη των μυικών κυττάρων, τη μυοσφαιρίνη, που είναι ανάλογη της αιμοσφαιρίνης και ευθύνεται για το βαθύ κόκκινο χρώμα τους [48].



Εικόνα 33: Σχηματική απεικόνιση της σχέσης και της αλληλεπίδρασης ακτίνης και μυοσίνης.

Η συστολή του μυ είναι αποτέλεσμα συνεχόμενων κύκλων σύνδεσης, έλξης και αποσύνδεσης ανάμεσα στις κεφαλές της μυοσίνης και στην ακτίνη. Σε κατάσταση ηρεμίας, οι κεφαλές προεξέχουν από τα παχιά νημάτια, αλλά αδυνατούν να συνδεθούν με τα λεπτά νημάτια επειδή, η τροπομυοσίνη καλύπτει τα σημεία επαφής της ακτίνης με τη μυοσίνη. Στην επιφάνεια των κεφαλών υδρολύεται ATP, αλλά, λόγω της παρεμπόδισης της σύνδεσης με την ακτίνη, η απομάκρυνση των προϊόντων ADP και Pi είναι αργή [58].

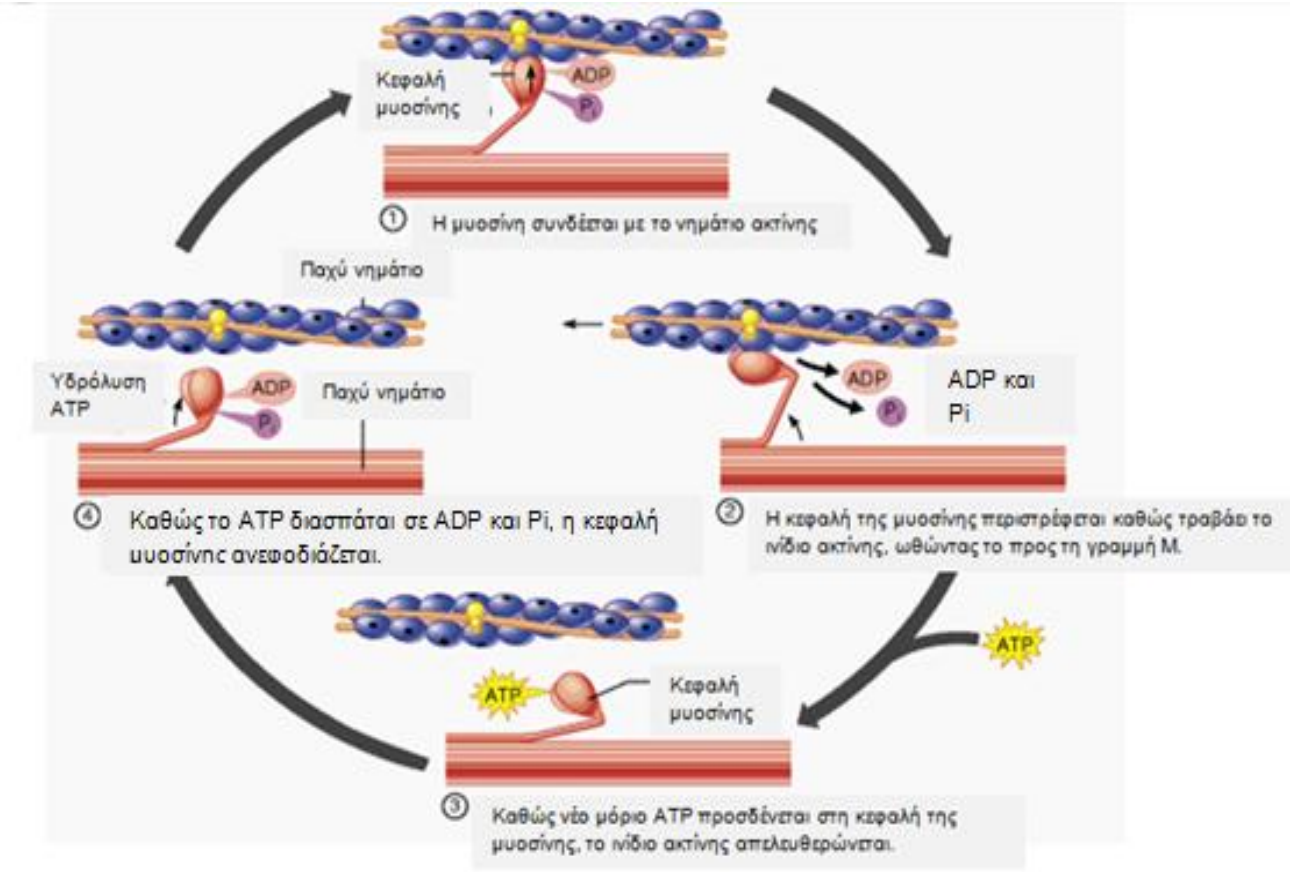
Με τη διέγερση του μυός, η τροπομυοσίνη παραμερίζει επιτρέποντας στις κεφαλές να προσκολληθούν σε μονάδες ακτίνης στα λεπτά νημάτια. Η ακτίνη τότε εκτοπίζει τα προϊόντα της υδρόλυσης της ATP από τις κεφαλές της μυοσίνης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, από σχεδόν κάθετη προς το λεπτό νημάτιο, να αποκτήσει η μυοσίνη κλίση 45 μοιρών, κι επειδή είναι αγκιστρωμένη στο λεπτό νημάτιο, η αλλαγή κλίσης συνεπάγεται μια μετατόπιση του τελευταίου κατά 10 nm ως προς το παχύ νημάτιο. Αυτή ακριβώς η μετατόπιση γεννά τη συστολή του μυός (Εικόνα 33) [58].



Εικόνα 34: Σχηματική απεικόνιση των τεσσάρων σταδίων της μυϊκής συστολής.

Η όλη πορεία επαναλαμβάνεται κυκλικά, όπως φαίνεται στην εικόνα (Εικόνα 34), για την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας. Κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου, τα μόρια της μυοσίνης αρχικά συνδέονται στο ινίδιο της ακτίνης, γεφυρώνοντας το κενό μεταξύ των ινιδίων. Κατόπιν, καταναλώνουν ενέργεια αντιδρώντας με ένα μόριο ATP (το καύσιμο των περισσότερων βιολογικών διεργασιών). Αυτή η αντίδραση εκλύει ενέργεια και υποχρεώνει τα μόρια της μυοσίνης να αλλάξουν διαμόρφωση ώστε να περιστρέψουν το “βραχίονά” τους και να ωθήσουν την ίνα της ακτίνης. Στη συνέχεια, απελευθερώνουν το ινίδιο της ακτίνης και περιστρέφουν το βραχίονα στην αρχική θέση, έτοιμο για τον επόμενο κύκλο (Εικόνα 35). Κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου, τα δύο ινίδια

ολισθαίνουν αναμεταξύ τους κατά μια μικρή απόσταση – αυτή είναι η βασική αρχή της μυϊκής σύσπασης. Οι δυνάμεις και οι κινήσεις που δημιουργούνται σε κάθε κύκλο είναι απειροελάχιστες, όμως ο συνδυασμός εκατομμυρίων μορίων μυοσίνης που λειτουργούν ταυτόχρονα μεγεθύνει το αποτέλεσμα κατά πολλές τάξεις μεγέθους [59,60].

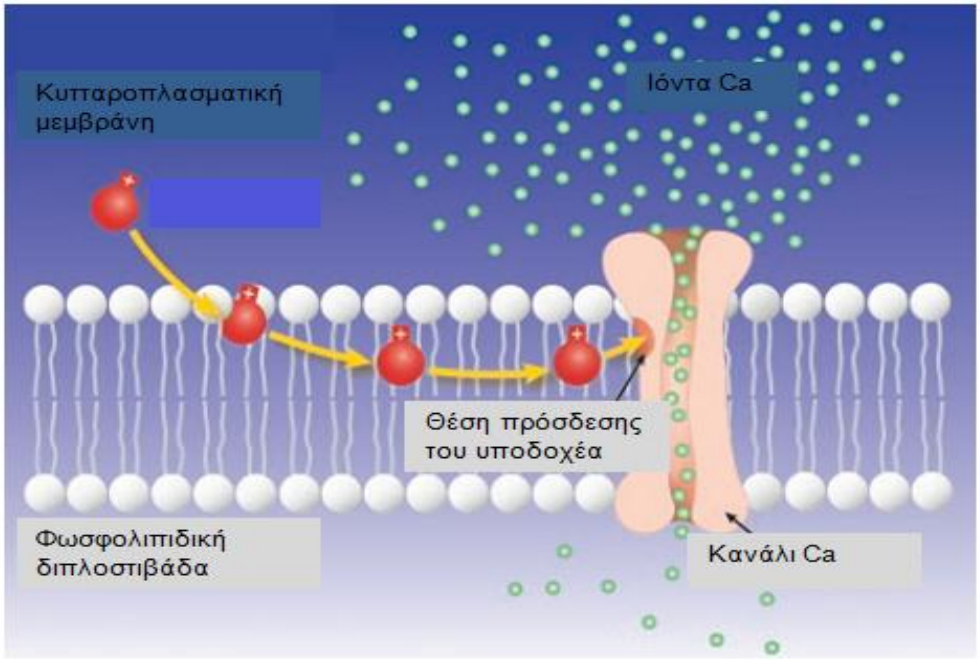


Εικόνα 35: Ο κινητήρας μυοσίνης παράγει μηχανικό έργο ωθώντας μια ίνα ακτίνης με κυκλικό τρόπο: (1) σύνδεση με το ινίδιο, (2) ώθηση του ινιδίου, (3) απελευθέρωση του ινιδίου, και (4) ανεφοδιασμός (ένα μόριο ATP).

3.2.6 Ο ρόλος των Ca^{2+} στη μυϊκή συστολή

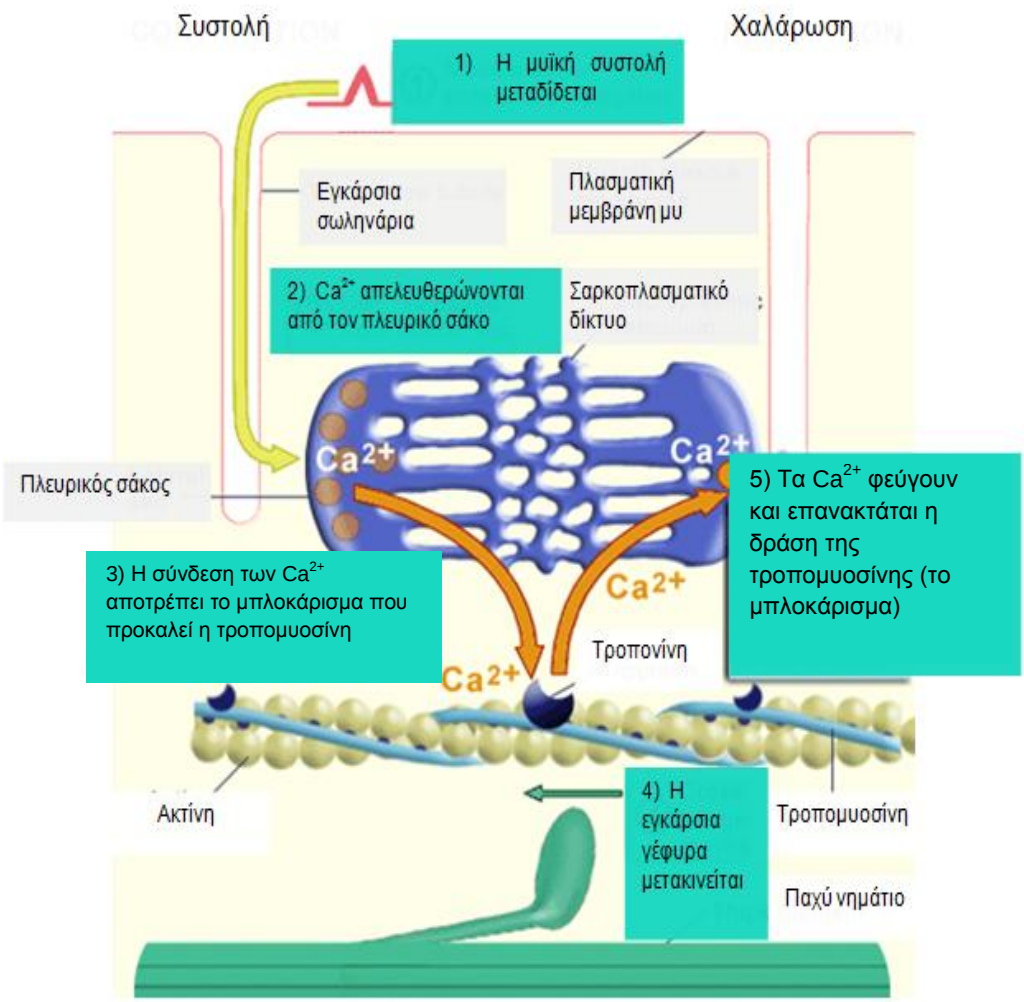
Το σαρκοπλασματικό δίκτυο έχει προσδιορισθεί ως ο ρυθμιστής Ca(II) για τα διάφορα είδη μυών. Το Ca(II) εισέρχεται στο μυϊκό κύτταρο από ειδικά

κανάλια (Εικόνα 36) και προσλαμβάνεται από την Ca(II) – Mg(II) – ATPάση, η οποία είναι παρούσα στη μεμβράνη του σαρκοπλασματικού δικτύου.



Εικόνα 36: Πρωτεΐνη που λειτουργεί ως κανάλι και επιτρέπει μόνο σε κατιόντα Ca (II) να εισέλθουν στο κύτταρο.

Το Ca(II) αποθηκεύεται στο σαρκοπλασματικό δίκτυο επί των πρωτεϊνών που δεσμεύουν ασβέστιο και κυρίως την καλσικουεστρίνη. Η συγκέντρωση των Ca^{2+} στο εσωτερικό του σαρκοπλασματικού δικτύου ανεβαίνει σε επίπεδα υψηλότερα από 10^{-3} mol/L. Η μυϊκή συστολή συνδέεται με την απελευθέρωση του Ca^{2+} από το σαρκοπλασματικό και τη δέσμευση του σε κέντρα των μυϊκών ινών, ενεργοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τη συστολή του μυ (Εικόνα 37). Μετά το νευρικό ερέθισμα, αυτομάτως ανοίγουν απότομα οι δίοδοι Ca^{2+} και λόγω της μεγάλης διαφοράς συγκέντρωσης των Ca^{2+} ανάμεσα στο σαρκόπλασμα και στο σαρκοπλασματικό δίκτυο, αυτά εξέρχονται από το δεύτερο. Όταν πάψει όμως η νευρική διέγερση της μυϊκής ίνας, η δίοδος των Ca^{2+} κλείνει και η εκροή ιόντων σταματά. Η αντλία Ca^{2+} επαναφέρει τα Ca^{2+} στο σαρκοπλασματικό δίκτυο, μειώνοντας τη συγκέντρωση τους στο σαρκόπλασμα στα 10^{-7} mol/L [44,58,60,61].



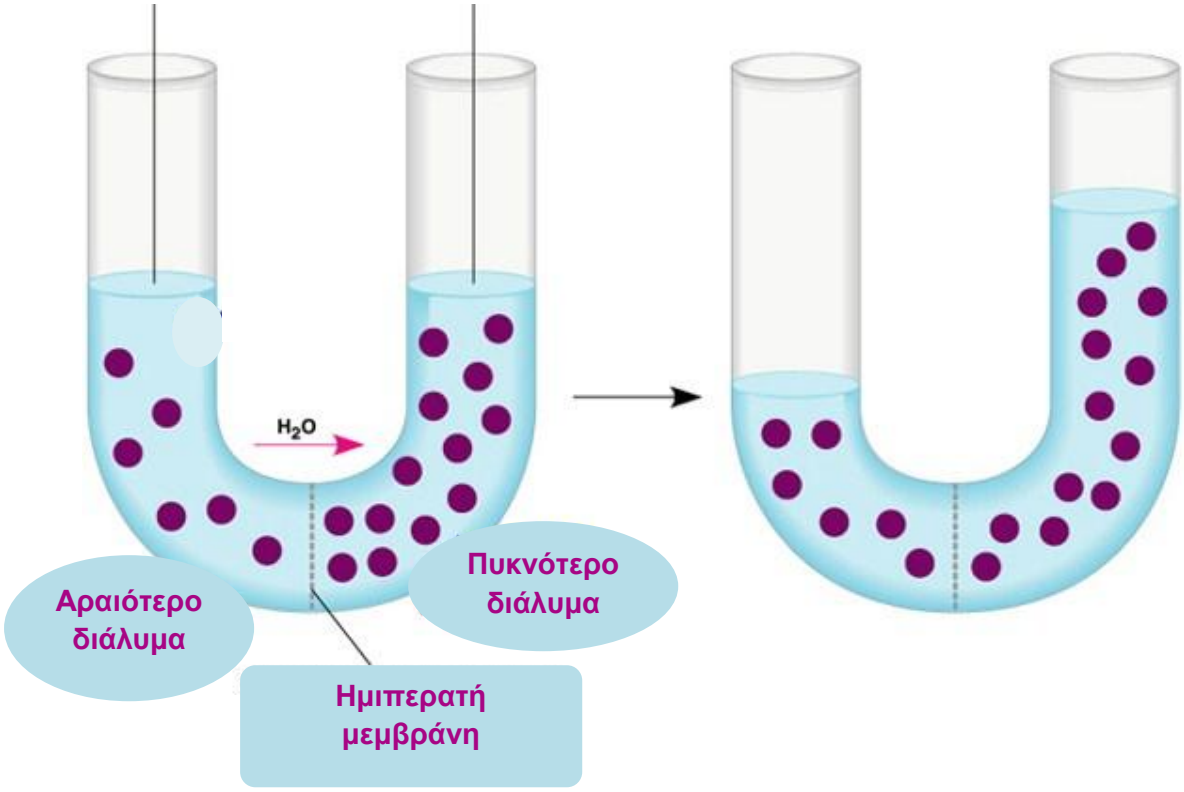
Εικόνα 37: Βήμα προς βήμα η μυϊκή συστολή. Από τη μετάδοση του νευρικού ερεθίσματος μέχρι και το τέλος της συστολής.

Όπως αναφέραμε, τα ιόντα Ca^{2+} ελέγχουν την αλληλεπίδραση ακτίνης και μυοσίνης. Σε κατάσταση ηρεμίας του μυός το σαρκόπλασμα έχει πολύ χαμηλή συγκέντρωση Ca^{2+} (περίπου 10^{-7} mol/L). Η διέγερση του μυός από το νευρικό σύστημα έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση Ca^{2+} από την ενδοκυτταρική αποθήκη, δηλαδή το σαρκοπλασματικό δίκτυο. Αυτό προκαλεί την αύξηση της συγκέντρωσης Ca^{2+} στο σαρκόπλασμα κατά εκατό φορές, σε 10^{-5} mol/L. Τα αυξημένα ιόντα Ca^{2+} συναντούν την τροπονίνη, συνδέονται μαζί της και προκαλούν μια αλλαγή στη διαμόρφωση της. Στο διεγερμένο μυ, η τροπονίνη με τη μακριά ουρά της κρατά την τροπομυοσίνη κοντά στο σημείο επαφής της ακτίνης με τις κεφαλές της μυοσίνης. Έτσι, εμποδίζεται η

αλληλεπίδραση λεπτών και παχιών νημάτιων. Μια μικρή όμως μετακίνηση της τροπομυοσίνης λόγω της σύνδεσης της τροπονίνης με τα Ca^{2+} επιτρέπει την προσκόλληση των κεφαλών στην ακτίνη με αποτέλεσμα την συστολή του μυός. Ο μυς συστέλλεται μέχρι το Ca^{2+} να αποσυρθεί στο σαρκοπλασματικό δίκτυο και η τροπομυοσίνη να εμποδίσει πάλι την αλληλεπίδραση ακτίνης και μυοσίνης [41,58,61].

3.2.7 Το φαινόμενο της ώσμωσης και ωσμωτική πίεση

Η ωσμωτική πίεση είναι μια προσθετική ιδιότητα των διαλυμάτων, η οποία παρατηρείται υπό ορισμένες συνθήκες. Για να εκδηλωθεί απαιτείται μια ημιπερατή μεμβράνη, φυσική ή συνθετική, που επιτρέπει κάποιες ουσίες να περνούν και κάποιες όχι. Στην εικόνα 38 βλέπουμε τη διαγραμματική απεικόνιση του φαινομένου της ώσμωσης.



Εικόνα 38: Το φαινόμενο της ώσμωσης.

Θεωρήστε μια ημιπερατή μεμβράνη, η οποία διαχωρίζει ένα υδατικό διάλυμα από καθαρό νερό. Αν δεν υπήρχε η μεμβράνη, το διάλυμα θα ανακατευόταν με το νερό και θα προέκυπτε ένα διάλυμα πιο αραιό από το αρχικό. Η μεμβράνη όμως, επιτρέπει μόνο τη δίοδο των μορίων νερού και προς τις δύο

κατευθύνσεις και όχι τη δίοδο των μορίων του διαλυμένου σώματος. Έτσι λοιπόν, το νερό εισέρχεται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο δεξί μέρος του δοχείου (Εικόνα 38), με σκοπό να εξισώσει τις συγκεντρώσεις στα δύο μέρη. Η διάχυση αυτών των μορίων του νερού γίνεται όχι μόνο μεταξύ του καθαρού νερού και του διαλύματος, αλλά και μεταξύ δύο διαλυμάτων διαφορετικής συγκέντρωσης και ονομάζεται ώσμωση.

Ώσμωση ονομάζεται το φαινόμενο της διάχυσης περισσότερων μορίων διαλύτη (συνήθως νερού), μέσω ημιπερατής μεμβράνης, από το διαλύτη στο διάλυμα ή από το διάλυμα της μικρότερης συγκέντρωσης (αραιότερο) στο διάλυμα της μεγαλύτερης συγκέντρωσης (πυκνότερο).

Αποτέλεσμα της ώσμωσης είναι η στάθμη του υγρού να ανεβαίνει στο δεξιό σκέλος του σωλήνα (βλέπε εικόνα 38). Θα περίμενε κανείς ότι η ώσμωση θα συνεχιζόταν μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων. Μόνο τότε το σύστημα θα έβρισκε τη δυναμική του ισορροπία, οπότε ίδιος αριθμός μορίων διαλύτη θα διαπερνούσε την ημιπερατή μεμβράνη και προς τις δύο κατευθύνσεις. Θα λέγαμε ότι η στάθμη κατ' αυτόν τον τρόπο θα ανέβαινε συνεχώς, μιας και το διάλυμα όσο και να αραιωθεί δε θα γίνει ποτέ καθαρό νερό. Όμως, καθώς η στάθμη ανεβαίνει μέσα στο σωλήνα ασκείται υδροστατική πίεση, η οποία αυξάνει την ταχύτητα μετακίνησης του νερού προς το διαλύτη. Έτσι, κάποια στιγμή η στάθμη μέσα στο σωλήνα είναι τέτοια, ώστε οι δύο ταχύτητες μετακίνησης των μορίων νερού προς και από το διαλύτη εξισώνονται και το φαινόμενο σταματά [62,63].

3.2.8 Τροφές που περιέχουν ασβέστιο

Τις μεγαλύτερες ποσότητες ασβεστίου τις παίρνουμε από τις τροφές. Τροφές πλούσιες σε ασβέστιο είναι το γάλα και τα γαλακτοκομικά είδη, όπως επίσης τα δημητριακά, οι σπόροι και τα λαχανικά. Σημαντικές ποσότητες ασβεστίου παίρνουμε και με το πόσιμο νερό, δηλαδή αυτό που έχει πολλά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου. Οι ποσότητες ασβεστίου που παίρνουμε με το πόσιμο νερό μπορεί να φτάσουν και μέχρι τα 200 mg την ημέρα. Από το ασβέστιο που υπάρχει στις τροφές απορροφάται μόνο το 20-30% ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται.

Υπάρχουν όμως και ορισμένα τρόφιμα που παρεμποδίζουν την απορρόφηση του ασβεστίου. Τέτοια τρόφιμα είναι τα ωμά λαχανικά, τα δημητριακά και γενικά όσα έχουν ίνες, γιατί περιέχουν φυτικά οξέα. Ακόμα, όσα τρόφιμα περιέχουν φώσφορο, καθώς τα φωσφορικά ενώνονται με το ασβέστιο, και όσα έχουν λίπη και ειδικά κορεσμένα, διότι το ασβέστιο σχηματίζει αδιάλυτους σάπωνες με τα λιπαρά τους οξέα. Τέλος τα φρούτα, διότι διαθέτουν άφθονο οξαλικό οξύ, το οποίο σχηματίζει με το ασβέστιο αδιάλυτο άλας [36].

3.2.9 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια ασβεστίου

Η ανεπάρκεια ασβεστίου προκαλεί τετανία (μια παθολογική κατάσταση που εκδηλώνεται με συνεχείς σπασμούς των μυών και οφείλεται σε ανεπάρκεια ασβεστίου και διαφέρει από τον τέτανο που προέρχεται από την τοξίνη του βακτηρίου clostridium tetani), μυική ατονία και δυσλειτουργία των νεύρων. Τα βρέφη που έχουν έλλειψη ασβεστίου εμφανίζουν δυσκολίες στο περπάτημα. Επίσης, απώλεια ασβεστίου από τα κόκαλα προκαλεί οστεοπόρωση, μια ασθένεια που εμφανίζεται κυρίως σε γυναίκες κατά την εμμηνόπαυση.

Περίσσεια ασβεστίου στο αίμα προκαλεί την υπερασβέστωση. Το ασβέστιο αποτίθεται στα νεφρά, στην καρδιά και σε άλλους μαλακούς ιστούς και προκαλεί εμετό, δυσκοιλιότητα, απώλεια ορέξεως, διαταραχές και βλάβες στον εγκέφαλο, αύξηση της ουρίας, της πίεσης και της χοληστερόλης [36].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η βιολογική δράση των ιχνοστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό

4.1 Χαλκός

4.1.1 Βιολογική δράση χαλκού

Ο χαλκός ανήκει στα απαραίτητα για τους οργανισμούς ιχνοστοιχεία. Το 50% της ποσότητας του χαλκού βρίσκεται στους μύες και στα οστά, γιατί αυτά αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του ανθρωπίνου σώματος. Το 10% του χαλκού βρίσκεται στο ήπαρ, ενώ αξιόλογες ποσότητες συναντάμε επίσης στον εγκέφαλο, στην καρδιά και στα νεφρά. Όσο αυξάνεται η ηλικία του ανθρώπου, η ποσότητα του χαλκού στο ήπαρ μειώνεται, ενώ στον εγκέφαλο αυξάνεται. Σημαντική ποσότητα χαλκού υπάρχει και στο αίμα, όπως επίσης υψηλές συγκεντρώσεις βρέθηκαν σε χρωστικές ουσίες του ματιού που σχετίζονται με τη μελανίνη [35,36].

Στον ανθρώπινο οργανισμό βρίσκεται σε ποσότητα 100 – 150 mg, ενωμένος με πρωτεΐνες, τις χαλκοπρωτεΐνες. Επίσης χαλκός βρίσκεται και σε πολλά ένζυμα, τα χαλκοένζυμα, όπως π.χ. η οξειδάση του ασκορβικού, η κυτοχρωμική οξειδάση, η τυροσινάση (Εικόνα 39), σερουλοπλασμίνη (Εικόνα 40) κ.α. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σερουλοπλασμίνη, η οποία έχει 7 άτομα χαλκού ανά μόριο και ρυθμίζει το μεταβολισμό [47]. Χαλκό επίσης έχουν τα συνένζυμα πολλών ενζύμων. Στα ένζυμα αυτά περιλαμβάνονται και εκείνα που χρησιμεύουν για το σχηματισμό μελανίνης. Γενικά υπάρχουν ένζυμα που διαθέτουν χαλκό και:

α) είναι απαραίτητα για τη δημιουργία κάποιων ουσιών του συνδετικού ιστού, όπως είναι το κολλαγόνο και η ελαστίνη.

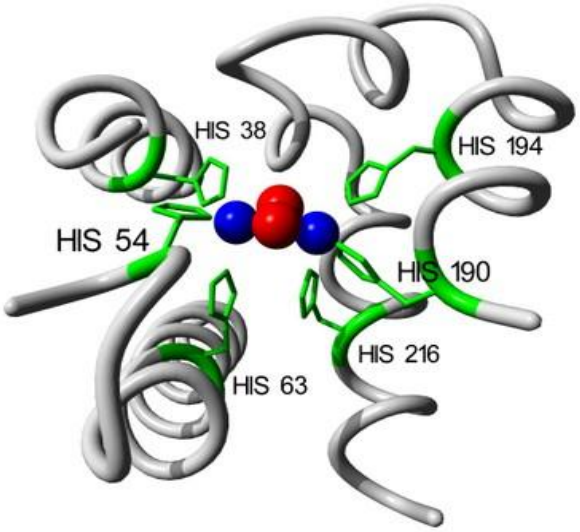
β) προστατεύουν τον οργανισμό μας από οξειδωτικούς και άλλους τοξικούς παράγοντες.

γ) συμμετέχουν στη μεταβίβαση μηνυμάτων, μέσω των νεύρων, στον εγκέφαλο.

δ) βοηθούν στην απορρόφηση του σιδήρου.

ε) βοηθούν στην αντίσταση του οργανισμού μέσω των λευκών αιμοσφαιρίων [5,36].

Ο χαλκός βοηθάει και στο σχηματισμό της αιμοσφαιρίνης [45]. Σε ορισμένους κατώτερους ζωικούς οργανισμούς (καβούρια, μαλάκια, σκουλήκια), η μεταφορά του οξυγόνου γίνεται με την χαλκοκυανίνη, που είναι η αντίστοιχη με την αιμοσφαιρίνη των θηλαστικών [47].



Εικόνα 39: Τρισδιάστατη μορφή της τυροσινάσης.

Εικόνα 40: Τρισδιάστατη μορφή της σερουλοπλασμίνης.

Η προτιμητέα γεωμετρία για σύμπλοκα του Cu (I) είναι η τετραεδρική, ενώ για σύμπλοκα του Cu (II) η τετραγωνική (σύστημα d^9, επίδραση Jahn – Teller) [37,64].

4.1.2 Ο ρόλος του χαλκού στην κυτταρική αναπνοή

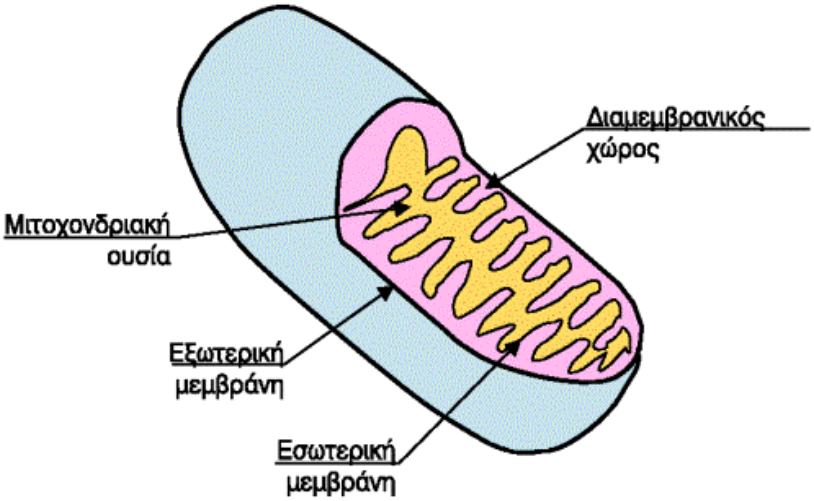
Εκτός των χαλκοπρωτεϊνών που έχουν αμιγώς μεταλλικά κέντρα, υπάρχουν και πρωτεΐνες στις οποίες τα μεταλλικά κέντρα χαλκού αλληλεπιδρούν με άλλα μεταλλικά κέντρα. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η

οξειδάση του κυτοχρώματος c (ή κυτοχρωμική οξειδάση) που βρίσκεται στα μιτοχόνδρια και παίζει σημαντικό ρόλο στην κυτταρική αναπνοή [35].

4.1.3 Μιτοχόνδρια

Τα μιτοχόνδρια υπάρχουν σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα (φωτοσυνθετικά και μη), με εξαίρεση τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια. Είναι τα οργανίδια στα οποία γίνεται μετατροπή της ενέργειας σε μορφή που να μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες λειτουργίες του κυττάρου. Το σχήμα των μιτοχονδρίων ποικίλει (επίμηκες, σφαιρικό ή ωοειδές), όπως ποικίλλει και ο αριθμός τους στους διάφορους τύπους κυττάρων. Γενικώς, κύτταρα που έχουν υψηλές απαιτήσεις σε χημική ενέργεια, όπως τα μυϊκά, έχουν και πάρα πολλά μιτοχόνδρια, ενώ κύτταρα με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις έχουν μικρότερο αριθμό μιτοχονδρίων [40].

Τα μιτοχόνδρια, που είναι τα μεγαλύτερα μορφώματα των ζωικών κυττάρων μετά τον πυρήνα, αποτελούνται ουσιαστικά από δύο μεμβράνες. Μια εξωτερική, η οποία είναι λεία, και μια εσωτερική, που έχει εγκολπώματα τα οποία καλούνται λοβοί. Στις αναδιπλώσεις αυτές εντοπίζονται διάφορα ένζυμα. Ως εκ τούτου, το μιτοχόνδριο διαιρείται σε δύο χώρους, έναν εσωτερικό, που περιέχει μια παχύρευστη μάζα, τη μήτρα, και περικλείεται από την εσωτερική μεμβράνη και στο χώρο μεταξύ των δύο μεμβρανών (Εικόνα 41).



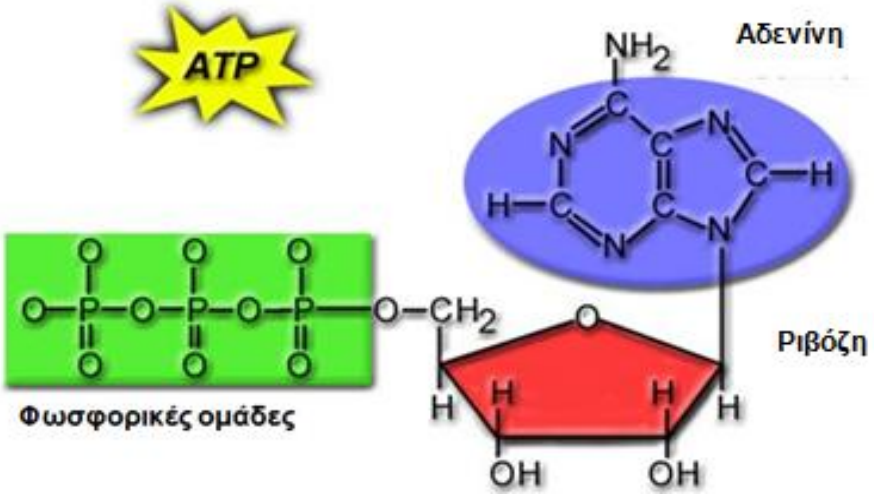
Εικόνα 41: Δομή του μιτοχονδρίου.

Ο εσωτερικός χώρος είναι ως επί το πλείστον απομονωμένος, μιας και οι ουσίες δεν μπορούν να διαχυθούν μέσα από την εσωτερική μεμβράνη, εκτός από τα μόρια H_2O, O_2 και CO_2. Αντίθετα, η εξωτερική μεμβράνη διαθέτει διαύλους και επιτρέπει την διάχυση ουσιών. Η εσωτερική μεμβράνη διαθέτει ειδικούς μηχανισμούς οι οποίοι, με την παρεμβολή ειδικών πρωτεϊνών, επιτρέπουν τη διέλευση συγκεκριμένων μόνο μεταβολιτών και ιόντων, όπως το ATP, το ADP, τα οξέα πυροσταφυλικό, μηλικό, κιτρικό και άλλα, καθώς και ιόντα Ca^{2+} και φωσφορικά.

Τα μιτοχόνδρια έχουν δικό τους γενετικό μηχανισμό με δικό τους DNA, που είναι κυκλικό δίκλωνο και σε μέγεθος 100 – 1000 φορές μικρότερο του πυρηνικού, και τους επιτρέπει να παράγουν ορισμένες πρωτεΐνες και να διπλασιάζονται ανεξάρτητα από το διπλασιασμό του κυττάρου. Επίσης έχουν δικά τους ριβοσώματα, τα περισσότερα είδη RNA και ολόκληρο μηχανισμό πρωτεϊνικής σύνθεσης [40,65].

4.1.4 Κυτταρική αναπνοή

Οι οργανισμοί για να επιβιώσουν χρειάζονται ενέργεια. Η ενέργεια χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μηχανικού έργου στη συστολή των μυών και άλλων κυτταρικών κινήσεων, για την ενεργό μεταφορά μορίων και ιόντων, καθώς και για τη σύνθεση μακρομορίων και άλλων βιομορίων από απλά πρόδρομα μόρια. Η κυτταρική αναπνοή είναι η διαδικασία μέσα από την οποία οι οργανισμοί εξασφαλίζουν την ενέργειά τους από τις οργανικές ουσίες

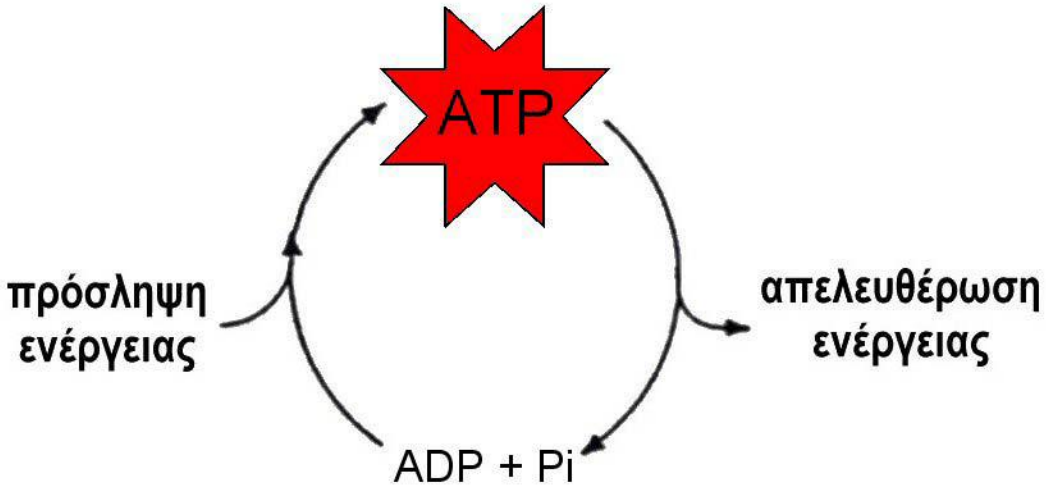


Εικόνα 42: Δομή του ATP: αδενίνη, ριβόζη, τριφωσφορική ομάδα.

των τροφών (χημειότροφοι οργανισμοί) και οι ουσίες που διασπώνται για απελευθέρωση ενέργειας ονομάζονται αναπνευστικά υποστρώματα. Η ενέργεια που παράγεται από την οξείδωση των τροφών, μετατρέπεται σε μια ειδική μορφή πριν τη χρησιμοποίηση της για κίνηση, ενεργό μεταφορά και βιοσύνθεση, τα μόρια ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη). Το ATP είναι ένα νουκλεοτίδιο που αποτελείται από μια αδενίνη, μια ριβόζη και μια τριφωσφορική μονάδα (Εικόνα 42). Η ενεργός μορφή του ATP είναι συνήθως ένα σύμπλοκο με Mg(II) ή Mn(II). Το ATP είναι ένα ενεργειακά πλούσιο μόριο, γιατί η τριφωσφορική ρίζα περιέχει δύο δεσμούς φωσφορικού ανυδρίτη. Ένα μεγάλο ποσό ενέργειας απελευθερώνεται όταν το ATP υδρολύεται σε διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και ορθοφωσφορικό (Pi), ή όταν το ATP υδρολύεται σε μονοφωσφορική αδενοσίνη (AMP) και πυροφωσφορικό (PPi), σύμφωνα με τις αντιδράσεις (Εικόνα 43) [40,41,66]:

$$ATP + H_2O \text{ — } ADP + Pi + H^+ \quad \Delta G^{\circ\prime} = -7{,}3 \text{ Kcal/mol}$$

$$ATP + H_2O \text{ — } AMP + PPi + H^+ \quad \Delta G^{\circ\prime} = -7{,}3 \text{ Kcal/mol}$$



Εικόνα 43: Δημιουργία και διάσπαση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP).

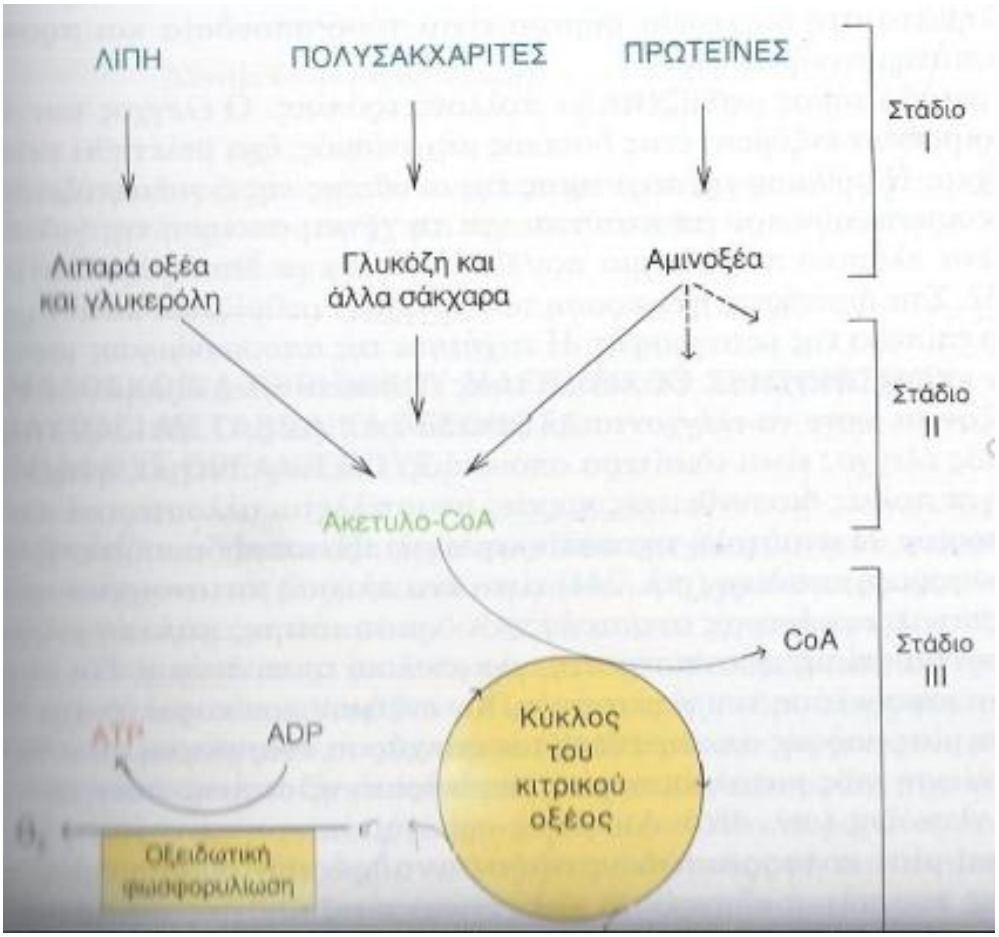
Η τροφή, από τη στιγμή που θα εισαχθεί στο πεπτικό σύστημα, αρχίζει να διασπάται σταδιακά. Οι ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους που την αποτελούν

(πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, νουκλεϊνικά οξέα) διασπώνται σε απλούστερες (αμινοξέα, απλά σάκχαρα, λιπαρά οξέα και γλυκερόλη, νουκλεοτίδια), που έχουν τη δυνατότητα, με τη βοήθεια του κυκλοφορικού ή του λεμφικού συστήματος, να φτάνουν στους ιστούς. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η διάσπαση των πολύπλοκων οργανικών ουσιών σε απλούστερες (πέψη) δεν αποδίδει ενέργεια με τη μορφή ATP για τον οργανισμό.

Σε κάθε κύτταρο (φυτικό ή ζωικό), οι απλές ουσίες οι οποίες προέρχονται από τη διάσπαση των μεγαλομοριακών ενώσεων αξιοποιούνται με δύο τρόπους. Είτε χρησιμοποιούνται πάλι για τη σύνθεση νέων μεγαλομοριακών ενώσεων, που είναι απαραίτητες ως δομικά ή λειτουργικά συστατικά του συγκεκριμένου κυττάρου, είτε οξειδώνονται, αποδίδοντας σταδιακά χημική ενέργεια μέσω μιας διαδικασίας που, όπως αναφέραμε, ονομάζεται κυτταρική αναπνοή. Το κύτταρο παράγει ενέργεια διασπώντας συνήθως υδατάνθρακες ή λίπη. Όταν όμως υπάρχει ανάγκη, μπορεί να παράγει ενέργεια και από τη διάσπαση πρωτεϊνών.

Ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται κατά τις αντιδράσεις οξείδωσης ελευθερώνεται ως θερμότητα και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες. Το υπόλοιπο ποσό ενέργειας διατίθεται στα κύτταρα με τη μορφή ATP. Η κυτταρική αναπνοή μπορεί να γίνεται με τη βοήθεια οξυγόνου (οξειδωτικό), οπότε λέγεται αερόβια αναπνοή, ή χωρίς οξυγόνο και λέγεται αναερόβια αναπνοή [40].

Υπάρχουν τρία στάδια στην παραγωγή ενέργειας από την οξείδωση των τροφών. Στο πρώτο στάδιο τα μεγάλα μόρια της τροφής αποικοδομούνται σε μικρότερες μονάδες. Συγκεκριμένα, οι πρωτεΐνες υδρολύονται στα αντίστοιχα 20 αμινοξέα, οι πολυσακχαρίτες υδρολύονται σε απλά σάκχαρα όπως η γλυκόζη, και τα λίπη υδρολύονται σε γλυκερόλη και λιπαρά οξέα. Σ’ αυτή τη φάση δεν παράγεται χρήσιμη ενέργεια. Στο δεύτερο στάδιο, αυτά τα πολυπληθή μικρά μόρια αποικοδομούνται σε μερικές απλές μονάδες, που παίζουν έναν κεντρικό ρόλο στον μεταβολισμό, και το τρίτο στάδιο συνίσταται από τον κύκλο του κιτρικού οξέος (κύκλος του Krebs) και την οξειδωτική φωσφορυλίωση, που είναι και οι τελικές κοινές πορείες της οξείδωσης των καύσιμων μορίων (Εικόνα 44) [41].



Εικόνα 44: Τα τρία στάδια της οξείδωσης των τροφών για παραγωγή ενέργειας.

4.1.5 Αερόβια και αναερόβια αναπνοή

Υπάρχουν δύο διαδικασίες απελευθέρωσης ενέργειας στο κύτταρο, η αερόβια αναπνοή (παρουσία οξυγόνου) και η αναερόβια αναπνοή (απουσία οξυγόνου). Πρώτη ύλη και για τις δύο διαδικασίες είναι η γλυκόζη, η οποία γι' αυτό το λόγο ονομάζεται βασικό αναπνευστικό υπόστρωμα. Και στις δύο διαδικασίες επιτυγχάνεται η σταδιακή απελευθέρωση ενέργειας που είναι εγκλωβισμένη στο μόριό της, μέσω μιας σειράς οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Οι αντιδράσεις αυτές συμβαίνουν όταν αφαιρούνται ηλεκτρόνια από ένα άτομο (οξείδωση) και μεταφέρονται σε άλλο άτομο (αναγωγή). Τα ηλεκτρόνια στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις συνήθως μεταφέρονται σε συνδυασμό με πρωτόνια, ως άτομα υδρογόνου. Τα ηλεκτρόνια που διακινούνται σε αυτές τις αντιδράσεις είναι ενεργοποιημένα (έχουν δεσμεύσει

ενέργεια) και εξαναγκάζονται να ανέλθουν σε ανώτερες στιβάδες, στα άτομα που έχουν αναχθεί. Σε πολλές περιπτώσεις η μεταφορά ενέργειας στα κύτταρα γίνεται μέσω οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων [67].

4.1.6 Αερόβια αναπνοή και ο ρόλος της κυτοχρωμικής οξειδάσης

Η αερόβια αναπνοή παριστάνεται περιληπτικά με τη γενική εξίσωση:

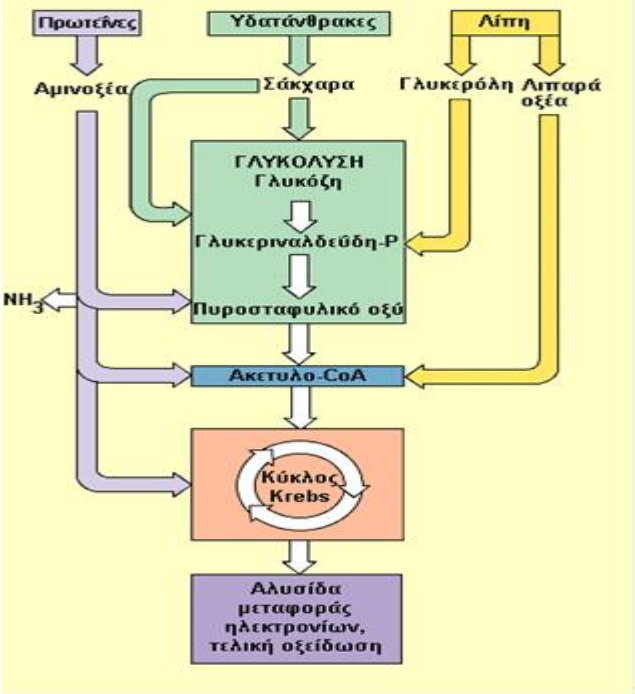
$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \xrightarrow{\text{Ένζυμα}} 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{ενέργεια (2870 kJ/mol)}$$

Η διάσπαση της γλυκόζης περιλαμβάνει τρεις διαδικασίες:

1) Τη γλυκόλυση (αναερόβια φάση)
2) Τον κύκλο του κιτρικού οξέος (Κύκλος του Κρεμπς) (αερόβια φάση)
3) Την οξειδωτική φωσφορυλίωση (αερόβια φάση)

Η γλυκόλυση είναι μια γενική βιοχημική διαδικασία που γίνεται σε όλα τα κύτταρα όλων των οργανισμών, από τους προκαρυωτικούς μέχρι τους ευκαρυωτικούς. Γίνεται στο κυτταρόπλασμα χωρίς να απαιτείται ειδικό ή εξειδικευμένο οργανίδιο. Εφόσον η διαδικασία αυτή γίνεται χωρίς τη χρησιμοποίηση οξυγόνου, ονομάζεται αναερόβια φάση. Περιλαμβάνει μια σειρά αντιδράσεων, που οδηγούν στη διάσπαση ενός μορίου γλυκόζης σε δυο μόρια πυροσταφυλικού οξέος. Το κέρδος του κυττάρου σε ενέργεια από τη διαδικασία αυτή είναι δύο μόρια ATP. Η τύχη του πυροσταφυλικού οξέος από εδώ και πέρα εξαρτάται από την παρουσία ή όχι οξυγόνου στο περιβάλλον του κυττάρου, αλλά και από τη δυνατότητα του κυττάρου να το χρησιμοποιήσει. Αν η διαδικασία γίνεται παρουσία οξυγόνου, το πυροσταφυλικό οξύ εισέρχεται στο μιτοχόνδριο και εκεί οξειδώνεται πλήρως προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό (αερόβια αναπνοή). Αν δεν υπάρχει οξυγόνο (αναερόβια αναπνοή), το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται, ανάλογα με το είδος του κυττάρου, σε αιθυλική αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα ή σε γαλακτικό οξύ.

Ο κύκλος του κιτρικού οξέος ή κύκλος του Krebs περιλαμβάνει μια σειρά αντιδράσεων που γίνονται στη μήτρα των μιτοχονδρίων. Το πυροσταφυλικό οξύ, που είχε παραχθεί από τη γλυκόλυση, μετατρέπεται σε ακετυλο-συνένζυμο Α (Ακέτυλο – CoA) και με τη μορφή αυτή εισέρχεται στον κύκλο του κιτρικού οξέος. Κατά τη μετατροπή αυτή παράγεται και CO_2. Από το ακετυλο-συνένζυμο Α που μπαίνει στον κύκλο του κιτρικού οξέος, μεταξύ άλλων, σχηματίζονται ATP και CO_2. Το κέρδος σε ενέργεια από τη διάσπαση κάθε αρχικού μορίου γλυκόζης, σ' αυτό το στάδιο, είναι δύο μόρια ATP (Εικόνα 45).

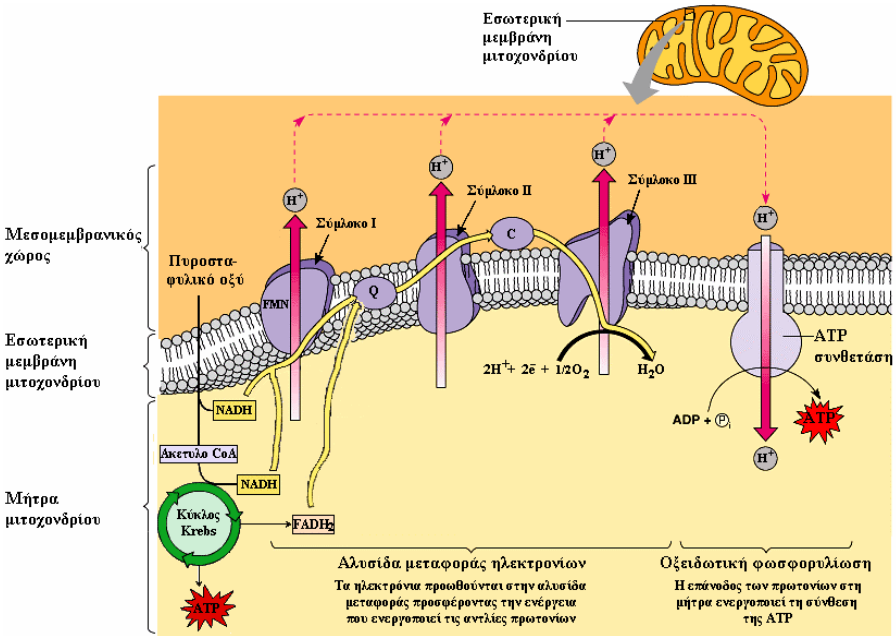


Εικόνα 45: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση της πορείας που ακολουθείται για την παραγωγή ενέργειας (ATP) στο κύτταρο.

Τέλος, έχουμε την οξειδωτική φωσφορυλίωση. Οι αντιδράσεις της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης γίνονται στις αναδιπλώσεις της εσωτερικής μεμβράνης του μιτοχονδρίου και για τη διεξαγωγή τους χρησιμοποιείται οξυγόνο. Κατά την πραγματοποίηση αυτών των αντιδράσεων γίνεται απελευθέρωση ενέργειας, μέρος της οποίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή 32 μορίων ATP από ADP + Pi. Στα τελικά προϊόντα αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνεται και H_2O. Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία αυτή γίνεται στην εσωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων καθώς και στο χώρο μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής μεμβράνης (μεσομεμβρανικό χώρο). Στην εσωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων βρίσκονται μεταφορείς ηλεκτρονίων που μεταβιβάζουν ηλεκτρόνια από τα NADH και τα FADH2 στο οξυγόνο. Οι μεταφορείς αποτελούνται από 3 βασικά ενζυμικά σύμπλοκα που βρίσκονται εμφυτευμένα στην εσωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων.

Το πρώτο σύμπλοκο ονομάζεται NADH-αφυδρογονάση που περιέχει την προσθετική ομάδα FMN. Τα ηλεκτρόνια μεταβιβάζονται πρώτα στην FMN και

μετά σε μια χημική ένωση που ονομάζεται ουβικινόνη, η οποία είναι ένας κινητός μεταφορέας που τα μεταφέρει σε ένα δεύτερο σύμπλοκο, το οποίο περιέχει το κυττόχρωμα b. Από το δεύτερο σύμπλοκο, τα ηλεκτρόνια παραλαμβάνονται από το κυττόχρωμα c, που είναι ένας δεύτερος κινητός μεταφορέας, και τελικά μεταφέρονται στο τρίτο ενζυμικό σύμπλοκο, την κυτταροχρωμική οξειδάση, η οποία, μεταξύ άλλων, περιέχει το κυττόχρωμα a. Αυτή η σειρά από μεταφορείς ηλεκτρονίων και ενζυμικά σύμπλοκα ονομάζεται αναπνευστική αλυσίδα και επαναλαμβάνεται πολλές φορές κατά μήκος της εσωτερικής μεμβράνης (Εικόνα 46).

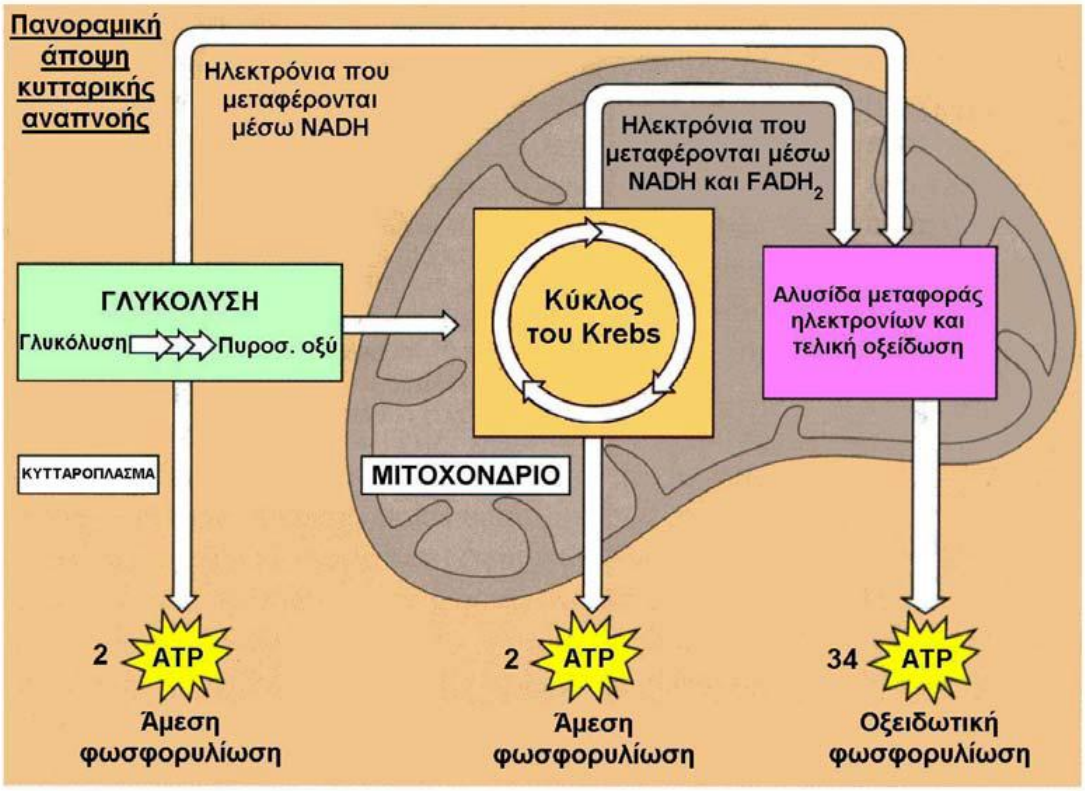


Εικόνα 46: Σύμπλοκο III: Κυτοχρωμική οξειδάση.

Το NADH που βρίσκεται στη μήτρα του μιτοχονδρίου οξειδώνεται και χάνει το υδρογόνο του. Το υδρογόνο, ως γνωστόν, αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Δύο ηλεκτρόνια (ένα από το υδρογόνο και το άλλο από το NAD) δεσμεύονται και μεταφέρονται από τους μεταφορείς στην κυτταροχρωμική οξειδάση. Όταν τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το ένα ενζυμικό σύμπλοκο στο άλλο, χάνουν ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται από τα σύμπλοκα, που λειτουργούν και ως αντλίες πρωτονίων και εξάγουν πρωτόνια από τη μήτρα στο μεσομεμβρανικό χώρο του μιτοχονδρίου. Τα πρωτόνια, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσής τους στο μεσομεμβρανικό χώρο, σε σχέση με το εσωτερικό του μιτοχονδρίου (μήτρα), επιστρέφουν παθητικά στο εσωτερικό του μιτοχονδρίου μέσω του καναλιού της ATP – συνθάσης, η

οποία είναι μια άλλη πρωτεΐνη-ένζυμο της εσωτερικής μεμβράνης. Καθώς τα πρωτόνια διέρχονται από το κανάλι, σχηματίζεται ATP, δηλαδή, διερχόμενα τα πρωτόνια από περιοχή υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης, δίνουν την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται ένα μόριο ADP για να ενωθεί με φωσφορική ομάδα προς σχηματισμό ATP (οξειδωτική φωσφορυλίωση με χημειωσμωτικό μηχανισμό).

Τελικά, από την πλήρη οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό παράγονται συνολικά 36 μόρια ATP (Εικόνα 47). [40,41,67,68].



Εικόνα 47: Η πλήρης οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης αποδίδει 36 μόρια ATP.

4.1.7 Δομή και δράση κυτοχρωμικής οξειδάσης – Ο ρόλος του χαλκού

Το ένζυμο της κυτοχρωμικής οξειδάσης είναι ένα σημαντικό μεταλλοένζυμο της αναπνευστικής αλυσίδας σε πολλούς αερόβιους οργανισμούς. Καταλύει τη μεταφορά 4 ηλεκτρονίων στο O_2 το οποίο ανάγεται προς νερό χωρίς την απελευθέρωση βλαβερών ενδιαμέσων, όπως το H_2O_2. Το ενεργό κέντρο του

ενζύμου αποτελείται από μια αίμη και ένα ιόν χαλκού, το οποίο είναι δεσμευμένο σε τρεις ιστιδίνες. Μια από τις ιστιδίνες με τις οποίες είναι συναρμοσμένος ο χαλκός είναι ομοιοπολικά συνδεδεμένη με ένα κατάλοιπο τυροσίνης.

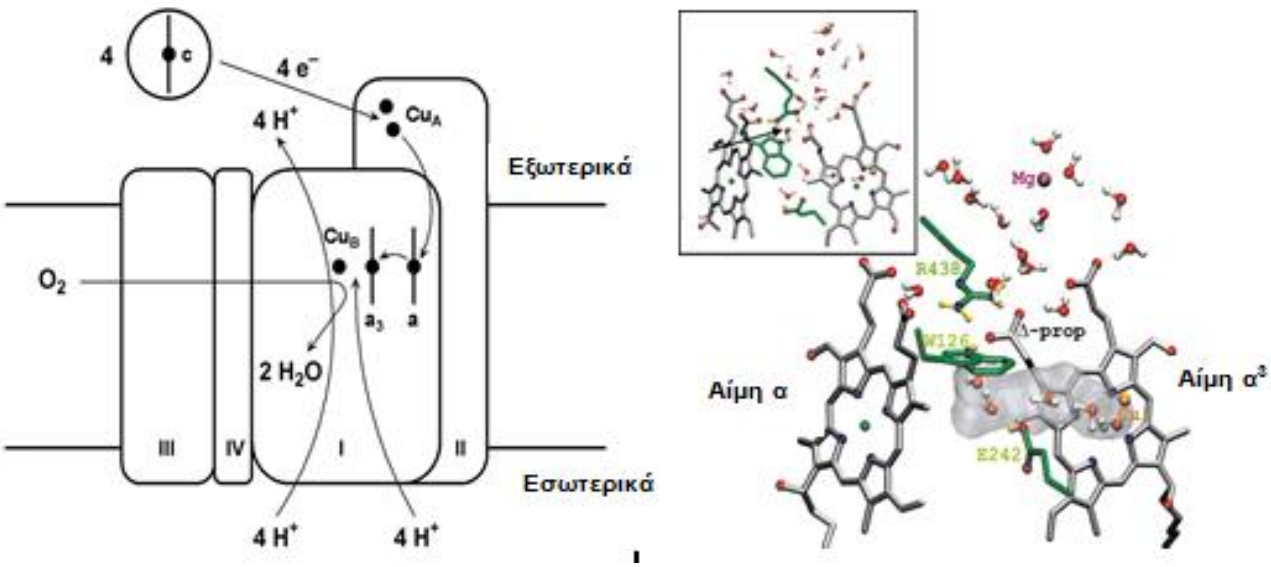
Η κυτοχρωμική οξειδάση μεταφέρει ηλεκτρόνια και διαθέτει 2 άτομα χαλκού, απομακρυσμένα, στο μόριο της. Το ένα άτομο Cu, στην υπομονάδα A, συμμετέχει στην μεταφορά ηλεκτρονίων και το δεύτερο άτομο Cu, στην υπομονάδα B, αλληλεπιδρά με την αίμη ενός κυτοχρώματος a ή b, η οποία, ως γνωστόν, έχει δεσμευμένο Fe στο πορφυρινικό της κέντρο. Ουσιαστικά, η κυτοχρωμική οξειδάση αποτελεί ένα ενζυμικό σύμπλεγμα, που βρίσκεται στα μιτοχόνδρια και καταλύει την αναγωγή του O_2 σε H_2O (στην εσωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων) σύμφωνα με την αντίδραση [35,37,69,70]:

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2\ H_2O$$

Στην πράξη, η οξειδάση του κυτοχρώματος c συναρμόζεται με μοριακό οξυγόνο, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται στην οξείδωση του κυτοχρώματος c, σύμφωνα με την αντίδραση [35]:

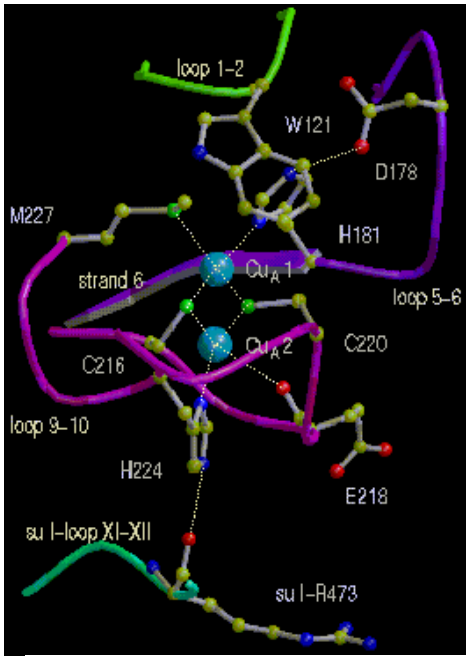
$$4\text{cyt c}^{2+} + O_2 + 8H^+ \rightarrow 4\text{cyt c}^{3+} + 4H^+ + 2H_2O$$

Τα απαιτούμενα ηλεκτρόνια για την αντίδραση αυτή προέρχονται από την οξείδωση των τροφών και, μέσω των οξειδοαναγωγικών κέντρων της αναπνευστικής αλυσίδας και του κυτοχρώματος c, αποδίδονται στα οξειδοαναγωγικά κέντρα της κυτοχρωμικής οξειδάσης και καταλήγουν στο O_2. Η πορεία μεταφοράς των ηλεκτρονίων είναι: κυτόχρωμα c → Cu_A → αίμη a → αίμη a_3 / Cu_B → O_2. Ταυτόχρονα με τη μεταφορά των ηλεκτρονίων, λαμβάνει χώρα και μεταφορά H^+ από το εσωτερικό προς το εξωτερικό της μεμβράνης, η οποία αναπτύσσει ηλεκτροχημικό δυναμικό και αξιοποιείται στην αποθήκευση χημικής ενέργειας (Εικόνα 48).



Εικόνα 48: Στα αριστερά η πορεία δράσης του συμπλέγματος της κυτοχρωμικής οξειδάσης και δεξιά η δομή του.

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει στο κέντρο Cu_A, το οποίο προσλαμβάνει τα ηλεκτρόνια από το κυτόχρωμα c. Η κρυσταλλική δομή του ενζύμου απέδειξε ότι το κέντρο αυτό περιλαμβάνει δύο άτομα Cu, γεφυρωμένα με άτομα S από την πλευρική ομάδα δύο κυστεϊνών, μια δομή που έχει κοινά στοιχεία (αλλά και διαφορές) από την αντίστοιχη των κέντρων [2Fe-2S] των φερρεδοξινών (Εικόνα 49). Η οξειδωμένη μορφή του κέντρου είναι η [$Cu^{1,5+}$ … $Cu^{1,5+}$], ενώ η ανηγμένη [Cu^{1+} … Cu^{1+}], κι επομένως, στην οξειδωμένη μορφή λαμβάνει χώρα απεντοπισμός της ηλεκτρονιακής πυκνότητας ανάμεσα στα δύο κατιόντα Cu, με αποτέλεσμα πολύ μικρές μεταβολές στη δομή και στη γεωμετρία του κέντρου (μικρή ενέργεια αναδιοργανώσεως). Έτσι, το κέντρο CuA μεταφέρει ηλεκτρόνια στα επόμενα οξειδοαναγωγικά κέντρα του ενζύμου με μεγάλη ταχύτητα [37,64,70].



Εικόνα 49: Η δομή του κέντρου Cu_A.

4.1.8 Τροφές που περιέχουν χαλκό

Η περιεκτικότητα των τροφίμων σε χαλκό ποικίλει. Οι μεγαλύτερες ποσότητες χαλκού βρίσκονται στο συκώτι, στα οστρακοειδή, στη μαγιά μπύρας, στις ελιές και στα φουντούκια. Εκτός όμως από τις τροφές, ο άνθρωπος παίρνει χαλκό και από άλλες πηγές. Μια τέτοια πηγή είναι ορισμένα φυτοφάρμακα που έχουν χαλκό, διότι ένα μέρος του χαλκού των φυτοφαρμάκων περνάει στα τρόφιμα. Επίσης από διάφορα ποτά που παραμένουν σε χάλκινα δοχεία, από τους σωλήνες διανομής του νερού και από χάλκινα μαγειρικά σκεύη [36].

4.1.9 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια χαλκού

Έχει παρατηρηθεί ότι η δίαιτα των ανθρώπων στις ανεπτυγμένες οικονομικά χώρες, είναι φτωχή σε χαλκό και γι' αυτό έχουμε υψηλά ποσοστά κρουσμάτων καρδιακής ισχαιμίας (στεφανιαίας νόσου). Έχει αποδειχτεί ότι μια δίαιτα με υψηλή περιεκτικότητα σε χαλκό μπορεί να προλάβει μερικές παθοφυσιολογικές ανωμαλίες, που προέρχονται από καρδιακή ισχαιμία, όπως είναι οι φθορές στις αρτηρίες, οι βλάβες του μυοκαρδίου, μη φυσιολογικά καρδιογραφήματα και μη φυσιολογική πήξη του αίματος.

Επίσης, πιθανά συμπτώματα λόγω έλλειψης χαλκού στον άνθρωπο είναι το ωχρό δέρμα, η απώλεια της ελαστικότητας των μαλλιών, ο αποχρωματισμός των τριχών του δέρματος, η αναιμία, η κατακράτηση ύδατος, τα εύθραυστα οστά, η χρόνια διάρροια, η απώλεια γεύσεως και η ελάττωση των λευκών αιμοσφαιρίων [36,45].

Επιπρόσθετα, αν υπάρχει έλλειψη στο χαλκοένζυμο σερουλοπλασμίνη, ο χαλκός αποτίθεται στο ήπαρ και στον εγκέφαλο και προκαλεί την ασθένεια του Wilson [47].

Τέλος, δυσλειτουργία στο μεταβολισμό του Cu προκαλεί την ασθένεια Menkes, η οποία είναι γενετική ασθένεια με πιθανή διάρκεια για τον ασθενή λιγότερο από τρία χρόνια. Τα κλινικά συμπτώματα της ασθένειας οφείλονται στη χαμηλή δραστικότητα των ενζύμων του Cu, ενώ τα περισσότερα θανατηφόρα κρούσματα προέρχονται από έλλειψη του Cu στον εγκέφαλο [35].

Γενικά, η τοξικότητα του χαλκού δεν είναι πολύ μεγάλη. Περίσσεια του χαλκού εμφανίζεται κυρίως λόγω κληρονομικότητας ή από ατυχήματα, ενώ από τρόφιμα θεωρείται απίθανη. Όταν για κάποιο λόγο, όμως, έχουμε περίσσεια χαλκού στον ανθρώπινο οργανισμό, τότε τα συμπτώματα είναι ναυτία, έμετος, κοιλιακοί πόνοι, διάρροια και διάχυτοι πόνοι στους μύες. Σπάνια εμφανίζονται ανώμαλες πνευματικές καταστάσεις, κώμα ή ακόμα και θάνατος [36,45].

4.2 Μαγγάνιο

4.2.1 Βιολογική δράση μαγγανίου

Το μαγγάνιο είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για όλες τις μορφές της ζωής. Βρίσκεται στο ενεργό κέντρο πολλών ενζύμων. Επίσης, ως συνένζυμο, είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση και δραστικότητα άλλων ενζύμων. Για παράδειγμα ενεργοποιεί την αργινάση στο ήπαρ και την ATPάση στους μύες. Το ένζυμο μαγγανική σουπεροξειδική δισμουτάση (Mn – SOD) είναι το κυριότερο αντιοξειδωτικό στα μιτοχόνδρια. Ένζυμα που ενεργοποιούνται από το μαγγάνιο συνεισφέρουν στο μεταβολισμό των υδατανθράκων, των αμινοξέων και της χοληστερόλης. Επιπρόσθετα, το μαγγάνιο ελέγχει τη σωματική ανάπτυξη, διατηρεί σε καλή κατάσταση το νευρικό σύστημα, εμπλέκεται στο σχηματισμό των οστών και των συνδετικών ιστών, στη λειτουργία του θυροειδούς, στην απορρόφηση του ασβεστίου, στη ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα, στην αναπαραγωγή και στην ανάπτυξη του έσω ωτός και στην αξιοποίηση των βιταμινών A, B, C και E [5,35,36,43,44].

Το μαγγάνιο είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο. Στο σώμα ενός ενήλικα περιέχονται από 10 έως 20 mg. Το μεγαλύτερο ποσοστό του μαγγανίου βρίσκεται στα οστά, στο ήπαρ, στα νεφρά, στο πάγκρεας και στην καρδιά, ενώ στον ανθρώπινο εγκέφαλο το μαγγάνιο βρίσκεται δεσμευμένο σε μεταλλοπρωτεΐνες [35,36].

Το Mn(II) είναι διαλυτό στο υδατικό περιβάλλον των μεταλλοπρωτεϊνών και χαρακτηρίζεται από τη σταθερότητα της οξειδωτικής του βαθμίδας στο όξινο περιβάλλον [35]. Το Mn(II) είναι ένα d^5 ιόν, το οποίο με διάταξη υψηλού spin $t_{2g}^3e_g^2$ αντιστοιχεί στη σφαιρικά συμμετρική ^6S θεμελιώδη κατάσταση του ελεύθερου ιόντος. Η διάταξη αυτή δεν παρέχει ενέργεια σταθεροποιήσεως

περιφερειακών υποκαταστατών και συνεπώς, το Mn(II) σχηματίζει σύμπλοκα λιγότερο σταθερά, από θερμοδυναμικής πλευράς, σε σχέση με τα επόμενα στοιχεία της πρώτης σειράς των στοιχείων μεταπτώσεως (δηλ. Fe, Co, Ni και Cu). Γι' αυτό το Mn(II) μπορεί να δρα ως αποτελεσματικό οξύ κατά Lewis σε ένζυμα [44].

Το ιόν Mn(III) είναι ισχυρό οξειδωτικό και, απουσία συμπλεκτικών αντιδραστηρίων, υφίσταται αυτοοξειδοαναγωγή προς Mn(II) και MnO_2. Ακόμη και υπό μορφή συμπλόκου, το Mn(III) παραμένει ένα ισχυρό οξειδωτικό και τα περισσότερα από τα σύμπλοκα του βαθμιαία διασπώνται, γεγονός που οφείλεται στην οξείδωση του υποκαταστάτη. Στον ανθρώπινο οργανισμό, συναντάμε στα μιτοχόνδρια το ένζυμο σουπεροξειδική δισμουτάση του μαγγανίου, που καταλύει τη μετατροπή των υπεροξειδικών ριζών σε οξυγόνο και υπεροξείδιο του υδρογόνου [5,44].

Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι ο ρόλος του μαγγανίου είναι σημαντικότατος και χαρακτηρίζεται από δύο διακριτές δράσεις:

α) Στην οξειδωτική κατάσταση Mn(II) δρα ως οξύ κατά Lewis, με δράση ανάλογη των μετάλλων των κυρίων ομάδων (π.χ. Ca(II) και Mg(II)) ή των d^{10} μεταλλοϊόντων (π.χ. Zn(II))

β) Στις οξειδωτικές βαθμίδες Mn(II), Mn(III) ή Mn(IV) δρα ως οξειδοαναγωγικός καταλύτης, ανάλογα με τα μεταβατικά μεταλλοϊόντα Fe(II), Cu(I) και Co(II) [35].

4.2.2 Το μαγγάνιο στη σουπεροξειδική δισμουτάση

Είναι γνωστό ότι οι αερόβιοι οργανισμοί έχουν πολλαπλάσιο κέρδος σε αποθηκευμένη ενέργεια όταν καταναλώνουν υδατάνθρακες, συγκριτικά με τους αναερόβιους. Γι' αυτό τελικά επικράτησαν σ' αυτόν τον πλανήτη οι αερόβιοι οργανισμοί. Δυστυχώς όμως, το τελείως ανηγμένο οξυγόνο, εκείνο δηλαδή το μόριο που προσλαμβάνει 4 ηλεκτρόνια και τελικά μετατρέπεται σε νερό, δεν είναι το μόνο προϊόν που εμφανίζεται στα κύτταρα. Ξεφεύγουν και αρκετά ποσά μερικά ανηγμένου οξυγόνου που, δυστυχώς για τους οργανισμούς, είναι τοξικά. Επειδή τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται είτε σε ζεύγη, είτε ένα κάθε φορά (κυτοχρώματα), το μόριο του οξυγόνου ανάγεται σταδιακά,

μέχρι να λάβει και τα 4 ηλεκτρόνια και να αναχθεί σε νερό. Η σταδιακή αναγωγή του οξυγόνου με αντιδράσεις μεταφοράς ενός ηλεκτρονίου θα είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ριζών ιδιαίτερα βλαβερών στα βιολογικά συστήματα. Θα παίρναμε, δηλαδή, ενδιάμεσα του τύπου O_2^-, από αναγωγή με ένα ηλεκτρόνιο, και H_2O_2 από αναγωγή με 2 ηλεκτρόνια. Η πραγματικότητα είναι ότι τέτοιου είδους προϊόντα πράγματι δημιουργούνται. Η εξουδετέρωση του H_2O_2 γίνεται από την καταλάση, ενώ η ανιονική ρίζα του οξυγόνου εξουδετερώνεται από το ένζυμο δισμουτάση του υπεροξειδίου σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2O_2^- + 2H^+ \square H_2O_2 + O_2$$

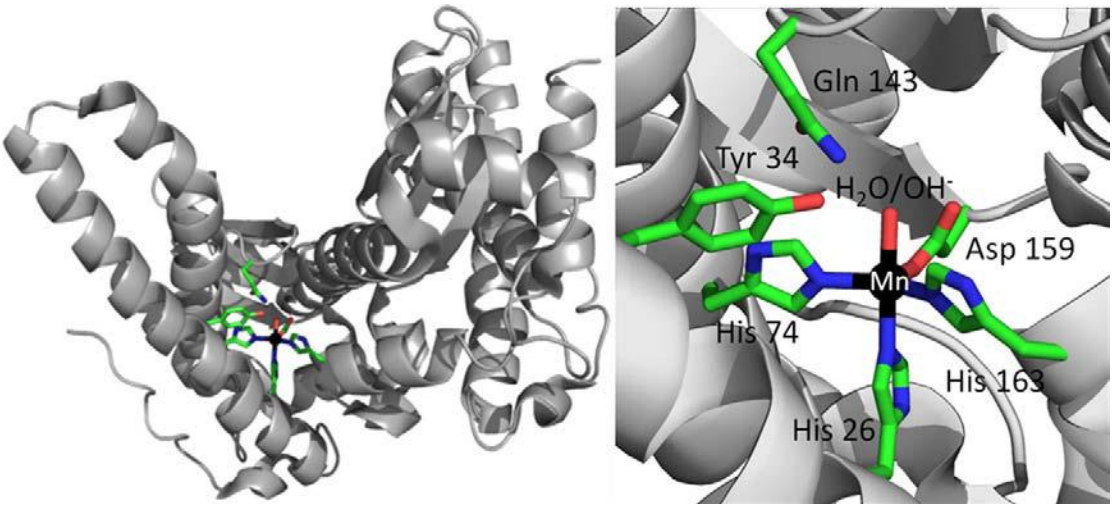
Η παραπάνω αντίδραση είναι τόσο σημαντική, ώστε οργανισμοί που στην εξέλιξη τους δεν απόκτησαν το ένζυμο αυτό, είναι περιορισμένοι να ζουν σε αναερόβιες συνθήκες. Στα ευκαρυωτικά κύτταρα υπάρχει άλλη δισμουτάση στα μιτοχόνδρια και άλλη στο διαλυτό κυτταρόπλασμα. Και τα δύο αυτά ένζυμα, όπως εξάλλου και οι καταλάσες, βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις και είναι πολύ δραστικά, με αποτέλεσμα ενώ δημιουργούνται συνεχώς ανιονικές ρίζες οξυγόνου, αμέσως αυτές να καταστρέφονται [65].

4.2.3 Δομή και δράση της σουπεροξειδικής δισμουτάσης

Οι μεταλλοπρωτεΐνες που έχουν μονοπυρηνικά ενεργά κέντρα Mn είναι λίγες, με την καλύτερα χαρακτηρισμένη και μελετημένη τη σουπεροξειδική δισμουτάση (superoxide dismutase, SOD), που έχει οξειδοαναγωγική δράση. Η Mn-SOD εντοπίζεται στα μιτοχόνδρια των ευκαρυωτικών οργανισμών, από το Saccharomyces cerevisiae μέχρι και τον άνθρωπο, και συναντάται και στο κυτταρόπλασμα των βακτηρίων ως διμερές ή τετραμερές. Καταλύει την αντίδραση μετατροπής του σουπεροξειδίου σε υπεροξείδιο και οξυγόνο, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

$$Mn^{(n+1)+}\text{-SOD} + O_2^- \rightarrow Mn^{n+}\text{-SOD} + O_2$$
$$Mn^{n+}\text{-SOD} + O_2^- + 2\,H^+ \rightarrow Mn^{(n+1)+}\text{-SOD} + H_2O_2$$

Η πρωτεΐνη αυτή είναι ένα τετραμερές με αλυσίδα που αποτελείται από 203 αμινοξέα. Κάθε μονομερές αποτελείται από ένα μονοπυρηνικό σύμπλοκο του Mn. Κάθε ιόν Mn(III) συνδέεται με δύο ιστιδίνες και μία ασπαρτάμη σε ισημερινές θέσεις και ένα μόριο H_2O καθώς και μία ακόμα ιστιδίνη σε αξονικές θέσεις, δημιουργώντας μία τριγωνική διπυραμίδα (Εικόνα 50). Το δίκτυο δεσμών υδρογόνου που σχηματίζονται μεταξύ του μορίου H_2O και των αμινοξέων Gln143 και Tyr34 παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία μεταφοράς H^+ προς την αναγωγή της ρίζας O_2^- σε H_2O_2.



Εικόνα 50: (α) Η ανθρώπινη μιτοχονδριακή Mn-SOD, και (β) το ενεργό της κέντρο.

Τόσο η βασική δομή όσο και το ενεργό μεταλλικό κέντρο δεν αλλάζουν όταν το ένζυμο μεταπίπτει στη βαθμίδα Mn(II). Πιστεύεται ότι ένας έκτος υποκαταστάτης, υπεροξείδιο στην κανονική αντίδραση ή αζίδιο στις ανηγμένες μορφές, εισέρχεται στη σφαίρα συναρμογής του μαγγανίου για να σχηματίσει μια ένωση με εσωτερική σφαίρα μεταφοράς ηλεκτρονίων. Θεωρείται ότι το μαγγάνιο αλλάζει μεταξύ των οξειδωτικών καταστάσεων +2 και +3 με μηχανισμό τύπου ping – pong. Η μετατροπή των ριζών O_2^- σε H_2O_2 και O_2 είναι πολύ σημαντική, καθώς οι ρίζες αυτές είναι πολύ τοξικές για τον οργανισμό και μπορούν να προκαλέσουν καρδιοαγγειακές ασθένειες, νευροεκφυλιστικές ασθένειες και άλλους τύπους ασθενειών που σχετίζονται με τη γήρανση [35,71,72].

4.2.4 Άλλες πρωτεΐνες μαγγανίου

Υπάρχουν κι άλλα ένζυμα που όχι μόνο απαιτούν μαγγάνιο, αλλά χρησιμοποιούν τις οξειδοαναγωγικές ικανότητες του στοιχείου αυτού. Αυτά τα ένζυμα περιλαμβάνουν τις καταλάσες του μαγγανίου, την καρβοξυλάση του πυροσταφυλικού οξέος και τις ριβονουκλεοτιδικές ρεδουκτάσες (αναγωγάσες) του μαγγανίου [35].

Η καρβοξυλάση του πυροσταφυλικού οξέος είναι, όπως και η σουπεροξειδική δισμουτάση, μια μεταλλοπρωτεΐνη με μονοπυρηνικό ενεργό κέντρο Mn. Αποτελεί το πρώτο χαρακτηρισμένο μεταλλοένζυμο του Mn και συμμετέχει στο μεταβολισμό των υδατανθράκων. Έχει Mr = 500.000 και αποτελείται από 4 υπομονάδες. Το ένζυμο περιέχει από μια βιοτινυλομάδα και ένα ιόν Mn(II) ανά υπομονάδα. Η όλη καταλυτική διαδικασία είναι [43,44,73]:

E-βιοτίνη + $MgATP^{2-}$ + HCO_3^- □ E-βιοτίνη-CO_2 + $MgADP^-$ + P_i^{2-}

E-βιοτίνη-CO_2 + πυροσταφυλικό □ E-βιοτίνη + οξαλοξικό

(όπου: E = ένζυμο, P_i = ανόργανη φωσφορική ρίζα)

Αρκετές μαγγανοπρωτεΐνες που έχουν διπυρηνικά ενεργά κέντρα είναι ήδη γνωστές. Οι πληρέστερα χαρακτηρισμένες πρωτεΐνες είναι η καταλάση του Mn, που περιέχει στο ενεργό της κέντρο ένα Mn_2. Οι καταλάσες του Mn είναι ένζυμα, που προστατεύουν τα κύτταρα από την οξειδωτική βλάβη, λειτουργώντας ως ένζυμα ελέγχου, απομακρύνοντας τα επίπεδα υπεροξειδίου του υδρογόνου που παράγονται κατά την διάρκεια αναγωγής του μοριακού οξυγόνου (O_2). Περίπου 10% του O_2 που καταναλώνεται στην κυτταρική αναπνοή μάλλον ανάγεται σε H_2O_2. Το υπεροξείδιο εύκολα ανάγεται σε ρίζες υδροξυλίου και ιόντα υδροξειδίου. Η ρίζα υδροξυλίου που παράγεται είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό, ικανό να οξειδώσει όλα τα κυτταρικά συστατικά που έρχονται σε επαφή με αυτήν. Πρακτικά, οι καταλάσες του Mn καταλύουν τις αντιδράσεις [73]:

$$Mn_2(III) + H_2O_2 \rightarrow Mn_2(II) + O_2 + 2H^+$$
$$Mn_2(II) + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow Mn_2(III) + 2H_2O$$

Τέλος, σημαντική είναι και η αναγωγάση του ριβονουκλεοτιδίου, η οποία καταλύει την αναγωγή των ριβονουκλεοτιδικών διφωσφορικών εστέρων στα αντίστοιχα δεοξυριβονουκλεοτίδια, και με αυτό τον τρόπο αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα ένζυμα για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς [35].

Υπάρχουν όμως και μεταλλοπρωτεΐνες, όπου το μαγγάνιο δρα ως οξύ κατά Lewis. Τρεις πρωτεΐνες μαγγανίου όπου το Mn(II) δρα ως οξύ κατά Lewis είναι η κονκαναβαλίνη Α, η αργινάση και η σύνθεση της γλουταμίνης. Το Mn(II) είναι διαλυτό στο υδατικό περιβάλλον των μεταλλοπρωτεϊνών και χαρακτηρίζεται από τη σταθερότητα της οξειδωτικής του βαθμίδας στο όξινο περιβάλλον. Ο κύριος ρόλος του Mn(II) ως οξύ κατά Lewis είναι να σχηματίζει σύμπλοκα, τα οποία συμμετέχουν σε διαδικασίες ανταλλαγής με πρωτεΐνες. Η συγκέντρωση του Mn(II) είναι της τάξεως 10^{-8} M και βρίσκεται σε όλα τα μέρη του βιολογικού συστήματο, εντός και εκτός κυττάρου.

Η κονκαναβαλίνη Α, που έχει διπυρηνικό ενεργό κέντρο, είναι ένα σύμπλοκο Mn – Ca και αποτελεί μια λεκτίνη, μια δεσμευτική πρωτεΐνη σακχάρων που προκαλούν συσσωμάτωση των κυττάρων, με το Mn να διαδραματίζει καθαρά δομικό ρόλο. Άξια αναφοράς είναι και η μαγγανοπρωτεΐνη αργινάση, η οποία αποτελεί το τελευταίο ένζυμο στον κύκλο της ουρίας και καταλύει την υδρολυτική διάσπαση της αργινίνης σε ορνιθίνη και ουρία. Η αργινάση, η οποία απαντάται στα μιτοχόνδρια, περιέχει 4 ιόντα Mn(II) ανά μόριο ενζύμου. Τέλος, η συνθετάση της γλουταμίνης καταλύει τη σύνθεση της γλουταμίνης σε όλους τους οργανισμούς [35,73].

4.2.5 Τροφές που περιέχουν μαγγάνιο

Η μέση απαιτούμενη ημερήσια δόση σε μαγγάνιο είναι συνήθως 2,5 mg για τους ενήλικες. Το μαγγάνιο βρίσκεται σε μικρές ποσότητες σε διάφορες τροφές όπως πρασινόφυλλα λαχανικά, φρούτα, καρύδια, κάστανα, φουντούκια, αμύγδαλα, μπιζέλια, τσάι και προϊόντα ολικής άλεσης [35].

4.2.6 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια μαγγανίου

Σε μεγάλες δόσεις το μαγγάνιο είναι τοξικό. Προβλήματα τοξικότητας έχουν παρατηρηθεί κυρίως σε ανθρώπους που έχουν εισπνεύσει αυξημένες ποσότητες μαγγανίου, λόγω της εργασίας τους σε ορυχεία ή σε μεταλλουργίες. Πιο συχνές είναι κυρίως οι χρόνιες δηλητηριάσεις από

μαγγάνιο. Η δηλητηρίαση από μαγγάνιο επηρεάζει κυρίως το κεντρικό νευρικό σύστημα με κυριότερα συμπτώματα ατονία, υπνηλία, συναισθηματικές διαταραχές και παράλυση. Επίσης, μεγάλες ποσότητες μαγγανίου έχουν ως αποτέλεσμα τη διόγκωση του ήπατος, την εμφάνιση υπογλυκαιμίας καθώς και διαταραχές στο μεταβολισμό του σιδήρου και του ασβεστίου [35,36].

Η ανεπάρκεια μαγγανίου στον άνθρωπο μπορεί να αποτελέσει αιτία πολλών προβλημάτων υγείας. Μεταξύ άλλων, παρατηρούνται σκελετικές παραμορφώσεις, καθώς η έλλειψη μαγγανίου επιδρά στην ομαλή ανάπτυξη των οστών, αλλά και προβλήματα όρασης και ακοής, υψηλά επίπεδα χοληστερόλης, υπέρταση, καρδιακά προβλήματα, αμνησία, επιβράδυνση της πήξης του αίματος, στείρωση στους άνδρες και ανωμαλίες στον κύκλο της περιόδου στις γυναίκες. Επίσης, σε έλλειψη μαγγανίου έχουν αποδοθεί από αρκετούς ερευνητές η ρευματοειδής αρθρίτιδα, η αρτηριοσκλήρωση, φλεγμονές, νευρολογικά προβλήματα, δερματίτιδες καθώς και ασθένειες όπως η ασθένεια του Parkinson, η οστεοπόρωση, η σχιζοφρένεια, ο διαβήτης και η επιληψία. Δεν μπορεί όμως η έλλειψη μαγγανίου να προκαλέσει διανοητική καθυστέρηση [35,36,43].

4.3 Σίδηρος

4.3.1 Βιολογική δράση σιδήρου

Ο σίδηρος είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα κάποιων πρωτεϊνών και ενζύμων. Στους ανθρώπους, ο σίδηρος είναι ένα απαραίτητο συστατικό των πρωτεϊνών που λαμβάνουν μέρος στην μεταφορά οξυγόνου, αλλά και αυτών που συμμετέχουν στην αναπνευστική αλυσίδα. Εξαιτίας του τόσο σημαντικού του ρόλου είναι απαραίτητος για την διαδικασία της ανάπτυξης των κυττάρων και τη διαφοροποίησή τους. Η ποσότητα του σιδήρου που υπάρχει στο σώμα ενός ενήλικα ανθρώπου κυμαίνεται από 3,5 – 4,5 g. Από την ποσότητα αυτή του σιδήρου, περίπου τα 2/3 βρίσκονται στο αίμα (αιμοσφαιρίνη) και το υπόλοιπο 1/3 στο ήπαρ, στον σπλήνα, στο μυελό των οστών και στους μύες [36].

Ο σίδηρος αποτελεί το 0,1% των ανόργανων συστατικών του σώματος. Το 60% του σιδήρου βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια με τη μορφή της αίμης,

που είναι η προσθετική ομάδα της αιμοσφαιρίνης. Η αιμοσφαιρίνη μεταφέρει το O_2 από τους πνεύμονες στους ιστούς και το CO_2 από τους ιστούς στους πνεύμονες. Σίδηρος υπάρχει επίσης στη μυοσφαιρίνη (στους μυς) και στα κυτοχρώματα, που είναι επίσης πρωτεΐνες με προσθετική ομάδα αίμης. Τα κυτοχρώματα μεταφέρουν ηλεκτρόνια και κυρίως συμμετέχουν στην αναπνευστική αλυσίδα. Σίδηρο περιέχουν και πολλές πρωτεΐνες-ένζυμα που δεν περιέχουν την προσθετική ομάδα αίμης, όπως οι σιδηρο-θειο-πρωτεΐνες [74].

Ο σίδηρος μεταφέρεται από μια πρωτεΐνη, τη σιδηροφιλίνη του αίματος. Η σιδηροφιλίνη μεταφέρει το σίδηρο από το έντερο στις αποθήκες σιδήρου κι από εκεί στο μυελό των οστών, κυρίως, όπου ο σίδηρος χρησιμεύει για τη σύνθεση του δακτυλίου της αίμης [5,65,75].

Ο σίδηρος είναι από τα πιο απαραίτητα στοιχεία του οργανισμού του ανθρώπου και χρειάζεται για βασικές δράσεις όπως:

1. Συμμετέχει στην αιμοσφαιρίνη, η οποία δεσμεύει το οξυγόνο μεταφέροντάς το από τους πνεύμονες στους μυς.
2. Συμμετέχει στη μυοσφαιρίνη, η οποία αποθηκεύει και μεταφέρει το οξυγόνο μέσα στο μυϊκό κύτταρο.
3. Συμμετέχει στα κυτοχρώματα, μια ομάδα ενζύμων, τα οποία βρίσκονται στα μιτοχόνδρια και τα οποία είναι απαραίτητα για τη μεταφορά ηλεκτρονίων και επομένως τη δημιουργία ATP.

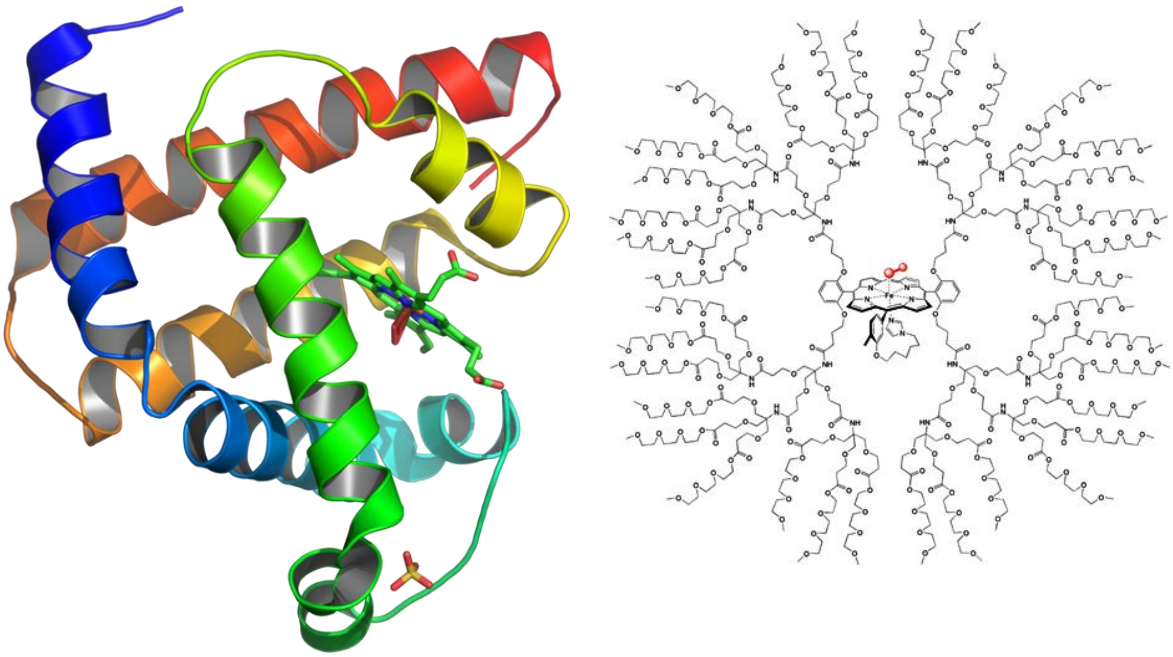
Η σημασία του οφείλεται στις χημικές του ιδιότητες. Συγκεκριμένα στην ηλεκτρονιακή του διαμόρφωση, στις οξειδωτικές του καταστάσεις (+2 και +3 οι πιο σταθερές) και στις οξειδοαναγωγικές του ικανότητες. Η ηλεκτρονιακή του διαμόρφωση είναι $3d^6\ 4s^2$, ενώ η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του Fe(II) είναι $3d^6$ και του Fe(III) είναι $3d^5$. Γενικά, ο σίδηρος σχηματίζει σύμπλοκα με πρωτεΐνες τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στους μεταφορείς οξυγόνου και στους μεταφορείς ηλεκτρονίων [5,64,75,76].

4.3.2 Ο σίδηρος ως μεταφορέας οξυγόνου

Όπως είδαμε πιο πάνω, ο Fe συμμετέχει στην αιμοσφαιρίνη, η οποία αποτελεί το σύστημα μεταφοράς O_2 από τους πνεύμονες στους βιολογικούς ιστούς,

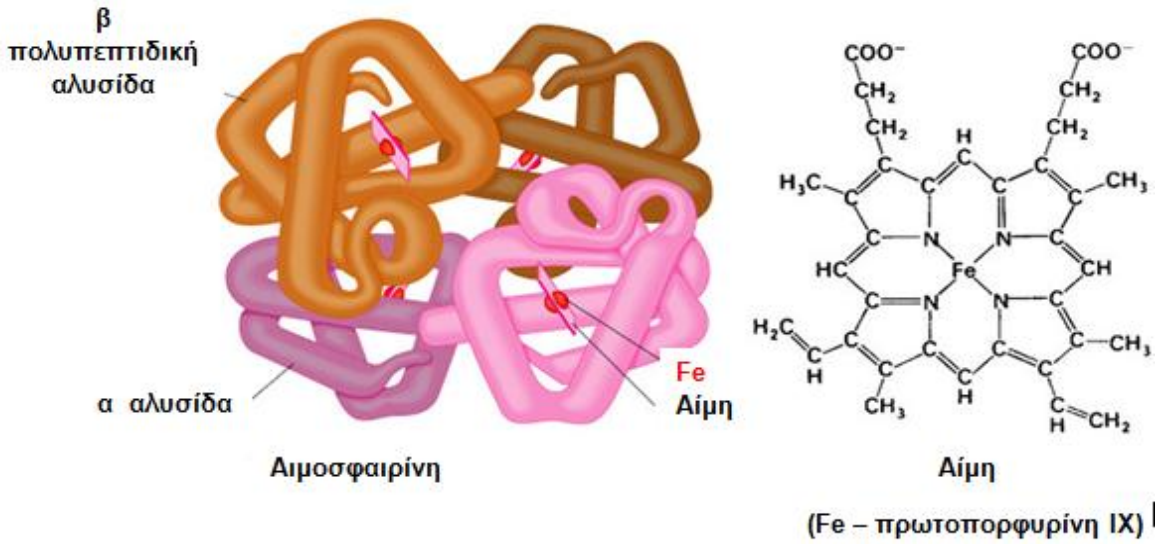
όπου χρειάζεται. Όσον αφορά τη χημεία της σύμπλεξης και της μεταφοράς του O_2, είναι προφανές ότι πρόκειται για ένα πρόβλημα οξεοβασικής κατά Lewis χημείας. Το οξυγόνο είναι μια βάση κατά Lewis και επομένως για τη δέσμευση του χρειάζεται ένα οξύ κατά Lewis. Είναι χαρακτηριστικό της μεγάλης σημασίας των στοιχείων μεταπτώσεως το γεγονός ότι η φύση ανέπτυξε τρία διαφορετικά τέτοια συστήματα, τα οποία περιέχουν είτε κατιόντα Fe είτε κατιόντα Cu. Αυτό συμβαίνει γιατί ο βιολογικός μεταφορέας του O_2 θα πρέπει να έχει αρκούντως μεγάλη χημική συγγένεια με το O_2, μια σχετικά ασθενή βάση κατά Lewis, αλλά όχι πολύ μεγάλη χημική συγγένεια, διότι τότε η δέσμευση του O_2 δεν θα ήταν αντιστρεπτή. Επίσης, στο περιβάλλον της αίμης υπάρχουν και πολλές άλλες βάσεις κατά Lewis, π.χ. το H_2O, και μάλιστα σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, και επομένως, η δέσμευση του O_2 πρέπει να σχηματίζει θερμοδυναμικά σταθερό σύμπλοκο. Μόνο ο Fe και ο Cu καλύπτουν αυτές τις προϋποθέσεις [41,64,75,76,77].

Τα ανώτερα θηλαστικά και ο άνθρωπος χρησιμοποιούν τη μυοσφαιρίνη και την αιμοσφαιρίνη, ως μεταφορείς οξυγόνου. Η πρώτη είναι μια μονομερής πρωτεΐνη (Εικόνα 51), ενώ η δεύτερη αποτελείται από τέσσερις υπομονάδες, η καθεμιά από τις οποίες είναι παρόμοια με την μυοσφαιρίνη.



Εικόνα 51: Τριτοταγής δομή μυοσφαιρίνης σε τρισδιάστατη (αριστερά) και δισδιάστατη (δεξιά) μορφή. Και στις δύο διακρίνεται η ομάδα της αίμης.

Το μόριο της μυοσφαιρίνης και η κάθε υπομονάδα της αιμοσφαιρίνης, είναι σχεδόν σφαιρικά μόρια, με μοριακό βάρος περίπου 17 kDa, και περιέχουν έναν συμπαράγοντα αίμης. Η αίμη αποτελείται από ένα άτομο Fe συμπλεγμένο με τέσσερα ομοεπίπεδα άτομα N μιας πορφυρίνης (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Τεταρτοταγής δομή αιμοσφαιρίνης (αριστερά) και η αίμη (δεξιά), όπου φαίνεται το άτομο σιδήρου, συμπλεγμένο με την πορφυρίνη.

Ένα άτομο N μιας ιστιδίνης είναι ο πέμπτος υποκαταστάτης. Η έκτη θέση καταλαμβάνεται από το μόριο του O_2 στην οξυγονωμένη μορφή, ενώ είναι κενή ή κατέχεται από ένα μόριο H_2O στην μη – οξυγονωμένη. Η σύμπλεξη του O_2 οξειδώνει τον Fe(II) σε Fe(III), ενώ το ίδιο ανάγεται σε ανιόν O_2^-. Με άλλα λόγια, κατά τη δέσμευση του O_2 λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα οξεοβασική και οξειδοαναγωγική χημεία. Το γεγονός ότι το O_2 δρα στην περίπτωση αυτή οξειδωτικά, σημαίνει ότι η σύμπλεξη γίνεται πλέον ανάμεσα στον Fe(III), που είναι καλύτερο οξύ κατά Lewis από τον Fe(II), και του O_2^-, που είναι καλύτερη βάση κατά Lewis από το O_2. Το

Εικόνα 53: Παρουσιάζεται η μεταφορά του οξυγόνου μέσω του αίματος.

αποτέλεσμα είναι ισχυρότερη δέσμευση του O_2 από την ομάδα της αίμης [41,77,78].

Η αιμοσφαιρίνη και η μυοσφαιρίνη δρουν συμπληρωματικά. Η αιμοσφαιρίνη, η οξυγονωμένη μορφή της οποίας προσδίδει το κόκκινο χρώμα στο αίμα, μεταφέρει το O_2 από τους πνεύμονες στα μυϊκά κύτταρα (Εικόνα 53). Εκεί το O_2 μεταβιβάζεται στη μυοσφαιρίνη, η οποία δρα ως δεξαμενή μικρής πνοής και παρέχει το O_2 που απαιτείται για τις βιολογικές καύσεις [41,75].

4.3.3 Η ανταγωνιστική δράση του CO στην αιμοσφαιρίνη

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι δηλητήριο γιατί συνδυάζεται με σιδηρομυοσφαιρίνη και σιδηροαιμοσφαιρίνη και έτσι εμποδίζει τη μεταφορά οξυγόνου. Μία απομονωμένη αίμη σε διάλυμα δεσμεύει CO περίπου 25.000 φορές πιο εύκολα από ότι δεσμεύει O_2. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) ενώνεται με το σίδηρο της αιμοσφαιρίνης (αντιστρεπτά) σχηματίζοντας την ανθρακυλαιμοσφαιρίνη (HbCO). Η σύνδεση του CO με μία ή περισσότερες από τις τέσσερις θέσεις της αίμης αλλάζει τη φυσιολογική μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης προς υπερβολή, με αποτέλεσμα την ανικανότητα της αιμοσφαιρίνης να αποδώσει οξυγόνο στους ιστούς, με μοιραία κατάληξη. Αντίδοτο στη δηλητηρίαση από το μονοξείδιο του άνθρακα είναι η θεραπεία με οξυγόνο, η οποία διευκολύνει την αποδέσμευση του CO [41,80].

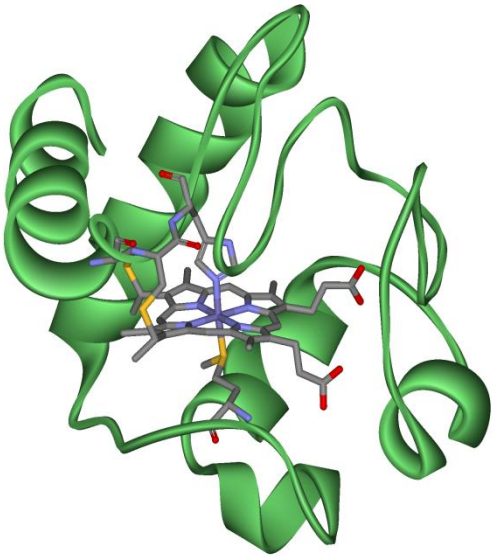
Παρ' όλα αυτά, η δέσμευση CO σε μυοσφαιρίνη ή αιμοσφαιρίνη είναι μόνο 200 φορές μεγαλύτερη απ' ότι η δέσμευση O_2. Αυτό οφείλεται στο ότι στα πολύ συμπαγή σύμπλοκα του CO με ελεύθερες σιδηροπορφυρίνες, τα άτομα Fe, C και O βρίσκονται σε ευθεία γραμμή. Αντίθετα, στο σύμπλοκο CO-μυοσφαιρίνης, ο άξονας CO είναι σε γωνία σε σχέση με το δεσμό Fe-C. Η γραμμική τοποθέτηση του CO παρεμποδίζεται κυρίως από τη στερική παρεμπόδιση της μακρινής ιστιδίνης. Από την άλλη, ο άξονας O_2 είναι σε γωνία σε σχέση με το δεσμό Fe-O και στην οξυμυοσφαιρίνη και στα μοντέλα των συμπλόκων. Επομένως, η πρωτεΐνη υποχρεώνει το CO να δεσμεύεται υπό γωνία και όχι σε ευθεία γραμμή. Αυτή η στερεοδιαμόρφωση στις σφαιρίνες εξασθενεί την αντίδραση του CO με την αίμη.

Η εξασθένηση της συγγένειας της μυοσφαιρίνης και της αιμοσφαιρίνης για το CO είναι βιολογικά σημαντική. Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι πρόβλημα

ανεξάρτητο από την εμφάνιση των βιομηχανικών κοινωνιών, γιατί παράγεται ενδογενώς (μέσα στα κύτταρα) κατά την αποικοδόμηση της αίμης. Το επίπεδο του μονοξειδίου του άνθρακα που δημιουργείται ενδογενώς είναι τέτοιο που 1% περίπου των θέσεων της μυοσφαιρίνης και της αιμοσφαιρίνης είναι δεσμευμένες από CO, ένα ανεκτό ποσοστό αναστολής. Πάντως, το CO που παράγεται ενδογενώς θα δημιουργούσε ολική δηλητηρίαση, αν η συγγένεια αυτών των πρωτεϊνών για CO ήταν η ίδια με αυτή των απομονωμένων σιδηροπορφυρινών. Αυτό το πρόβλημα λύθηκε με την εξέλιξη των πρωτεϊνών αίμης που κάνουν διάκριση μεταξύ O_2 και CO, με το να υποχρεώνουν σε δέσμευση του προσδέτη υπό γωνία, αποδυναμώνοντας έτσι τη δέσμευση του CO [41,79].

4.3.4 Ο σίδηρος ως μεταφορέας ηλεκτρονίων

Ο σίδηρος, όπως έχουμε αναφέρει, δε συμμετέχει μόνο σε συστήματα μεταφοράς οξυγόνου, αλλά και σε συστήματα μεταφοράς ηλεκτρονίων, δηλαδή στα κυτοχρώματα και τις σιδηρο-θειο-πρωτεΐνες. Υπάρχουν πολλές ποικιλίες κυτοχρωμάτων, με μικρές διαφορές μεταξύ τους, αλλά με κύριο χαρακτηριστικό ότι περιέχουν σίδηρο, συγκρατούμενο με πορφυρινικό δακτύλιο, με την πέμπτη μονάδα συμπλέξεως κατειλημμένη από ιμιδαζολικό άζωτο πρωτεΐνης, όπως και στην αιμοσφαιρίνη και στη μυοσφαιρίνη. Ο ρόλος όμως του κυτοχρώματος είναι η μεταφορά ηλεκτρονίων και όχι οξυγόνου, και η έκτη μονάδα στις περισσότερες περιπτώσεις καταλαμβάνεται από ισχυρώς συνδεδεμένο θείο ομάδας μεθειονίνης στην πρωτεΐνη. Έτσι, καθίσταται αδρανής όχι μόνο στο οξυγόνο, αλλά και σε δηλητήρια που επηρεάζουν τους μεταφορείς οξυγόνου. Ο πιο μελετημένος εκπρόσωπος των κυτοχρωμάτων είναι το κυτόχρωμα c (Εικόνα 54), το οποίο προσλαμβάνει ηλεκτρόνια (προερχόμενα από την οξείδωση των τροφών) από τα



Εικόνα 54: Τρισδιάστατη δομή κυτοχρώματος c.

προηγούμενα στάδια της αναπνευστικής αλυσίδας και τα αποδίδει στην κυτοχρωμική οξειδάση, το ένζυμο που είναι ο τελικός αποδέκτης των ηλεκτρονίων αυτών, με τα οποία ηλεκτρόνια το O_2 ανάγεται σε H_2O. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι [41,64,76]:

$$Fe(III) + e^- \rightarrow Fe(II)$$

4.3.5 Τροφές που περιέχουν σίδηρο

Το συκώτι και το κρέας είναι οι καλύτερες πηγές σιδήρου. Επίσης σημαντικές ποσότητες έχουν τα ψάρια, τα πουλερικά, τα οστρακοειδή, τα αβγά και τα όσπρια. Σίδηρος επίσης υπάρχει και σε ορισμένα φρούτα και λαχανικά, σε ξηρούς καρπούς και δημητριακά. Από τα φυτικά όμως τρόφιμα ο σίδηρος απορροφάται σε μικρό βαθμό. Ακόμα, σίδηρο παίρνει ο οργανισμός και από το νερό, όπως και από τα μαγειρικά σκεύη [45,74].

4.3.6 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια σιδήρου

Η ανεπάρκεια του σιδήρου στον οργανισμό προκαλεί υπόχρωμη αναιμία (έλλειψη αιμοσφαιρίνης). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελλιπή μεταφορά O_2 στα κύτταρα, με συνέπεια την κούραση, την κακή απόδοση στην εργασία, πονοκέφαλο, αδυναμία συγκέντρωσης και τη μειωμένη ανοσία. Παρόλα αυτά, υπερβολική λήψη σιδήρου (αιμοσιδήρωση) έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευσή του στο ήπαρ (κίρρωση ήπατος), κιτρινόμαυρη απόχρωση του δέρματος, διαβήτη, καρδιακές παθήσεις, αρρυθμίες, καρκίνος του ήπατος και μπορεί να οδηγήσει στην τοξικότητα και ακόμη και στο θάνατο. Επίσης προκαλεί αιμοχρωμάτωση, ασθένεια Bantu [36,43,45,74].

4.3.7 Ασθένειες που οφείλονται σε γενετικά διαφοροποιημένες αιμοσφαιρίνες

Με την εξέταση ασθενών με κλινικά συμπτώματα και ηλεκτροφορητική ανάλυση σε φυσιολογικούς πληθυσμούς, έχουν ανακαλυφθεί περισσότερες από τρεις χιλιάδες διαφορετικές μεταλλαγμένες αιμοσφαιρίνες. Οι περισσότερες από αυτές δεν δίνουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα σε ένα άτομο. Είναι σχεδόν πάντοτε ουδέτερες ή επικίνδυνες. Οι μεταλλαγμένες αιμοσφαιρίνες είναι διαφορετικών τύπων:

1. Αλλαγές στην εξωτερική επιφάνεια. Σχεδόν όλες οι αντικαταστάσεις στην επιφάνεια του μορίου της αιμοσφαιρίνης είναι ακίνδυνες. Η αιμοσφαιρίνη S είναι η μοναδική εξαίρεση.
2. Αλλαγές στο ενεργό κέντρο. Η ελαττωματική υπομονάδα δεν μπορεί να δεσμεύσει οξυγόνο, λόγω της δομικής αλλαγής κοντά στην αίμη, που επηρεάζει άμεσα τη δέσμευση του οξυγόνου. Για παράδειγμα, η αντικατάσταση της ιστιδίνης από τυροσίνη στην εγγύς ή τη μακρυνή θέση ως προς την αίμη, σταθεροποιεί τη σιδηρι-μορφή, που δεν μπορεί πια να δεσμεύσει οξυγόνο. Το οξυγόνο της πλευρικής αλυσίδας της τυροσίνης σχηματίζει ιοντικό δεσμό με το σιδηρο-ιόν της αίμης. Μεταλλαγμένες αιμοσφαιρίνες που χαρακτηρίζονται από σιδηρι-κατάσταση για τα δύο μόρια της αίμης ονομάζονται αιμοσφαιρίνες M. Το γράμμα M καθορίζει ότι οι αλλαγμένες πλευρικές αλυσίδες βρίσκονται στη μορφή μεθαιμοσφαιρίνης (σιδηρι-αιμοσφαιρίνης). Αυτοί οι ασθενείς εμφανίζουν συνήθως κυάνωση. Η ασθένεια έχει βρεθεί μόνο σε ετεροζυγώτες, γιατί οι ομοζυγώτες δεν επιβιώνουν.
3. Αλλαγές στην τριτοταγή δομή. Η αντικατάσταση ενός αμινοξέος παρεμποδίζει την πολυπεπτιδική αλυσίδα από το να αποκτήσει τη φυσιολογική της διαμόρφωση. Αυτές οι αιμοσφαιρίνες είναι συνήθως ασταθείς. Για παράδειγμα, στην αιμοσφαιρίνη Hammersmith, η φαινυλαλανίνη στη CD1, δίπλα στην αίμη, αντικαθίσταται από σερίνη. Η συγγένεια αυτής της αιμοσφαιρίνης για την αίμη της είναι πολύ χαμηλότερη από τη φυσιολογική. Αντικαταστάσεις αμινοξέων σε θέσεις μακριά από την αίμη μπορούν επίσης να παρεμποδίσουν την αιμοσφαιρίνη από το να αναδιπλώνεται στη φυσική της διάταξη. Μία αντιπροσωπευτική μετάλλαξη είναι η αιμοσφαιρίνη Riverdale-Bronx, που έχει αργινίνη στη θέση της γλυκίνης στη B6. Αυτή η μεταλλαγμένη αιμοφαιρίνη δεν αναδιπλώνεται φυσιολογικά επειδή η αργινίνη στη B6 είναι πολύ μεγάλη για να ταιριάζει στο στενό χώρο μεταξύ B και E.
4. Αλλαγές στην τεταρτοταγή δομή. Μερικές μεταλλάξεις στα σημεία επαφής των υπομονάδων οδηγούν σε απώλεια των αλλοστερικών ιδιοτήτων. Αυτές οι αιμοσφαιρίνες συνήθως έχουν ανώμαλη συγγένεια για το οξυγόνο. Η περιοχή επαφής $\alpha_1\beta_2$ που αλλάζει ουσιαστικά κατά

την οξυγόνωση, είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στις επιδράσεις μεταλλάξεων [41].

4.3.7.1 Δρεπανοκυτταρική αναιμία

Η δρεπανοκυτταρική αναιμία οφείλεται σε μία γενετική μετάλλαξη, η οποία μεταβάλλει ένα αμινοξύ στη β πολυπεπτιδική αλυσίδα της αιμοσφαιρίνης. Πιο συγκεκριμένα, μία βαλίνη (ένα υδρόφοβο αμινοξύ) έχει αντικαταστήσει ένα γλουταμικό οξύ (ένα αρνητικά φορτισμένο οξύ). Αυτή η αντικατάσταση ευθύνεται για τη σύνδεση των μορίων της S αιμοσφαιρίνης μεταξύ τους. Σε περιπτώσεις χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου, όπως συμβαίνει σε πολλά ιστικά τριχοειδή, τα ανώμαλα μόρια αιμοσφαιρίνης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και σχηματίζουν ινώδη δομικά στοιχεία, τα οποία παραμορφώνουν τη μεμβράνη του ερυθροκυττάρου σε δρεπανοειδή ή σε άλλη μη φυσιολογική μορφή. Όταν η οξυαιμοσφαιρίνη S αποδώσει το οξυγόνο της, τα επιμέρους μόρια της δεοξυαιμοσφαιρίνης S προσδένονται το ένα με το άλλο ως επιμήκη πολυμερή νημάτια. Αυτό συμβαίνει γιατί η βαλίνη τοποθετείται σε ένα θύλακα στην επιφάνεια ενός δεύτερου μορίου της δεοξυαιμοσφαιρίνης S. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απόφραξη κάποιων τριχοειδών από σωρούς παραμορφωμένων ερυθροκυττάρων, που οδηγεί σε παρεμπόδιση της κυκλοφορίας του αίματος, με επακόλουθη καταστροφή των κυττάρων αυτών, πόνο, καταστροφή πολλών οργάνων, ειδικά των οστών και των νεφρών και, φυσικά, την εμφάνιση αναιμίας. Η δρεπανοκυτταρική αναιμία αποτελεί ένα καλό παράδειγμα γενετικής ασθένειας, που εκδηλώνεται πλήρως μόνο εάν το άτομο είναι ομοζυγωτικό ως προς το μεταλλαγμένο γονίδιο. Οι ετεροζυγώτες, οι οποίοι φέρουν τον «υπολειπόμενο» χαρακτήρα της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας, έχουν ένα κανονικό και ένα μεταλλαγμένο γονίδιο, με το πρώτο να διαθέτει μία φυσιολογική και το δεύτερο μία διαταραγμένη κωδικοποιό αλληλουχία παραγωγής αιμοσφαιρίνης, αντιστοίχως. Τα ερυθροκύτταρα στην περίπτωση αυτή περιέχουν και τους δύο τύπους αιμοσφαιρίνης, αλλά συμπτώματα εκδηλώνονται μόνο στην περίπτωση κατά την οποία η συγκέντρωση οξυγόνου στο αίμα είναι χαμηλή, όπως συμβαίνει κατά την ανάβαση του ατόμου σε μεγάλο υψόμετρο [81,82].

4.3.7.2 Θαλασσαιμίες

Οι θαλασσαιμίες αποτελούν μία διαφορετική τάξη γενετικών ανωμαλιών και χαρακτηρίζονται από αλλαγές στη σύνθεση μίας ή περισσοτέρων αλυσίδων αιμοσφαιρίνης. Η αλυσίδα που επηρεάζεται δηλώνεται με την προσθήκη ενός προσθετικού, όπως στην α-θαλασσαιμία. Το όνομα αυτής της ομάδας ασθενειών προέρχεται από την Ελληνική λέξη «θάλασσα», εξ αιτίας του υψηλού ποσοστού εμφάνισης ορισμένων μορφών θαλασσαιμίας μεταξύ των ανθρώπων που ζουν κοντά στη Μεσόγειο Θάλασσα. Πράγματι, σε μέρη της Ιταλίας, περίπου 20% του πληθυσμού είναι φορείς του γονιδίου αυτής της ασθένειας. Η γεωγραφική κατανομή μερικών γονιδίων θαλασσαιμίας είναι παράλληλη της κατανομής της ελονοσίας, που υποδηλώνει ότι οι ετεροζυγώτες έχουν πλεονέκτημα από την ύπαρξη του γονιδίου, όπως στην περίπτωση του στίγματος της δρεπανοκυττάρωσης.

Οι θαλασσαιμίες δημιουργούνται από πολλές διαφορετικές μεταλλάξεις που οδηγούν στην απώλεια ή την ανώμαλη λειτουργία μίας αλυσίδας αιμοσφαιρίνης με διαφορετικούς τρόπους:

1. Απώλεια του γονιδίου.
2. Το γονίδιο υπάρχει αλλά η σύνθεση ή η επεξεργασία του RNA δεν είναι φυσιολογική.
3. Το mRNA της αιμοσφαιρίνης παράγεται σε φυσιολογικές ποσότητες αλλά κωδικοποιεί μη φυσιολογική πρωτεΐνη. Για παράδειγμα, μετάλλαξη ενός κωδίκιου αμινοξέος σε κωδίκιο λήξης (π.χ. TGG της θρυπτοφάνης σε TGA) έχει ως αποτέλεσμα τον πρόωρο τερματισμό της πρωτεϊνοσύνθεσης. Η απομάκρυνση ή προσθήκη ενός νουκλεοτιδίου, που ονομάζεται πλαισιοκινητική μετάλλαξη, οδηγεί σε μία τελείως διαφορετική αλληλουχία αμινοξέων μετά τη μετάλλαξη. Οι περισσότερες από αυτές τις αλυσίδες αιμοσφαιρίνης είναι ασταθείς και γρήγορα αποικοδομούνται [41].

4.4 Ψευδάργυρος

4.4.1 Βιολογική δράση ψευδαργύρου

Ο ψευδάργυρος υπάρχει σε ποσότητα 1,3 – 2,3 g στο ανθρώπινο σώμα. Αποτελεί μέρος της ινσουλίνης και πολλών ενζύμων και συμμετέχει στην

δημιουργία γενετικού υλικού και πρωτεϊνών, στις ανοσολογικές αντιδράσεις, στη μεταφορά της βιταμίνης Α, στην αίσθηση της γεύσης, στην επούλωση των πληγών, στην δημιουργία του σπέρματος και στη φυσιολογική ανάπτυξη του εμβρύου [36,45].

Κατά το 1934, διαπιστώθηκε ότι ο ψευδάργυρος ήταν απαραίτητος για την ομαλή αύξηση και ανάπτυξη των θηλαστικών. Αν και ο Zn(II) είναι ένα d^{10} ιόν, έχει πολλές ομοιότητες με τα ιόντα των στοιχείων μετάπτωσης. Σε υδατικό διάλυμα, δεν εμφανίζονται άλλες οξειδωτικές βαθμίδες εκτός της Zn(II). Το ιόν αυτό δρα κυρίως ως οξύ κατά Lewis και συναντάται σε πολλά μεταλλοένζυμα, όπως η καρβοξυπεπτιδάση και η καρβονική ανυδράση. Τα σύμπλοκα του ψευδαργύρου παρέχουν γενικώς ικανοποιητικά ρυθμιστικά διαλύματα και χρησιμοποιούνται στη ρύθμιση του pH in vivo. Στο ανθρώπινο σώμα, υπάρχουν περί τα 18 μεταλλοένζυμα του ψευδαργύρου και περί τα 14 ένζυμα με ενεργοποιητή το ιόν ψευδαργύρου. Επειδή ο Zn(II) είναι ένα συμμετρικό d^{10} ιόν, έχει μικρή πολωσιμότητα και γι' αυτό χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα σκληρό οξύ και αντιδρά έντονα με δότες οξυγόνο και άζωτο, που χαρακτηρίζονται ως σκληρές βάσεις [5,44].

4.4.2 Ο ψευδάργυρος ως οξύ κατά Lewis

Ο Zn(II) παίζει σημαντικό ρόλο ως οξύ κατά Lewis σε πολλά μεταλλοένζυμα. Η ευρεία χρησιμοποίηση του με αυτή την έννοια οφείλεται στους εξής λόγους:

1^{ον}) Ο Zn(II) είναι ένα d^{10} ιόν και συνεπώς δεν έχει επιδράσεις πεδίου περιφερειακών υποκαταστατών συνδεδεμένες με αυτό, ώστε να καθορίζουν ένα συγκεκριμένο αριθμό εντάξεως ή μια γεωμετρία.

2^{ον}) Τα σύμπλοκα του είναι κινητικώς ασταθή, με αποτέλεσμα γρήγορη αντικατάσταση των υποκαταστατών. Έτσι, οι αντιδράσεις ανταλλαγής υποκαταστάτη στον Zn(II) είναι ταχείες και τα υποστρώματα και τα προϊόντα μπορούν εύκολα να δράσουν και να απομακρυνθούν.

3^{ον}) Παρέχει σύμπλοκα θερμοδυναμικώς σταθερά με πρωτεϊνικούς υποκαταστάτες.

4^{ον}) Ο Zn(II) είναι εύλογα αποτελεσματικό οξύ κατά Lewis και ενεργό σε πολλά πρότυπα συστήματα.

5ον) Ο Zn(II) δεν υδρολύεται προς σχηματισμό υδροξυσυμπλόκων σε χαμηλό pH. Η τιμή pK_a του εφυδατωμένου ιόντος Zn(II) είναι περίπου ~ 8,8 και συνεπώς είναι διαθέσιμο στα βιολογικά συστήματα.

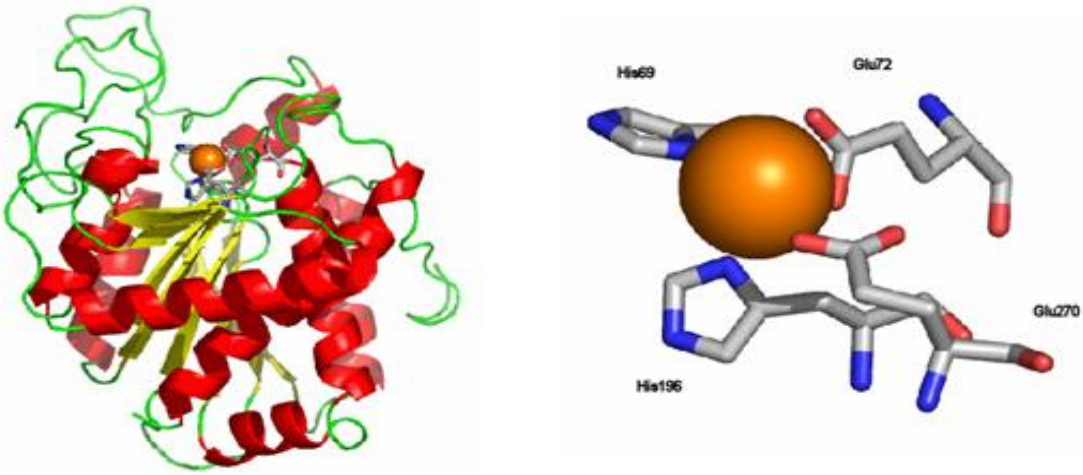
6ον) Ο Zn(II) δε δίνει οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις υπό βιολογικές συνθήκες [37,44].

Η εκδήλωση όξινης συμπεριφοράς από τα ιόντα Zn(II) μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Πρώτον, τα ιόντα Zn(II) δρουν ως οξέα κατά Lewis και δέχονται ζεύγος ηλεκτρονίων από το Ο του καρβονυλίου, ακριβώς όπως θα συνέβαινε και με τα κατιόντα H^+. Ο μηχανισμός αυτός είναι γνωστός με τον όρο «Μηχανισμός Zn – καρβονυλίου». Δεύτερον, τα ιόντα Zn(II) συμπλέκονται με ένα μόριο H_2O και προκαλούν τον ιοντισμό του (με άλλα λόγια η pK_a του συμπλεγμένου H_2O ελαττώνεται) με αποτέλεσμα το σχηματισμό OH^-, το οποίο προσβάλει ως πυρηνόφιλο τον καρβονυλικό δεσμό. Ο μηχανισμός αυτός είναι γνωστός με τον όρο «Μηχανισμός Zn – υδροξειδίου» [37].

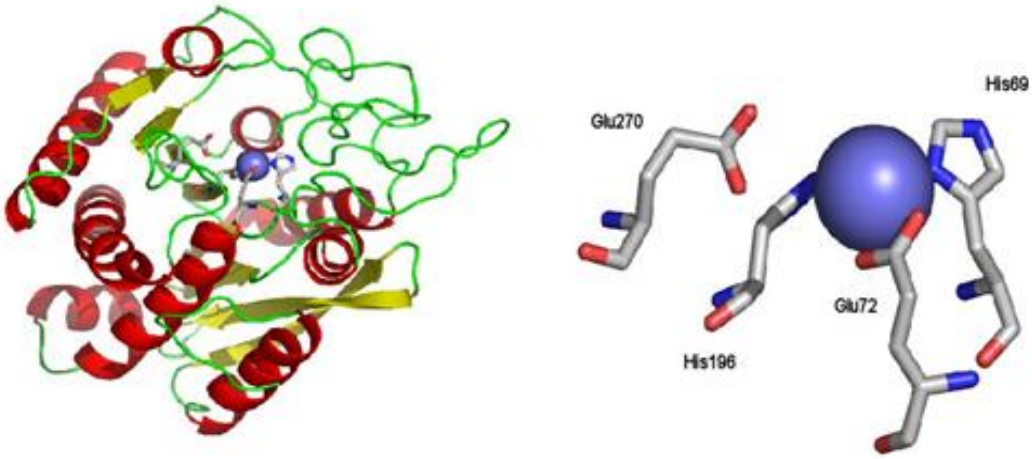
4.4.3 Ο ψευδάργυρος στις καρβοξυπεπτιδάσες

Έχουν αναγνωριστεί δύο τύποι καρβοξυπεπτιδασών. Τα μεταλλοένζυμα (καρβοξυπεπτιδάσες Α και Β) και τα μη μεταλλοένζυμα (πχ καρβοξυπεπτιδάση C της ζύμης). Οι καρβοξυπεπτιδάσες καταλύουν την υδρόλυση του C – τελικού αμινοξέος ενός πεπτιδίου ή μιας πρωτεϊνικής αλυσίδας. Η καρβοξυπεπτιδάση αποτελεί παράδειγμα εξωπεπτιδάσης, η οποία διασπά μόνο τελικούς πεπτιδικούς δεσμούς. Οι ενδοπεπτιδάσες καταλύουν την υδρόλυση μη τελικών πεπτιδικών δεσμών. Απαραίτητες προϋποθέσεις για τη δράση της καρβοξυπεπτιδάσης Α είναι ότι το C – τελικό αμινοξύ πρέπει να εμφανίζει S – διαμόρφωση και η καρβοξυλική ομάδα του να είναι ελεύθερη. Ευνοούνται υποστρώματα στα οποία η πλευρική αλυσίδα του αμινοξέος είναι αρωματική, αλλά η καρβοξυπεπτιδάση Α εμφανίζει μια εξαιρετικά ευρεία εξειδίκευση από αυτήν την άποψη. Πεπτίδια τα οποία διαθέτουν σχεδόν οποιοδήποτε C – τελικό αμινοξύ, εκτός της προλίνης, υδρολύονται [38].

Η καρβοξυπεπτιδάση Α αποτελείται από μια μονή πεπτιδική αλυσίδα 307 αμινοξέων και περιέχει ένα άτομο Zn (Εικόνα 55). Η καρβοξυπεπτιδάση Β έχει 308 αμινοξέα, το 49% της αλληλουχίας της είναι όμοιο της καρβοξυπεπτιδάσης Α και περιέχει επίσης ένα άτομο Zn. Κάθε ιόν Zn(II) του ενζύμου είναι εντεταγμένο σε μια παραμορφωμένη τετραεδρική στερεοχημεία, συνδεόμενο με δύο ιστιδίνες, ένα γλουταμινικό οξύ και ένα μόριο ύδατος (ή OH^-) (Εικόνα 56). Η σύμπλεξη του Zn με τρεις μόνο πρωτεϊνικούς υποκαταστάτες είναι ένα τυπικό χαρακτηριστικό καταλυτικών κέντρων Zn σε βιολογικά συστήματα.

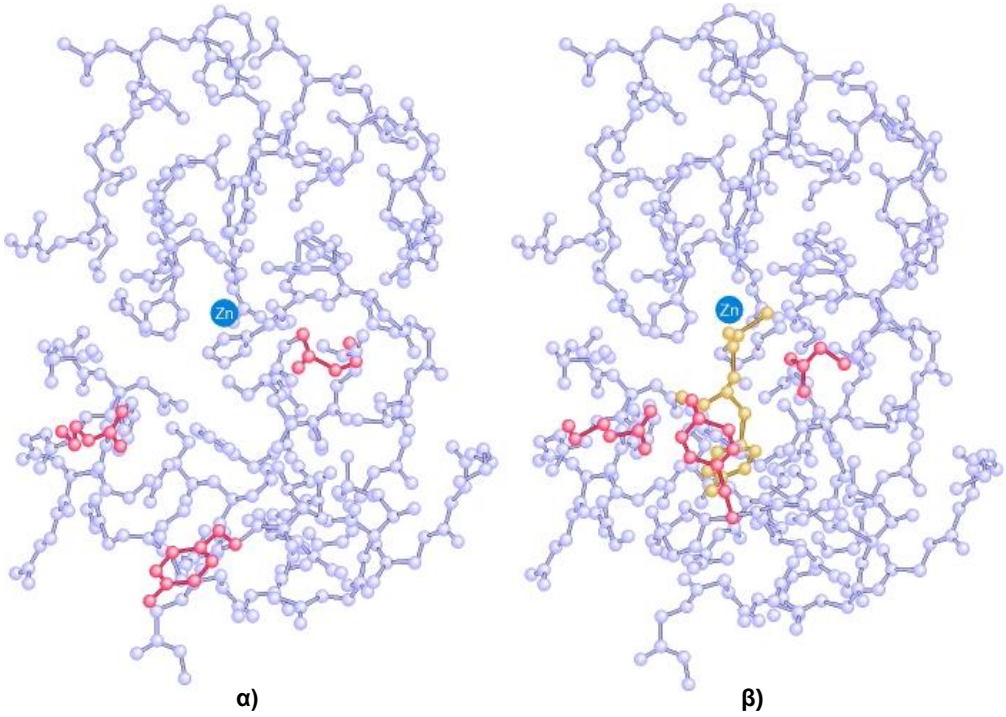


Εικόνα 55: Τετραεδρική δομή καρβόξυπεπτιδάσης Α (αριστερά) και το καταλυτικό της κέντρο (δεξιά).



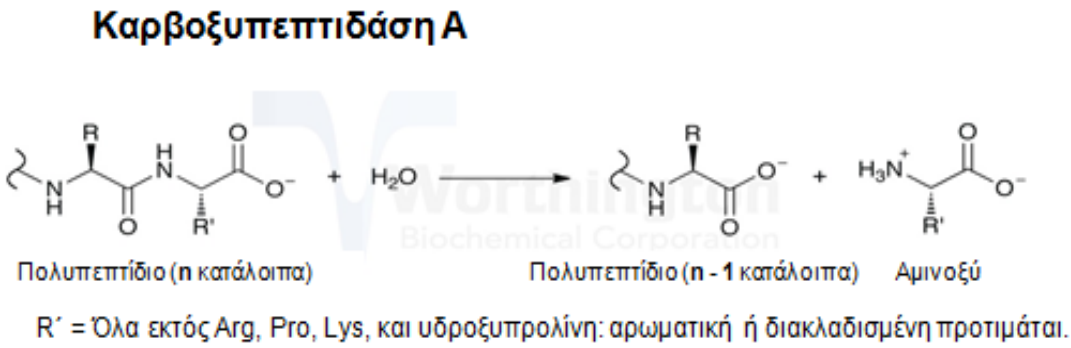
Εικόνα 56: Τετραεδρική δομή καρβόξυπεπτιδάσης Β (αριστερά) και το καταλυτικό της κέντρο (δεξιά).

Το μόριο του ύδατος αντικαθίσταται από ένα μόριο υποστρώματος, με το πεπτιδικό οξυγόνο εντασσόμενο στον ψευδάργυρο (Εικόνα 57).



Εικόνα 57: α) Το ένζυμο χωρίς υπόστρωμα, β) Το ένζυμο με υπόστρωμα. Τρία αμινοξέα (κόκκινα) άλλαξαν θέση προκειμένου να πλησιάσουν το υπόστρωμα.

Η εντεταγμένη καρβονυλική ομάδα πολώνεται και προσβάλλεται από ένα μόριο ύδατος ενεργοποιημένο από το γλουταμινικό οξύ. Το προκύπτον τετραεδρικό ενδιάμεσο πρωτονιώνεται στο άζωτο από την τυροσίνη και μπορεί στη συνέχεια να διασπασθεί σε αμίνη και καρβοξυλικό οξύ (Εικόνα 58.) [44].



Εικόνα 58: Αντίδραση υδρόλυσης πολυπεπτιδίου καταλυόμενη από το ένζυμο καρβοξυπεπτιδάση.

4.4.4 Ο ψευδάργυρος στην καρβονική ανυδράση

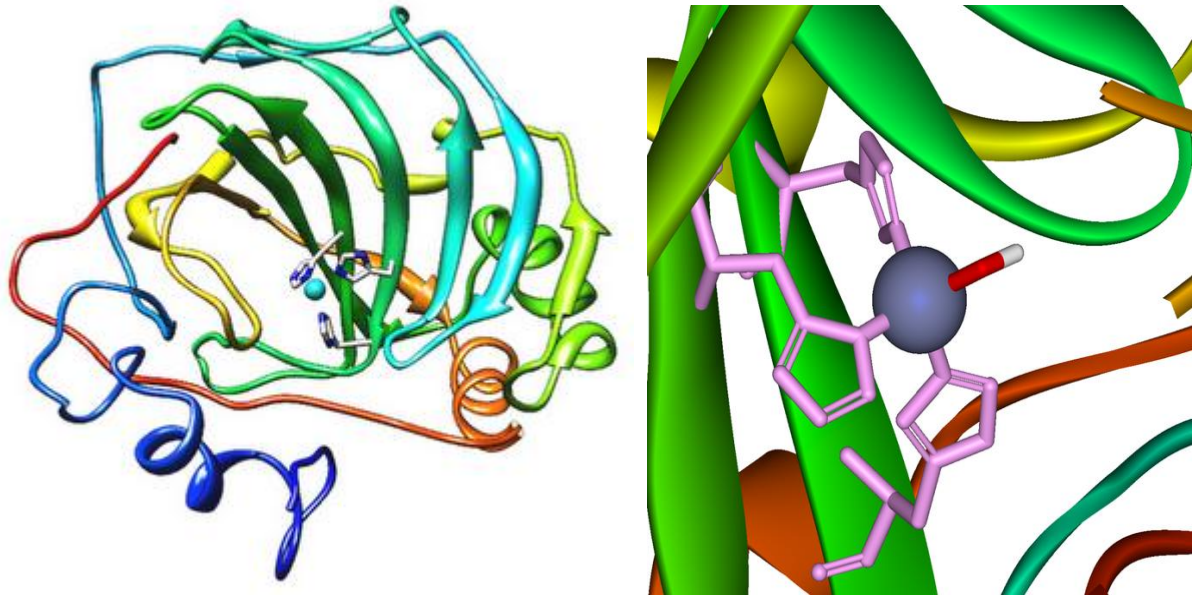
Η καρβονική ανυδράση είναι και αυτή, όπως είπαμε, ένα μεταλλοένζυμο του ψευδαργύρου που το συναντάμε στον άνθρωπο, στα ζώα, στα φυτά και σε ορισμένους μικροοργανισμούς, το οποίο καταλύει την αμφίδρομη αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με νερό:

$$CO_2 + H_2O \text{ — } HCO_3^- + H^+$$

Επιπλέον, το ένζυμο καταλύει την προσθήκη ύδατος σε πολλές αλδεΰδες, καθώς και την υδρόλυση διαφόρων εστέρων:

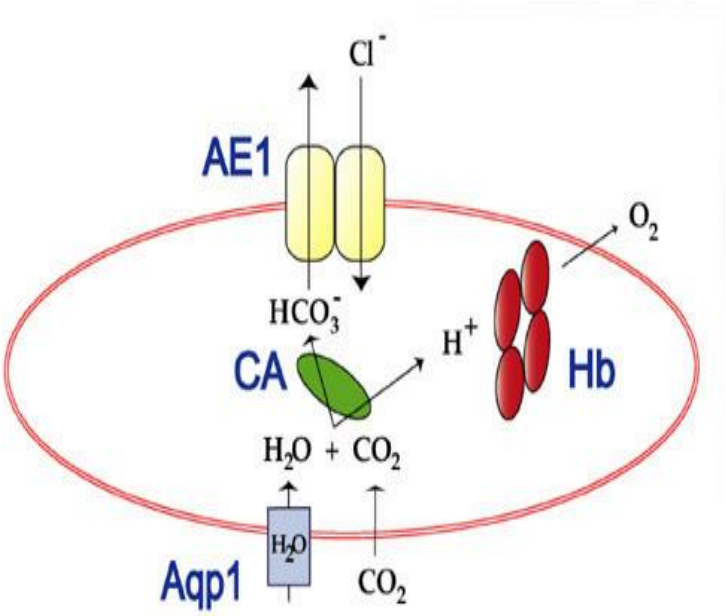
$$CH_3CHO + H_2O \text{ — } CH_3CH(OH)_2$$

Η καρβονική ανυδράση είναι ένα μονομερές μοριακού βάρους 30.000 που περιέχει 1 άτομο ψευδαργύρου ισχυρά δεσμευμένου. Η δευτεροταγής δομή της πρωτεΐνης είναι κυρίως η β – πτυχωτή επιφάνεια και το άτομο του Zn βρίσκεται σε μια κωνική κοιλότητα, περίπου 16 ⇐ από την επιφάνεια της πρωτεΐνης. Το άτομο του Zn είναι συμπλεγμένο με το N τριών πλευρικών ομάδων ιστιδίνης και με ένα μόριο νερού, σε μια παραμορφωμένη τετραεδρική γεωμετρία (Εικόνα 59).



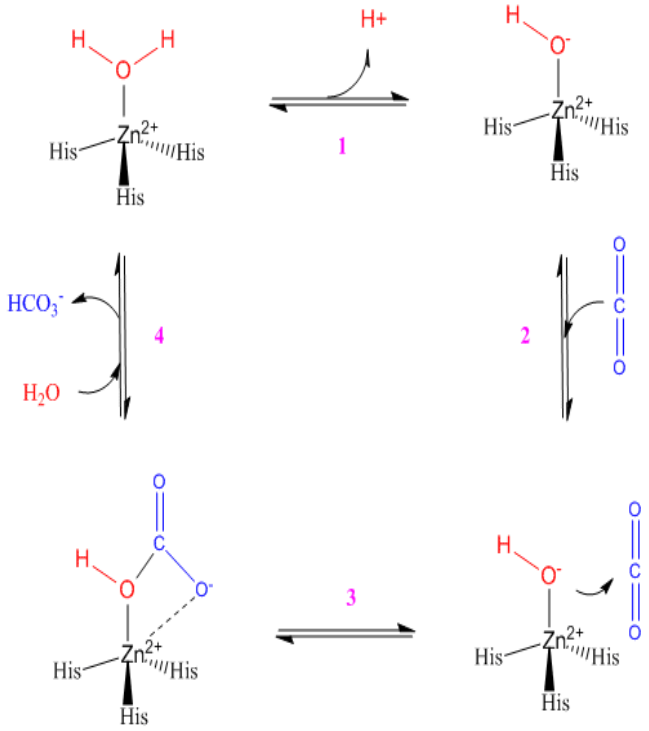
Εικόνα 59: Τετραεδρική δομή καρβονικής ανυδράσης (αριστερά) και το ενεργό κέντρο της (δεξιά) όπου φαίνεται το άτομο Zn συνδεδεμένο με τις τρεις ιστιδίνες.

Η διαλυτότητα του CO_2 στο αίμα συνδέεται με την πρόσληψη H_2O και τη μετατροπή του σε HCO_3^-. Ωστόσο, η αντίδραση αυτή είναι πολύ αργή και λαμβάνει χώρα με μια σταθερά ταχύτητας της τάξεως 10^{-3} s^{-1}, γεγονός το οποίο δικαιολογείται λόγω της μεγάλης ισχύος των δεσμών C=O και H–O των αντιδρώντων. Οι βιολογικές οξειδώσεις των οργανικών ενώσεων των τροφών παράγουν μεγάλες ποσότητες CO_2, το οποίο πρέπει να απομακρυνθεί γρήγορα από το σώμα, επομένως είναι εμφανής η ανάγκη καταλύσεως της παραπάνω αντίδρασης. Επίσης, η παραπάνω αντίδραση είναι βασική για πολλούς οργανισμούς λόγω και του ρυθμιστικού ρόλου των HCO_3^- στο αίμα (π.χ. ρύθμιση pH) (Εικόνα 60). Η μορφή του ενζύμου που βρίσκεται στο αίμα αυξάνει τη σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης υδατώσεως του CO_2 σε 10^6 s^{-1} [37,44].



Εικόνα 60: Η δράση της καρβονικής ανυδράσης εντός του κυττάρου και η ρύθμιση του pH του αίματος.

Ο προτεινόμενος μηχανισμός δράσης της καρβονικής ανυδράσης δίνεται στην Εικόνα 61. Είναι προφανές ότι προτείνεται μηχανισμός Zn – υδροξειδίου. Η αποπρωτονίωση του H_2O αυξάνει σημαντικά τη βασικότητα του οξυγόνου και διευκολύνει την πυρηνόφιλη προσθήκη στο οξύ κατά



Εικόνα 61: Μηχανισμός δράσης καρβονικής ανυδράσης σε τέσσερα στάδια.

Lewis CO_2. Το προϊόν της αντίδρασης απομακρύνεται από το μεταλλικό κέντρο το οποίο συμπλέκει ένα καινούργιο μόριο νερού κι έτσι συμπληρώνεται ο καταλυτικός κύκλος [37].

Όπως τονίσθηκε και στα παραπάνω, η μειωμένη τιμή pKa του συμπλεγμένου H_2O είναι κλειδί για την εκδήλωση καταλυτικών ιδιοτήτων. Το ενεργό κέντρο του ενζύμου, $[Zn(His)_3(H_2O)]^{2+}$, έχει υψηλό θετικό φορτίο, αφού δεν εξουδετερώνεται από τις τρεις ουδέτερες, ηλεκτρικώς, ιστιδίνες, και το υδρόφοβο πρωτεϊνικό περιβάλλον του ενεργού κέντρου δεν ευνοεί την παρουσία του φορτίου αυτού. Έτσι, ευνοείται ο ιοντισμός του συμπλεγμένου H_2O, αφού με αυτόν τον τρόπο το OH^- που παραμένει συμπλεγμένο εξουδετερώνει ένα θετικό φορτίο του κέντρου και γίνεται $[Zn(His)_3(OH)]^+$. Ως αποτέλεσμα, η pK_a του συμπλεγμένου νερού είναι περίπου 7, πολύ χαμηλότερη από αυτή του ελεύθερου νερού (pK_a = 14) ή μορίων νερού στο σύμπλοκο $[Zn(H_2O)_6]^{2+}$ (pK_a = 14). Γίνεται, λοιπόν, εμφανής ο σημαντικός ρόλος που παίζει το πρωτεϊνικό περιβάλλον στην καταλυτική δράση του ενζύμου [37].

4.4.5 Τροφές που περιέχουν ψευδάργυρο

Πηγές ψευδαργύρου θεωρούνται όλες οι πρωτεϊνούχες ενώσεις. Συγκεκριμένα, ποσότητες ψευδαργύρου περιέχονται στο κρέας, στα ψάρια, στα οστρακοειδή, στα πουλερικά, στα σιτηρά και στα λαχανικά [45].

4.4.6 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια ψευδαργύρου

Κατά την έλλειψη ψευδαργύρου παρατηρείται ανεπαρκής ανάπτυξη στα παιδιά, δερματίτιδα, σεξουαλική καθυστέρηση, απώλεια της γεύσης και μη ικανοποιητική επούλωση πληγών.

Όταν έχουμε περίσσεια ψευδαργύρου στον οργανισμό παρατηρούνται συμπτώματα όπως, πυρετός, ναυτία, έμετος, διάρροια, έλλειψη συντονισμού των μυών, ζάλη, αναιμία, επιταχυνόμενη αθηροσκλήρωση και νεφρική ανεπάρκεια [45].

4.5 Βανάδιο

4.5.1 Βιολογική δράση βαναδίου

Η χημεία του βαναδίου είναι αξιοσημείωτη εξαιτίας της ικανότητάς του να υιοθετεί τις γειτονικές οξειδωτικές βαθμίδες +2, +3, +4 και +5. Η οξειδωτική βαθμίδα 0 εμφανίζεται σε μερικές ενώσεις, για παράδειγμα στις οργανομεταλλικές με υποκαταστάτες δέκτες *π* ηλεκτρονίων. Οι ενώσεις του V(II) χρησιμοποιούνται ως αναγωγικοί παράγοντες, ενώ του V(V) ως οξειδωτικοί παράγοντες. Η χημεία του V(IV) είναι συνδεδεμένη με το σχηματισμό όξο ειδών, με πιο γνωστά τα παράγωγα του βαναδυλίου που περιέχουν την ομάδα VO^{2+}. Τα ιόντα δισθενούς και τρισθενούς βαναδίου οξειδώνονται γρήγορα κατά την έκθεση τους στον αέρα.

Το βανάδιο θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο. Συνήθως λειτουργεί ως συμπαράγοντας σε ένζυμα που συμμετέχουν στο μεταβολισμό των σακχάρων, των λιπιδίων και της χοληστερόλης, παίζει ρόλο στην ανάπτυξη των δοντιών και των οστών, στη λειτουργία του θυρεοειδή και στην παραγωγή ορμονών. Παίζει επίσης ρόλο για τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ του νατρίου και του καλίου στο σώμα [83,84].

4.5.2 Τροφές που περιέχουν βανάδιο

Ο άνθρωπος λαμβάνει τις απαραίτητες ποσότητες βαναδίου από τροφές όπως τα δημητριακά, τα ψάρια, η σόγια, το ελαιόλαδο, το ηλιέλαιο, τα μήλα και τα αυγά [84,85].

4.5.3 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια βαναδίου

Πιθανότατα, έλλειψη βαναδίου στον οργανισμό του ανθρώπου οδηγεί σε υψηλά επίπεδα χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων και αύξηση της πιθανότητας προσβολής από καρκίνο και καρδιακά νοσήματα. Επιπλέον το βανάδιο μπορεί να έχει διάφορες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και όταν η λήψη του είναι πάρα πολύ υψηλή. Όταν η λήψη βαναδίου πραγματοποιείται μέσω του αέρα μπορεί να προκαλέσει βρογχίτιδα και πνευμονία. Τα άμεσα αποτελέσματα του βαναδίου είναι ενόχληση των πνευμόνων, του λαιμού, των ματιών και της ρινικής κοιλότητας [83,84,85].

Οι κίνδυνοι υγείας που συνδέονται με την έκθεση στο βανάδιο εξαρτώνται από το βαθμό της οξείδωσής του. Το στοιχείο βανάδιο θα μπορούσε να οξειδωθεί σε πεντοξείδιο του βαναδίου κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Η μορφή του πεντοξειδίου είναι τοξικότερη από τη στοιχειώδη μορφή. Η χρόνια έκθεση στη σκόνη και στα αέρια του πεντοξειδίου του βαναδίου μπορεί να προκαλέσει έντονη ενόχληση των ματιών, του δέρματος, της ανώτερης αναπνευστικής οδού, επίμονες φλεγμονές της τραχείας και των βρόγχων, πνευμονικό οίδημα, και συστηματική δηλητηρίαση [85].

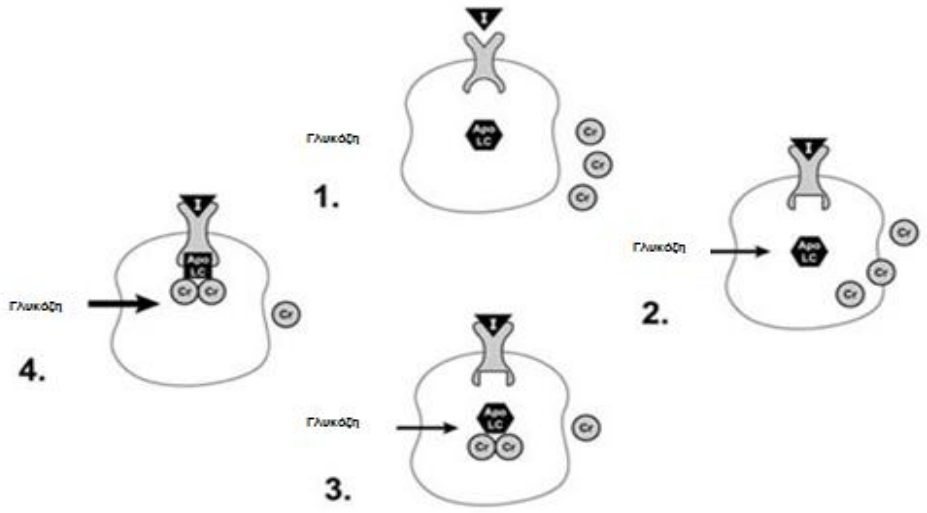
4.6 Χρώμιο

4.6.1 Βιολογική δράση χρωμίου

Το χρώμιο είναι απαραίτητο για τον μεταβολισμό των λιπιδίων (χοληστερόλη, τριγλυκερίδια) και των σακχάρων [36].

4.6.2 Το χρώμιο στο μεταβολισμό των σακχάρων

Η παρουσία του χρωμίου κάνει τη δράση της ινσουλίνης πιο αποτελεσματική, με συνέπεια ο ασθενής να χρειάζεται λιγότερη ινσουλίνη. Αυτό συμβαίνει γιατί το χρώμιο βοηθάει στη σύνδεση της ινσουλίνης στους κατάλληλους υποδοχείς των κυτταρικών μεμβρανών (Εικόνα 62). Το παράξενο είναι ότι το χρώμιο συντελεί όχι μόνο στην ελάττωση του υψηλού σακχάρου στο αίμα, αλλά μετριάζει και τα συμπτώματα της υπογλυκαιμίας [36,43,86].



Εικόνα 62: Μηχανισμός δράσης του χρωμίου. Σύνδεση της ινσουλίνης στον κατάλληλο υποδοχέα ενεργοποιεί τη δράση του χρωμίου το οποίο με τη σειρά του ενισχύει την ινσουλίνη, όπου Apo-LC = Πεπτίδιο.

Τα ευεργετικά αποτελέσματα του χρωμίου εμφανίζονται όταν βρίσκεται σε μια ορισμένη μορφή, ως τρισθενές χρώμιο. Αντίθετα, με άλλη μορφή, ως εξασθενές, έχει βλαβερά αποτελέσματα. Με την τελευταία μορφή βρίσκεται το χρώμιο σε προϊόντα βιομηχανικής ρύπανσης. Υπάρχουν όμως σαφείς ενδείξεις ότι μέσα στο στομάχι το επιβλαβές αυτό χρώμιο, το εξασθενές, μετατρέπεται σε ωφέλιμο, δηλαδή τρισθενές. Ως τρισθενές το χρώμιο βρίσκεται στο συκώτι, στα νεφρά και ιδιαίτερα στη μαγιά της μπύρας. Στη μαγιά της μπύρας το χρώμιο βρίσκεται ενωμένο με ορισμένες ουσίες που το κάνουν ακόμη πιο αποτελεσματικό. Οι ουσίες αυτές είναι το νικοτινικό οξύ και η γλουταθειόνη [36].

4.6.3 Τροφές που περιέχουν χρώμιο

Τροφές που είναι πλούσιες σε χρώμιο είναι το κρέας, ακατέργαστα σιτηρά και τα φυτικά έλαια [45].

4.6.4 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια χρωμίου

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες παίρνουμε από τις τροφές λιγότερο χρώμιο απ' όσο χρειαζόμαστε, εμφανίζονται συμπτώματα καρδιοπαθειών και σακχαρώδους διαβήτη. Τα συμπτώματα που εμφανίζονται, έστω και σε κάποια οριακή ανεπάρκεια χρωμίου, είναι η αύξηση των τριγλυκεριδίων στον ορό του αίματος και αύξηση του σακχάρου στο αίμα. Υπερβολική πρόσληψη χρωμίου σχετίζεται με μυϊκή εκφύλιση [36,43,45].

4.7 Κοβάλτιο

4.7.1 Βιολογική δράση κοβαλτίου

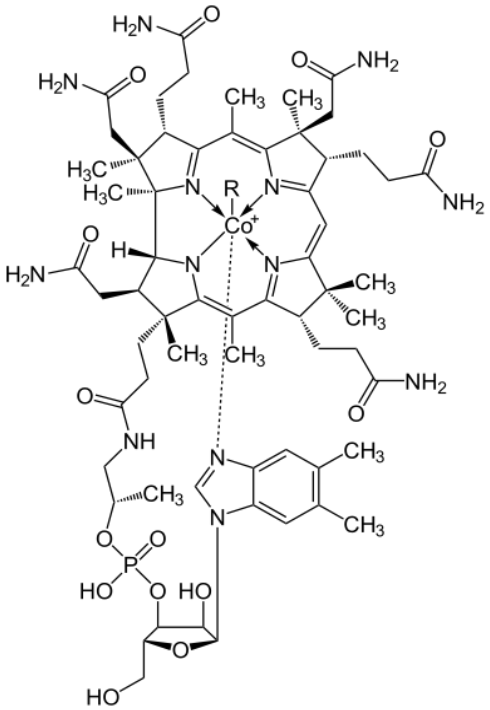
Το κοβάλτιο θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο αποκλειστικώς και μόνο επειδή είναι συστατικό της βιταμίνης B_{12}. Η ποσότητα του κοβαλτίου που υπάρχει στο σώμα του ανθρώπου είναι μόλις 1,1 mg. Βρίσκεται στους μύες, στα οστά, στο ήπαρ και στα νεφρά. Στο αίμα υπάρχει κυρίως στα ερυθρά αιμοσφαίρια και λιγότερο στον ορό [36].

4.7.2 Το κοβάλτιο στη βιταμίνη B_{12}

Οι δράσεις της βιταμίνης B_{12}, γίνονται δια του ατόμου του κοβαλτίου που έχει στο μόριο της. Οι δράσεις αυτές περιλαμβάνουν εκτός των άλλων τη σύνθεση

του DNA, στην παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων και στην αποτοξίνωση του οργανισμού από τα κυανιούχα [36].

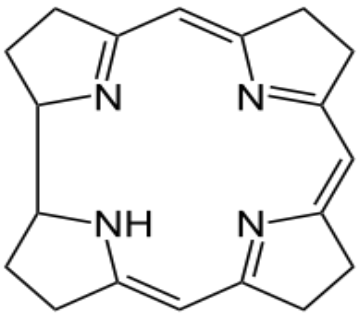
Το συνένζυμο B_{12} είναι ασυνήθιστο από πολλές απόψεις. Είναι η μόνη οργανομεταλλική ένωση που είναι γνωστή ότι παίζει ένα καθορισμένο και φυσικό ρόλο στη βιοχημεία [87,88].



Εικόνα 63: Συντακτικός τύπος του συνενζύμου B_{12}.

Η βιταμίνη B_{12}, ή αλλιώς κοβαλαμίνη, αποτελείται από ένα σύστημα κορρινικού δακτυλίου, στο κέντρο του οποίου βρίσκεται ένα άτομο κοβαλτίου, από ένα ριβονουκλεοτίδιο και από μία ομάδα R (Εικόνα 63). Αν η ομάδα R = CN, τότε έχουμε την κυανοκοβαλαμίνη, αν R = CH_3, τότε έχουμε τη μέθυλο κοβαλαμίνη κι αν R = 5–δεόξυαδενοσίνη έχουμε την αδενοζυλοκοβαλαμίνη. Η δομή της κοβαλαμίνης έχει κοινά χαρακτηριστικά με τη δομή της αίμης. Το τετραπυρρόλιο της πορφυρίνης που υπάρχει στην αίμη έχει αντικατασταθεί με το τετραπυρρόλιο της κορρίνης, το δε ιόν του δισθενούς σιδήρου, με το δισθενές κοβάλτιο. Το κοβάλτιο της κοβαλαμίνης έχει αριθμό μοριακής σύνταξης 6. Τέσσερις δεσμοί το συνδέουν με τα άτομα αζώτου των τεσσάρων

πυρρολίων και ένας πέμπτος με το άζωτο ενός βενζιμιδαζολίου. Ο έκτος δεσμός, όπως είπαμε, μπορεί να είναι μια μεθυλομάδα ή μια δεοξυαδενοσίνη, δύο μορφές συμβατές με δισθενές κοβάλτιο, ή μπορεί να είναι και άλλες ομάδες, όπως υδροξύλιο, κυανομάδα, νιτρώδης ομάδα, χλώριο και άλλες με τις οποίες το κοβάλτιο μετέχει ως τρισθενές ιόν. Όπως αναφέραμε το σύστημα του δακτυλίου της κορρίνης (Εικόνα 64), φέρει κάποια ομοιότητα με αυτό της πορφυρίνης. Η απουσία μιας από τις γέφυρες μεθινίου, μειώνει το μέγεθος της υποκατεστημένης κοιλότητας και διακόπτει τη στενή συζυγία. Επίσης, η πορφυρίνη έχει δύο ιονιζόμενα πρωτόνια, ενώ στη B_{12} δεν υπάρχουν [43,44,64,87,89,90].



Εικόνα 64: Δακτύλιος κορρίνης.

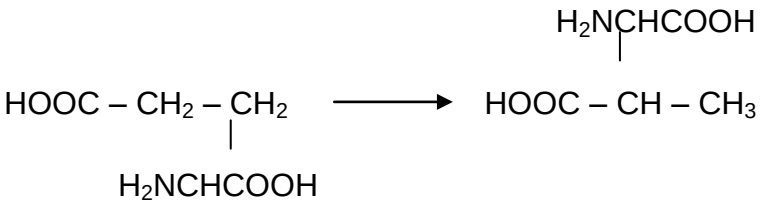
Το συνένζυμο B_{12} ενεργεί ως συμπαράγοντας σε πολλά ένζυμα στους ζωντανούς οργανισμούς. Συμμετέχει στο μεταβολισμό οξέων και διολών, στην αναγωγή τριφωσφορικών νουκλεοτιδίων, στη μεθυλίωση της ομοκυστεΐνης προς μεθειονίνη και στη σύνθεση dTMP από dUMP. Τα είδη των αντιδράσεων που καταλύονται από το σύμπλοκο B_{12} είναι αρκετά διαφορετικά από εκείνα των ενζύμων που βασίζονται στο σίδηρο και στο χαλκό. Συγκεκριμένα καταλύει τις εξής αντιδράσεις:

1. Τη μεταφορά μεθυλομάδων, π.χ. κατά το σχηματισμό της μεθειονίνης από την ομοκυστεΐνη και το σχηματισμό των μεθυλοενώσεων του υδραργύρου:

$$CH_3 - B_{12} + HgCl_2 \square CH_3HgCl + B_{12} + Cl^-$$

$$(Co^{III}) \qquad\qquad (Co^{I})$$

2. Την αναφερόμενη ως αντίδραση ισομεράσης, η οποία περιλαμβάνει την 1,2 – μετατόπιση ενός ατόμου C, N ή O:

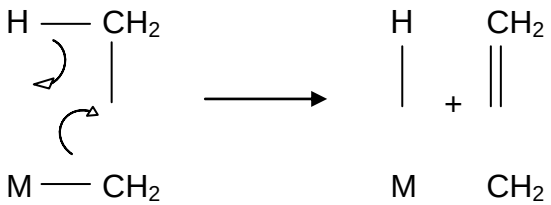


Αυτή η επαναδιευθέτηση είναι αντιπροσωπευτική μιας τάξης επαναδιευθετήσεων, που περιλαμβάνει κατευθυντές τυπικές αλκυλομάδες, οι οποίες καταλύονται από B_{12} – εξαρτημένα ένζυμα. Αυτή η συγκεκριμένη αντίδραση καταλύεται από το ένζυμο γλουταμινική μυτάση.

3. Την αναγωγή της ομάδας – CHOH – των τριφωσφορικών ριβονουκλεοτιδίων σε – CH_2 –.

Οι αντιδράσεις του τύπου (1) περιλαμβάνουν τον ενδιάμεσο σχηματισμό ενός συμπλόκου Co^{3+} – CH_3, ενώ οι αντιδράσεις των τύπων (2) και (3) απαιτούν το σύμπλοκο να βρίσκεται υπό τη μορφή του συνενζύμου που περιέχει τον υποκαταστάτη 5 – δεοξυαδενοσίνη [43,44,87,88,90].

Μια από τις αξιοσημείωτες ιδιότητες της B_{12} είναι η ικανότητα της να σχηματίζει αλκυλοπαράγωγα, συμπεριλαμβανομένης της αδενοσυλο – B_{12} (το συνένζυμο). Ο δεσμός μεταξύ του ατόμου του κοβαλτίου και του ατόμου του άνθρακα της αλκυλομάδας, έχει κυρίως σ χαρακτήρα και οι ενώσεις αυτές εμπίπτουν στην κατηγορία των οργανομεταλλικών ενώσεων. Τα σ – ενωμένα αλκυλοπαράγωγα των στοιχείων μεταπτώσεως, κυρίως εκείνων της πρώτης σειράς, είχαν θεωρηθεί ασταθή, εκτός από τις περιπτώσεις όπου τα στοιχεία βρίσκονταν σε χαμηλές οξειδωτικές καταστάσεις και συμμετείχε ένας π – όξινος υποκαταστάτης, όπως το CO. Πλέον είναι γνωστό ότι οι ενώσεις αυτές μπορεί να είναι κινητικά ασταθείς, από την άποψη της πιθανής β – αφαίρεσης κατά τη διάσπαση τους:



Ένας μεγάλος αριθμός των σ – ενωμένων αλκυλοπαραγώγων του κοβαλτίου έχουν πλέον παρασκευασθεί. Αυτά τα σύμπλοκα θεωρούνται τυπικά ως σύμπλοκα του Co (III) με δότες καρβανιόντα R^-. Όλα αυτά τα σύμπλοκα εμφανίζουν αρκετό βαθμό π – συζεύξεως. Μια πορφυρίνη έχει εκτεταμένο π – συζευγμένο σύστημα από 24 ηλεκτρόνια, ενώ μια κορρίνη είναι λιγότερο π – συζευγμένη, με 13 ηλεκτρόνια. Ένα σύμπλοκο του κοβαλτίου απαιτεί κάποια π – σύζευξη στον επίπεδο δακτύλιο προκειμένου να σχηματίσει ένα σ – ενωμένο αλκυλοπαράγωγο. Εντούτοις, πολύ μεγάλη σύζευξη δε φαίνεται να είναι ευνοϊκή. Αν και οι πορφυρίνες δίνουν αλκυλοπαράγωγα, αυτά δεν σχηματίζονται εύκολα. Το γεγονός ότι ο δακτύλιος της κορρίνης έχει εκτεταμένη, αλλά όχι πλεονάζουσα π – σύζευξη, είναι αξιοσημείωτο στις αντιδράσεις της B_{12} [44,64,90].

4.7.3 Τροφές που περιέχουν κοβάλτιο

Τα κυριότερα τρόφιμα στα οποία υπάρχει κοβάλτιο είναι τα πράσινα φύλλα των λαχανικών και ορισμένα ψάρια. Συγκεκριμένα τα λαχανικά έχουν 20 – 60 μg/100g τροφίμου, τα οστρακοειδή 225 μg/100g, το συκώτι 15 μg/100g, τα νεφρά 25 μg/100g, το ψαχνό κρέας 12 μg/100g και τα γαλακτοκομικά 1 – 3 μg/100g [36].

4.7.4 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια κοβαλτίου

Η έλλειψη σε κοβάλτιο οδηγεί σε κακοήθη αναιμία συνοδευόμενη από νευρολογικές διαταραχές, καθώς και υπερευαισθησία στο δέρμα και στη γλώσσα. Είναι σχεδόν απίθανο να δημιουργηθεί περίσσεια κοβαλτίου από τρόφιμα. Τοξικότητα μπορεί να υπάρξει όταν γίνεται κάποια αγωγή με φάρμακα που περιέχουν κοβάλτιο. Στις περιπτώσεις αυτές, τα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι βρογχοκήλη, υποθυρεοειδισμός και καρδιακή ανεπάρκεια. Επίσης μπορεί να προκαλέσει πολυκυτταιμία [36,43,45].

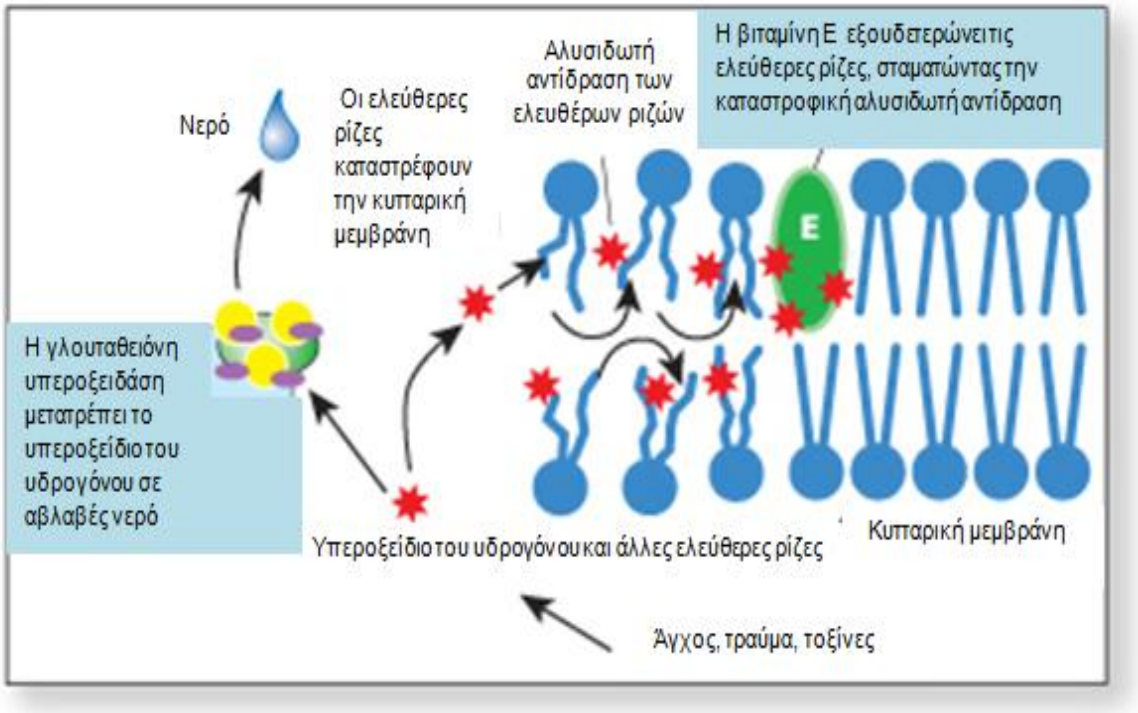
4.8 Σελήνιο

4.8.1 Βιολογική δράση σελενίου

Το σελήνιο βρίσκεται σε όλα σχεδόν τα κύτταρα όλων των οργάνων του ανθρωπίνου σώματος. Η μορφή με την οποία βρίσκεται ποικίλει από όργανο

σε όργανο. Σε μεγαλύτερο ποσοστό απαντάται στο ήπαρ και στα νεφρά. Απόλυτα όμως η μεγαλύτερη ποσότητα του σεληνίου βρίσκεται στους μύες. Ο καρδιακός μυς έχει μεγαλύτερη αναλογία σεληνίου από τους μύες του σκελετού [36].

Το σελήνιο, μαζί με τις βιταμίνες A, C και E που δρουν συνεργικά και έχουν αντιοξειδωτική δράση, εξουδετερώνει την περίσσεια των ελευθέρων ριζών, που είναι καταστροφικές για τον οργανισμό γιατί προσβάλλουν, και πολλές φορές καταστρέφουν, τις κυτταρικές μεμβράνες καθώς και το μόριο του DNA (Εικόνα 65).

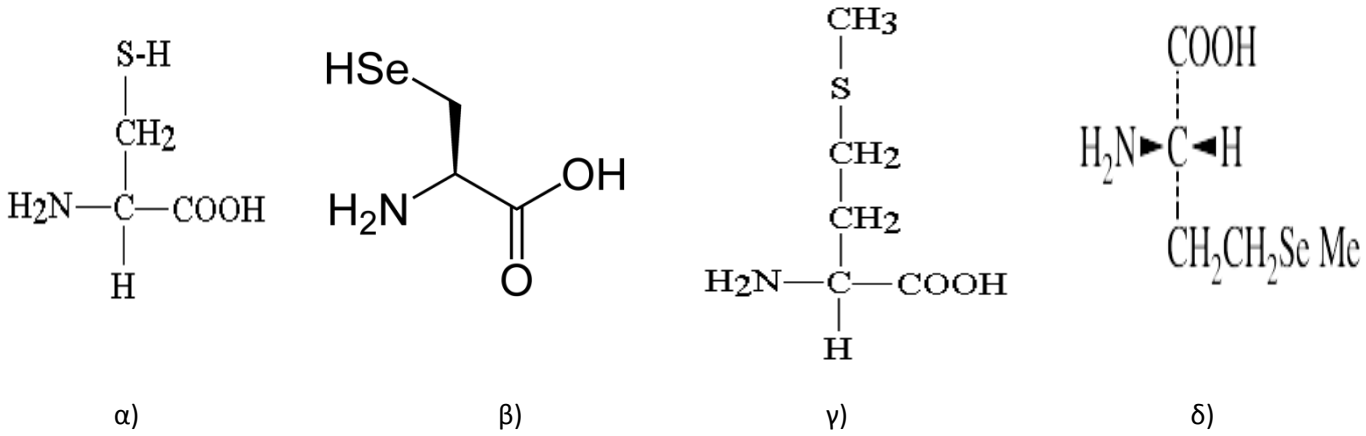


Εικόνα 65: Μηχανισμός καταστροφής της κυτταρικής μεμβράνης από τις ελεύθερες ρίζες.

Το σελήνιο συμμετέχει έμμεσα στην εξουδετέρωση των ελευθέρων ριζών, γιατί η βιολογική του δράση δεν οφείλεται στο ίδιο το στοιχείο αλλά στις ενώσεις του. Αποτελεί το ενεργό κέντρο των ενζύμων υπεροξειδάση της γλουταθειόνης και αναγωγάση της θειορεδοξίνη. Αυτά τα ένζυμα είναι που ανάγουν τους οξειδωτικούς παράγοντες, ενώ η βιταμίνη Ε εμποδίζει το σχηματισμό των υπεροξειδίων [5,36,91,92].

4.8.2 Το σελήνιο στην υπεροξειδάση της γλουταθειόνης

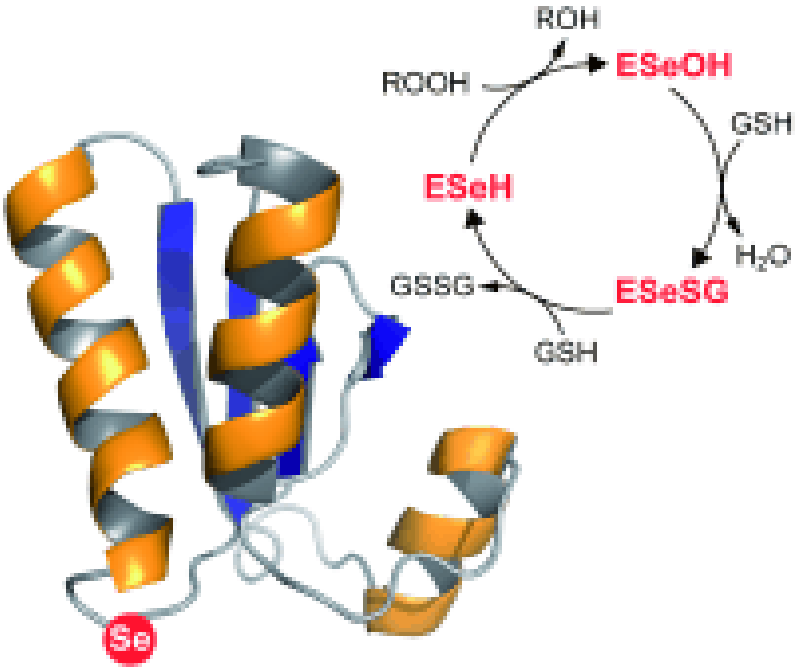
Η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης βρίσκεται στα μιτοχόνδρια και στο κυτταρόπλασμα και περιέχει τέσσερα άτομα σεληνίου στο μόριο της. Η ποσότητα αυτή είναι σημαντική, αν λάβει κανείς υπ' όψη του τα εκατομμυριοστά του γραμμαρίου (μg) του σεληνίου που υπάρχουν στο σώμα μας και που είναι κατανεμημένα σε όλους τους ιστούς. Το σελήνιο, που προέρχεται από διάφορες τροφές, αντιδρά με τα θειούχα-αμινοξέα (κυστεΐνη, μεθειονίνη κ.λπ.) (Εικόνα 66) προς σχηματισμό του ενζύμου και εν συνεχεία ενσωματώνεται σε διάφορες πρωτεΐνες, όπως η αιμοσφαιρίνη και μυοσφαιρίνη, ενώ συναντάται και στα αιμοπετάλια και στα λευκά αιμοσφαίρια και συμμετέχει με αυτό τον τρόπο στους μηχανισμούς θρόμβωσης του αίματος και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης, είναι ένας άριστος καταστροφέας της περίσσειας των ελευθέρων ριζών και δεν μπορεί να παραχθεί στον οργανισμό μας αν δεν υπάρχει σελήνιο. Αλλά και η ενζυμική δράση της υπεροξειδάσης της γλουταθειόνης εξαρτάται άμεσα από τη συγκέντρωση του σεληνίου στο αίμα [36,91,92].



Εικόνα 66: α) Αμινοξύ κυστεΐνη, β) Αμινοξύ σεληνοκυστεΐνη, γ) Αμινοξύ μεθειονίνη, δ) Αμινοξύ σεληνομεθειονίνη.

Η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης είναι μια τετραμερής γλυκοπρωτεΐνη. Το μόριο του τετραμερούς αποτελείται από τέσσερα αμινοξέα σεληνοκυστεΐνης που βρίσκονται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου. Το σελήνιο βρίσκεται σε οξειδωτική κατάσταση -1 και δρα καταλυτικά. Στην αρχή οξειδώνεται από το υπεροξείδιο του υδρογόνου προς SeOH και εν συνεχεία παγιδεύεται από ένα

μόριο ανηγμένης γλουταθειόνης (GSH) σχηματίζοντας το μόριο Se-GS και αποβάλλοντας ένα μόριο νερού. Ύστερα, ένα δεύτερο μόριο GSH ανάγει το Se, που αποκτά την αρχική του οξειδωτική κατάσταση (-1), και απελευθερώνεται το οξειδωμένο μόριο GS-GS (Εικόνα 67).



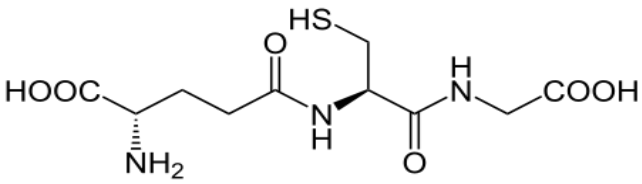
Εικόνα 67: Τεταρτοταγής δομή υπεροξειδάσης της γλουταθειόνης και μηχανισμός αναγωγής ομάδας υπεροξειδιου.

Συνολικά, η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης ανάγει το υπεροξείδιο του υδρογόνου σε νερό (και αλκοόλη αν πρόκειται για οργανικό υπεροξείδιο):

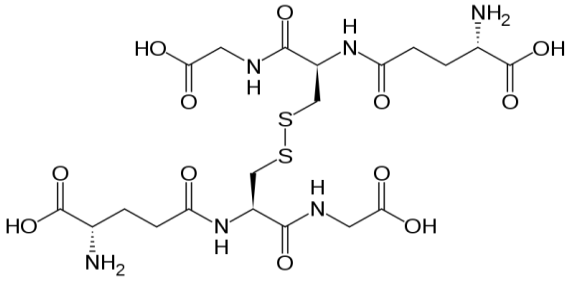
$$2GSH + H_2O_2 \rightarrow GS–SG + 2H_2O$$

Όπου GSH, η ανηγμένη μονομερής γλουταθειόνη (Εικόνα 68), και GS – GS το δισουλφίδιο της γλουταθειόνης (Εικόνα 69). Η αναγωγάση της θειορεδοξίνης ανάγει την οξειδωμένη μορφή της με τη χρήση ενός μορίου NADPH (Νικοτιναμιδο-αδενινο-φωσφορικο-δινουκλεοτίδιο):

$$GS–SG + NADPH + H^+ \rightarrow 2\ GSH + NADP^+$$



Εικόνα 68: Ανηγμένη μονομερής γλουταθειόνη (GSH).



Εικόνα 69: Δισουλφίδιο της γλουταθειόνης (GS – GS).

Επειδή οι ελεύθερες ρίζες, και ειδικότερα οι οξυγονούχες, πιστεύεται ότι ενεργοποιούν τη διαδικασία της καρκινογένεσης, είναι φανερό ότι το σελήνιο, μέσω της υπεροξειδάσης της γλουταθειόνης, συνεισφέρει στην ενίσχυση της άμυνας του οργανισμού μας εναντίον του καρκίνου. Έχει, άλλωστε, διαπιστωθεί ότι οι καρκινοπαθείς έχουν στον ορό του αίματος τους λιγότερη ποσότητα του ενζύμου αυτού. Πιθανόν και άλλες πρωτεΐνες που έχουν σελήνιο να ενεργούν επίσης ευνοϊκά προς την κατεύθυνση αυτή. Επίσης ένα μεγάλο μέρος των γνωστών καρκινογόνων χημικών ουσιών πιστεύεται ότι προκαλούν καρκίνο επειδή ενώνονται με το DNA των κυττάρων και παρεμποδίζουν τη δράση του. Την αντικαρκινική δράση του σεληνίου την συνδέουν και με την αναστολή του σχηματισμού της ένωσης αυτής [5,36].

4.8.3 Τροφές που περιέχουν σελήνιο

Τροφές πλούσιες σε σελήνιο είναι τα θαλασσινά, το συκώτι και άλλα κρέατα, τα σιτηρά και λαχανικά, ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους [45].

4.8.4 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια σεληνίου

Σε περίπτωση που υπάρχει έλλειψη στον οργανισμό σε σελήνιο, παρατηρείται εκφύλιση των μυών και μυϊκός πόνος, καταρράκτης, ελαττωματική παραγωγή σπέρματος, ευπαθή ερυθρά αιμοσφαίρια, καταστροφή του παγκρέατος και του καρδιακού μυός και ανεπαρκής ανάπτυξη στα παιδιά.

Στην περίπτωση που έχουμε υπερβολική λήψη σεληνίου μπορεί να προκληθεί ναυτία, κοιλιακό άλγος, αλλαγές στα νύχια και το τριχωτό της κεφαλής, καταστροφή νεύρων, ήπατος και μυών [45].

4.9 Μολυβδαίνιο

4.9.1 Βιολογική δράση μολυβδαινίου

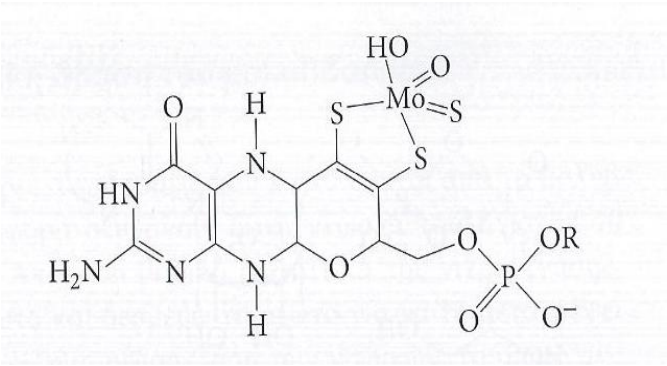
Το μολυβδαίνιο είναι το μόνο από τα στοιχεία της δεύτερης και της τρίτης σειράς των μεταβατικών στοιχείων του περιοδικού πίνακα που παρουσιάζει βιολογικό ενδιαφέρον. Αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο στα ζώα και τον άνθρωπο. Η ποσότητα του μολυβδαινίου που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα είναι 9 mg και βρίσκεται σε πολλούς ιστούς του ανθρώπου, αλλά κυρίως στο ήπαρ, στους νεφρούς και στο αίμα. Είναι απαραίτητο για τη δράση ορισμένων ενζύμων που συμμετέχουν στην αποικοδόμηση, όπως, π.χ. των πουρινών και των θειοαμινοξέων [35,36,43].

Το μολυβδαίνιο έχει ηλεκτρονική διαμόρφωση $4d^5:5s^1$ και παρουσιάζει πολλές οξειδωτικές καταστάσεις και στερεοχημείες. Η μεγαλύτερη βαθμίδα οξείδωσης του Mo είναι η Mo(VI) με ηλεκτρονική διαμόρφωση $4d^0$. Σύμπλοκα του Mo(VI) έχουν μελετηθεί λεπτομερώς, μιας και με τη μορφή MoO_4^{2-}, το μέταλλο απορροφάται από τα ζώα και τα φυτά. Τα περισσότερα μονοπυρηνικά, διπυρηνικά και πολυπυρηνικά σύμπλοκα του Mo έχουν αριθμό συναρμογής 6 και τουλάχιστον ένα διπλό δεσμό Mo-O. Όταν υπάρχουν περισσότερα από ένα ακραία οξυγόνα, αυτά βρίσκονται πάντα σε θέση cis.
Τα σύμπλοκα του Mo(V) είναι κυρίως ανιονικά με οξυγόνο, αλογόνα, θειοκυανιούχα ή κυανιούχα ως υποκαταστάτες. Τα παράγωγα με οξυγόνο συνήθως διμερίζονται με γέφυρες οξυγόνου και δίνουν διαμαγνητικές ενώσεις λόγω αλληλεπίδρασης spin-spin [35].
Οι περισσότερες αντιδράσεις που καταλύονται από τα μολυβδαινοένζυμα περιλαμβάνουν μεταφορά οξυγόνου. Είναι γνωστά τουλάχιστον 10 ένζυμα τα οποία περιέχουν Mo. Αποτελεί βασικό συστατικό της νιτρογενάσης, του ενζύμου που βρίσκεται στα φυτά και δεσμεύει το άζωτο για να το μετατρέψει σε NH_3. Συμμετέχει ακόμα στο ένζυμο αναγωγάση των νιτρικών, το οποίο ανάγει τα NO_3^- προς NO_2^-. Μολυβδαινοένζυμα καταλύουν αντιδράσεις μετατροπής των αλδεϋδών προς καρβοξυλικά οξέα και την οξείδωση των

ιόντων SO_3^{2-} προς SO_4^{2-}. Τα μολυβδαινοένζυμα παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό των ζώων.

Οι οξειδάσες της ξανθίνης, των αλδεϋδών και των θειωδών απαντούν στα θηλαστικά. Τα ένζυμα αυτά περιέχουν στο ενεργό τους κέντρο (cofactor) φλαβινο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο (FAD) που υφίσταται αναγωγή ενός ή δύο ηλεκτρονίων και δίνει ημικινόνες και κινόνες.

Η ενεργή βιολογική μορφή του μολυβδαινίου είναι γνωστή ως συνένζυμο μολυβδαινίου και παριστάνεται ως Moco (Mo-cofactor). Το Moco αποτελείται από ένα ιόν μολυβδαινίου συναρμοσμένο με μία διθειολική ομάδα των τρικυκλικών πυρανοπτερινών (Εικόνα 70) με την απλούστερη να ονομάζεται μολυβδαινοπτερίνη.



Εικόνα 70: Δομή συνενζύμου μολυβδαινίου (Moco).

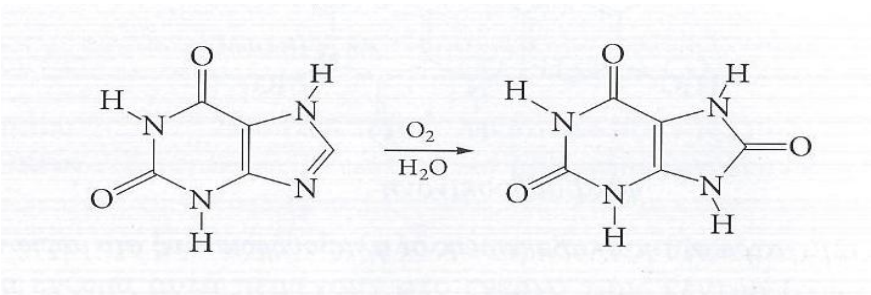
Το Moco είναι συνεργιστικός παράγοντας σε τέσσερα μολυβδαινοένζυμα, την οξειδάση της ξανθίνης, την αφυδρογονάση της ξανθίνης, την οξειδάση των αλδεϋδών και την οξειδάση των θειωδών [35].

4.9.2 Το μολυβδαίνιο στην οξειδάση και αφυδρογονάση της ξανθίνης

Η οξειδάση της ξανθίνης που συμβολίζεται ως XO (xanthine oxidase), ρυθμίζει τον μεταβολισμό του σιδήρου και την παραγωγή ουρικού οξέος. Έχει μοριακό βάρος 270.000. Το ενεργό κέντρο της XO αποτελείται από μία μονάδα μολυβδαινοπτερίνης, το άτομο του Mo είναι συναρμοσμένο με ακραία άτομα οξυγόνου και θείου και ένα ακραίο υδροξύλιο, ενώ στην ανενεργή μορφή το άτομο του θείου αντικαθίσταται με οξυγόνο [35,36].

Η οξειδάση της ξανθίνης και η αφυδρογονάση της ξανθίνης καταλύουν την υδροξυλίωση των πουρινών. Η καταλυτική οξείδωση της ξανθίνης προς

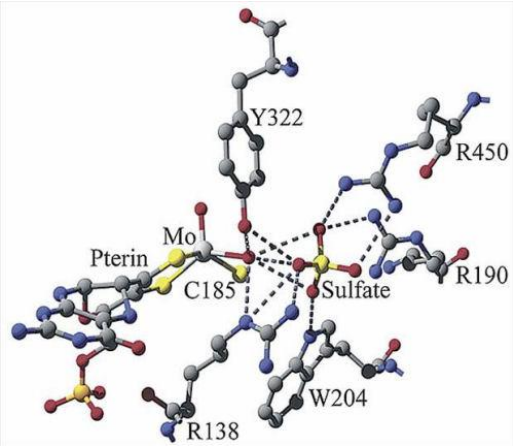
ουρικό οξύ από την οξειδάση της ξανθίνης γίνεται με μεταφορά ενός οξυγόνου από το μολυβδαίνιο στην ξανθίνη (Εικόνα 71). Το οξυγόνο που χρησιμοποιείται για την οξείδωση, προέρχεται από το νερό που συναρμόζεται με το μολυβδαίνιο. Η οξειδάση της ξανθίνης περιέχει δύο άτομα Mo, δύο ομάδες FAD και δύο διαφορετικά clusters Fe_2S_2. Το εξασθενές Mo(VI) μέσω της ενδιάμεσης οξειδωτικής κατάστασης Mo(V) καταλήγει στο τετρασθενές Mo(IV) [35].



Εικόνα 71: Οξείδωση της ξανθίνης προς ουρικό οξύ.

4.9.3 Το μολυβδαίνιο στην οξειδάση των αλδεϋδών και οξειδάση των θειωδών

Η οξειδάση των αλδεϋδών καταλύει την οξείδωση των αλδεϋδών από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, καθώς επίσης και την οξείδωση των πυριμιδινών. Η μεταφορά ηλεκτρονίων γίνεται ανάλογα με αυτήν της οξειδάσης της ξανθίνης.



Εικόνα 72: Το ενεργό κέντρο της οξειδάσης των θειωδών.

Η οξειδάση των θειωδών (Εικόνα 72) καταλύει την οξείδωση των θειωδών προς θειικά, με φυσιολογικό δέκτη ηλεκτρονίων κάποιο κυτόχρωμα c. Και αυτά τα ένζυμα χρησιμοποιούν ως πηγή οξυγόνου το H_2O και όχι το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Η μεταφορά ηλεκτρονίων γίνεται κατά τον εξής τρόπο:

SO_3^{2-} □ Mo □ Αίμη □ O_2

το δε μολυβδαίνιο βρίσκεται στις οξειδωτικές καταστάσεις Mo(VI), Mo(V) και Mo(IV) [35].

4.9.4 Τροφές που περιέχουν μολυβδαίνιο

Μεγάλες σχετικά ποσότητες μολυβδαινίου υπάρχουν στους σπόρους (συμπεριλαμβανομένου και του σίτου). Επίσης, μολυβδαίνιο υπάρχει στο συκώτι, στα φασόλια, στα αβγά, στο κακάο κ.α. Αξιόλογη ποσότητα μολυβδαινίου περιέχουν και τα αλκοολούχα ποτά. Από την ποσότητα του μολυβδαινίου που παίρνουμε με τις τροφές αξιοποιείται μόνο το 50%, ενώ η περίσσειά του αποβάλλεται με τα ούρα [36].

4.9.5 Ασθένειες που σχετίζονται με έλλειψη ή περίσσεια μολυβδαινίου

Παρ' όλη τη σχετικά περιορισμένη παρουσία του στο περιβάλλον, η έλλειψη μολυβδαινίου στον άνθρωπο παρατηρείται σπάνια. Έχει παρατηρηθεί σε αρρώστους με μακροχρόνια παρεντερική διατροφή, στους οποίους έχει αναπτυχθεί σύνδρομο που χαρακτηρίζεται από υποουρικαιμία, υπερμεθειονιναιμία, μικρή έκκριση θειικής ουρίας, ταχυκαρδία, ταχύπνοια και διαταραχές της μνήμης και της όρασης. Η κατάσταση του αρρώστου μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη μολυβδαινικού αμμωνίου στη διατροφή του. Η επιβλαβής δράση λόγω έλλειψης μολυβδαινίου οφείλεται στη συσσώρευση θειωδών που δημιουργούνται από την αποικοδόμηση της L-κυστεΐνης. Τα θειώδη είναι τοξικά για το νευρικό σύστημα και το μολυβδαίνιο τα μεταβολίζει σε μη τοξικά. Επίσης η έλλειψη του προκαλεί καθυστέρηση στην ανάπτυξη του οργανισμού, σε ανωμαλίες στο σφυγμό, σε σεξουαλική υποτονικότητα στους άνδρες, σε κώμα, σε τερηδόνα και σε καρκίνο του οισοφάγου [35,36,43].

Η αυξημένη πρόσληψή του προκαλεί μεταξύ άλλων αναιμία, λύσεις του δέρματος, ουρική αρθρίτιδα και αύξηση του αποβαλλόμενου χαλκού στα ούρα. Για το λόγο αυτό ορισμένες ενώσεις του χρησιμοποιήθηκαν και για αποτοξίνωση από χαλκό [36,43].

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σχέδια μαθήματος

5.1 Σχέδιο μαθήματος: Μυϊκή συστολή

Γενικός Σκοπός

Να συνδέσουν οι μαθητές το Ca^{2+} με τη μυϊκή συστολή.

Επιμέρους Στόχοι

Στο τέλος της διδασκαλίας της ενότητας αυτής οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να:

1. Αναφέρουν τα 3 είδη μυϊκών ιστών και να περιγράφουν το μυ.
2. Περιγράφουν τη διαδικασία της μυϊκής συστολής.
3. Αναφέρουν τη δράση του Ca^{2+} κατά τη μυϊκή συστολή.
4. Περιγράφουν το φαινόμενο της ώσμωσης.
5. Συνδέουν τη δράση του Ca^{2+} με το φαινόμενο της ώσμωσης.

Διδακτική αξιοποίηση

- Βιολογία Α' Λυκείου: Κεφάλαιο 8 «Μυϊκό σύστημα», Ενότητα «Δομή και λειτουργία του σκελετικού μυός».
- Χημεία Β' Λυκείου, Θετικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 1 «Διαμοριακές δυνάμεις – Καταστάσεις της ύλης – Προσθετικές ιδιότητες», Ενότητα 1.2 «Προσθετικές ιδιότητες διαλυμάτων», Παράγραφος «Ώσμωση και Ωσμωτική πίεση».

Χώρος διεξαγωγής της διδασκαλίας

Σχολική τάξη – εργαστήριο σχολείου

Υλικά υποστήριξης της διδασκαλίας

Ανακλαστικός προβολέας διαφανειών

Διαφάνειες

Φύλλο εργασίας

Φύλλο αξιολόγησης

Χρονική διάρκεια

2 ώρες

Προτείνεται ενδεικτική διδακτική προσέγγιση για τη Βιολογία Α΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας

Φάση 1η: Διέγερση ενδιαφέροντος μαθητών

Δείχνουμε στους μαθητές βίντεο από το διαδίκτυο όπου φαίνεται η κίνηση ενός χεριού [1] και μια ανθρώπινη καρδιά που «χτυπά» (πάλλεται) [2]. Ζητάμε από τους μαθητές να απαντήσουν αν γνωρίζουν που διαφέρουν αυτές οι δύο κινήσεις. Εξηγούμε ότι η κίνηση του χεριού γίνεται με τη θέληση μας ενώ της καρδιάς όχι. Αναφέρουμε τους τρεις μυϊκούς ιστούς που συναντάμε στο ανθρώπινο σώμα. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 1 του φύλλου εργασίας]

Φάση 2η: Περιγραφή του μυ

Ρωτάμε τους μαθητές να μας απαντήσουν τι είναι τελικά ο μυς και ειδικά ο σκελετικός μυς, που κινείται με τη θέληση μας. Τους δείχνουμε μια εικόνα ενός μυ και περιγράφουμε τα μέρη που τον αποτελούν (Εικόνα 1). Δίνουμε ιδιαίτερη έμφαση στις πρωτεΐνες που συμμετέχουν στη μυϊκή συστολή και δείχνουμε εικόνες τους (Εικόνες 2 και 3). [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 2 του φύλλου εργασίας]

Φάση 3η: Περιγραφή της μυϊκής συστολής

Ξεκινάμε συζήτηση με τους μαθητές για το πώς κάνουμε το μυ να κινηθεί. Στη συζήτηση αναφέρουμε τη συμμετοχή του εγκεφάλου και των νευρικών ερεθισμάτων στη μυϊκή συστολή. Τους δείχνουμε προσομοίωση από το εμπλουτισμένο ηλεκτρονικό βιβλίο του μαθητή (Ψηφιακό σχολειό) για το νευρικό ερέθισμα [3]. Δείχνουμε εικόνα του μυϊκού κυττάρου με τα μέρη που

συμμετέχουν στη μυϊκή συστολή και τα περιγράφουμε (Εικόνα 4). Δίνουμε ιδιαίτερη έμφαση στο σαρκομερίδιο (Εικόνα 5). Εξηγούμε παρουσιάζοντας εικόνες τη διαδικασία της μυϊκής συστολής (Εικόνες 5 και 6) και εν συνεχεία δείχνουμε βίντεο προκειμένου να γίνει πλήρως κατανοητή [4]. [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 3 και 4 του φύλλου εργασίας]

Φάση 4η: Ο ρόλος του Ca^{2+} στη μυϊκή συστολή

Ρωτάμε τους μαθητές αν πρόσεξαν ποιο χημικό στοιχείο (μέταλλο) συμμετείχε στη μυϊκή συστολή. Ξεκινάμε συζήτηση για το που αλλού έχουμε ασβέστιο στον οργανισμό μας και για το ρόλο που φάνηκε να παίζει στη μυϊκή συστολή. Δείχνουμε εικόνα όπου παρουσιάζεται η δράση του ασβεστίου (Εικόνα 7) και προσομοίωση για να γίνει πλήρως κατανοητή [5,6]. Επικεντρωνόμαστε στο γεγονός ότι το ασβέστιο εξέρχεται από το σαρκοπλασματικό δίκτυο μόλις ανοίξουν οι δίαυλοι ασβεστίου, και ρωτάμε τους μαθητές που νομίζουν ότι οφείλεται αυτό. Τους αναφέρουμε ότι αυτό συμβαίνει λόγο του φαινομένου της ώσμωσης. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5 του φύλλου εργασίας]

Φάση 5η: Περιγραφή του φαινομένου της ώσμωσης

Δείχνουμε στους μαθητές εικόνα (Εικόνα 9) με δύο διαλύματα που είναι σε επαφή μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης. Περιγράφουμε το ρόλο της ημιπερατής μεμβράνης και τους εξηγούμε το φαινόμενο της ώσμωσης δείχνοντας τους παράλληλα και ένα προσομοίωση [7]. Μετά δείχνουμε εικόνα (Εικόνα 8) με τη μεμβράνη του σαρκοπλασματικού δικτύου που διαθέτει ειδικά κανάλια για το Ca^{2+} και εξηγούμε στους μαθητές την έξοδο του ασβεστίου με το φαινόμενο της ώσμωσης. [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 6 και 7 του φύλλου εργασίας]

Φάση 6η: Ο ρόλος του ασβεστίου στον ανθρώπινο οργανισμό

Ξεκινάμε συζήτηση με τους μαθητές για το γενικό ρόλο του ασβεστίου στον ανθρώπινο οργανισμό. Εκτός από το ρόλο του στη μυϊκή συστολή που περιγράψαμε αναφέρουμε το ρόλο του στα οστά και στα δόντια, δείχνοντας τον μοριακό τύπο του υδροξυαπατίτη και εικόνες της δομής των οστών (Εικόνες 10 και 11). Λέμε στους μαθητές ότι με τη μορφή του υδροξυαπατίτη το ασβέστιο βρίσκεται και στο πλάσμα του αίματος. Τέλος αναφέρουμε ότι το

ασβέστιο το συναντάμε και σε διάφορες πρωτεΐνες και ένζυμα, όπως η παρβαλβουμίνη, η τροπονίνη, η καλσικουεστρίνη, η κονκαναβαλίνη Α, η σταφυλοκοκκική νουκλεάση και η θερμολυσίνη, όπου το ασβέστιο έχει είτε δομικό είτε καταλυτικό ρόλο.

Φάση 7η: Πείραμα ώσμωσης

Πραγματοποιείται από τον καθηγητή ένα πείραμα που προσομοιώνει τη λειτουργία της πλασματικής μεμβράνης και το φαινόμενο της ώσμωσης.

Στόχοι: Να μπορούν οι μαθητές στο τέλος της διδακτικής ώρας

- Να προβλέπουν την πορεία του νερού όταν έχουν δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης που διαχωρίζονται από ημιπερατή μεμβράνη.
- Να αναγνωρίζουν πότε ένα διάλυμα χαρακτηρίζεται ως υπερτονικό, υποτονικό και ισοτονικό.

Όργανα – Υλικά

- 2 αβγά κότας
- 2 ποτήρια ζέσεως (250 mL)
- 1 κουτάλι της σούπας
- Ξύδι
- Σιρόπι
- Απεσταγμένο νερό
- Χρωστική ζαχαροπλαστικής
- 1 εργαστηριακό ζυγό

Πορεία μεθόδου

1. Για αρχή πρέπει να αφαιρέσουμε το περίβλημα των αβγών (τσόφλι). Γι' αυτό τοποθετούμε ξύδι στα δύο ποτήρια και βυθίζουμε ένα αβγό στο καθένα. Τα αφήνουμε για 48 ώρες.
2. Μετά το πέρας των 48 ωρών το τσόφλι έχει διαλυθεί και έχουμε ένα ωμό αβγό, που περιβάλλεται από μια μεμβράνη, που θα προσομοιώσει την ημιπερατή πλασματική μεμβράνη των κυττάρων.

3. Αφαιρούμε τα αβγά από τα ποτήρια και τα ξεπλένουμε με λίγο νερό κάτω από τη βρύση. Τα σκουπίζουμε και τα ζυγίζουμε. Επίσης ξεπλένουμε τα ποτήρια. [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις τους]
4. Στο ένα ποτήρι βάζουμε νερό και λίγη χρωστική ζαχαροπλαστικής και ανακατεύουμε για να χρωματιστεί όλο το διάλυμα και στο άλλο ποτήρι βάζουμε σιρόπι. Βυθίζουμε ένα αβγό σε κάθε ποτήρι και τα αφήνουμε για 24 ώρες.
5. Μετά το πέρας των 24 ωρών αφαιρούμε τα αβγά από τα ποτήρια και τα ξεπλένουμε με λίγο νερό κάτω από τη βρύση. Τα σκουπίζουμε και τα ζυγίζουμε. [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις τους]
6. Ακολουθεί συζήτηση γύρω από τις παρατηρήσεις που σημείωσαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια του πειράματος, το φαινόμενο της ώσμωσης και τα υπέρτονα, ισότονα και υπότονα διαλύματα. [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 3,4 και 5 του φύλλου εργασίας του πειράματος]

Φάση 8η: Αξιολόγηση

Links για προσομοίωση και βίντεο

1. http://www.youtube.com/watch?v=uc-ZnDX9C1c
2. http://www.youtube.com/watch?v=nCPOio1FQ5Q
3. http://digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-A105/321/2155,7811/unit=1727
4. http://www.youtube.com/watch?v=e3Nq-P1ww5E&feature=related
5. http://legacy.owensboro.kctcs.edu/gcaplan/anat/notes/API%20Notes%20J%20%20Muscle%20Contraction.htm
6. http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072507470/student_view0/chapter9/προσομοίωση__action_potentials_and_muscle_contraction.html
7. http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student_view0/chapter2/προσομοίωση__how_osmosis_works.html

5.1.1 Φύλλο εργασίας

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Ποια τα τρία είδη του μυϊκού ιστού; Ποιος από τους τρεις συστέλλεται με τη θέληση μας; (Στόχος 1)

   α) .....

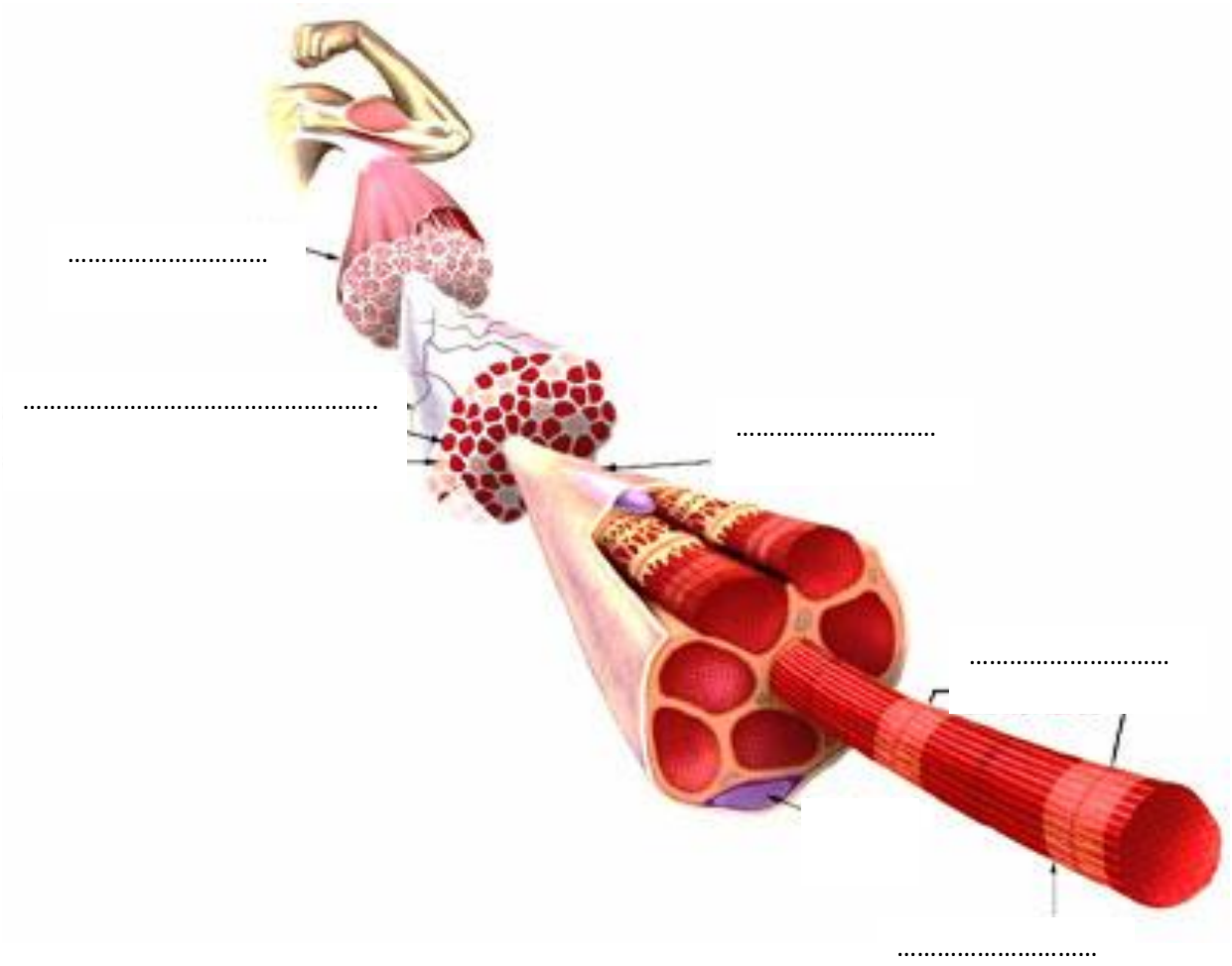
   β) .....

   γ) .....

   .....

   .....

2. Συμπληρώστε τα μέρη του μυ στην παρακάτω φωτογραφία. (Στόχος 1)



3. Σε ποιο μέρος του μυϊκού κυττάρου συντελείται η μυϊκή συστολή και ποιες πρωτεΐνες το αποτελούν; (Στόχος 2)

.....

.....

.....

.....

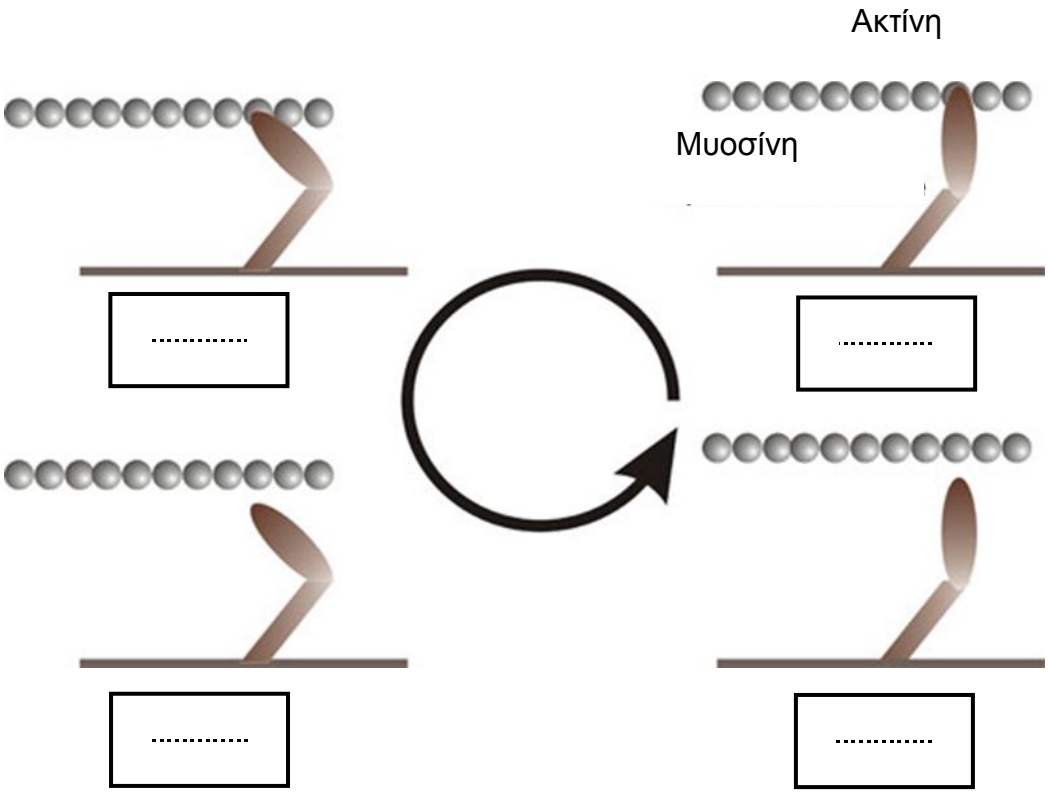
4. Τοποθετήστε την κατάλληλη φράση κάτω από κάθε εικόνα. (Στόχος 2)

α) Χαλαρός μυς

β) Μετατόπιση της ακτίνης (συστολή του μυός)

γ) Η μυοσίνη συνδέεται στην ακτίνη

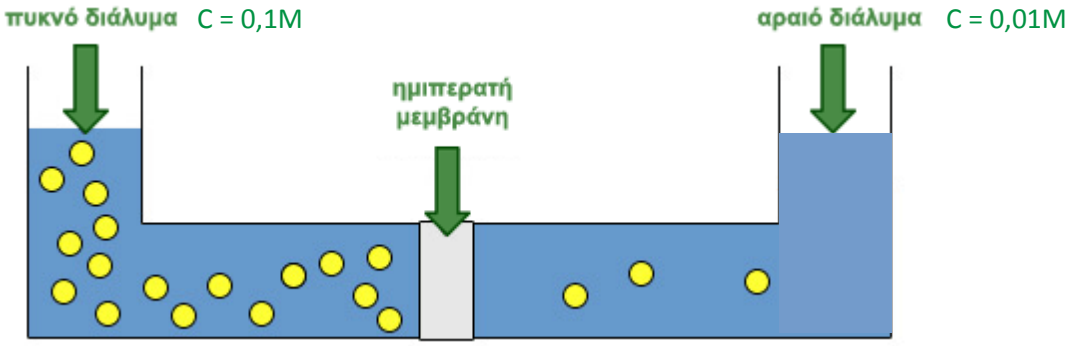
δ) Η μυοσίνη αποσυνδέεται από την ακτίνη



5. Συμπληρώστε με τις κατάλληλες λέξεις τα κενά στο παρακάτω κείμενο. (Στόχος 2 και 3)

Η μυϊκή συστολή ξεκινάει όταν η μυϊκή.....δεχτεί ένα.....ερέθισμα από τον.....Αμέσως πυροδοτείται η απελευθέρωση ιόντων .....από το.....δίκτυο, τα οποία με τη σειρά τους ενεργοποιούν τα ινίδια της .....Συγκεκριμένα τα ιόντα..... συνδέονται στην....., μετατοπίζουν την.....και έτσι επιτρέπεται στην..... να συνδεθεί με την ακτίνη.

6. Στην παρακάτω φωτογραφία έχουμε φέρει σε επαφή δύο διαλύματα ζαχαρόνερου μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης. Σύμφωνα με το φαινόμενο της ώσμωσης ποιου διαλύματος ο όγκος θα αυξηθεί και γιατί; (Στόχος 4)



.....
.....
.....
.....

7. Στο εσωτερικό του σαρκοπλασματικού δικτύου η συγκέντρωση του Ca^{2+} είναι 10^{-3} mol/L, ενώ στο σαρκόπλασμα (κυτταρόπλασμα) η συγκέντρωση Ca^{2+} είναι περίπου 10^{-7} mol/L. Σύμφωνα με το φαινόμενο της ώσμωσης τα ιόντα ασβεστίου θα έπρεπε να εισέλθουν ή να εξέλθουν από το σαρκοπλασματικό δίκτυο; Γιατί δε συμβαίνει αυτό; Πότε τελικά έχουμε μετακίνηση ιόντων ασβεστίου; (Στόχος 5)

5.1.2 Φύλλο εργασίας πειράματος

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Συμπληρώστε κατάλληλα των παρακάτω πίνακα κατά τη διάρκεια του πειράματος.

	Μάζα (σε γραμμάρια)		Διαφορά μάζας	Παρατηρήσεις
Μέρα	1η	2η		
Αβγό 1				
Αβγό 2				

2. Υπολογίστε τη διαφορά μάζας στα δύο αβγά. Γιατί στο ένα αβγό αυξήθηκε η μάζα του και στο άλλο μειώθηκε; (Κόψτε τα αβγά στη μέση για να επιβεβαιώσετε τα συμπεράσματα σας).

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. i) Το απεσταγμένο νερό είναι σε σχέση με το εσωτερικό του αβγού: (Επιλέξτε τη σωστή απάντηση)

α) υπέρτονο διάλυμα

β) ισότονο διάλυμα

γ) υπότονο διάλυμα

ii) και γι' αυτό:

α) εισήλθε νερό στο αβγό

β) εξήλθε νερό από το αβγό

γ) ούτε εισήλθε ούτε εξήλθε νερό από το αβγό

4. i) Το σιρόπι είναι σε σχέση με το εσωτερικό του αβγού: (Επιλέξτε τη σωστή απάντηση)

α) υπέρτονο διάλυμα

β) ισότονο διάλυμα

γ) υπότονο διάλυμα

ii) και γι' αυτό:

α) εισήλθε νερό στο αβγό

β) εξήλθε νερό από το αβγό

γ) ούτε εισήλθε ούτε εξήλθε νερό από το αβγό

5. Για ποιο λόγο πιστεύετε ότι ψεκάζουν με νερό τα λαχανικά στα μανάβικα;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

2. Στο αβγό που είχαμε βυθίσει στο απεσταγμένο νερό αυξήθηκε η μάζα του γιατί το νερό εισήλθε στο αβγό μέσω της ημιπερατής μεμβράνης που το περιβάλλει. Αυτό συνέβη γιατί, σύμφωνα με το φαινόμενο της ώσμωσης, η ουσία, εδώ το νερό, μετακινείται από το αραιό διάλυμα στο πυκνό προκειμένου να εξισορροπηθούν οι συγκεντρώσεις. Το εσωτερικό του αβγού περιέχει μικρή ποσότητα νερού και γι' αυτό το απεσταγμένο νερό εισέρχεται.
   Στο αβγό που είχαμε βυθίσει στο σιρόπι μειώθηκε η μάζα του γιατί το νερό εξήλθε από το αβγό. Αυτό συνέβη γιατί το εσωτερικό του αβγού περιέχει μικρή ποσότητα νερού μεν αλλά το σιρόπι περιέχει ακόμα λιγότερη. Γι' αυτό το νερό εξέρχεται από το αβγό.

3. i) γ
   ii) α

4. i) α
   ii) β

5. Τα λαχανικά καθώς περνούν οι μέρες αφυδατώνονται και συρρικνώνονται (μαραζώνουν). Τα ψεκάζουν με νερό, προκειμένου μέρος αυτού να εισέλθει στο εσωτερικό του λαχανικού, μέσω της εξωτερικής του μεμβράνης κι έτσι να αποκτήσει όγκο και την όψη του φρεσκοκομμένου.

5.1.3 Φύλλο αξιολόγησης

ΦΥΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

Βαθμός:

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) Για να επιτελέσει ένα μυϊκό κύτταρο μία απλή συστολή χρειάζεται:

i) νευρικό ερέθισμα,

ii) ιόντα Ca^{2+},

iii) ATP,

iv) όλα τα παραπάνω.

β) Στη μυϊκή συστολή:

i) ιδιαίτερο ρόλο παίζει η απελευθέρωση των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) από το σαρκομερίδιο,

ii) η ελάττωση του μήκους του σαρκοπλασματικού δικτύου, είναι αποτέλεσμα της ελάττωσης του μήκους του μυός,

iii) χρειάζεται απελευθέρωση ενέργειας, που γίνεται από τη διάσπαση του ADP σε ATP,

iv) η απελευθέρωση των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) στο σαρκόπλασμα γίνεται με την επίδραση νευρικού ερεθίσματος.

γ) Κατά τη διάρκεια της μυϊκής συστολής:

i) τα νημάτια της μυοσίνης των σαρκομερίων ολισθαίνουν κατά μήκος των νηματίων ακτίνης,

ii) τα νημάτια της ακτίνης των σαρκομερίων ολισθαίνουν κατά μήκος των νηματίων μυοσίνης,

iii) η κίνηση των νηματίων ακτίνης των σαρκομερίων συστέλλει τα νημάτια μυοσίνης,

iv) η κίνηση των νηματίων μυοσίνης των σαρκομερίων συστέλλει τα νημάτια ακτίνης.

δ) Κατά τη μυϊκή συστολή τα ιόντα Ca^{2+} συνδέονται με την πρωτεΐνη:

i) ακτίνη

ii) μυοσίνη

iii) τροπονίνη

iv) τροπομυοσίνη

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

Στήλη Α	Στήλη Β
1) Αποθήκη ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+})	α) Μυϊκά ινίδια
2) Ακτίνη και μυοσίνη	β) Σαρκοπλασματικό δίκτυο
3) Νευρικό ερέθισμα	γ) Κανάλια Ca^{2+}
4) Μυϊκή ίνα	δ) Σαρκομερίδιο

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Το χαρακτηριστικό κύτταρο του μυϊκού ιστού είναι το μυϊκό ινίδιο.

β) Ο λείος μυϊκός ιστός συστέλλεται με τη θέληση μας

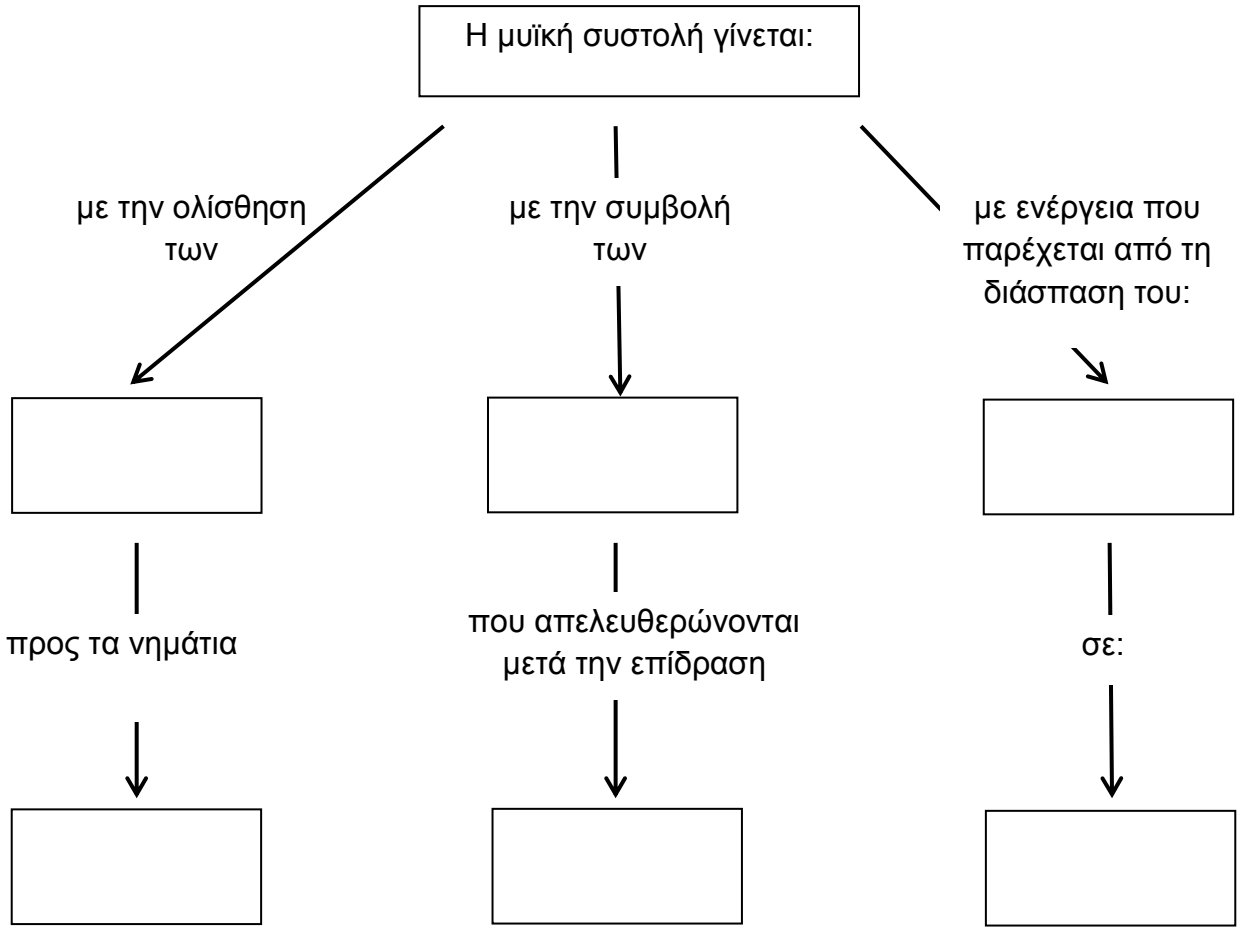
γ) Η μυοσίνη, η ακτίνη και η τροπομυοσίνη αποτελούν ένα σύμπλεγμα πρωτεινών.

δ) Τα ιόντα Ca^{2+} κατά τη μυϊκή συστολή εξέρχονται από το σαρκοπλασματικό δίκτυο και εισέρχονται στο σαρκόπλασμα.

4. Κατά τη διάρκεια έντονης γυμναστικής άσκησης συχνά λέμε ότι «μας έπιασε» κράμπα και τεντώνουμε το πόδι μας προκειμένου να το ξεπεράσουμε. Τι νομίζεις ότι συμβαίνει στο μυ στην περίπτωση αυτή;

……
……
……
……

5. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τον παρακάτω εννοιολογικό χάρτη.



ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

   α) iv

   β) iv

   γ) ii

   δ) iii

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

   1) – β)
   2) – δ)
   3) – γ)
   4) – α)

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

   α) Λ

   β) Λ

   γ) Λ

   δ) Σ

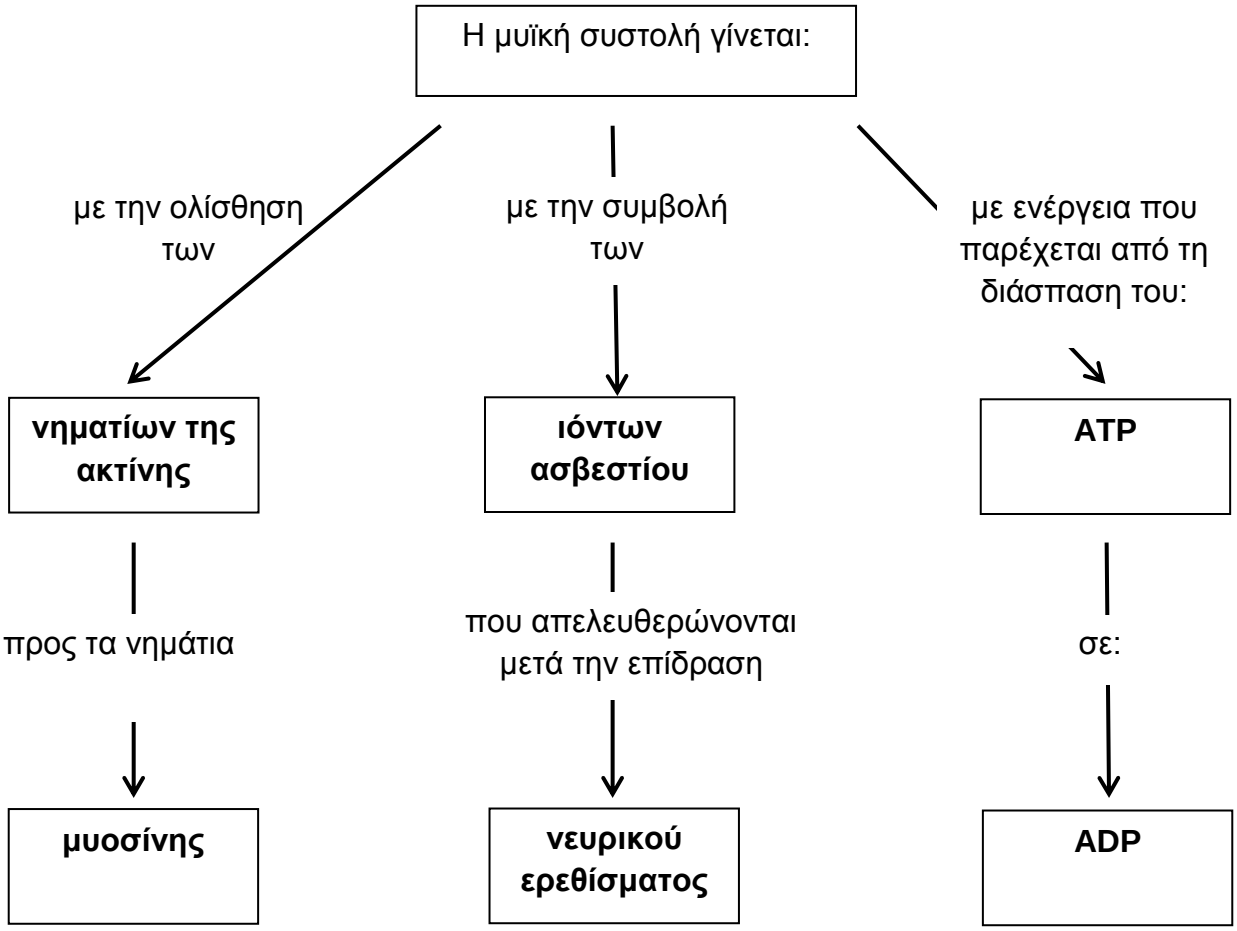
4. Κατά τη διάρκεια έντονης γυμναστικής άσκησης συχνά λέμε ότι «μας έπιασε» κράμπα και τεντώνουμε το πόδι μας προκειμένου να το ξεπεράσουμε. Τι νομίζεις ότι συμβαίνει στο μυ στην περίπτωση αυτή;

Απάντηση:

Η κράμπα είναι μια ακούσια παρατεταμένη συστολή του μυός. Εξαιτίας της προκαλείται ερεθισμός ορισμένων νευρικών απολήξεων και πόνος. Το

φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες στους αθλητές, ιδίως ύστερα από μακρά εξαντλητική προσπάθεια και έντονη εφίδρωση. Η κράμπα υποχωρεί συνήθως όταν τεντώσουμε το μυ και του κάνουμε ελαφριά εντριβή.

5. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τον παρακάτω εννοιολογικό χάρτη.



5.2 Σχέδιο μαθήματος: Νευρικό ερέθισμα

Γενικός Σκοπός

Να συνδέσουν οι μαθητές τα K^+ - Na^+ με το νευρικό ερέθισμα.

Επιμέρους Στόχοι

Στο τέλος της διδασκαλίας της ενότητας αυτής οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να:

1. Περιγράφουν το νευρικό σύστημα και το νευρικό κύτταρο.
2. Διακρίνουν τα τρία είδη νευρώνων.
3. Κατανοούν τον τρόπο δημιουργίας και μεταβίβασης της νευρικής ώσης.
4. Περιγράφουν το ρόλο των ιόντων K^+ - Na^+ κατά τη νευρική ώση χρησιμοποιώντας το φαινόμενο της ώσμωσης.
5. Να συνδέουν το φαινόμενο της νευρικής ώσης με τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού.
6. Προσδιορίζουν τη λειτουργική σχέση του νευρικού και μυϊκού συστήματος.

Διδακτική αξιοποίηση

- Βιολογία Α’ Λυκείου: Κεφάλαιο 9 «Νευρικό σύστημα», Ενότητα «Δομή και λειτουργία των νευρικών κυττάρων».
- Χημεία Β’ Λυκείου, Θετικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 1 «Διαμοριακές δυνάμεις – Καταστάσεις της ύλης – Προσθετικές ιδιότητες», Ενότητα 1.2 «Προσθετικές ιδιότητες διαλυμάτων», Παράγραφος «Ώσμωση και Ωσμωτική πίεση».
- Βιολογία Β’ Λυκείου, Θετικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 2 «Συστήματα συντονισμού», Ενότητα «Ο ρόλος του νευρικού συστήματος».
- Φυσική Β’ Λυκείου, Γενικής Παιδείας: Κεφάλαιο 3.1 «Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων», Ενότητα «Δυναμικό – Διαφορά Δυναμικού».

Χώρος διεξαγωγής της διδασκαλίας

Σχολική τάξη

Υλικά υποστήριξης της διδασκαλίας

Ανακλαστικός προβολέας διαφανειών

Διαφάνειες

Φύλλο εργασίας

Φύλλο αξιολόγησης

Χρονική διάρκεια

2 ώρες

Προτείνεται ενδεικτική διδακτική προσέγγιση για τη Βιολογία Α΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας

Φάση 1η: Διέγερση ενδιαφέροντος μαθητών

Δείχνουμε στους μαθητές βίντεο από το διαδίκτυο όπου φαίνεται το νευρικό σύστημα και πώς ο εγκέφαλος στέλνει μήνυμα στο δάχτυλο μας για να κινηθεί [1]. Ζητάμε από τους μαθητές να απαντήσουν σε ποιες άλλες περιπτώσεις ο εγκέφαλος στέλνει μηνύματα (π.χ. στους ιδρωτοποιούς αδένες όταν ανεβαίνει η θερμοκρασία του σώματος). Περιγράφουμε το ρόλο και τα μέρη του νευρικού συστήματος καθώς και τα εκτελεστικά όργανα (μυς και αδένες) στα οποία στέλνει εντολές. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 1 του φύλλου εργασίας]

Φάση 2η: Περιγραφή των νευρώνων

Ρωτάμε τους μαθητές να μας απαντήσουν αν πιστεύουν ότι το νευρικό σύστημα αποτελείται από κύτταρα που έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τους επισημαίνουμε το γεγονός της εξωπραγματικής ταχύτητας με την οποία μεταφέρονται τα μηνύματα από και προς τον εγκέφαλο. Τους δείχνουμε μια εικόνα ενός νευρώνα και περιγράφουμε τα δύο είδη κυττάρων που τον αποτελούν (Εικόνα 1). Στη συνέχεια με δεύτερη εικόνα περιγράφουμε όλα τα μέρη του νευρώνα (Εικόνα 2). Τέλος αναφέρουμε τα τρία είδη νευρώνων και τις λειτουργίες που επιτελούν. [Συμπληρώνουν οι μαθητές τις ερωτήσεις 2 και 3 του φύλλου εργασίας]

Φάση 3η: Περιγραφή του νευρικού ερεθίσματος και της διαφοράς δυναμικού που επικρατεί στο νευρώνα

Ξεκινάμε συζήτηση με τους μαθητές για το πώς ο εγκέφαλος μας δίνει εντολή στο μυ να απομακρύνει το χέρι μας όταν αυτό έρθει σε επαφή με ένα καυτό αντικείμενο. Στη συζήτηση αναφέρουμε ότι το ερέθισμα που προκάλεσε το καυτό αντικείμενο μεταφέρεται ταχύτατα στον εγκέφαλο όπως ταχύτατα έρχεται και η εντολή και όλα αυτά διαμέσου του νευρικού ιστού. Δείχνουμε εικόνα με τη μεμβράνη των νευρικών κυττάρων και περιγράφουμε την κατάσταση που επικρατεί στον εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο χώρο όσο αφορά τις συγκεντρώσεις των ιόντων και τη διαφορά δυναμικού που δημιουργείται (Εικόνες 3 και 4), επισημαίνοντας την πολικότητα της μεμβράνης και τη σχέση που συνδέει τη διαφορά δυναμικού με τη διαφορά των συγκεντρώσεων των φορτισμένων σωματιδίων [Αναφέρουμε τη σχέση Nernst: $\Delta E = -(0,05916/n)\log(C_{αν.}/C_{οξ.})$] [2]. Περιγράφουμε την αντλία Na^+/K^+ και τονίζουμε το ρόλο της στη διατήρηση της ισορροπίας αυτής δείχνοντας παράλληλα μία εικόνα (Εικόνα 5) και μια προσομοίωση [3]. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 4 του φύλλου εργασίας]

Φάση 4η: Αλλαγή στην πολικότητα της μεμβράνης και ο ρόλος των ιόντων Na^+/K^+

Ρωτάμε τους μαθητές πώς πιστεύουν ότι μεταφέρονται τα μηνύματα από και προς τον εγκέφαλο. Περιγράφουμε το σύστημα των νευρώνων και τους δείχνουμε μια προσομοίωση [4]. Ακολούθως αναφέρουμε ότι η διαταραχή που φαίνεται να μεταδίδεται μέσω των νευρώνων ονομάζεται νευρική ώση και ουσιαστικά πρόκειται για μια αλλαγή στην πολικότητα της μεμβράνης. Δείχνουμε μια εικόνα που περιλαμβάνει τα κανάλια K^+ και Na^+ (Εικόνα 6) και εξηγούμε ότι μέσω αυτών μπορούν να διέλθουν τα ιόντα (λόγω του φαινομένου της ώσμωσης) και να αλλάξει η πολικότητα της μεμβράνης. Δείχνουμε ένα προσομοίωση για να γίνει πλήρως κατανοητό και εξηγούμε το ρόλο των καναλιών και της αντλίας Na^+/K^+ στις αλλαγές της πολικότητας της μεμβράνης [5]. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5 του φύλλου εργασίας]

Φάση 5η: Περιγραφή του φαινομένου της ώσμωσης

Επικεντρωνόμαστε στο γεγονός ότι το Na^+ και το K^+ εισέρχονται και εξέρχονται, αντίστοιχα, από την πλασματική μεμβράνη, μόλις ανοίξουν τα αντίστοιχα κανάλια, και ρωτάμε τους μαθητές που νομίζουν ότι οφείλεται αυτό. Τους αναφέρουμε ότι αυτό συμβαίνει λόγω του φαινομένου της ώσμωσης. Δείχνουμε στους μαθητές εικόνα (Εικόνα 7) με δύο διαλύματα που είναι σε επαφή μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης. Περιγράφουμε το ρόλο της ημιπερατής μεμβράνης και τους εξηγούμε το φαινόμενο της ώσμωσης. Μετά δείχνουμε εικόνα (Εικόνα 8) με την πλασματική μεμβράνη που διαθέτει τα ειδικά κανάλια Na^+ και K^+ και τις συγκεντρώσεις τους στον εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο χώρο και εξηγούμε στους μαθητές την έξοδο και την είσοδο των ιόντων με το φαινόμενο της ώσμωσης. Τέλος ρωτάμε τους μαθητές ποια η διαφορά ανάμεσα στην μετακίνηση των ιόντων μέσω των καναλιών και μέσω της αντλίας Na^+/K^+ και τους εξηγούμε τη διαφορά ανάμεσα στην παθητική και ενεργητική μεταφορά. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 6 του φύλλου εργασίας]

<u>Φάση 6η:</u> Περιγραφή της νευρικής ώσης

Στη φάση αυτή τονίζουμε στους μαθητές ότι η αλλαγή στην πολικότητα της μεμβράνης είναι το πρώτο βήμα για τη μετάδοση του ερεθίσματος (Εικόνα 9). Εξηγούμε ότι η αλλαγή της πολικότητας διαδίδεται κατά μήκος της μεμβράνης και δείχνουμε μια εικόνα (Εικόνα 10) και μια προσομοίωση όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως διαδίδεται η διαταραχή αυτή [6]. Τους τονίζουμε πως η διαταραχή μεταφέρεται πάντα προς μία κατεύθυνση και περιγράφουμε συνολικά το φαινόμενο, παρουσιάζοντας ξανά τον ρόλο των καναλιών και της αντλίας Na^+/K^+, δείχνοντας μία εικόνα (Εικόνα 11) και μια προσομοίωση από το εμπλουτισμένο ηλεκτρονικό βιβλίο του μαθητή (Ψηφιακό σχολειό) για τη νευρική ώση [7]. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 7 του φύλλου εργασίας]

<u>Φάση 7η:</u> Περιγραφή της σύναψης

Ρωτάμε τους μαθητές να μας πουν πως πιστεύουν ότι μεταφέρεται το σήμα-διαταραχή από τον έναν νευρώνα στον άλλον ή στα εκτελεστικά όργανα (μυς και αδένες). Δείχνουμε δύο εικόνες (Εικόνα 12 και 13) και περιγράφουμε την έννοια της σύναψης στους μαθητές. Στη συνέχεια δείχνουμε μια εικόνα

σύναψης και περιγράφουμε τη δομή της (Εικόνα 14). Τέλος περιγράφουμε τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη σύναψη όταν φτάνει το ερέθισμα και πως μεταφέρεται στον επόμενο νευρώνα ή εκτελεστικό όργανο δείχνοντας μια προσομοίωση [8]. Επισημαίνουμε στους μαθητές των ρόλο των ιόντων Ca^{2+} στην όλη διαδικασία και δείχνουμε εικόνες των δύο πιο συνηθισμένων νευροδιαβιβαστών (Εικόνα 15 και 16). [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 8 του φύλλου εργασίας]

Φάση 8η: Πείραμα

Πραγματοποιείται από τον καθηγητή ένα πείραμα που προσομοιώνει τη μεταφορά του νευρικού ερεθίσματος από τον ένα νευρώνα στον άλλον.

Στόχοι: Να μπορούν οι μαθητές στο τέλος της διδακτικής ώρας

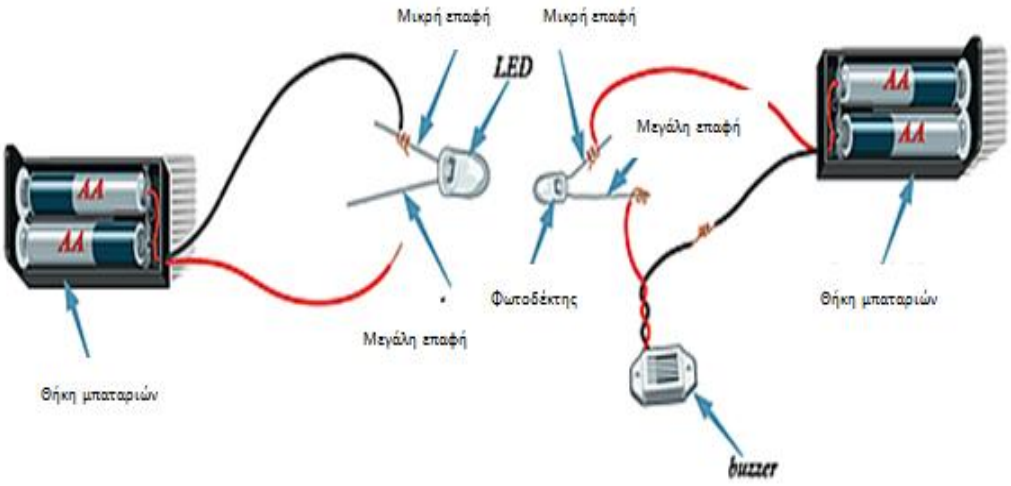
- Να παραλληλίζουν τα στοιχεία της ηλεκτρικής διάταξης με τις λειτουργίες των νευρικών κυττάρων κατά τη μετάδοση του νευρικού ερεθίσματος.

Όργανα - Συσκευές

- 4 ΑΑ μπαταρίες
- 2 θήκες μπαταριών
- 1 τριών Volt DC buzzer
- 1 δέκτη υπέρυθρης ακτινοβολίας
- 1 λαμπάκι τύπου LED
- Ταινία (μονωτική)

Πορεία μεθόδου

1. Συναρμολογήστε το κύκλωμα σύμφωνα με το σχήμα που ακολουθεί.



Σιγουρευτείτε ότι η μικρή επαφή του LED είναι συνδεδεμένη με το μαύρο καλώδιο της θήκης των μπαταριών. Αντίστοιχα η μικρή επαφή του φωτοδέκτη είναι συνδεδεμένη με το κόκκινο καλώδιο της άλλης θήκης των μπαταριών. Επίσης το κόκκινο καλώδιο του μπαζερ πρέπει να είναι συνδεδεμένο με τη μεγάλη επαφή του φωτοδέκτη. Σε κάθε σύνδεση που κάνετε τυλίγετε ένα κομμάτι μονωτικής ταινίας.

2. Φτιάχνετε ουσιαστικά δύο κυκλώματα. Το κύκλωμα στα αριστερά αποτελείται από μπαταρίες, σύρμα και ένα λαμπάκι LED και το κύκλωμα στα δεξιά αποτελείται από μπαταρίες, σύρμα, ένα φωτοδέκτη και ένα μπάζερ.
3. Τοποθετήστε στην ίδια ευθεία το λαμπάκι LED και το φωτοδέκτη σε απόσταση περίπου 1 εκατοστού.
4. Τέλος ακουμπήστε το ελεύθερο κόκκινο καλώδιο στην μεγάλη επαφή του LED. Το λαμπάκι LED θα ανάψει και θα ακουστεί ο ήχος του μπάζερ.

[Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 9 και 10 του φύλλου εργασίας]

Φάση 9η: Αξιολόγηση

Links για προσομοιώσεις και βίντεο

1. http://www.youtube.com/watch?v=xRkPNwqm0mM
2. http://digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-A105/321/2155,7812/unit=1728
3. http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student_view0/chapter3/προσομοίωση__sodium-potassium_exchange_pump__quiz_1_.html
4. http://www.youtube.com/watch?v=-SHBnExxub8
5. http://www.youtube.com/watch?v=yQ-wQsEK21E
6. http://www.youtube.com/watch?v=pbg5E9GCNVE
7. http://digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-A105/321/2155,7812/unit=1728
8. http://www.youtube.com/watch?v=90cj4NX87Yk

5.2.1 Φύλλο εργασίας

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Ποια τα όργανα του ΚΝΣ και του ΠΝΣ; (Στόχος 1)

.....

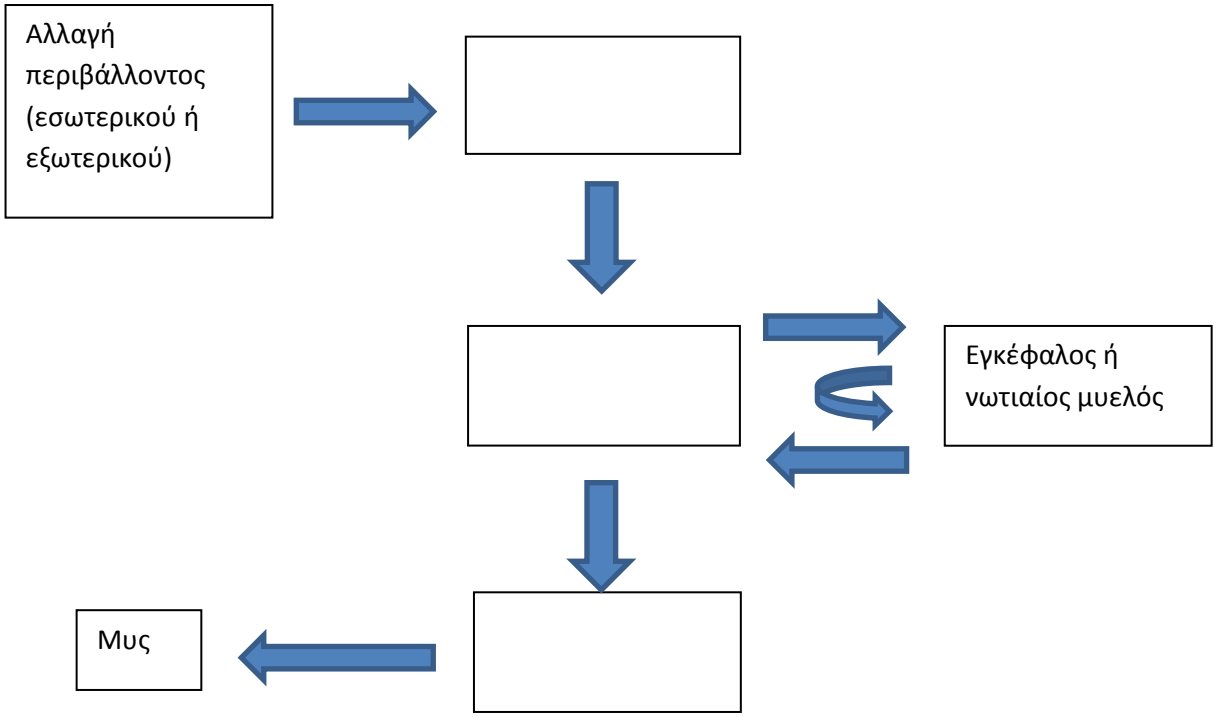
.....

.....

2. Να συμπληρώσετε τα κενά με τις κατάλληλες λέξεις: (Στόχος 1 και 2)

Κάθε νευρώνας αποτελείται από το …… και από τις…… Οι τελευταίες διακρίνονται στους…… και στον…… ή…… Οι νευρώνες, ανάλογα με τη λειτουργία που επιτελούν, διακρίνονται σε…… σε…… και σε…… ή……

3. Να συμπληρώσετε κατάλληλα το παρακάτω διάγραμμα με τις λέξεις: Αισθητικοί νευρώνες, Κινητικοί νευρώνες και Ενδιάμεσοι νευρώνες. (Στόχος 2)



4. Τι είναι η αντλία Na^+/K^+, που βρίσκεται, πως λειτουργεί και ποιος ο ρόλος της; (Στόχος 3 και 4)

.....

.....

.....

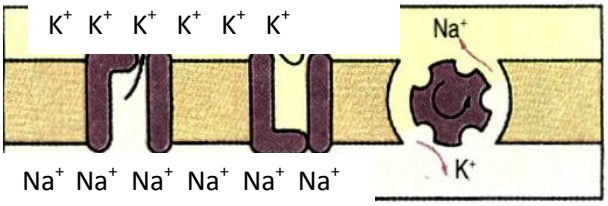
5. Να αντιστοιχήσετε κατάλληλα τα στοιχεία της στήλης Α με τα στοιχεία της στήλης Β. (Στόχος 4)

Στήλη Α	Στήλη Β
Α) Ιόντα K^+	1) Μεταφέρονται μέσα από την πλασματική μεμβράνη μέσω ειδικών καναλιών Na^+
Β) Ιόντα Cl^-	2) Μεταφέρονται μέσα από την πλασματική μεμβράνη μέσω ειδικών καναλιών K^+
Γ) Ιόντα Na^+/K^+	3) Δεν μεταφέρονται μέσα από την πλασματική μεμβράνη
Δ) Ιόντα Na^+	4) Μεταφέρονται μέσα από την πλασματική μεμβράνη μέσω ειδικής αντλίας

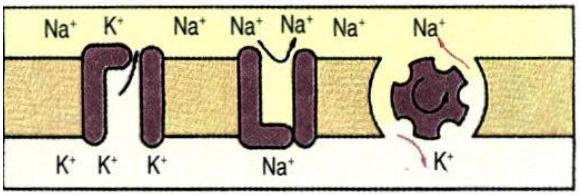
6. Όταν φτάσει ένα νευρικό ερέθισμα στη πλασματική μεμβράνη ενός νευρώνα ανοίγουν τα κανάλια Na^+. Τι θα συμβεί τότε και λόγω ποιου φαινομένου; (Στόχος 4)

7. Τα παρακάτω σχήματα απεικονίζουν διάφορες φάσεις της δημιουργίας νευρικής ώσης, όταν επιδράσει ένα ερέθισμα. Να τα τοποθετήσετε σε κατάλληλη σειρά, ώστε να αναδεικνύεται η αλληλουχία των γεγονότων που συμβαίνουν. (Στόχος 3 και 5)

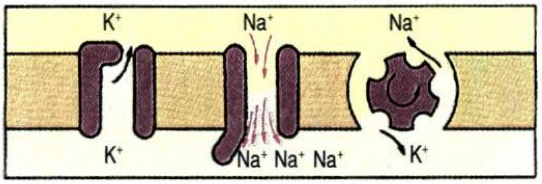
1)



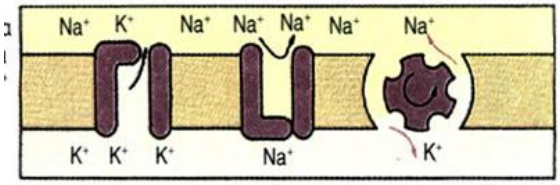
2)



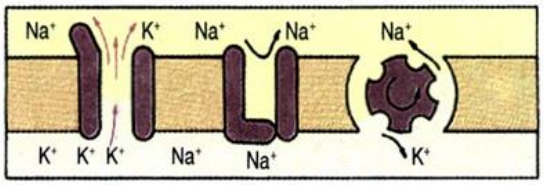
3)



4)



5)



8. Να συμπληρώσετε κατάλληλα των παρακάτω εννοιολογικό χάρτη. (Στόχος 3)

Η μεταβίβαση της νευρικής ώσης από τον ένα νευρώνα στον άλλον

Προϋποθέτει την απελευθέρωση

των:

……

αν αυτοί συμπεριφέρονται διεγερτικά στη:

που διαχέονται στη:

……

……

Και προσδένονται στους:

προκαλείται αύξηση της:

……

……

Του:

για τα ιόντα:

……

……

9. Ποιο τμήμα του κυκλώματος αντιπροσωπεύει:

α) το κυτταρικό σώμα:

β) τον νευροάξονα:

γ) τα τελικά κομβία:

δ) τη σύναψη:

ε) τον δενδρίτη:

στ) τη νευρική ώση:

10. Τι αντιπροσωπεύει στο ανθρώπινο σώμα: α) το καλώδιο που έρχεται σε επαφή με το LED, β) το φως του LED και γ) το μπάζερ;

.....

.....

.....

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΙΤΙ

1) Να βρείτε πληροφορίες για την ασθένεια του Πάρκινσον.

2) Να βρείτε πληροφορίες για τα πειράματα των Otto Loewi και Henry Dale για τη δράση της ακετυλοχολίνης. (Νόμπελ ιατρικής 1936)

3) Δείτε την ταινία Φρανκεστάιν (1994) και βρείτε ποιες αρχές από αυτές που διδαχτήκατε στην παρούσα ενότητα αναφέρονται – χρησιμοποιούνται στην ταινία. Να αναφέρεται συγκεκριμένες σκηνές.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

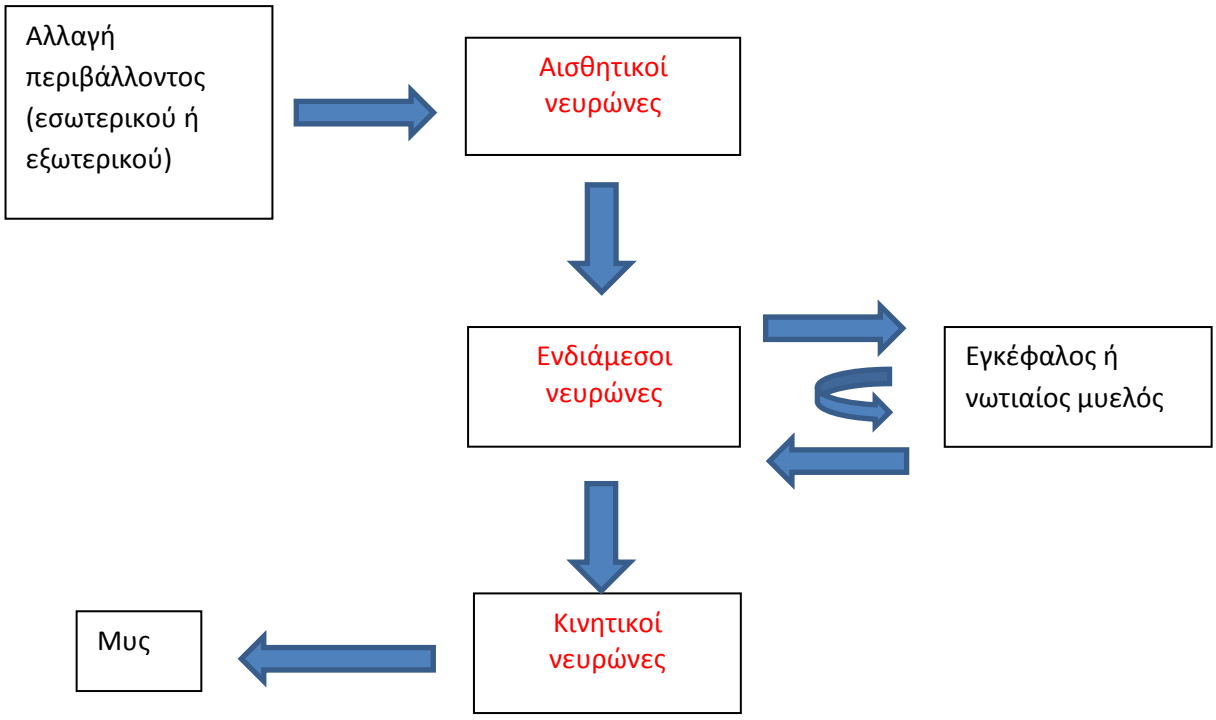
1. Ποια τα όργανα του ΚΝΣ και του ΠΝΣ;

Τα όργανα του νευρικού συστήματος είναι ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός, που αποτελούντο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), και τα νεύρα, που αποτελούν το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ)

2. Να συμπληρώσετε τα κενά με τις κατάλληλες λέξεις:

Κάθε νευρώνας αποτελείται από το κυτταρικό σώμα και από τις αποφυάδες. Οι τελευταίες διακρίνονται στους δενδρίτες και στον νευροάξονα ή νευρίτη. Οι νευρώνες, ανάλογα με τη λειτουργία που επιτελούν, διακρίνονται σε αισθητικούς, σε κινητικούς και σε ενδιάμεσους ή συνδετικούς.

3. Να συμπληρώσετε κατάλληλα το παρακάτω διάγραμμα με τις λέξεις: Αισθητικοί νευρώνες, Κινητικοί νευρώνες και Ενδιάμεσοι νευρώνες.



4. Τι είναι η αντλία Na^+/K^+, που βρίσκεται, πως λειτουργεί και ποιος ο ρόλος της;

Η αντλία Na^+/K^+ είναι μια πρωτεΐνη που βρίσκεται εγκάρσια στην πλασματική μεμβράνη. Καταναλώνοντας 1 μόριο ATP ενέργειας μεταφέρει 3 μόρια Na^+

στον εξωκυττάριο χώρο και εισάγει 2 μόρια K^+ στον ενδοκυττάριο. Ο ρόλος της είναι να διατηρεί τη συγκέντρωση του Na^+ υψηλή στον εξωκυττάριο χώρο και χαμηλή στον ενδοκυττάριο και ταυτόχρονα τη συγκέντρωση του K^+ χαμηλή στον εξωκυττάριο χώρο και υψηλή στον ενδοκυττάριο, ώστε να έχουμε διαφορά δυναμικού στην πλασματική μεμβράνη (Δυναμικό ηρεμίας).

5. Να αντιστοιχήσετε κατάλληλα τα στοιχεία της στήλης Α με τα στοιχεία της στήλης Β.

   Α) – 2)

   Β) – 3)

   Γ) – 4)

   Δ) – 1)

6. Όταν φτάσει ένα νευρικό ερέθισμα στη πλασματική μεμβράνη ενός νευρώνα ανοίγουν τα κανάλια Na^+. Τι θα συμβεί τότε και λόγω ποιου φαινομένου;

Όταν ανοίξουν τα κανάλια Na^+, τα ιόντα Na^+ θα εισέλθουν στο κύτταρο. Αυτό συμβαίνει λόγω του φαινομένου της ώσμωσης. Σύμφωνα με αυτό όταν δύο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις σε μια ουσία, εν προκειμένου τα ιόντα νατρίου, είναι σε επαφή με μια ημιπερατή μεμβράνη τότε μεταφέρονται μόρια ή ιόντα από το ένα διάλυμα στο άλλο μέχρι να ισορροπήσουν οι συγκεντρώσεις. Η [Na+] στον εξωκυττάριο χώρο είναι μεγαλύτερη απ' ότι στον ενδοκυττάριο και γι' αυτό τα ιόντα νατρίου εισέρχονται σε αυτόν μόλις ανοίξουν τα κανάλια.

7. Τα παρακάτω σχήματα απεικονίζουν διάφορες φάσεις της δημιουργίας νευρικής ώσης, όταν επιδράσει ένα ερέθισμα. Να τα τοποθετήσετε σε κατάλληλη σειρά, ώστε να αναδεικνύεται η αλληλουχία των γεγονότων που συμβαίνουν.

   2), 3), 5), 1), 4) ή 4), 3), 5), 1), 2)

8. Να συμπληρώσετε κατάλληλα των παρακάτω εννοιολογικό χάρτη.

Η μεταβίβαση της νευρικής ώσης από τον ένα νευρώνα στον άλλον

Προϋποθέτει την απελευθέρωση

των:

νευροδιαβιβαστών

αν αυτοί συμπεριφέρονται διεγερτικά στη:

που διαχέονται στη:

συναπτική σχισμή

μετασυναπτική μεμβράνη

Και προσδένονται στους:

προκαλείται αύξηση της:

υποδοχείς

διαπερατότητας της

Του:

για τα ιόντα:

μετασυναπτικού άκρου

αντιπροσωπεύει:

Na^+

α) το κυτταρικό σώμα: η θήκη των μπαταριών

β) τον νευροάξονα: τα καλώδια

γ) τα τελικά κομβία: το λαμπάκι LED

δ) τη σύναψη: η περιοχή που περιλαμβάνει το LED και το φωτοδέκτη

ε) τον δενδρίτη: η επαφή του LED

στ) τη νευρική ώση: το ηλεκτρικό ρεύμα

10. Τι αντιπροσωπεύει το φως του LED στο ανθρώπινο σώμα και τι το μπάζερ;

α) Η επαφή του καλωδίου με το LED συμβολίζει το νευρικό ερέθισμα.

β) Το φως αντιπροσωπεύει τους νευροδιαβιβαστές

γ) Το μπάζερ αντιπροσωπεύει την αντίδραση των εκτελεστικών οργάνων, πχ το μυ που διαστέλλεται.

5.2.2 Φύλλο αξιολόγησης

ΦΥΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

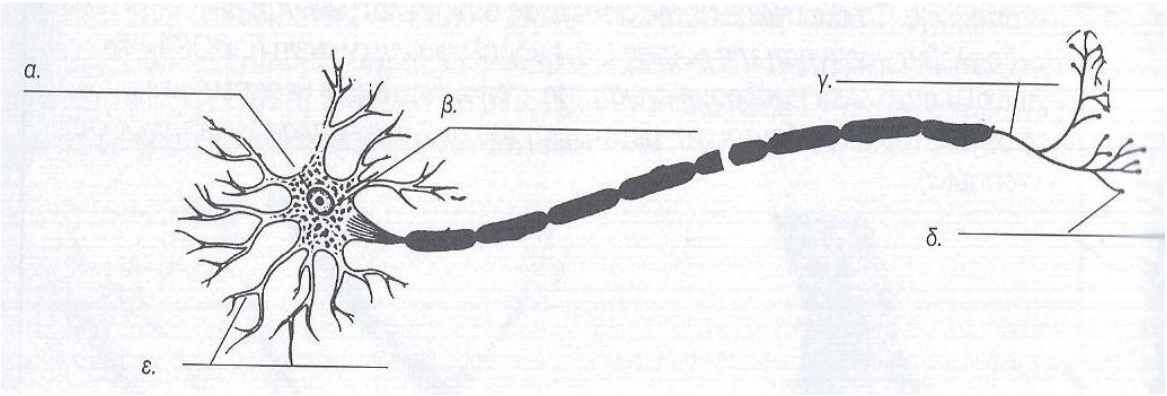
Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

Βαθμός:

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τα μέρη του νευρώνα.



2. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) Κάθε νευρώνας αποτελείται:

i) από το κυτταρικό σώμα και τις αποφυάδες.
ii) από το κυτταρικό σώμα και τους δενδρίτες.
iii) από το κυτταρικό σώμα και τον νευροάξονα ή δενδρίτη.
iv) από τους δενδρίτες και τον νευροάξονα.

β) Στην πλασματική μεμβράνη έχουμε διαφορά δυναμικού γιατί:

i) η συγκέντρωση των Na^+ είναι μεγάλη στον εξωκυττάριο χώρο και των K^+ μεγάλη στον ενδοκυττάριο.

ii) η συγκέντρωση των Na^+ είναι μικρή στον εξωκυττάριο χώρο και των K^+ μικρή στον ενδοκυττάριο.

iii) η συγκέντρωση των θετικών ιόντων είναι μεγαλύτερη των αρνητικών ιόντων στον εξωκυττάριο χώρο και το αντίστροφο στον ενδοκυττάριο.

iv) η συγκέντρωση των Cl^- είναι μεγαλύτερη στον ενδοκυττάριο χώρο απ' ότι στον εξωκυττάριο.

γ) Η αντλία Na^+/K^+:

i) βρίσκεται στο κυτταρόπλασμα του νευρικού κυττάρου.

ii) αποτελεί μηχανισμό ενεργητικής μεταφοράς ιόντων.

iii) για κάθε δύο Na^+ που απομακρύνει από το εσωτερικό το κυττάρου μεταφέρει στο εσωτερικό τρία K^+.

iv) τίποτα από τα παραπάνω.

δ) Σε μια σύναψη τα τελικά κομβία του νευροάξονα μπορεί να συνδέονται λειτουργικά με:

i) τα τελικά κομβία του επόμενου νευροάξονα.

ii) τους δενδρίτες ή το κυτταρικό σώμα του επόμενου νευρώνα.

iii) τον νευροάξονα του επόμενου νευρώνα.

iv) το προσυναπτικό άκρο του επόμενου νευρώνα.

ε) Οι νευροδιαβιβαστές:

i) παράγονται από το προσυναπτικό άκρο.

ii) διαχέονται στη συναπτική σχισμή.

iii) συνδέονται με τους υποδοχείς του μετασυναπτικού άκρου.

iv) Όλα τα παραπάνω.

3. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

Στήλη Α	Στήλη Β
1) Νευροάξονας	α) Δενδρίτες
2) Αρνητικά ιόντα	β) Νευρική ώση
3) Νευροδιαβιβαστές	γ) Υποδοχείς νευροδιαβιβαστών
4) Αποφυάδες	δ) Εσωτερικό νευρώνα
5) Μετάδοση δυναμικού ενέργειας	ε) Μήκος μέχρι 1 m
6) Τελικά κομβία	στ) Συναπτικά κοκκία
7) Μετασυναπτικό άκρο	ζ) Ακετυλοχολίνη

4. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Ο εγκέφαλος, ο νωτιαίος μυελός και τα νεύρα αποτελούν τα όργανα του ΚΝΣ.

β) Το δυναμικό ηρεμίας διατηρείται, όταν η μεμβράνη ενός νευρώνα δεχτεί ερέθισμα πάνω από μια οριακή τιμή.

γ) Στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης ενός νευρώνα σε ηρεμία υπάρχει περίσσεια ιόντων νατρίου σε σχέση με την εσωτερική.

δ) Η διαπερατότητα της μεμβράνης ενός νευρώνα σε αρνητικά ιόντα είναι ελάχιστη, είτε δέχεται ερέθισμα είτε όχι.

ε) Η ακετυλοχολίνη προκαλεί αύξηση της διαπερατότητας της μετασυναπτικής μεμβράνης σε K^+.

5. Σε τι χρειάζεται το Ca^{2+} στη μετάδοση της ώσης στη σύναψη.

.....

.....

.....

.....

6. Όταν ένας νευρώνας δεν παράγει και δεν μεταβιβάζει νευρική ώση, παρουσιάζει διαφορά δυναμικού μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας της μεμβράνης του. Ποια είναι η διαφορά αυτή και πού οφείλεται;

.....
.....
.....
.....

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τα μέρη του νευρώνα.

α. κυτταρικό σώμα

β. αποφυάδες

γ. νευροάξονας

δ. τελικά κομβία

ε. δενδρίτες

2. α) i), β) iii). γ) ii), δ) ii), ε) iv).

3. 1) ε), 2) δ), 3) ζ), 4) α), 5) β), 6) στ), 7) γ).

4. α) Λ, β) Λ, γ) Σ, δ) Σ, ε) Λ.

5. Σε τι χρειάζεται το Ca^{2+} στη μετάδοση της ώσης στη σύναψη.

Ένα ερέθισμα με ένταση μεγαλύτερη μιας συγκεκριμένης τιμής δημιουργεί τοπικές αλλαγές στο δυναμικό της μεμβράνης, οι οποίες στη συνέχεια μεταδίδονται σε όλο το μήκος του νευράξονα. Όταν μία νευρική ώση φτάσει στα τελικά κομβία ενός νευρώνα, εκπολώνεται η προσυναπτική μεμβράνη. Όταν εκπολωθεί η μεμβράνη της σύναψης, ανοίγουν ειδικοί πόροι Ca^{2+} και εισέρχονται ιόντα Ca^{2+} στο εσωτερικό της προσυναπτικής απόληξης. Η είσοδος Ca^{2+} οδηγεί στην ένωση της μεμβράνης των προσυναπτικών κυστιδίων με την κυτταρική μεμβράνη.

6. Όταν ένας νευρώνας δεν παράγει και δεν μεταβιβάζει νευρική ώση, παρουσιάζει διαφορά δυναμικού μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας της μεμβράνης του. Ποια είναι η διαφορά αυτή και πού οφείλεται;

Η μεγάλη συγκέντρωση θετικών ιόντων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης και αρνητικών ιόντων στην εσωτερική δημιουργούν διαφορά δυναμικού (ΔV). Το δυναμικό αυτό ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας και είναι περίπου -70 mV (επειδή η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης είναι ηλεκτραρνητικά φορτισμένη σε σχέση με την εξωτερική).

5.3 Σχέδιο μαθήματος: Ο χαλκός σε οξειδοαναγωγικά ένζυμα

«Ο ρόλος του χαλκού στην κυτταρική αναπνοή – Ένζυμο κυτοχρωμική οξειδάση»

Γενικός Σκοπός

Να συνδέσουν οι μαθητές τα ιόντα χαλκού με τη δράση της κυτοχρωμικής οξειδάσης.

Επιμέρους Στόχοι

Στο τέλος της διδασκαλίας της ενότητας αυτής οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να:

1. Αναφέρουν τις κατηγορίες οργανικών ενώσεων που χρειάζεται ο οργανισμός μας και πως αξιοποιούνται.
2. Αναφέρουν το ρόλο της κυτταρικής αναπνοής και να περιγράφουν τη δομή του μορίου ATP.
3. Γράφουν την αντίδραση οξείδωσης της γλυκόζης.
4. Περιγράφουν την οξειδωτική φωσφορυλίωση.
5. Περιγράφουν το ρόλο της κυτοχρωμικής οξειδάσης στην κυτταρική αναπνοή.
6. Αναφέρουν τη δράση των ιόντων Cu στην κυτοχρωμική οξειδάση.

Διδακτική αξιοποίηση

- Βιολογία Β' Λυκείου, Γενικής Παιδείας: Κεφάλαιο 3 «Μεταβολισμός», Ενότητα 3.4 «Κυτταρική αναπνοή»
- Βιοχημεία Γ' Λυκείου, Τεχνολογικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 10 «Κύκλος του κιτρικού οξέος και οξειδωτική φωσφορυλίωση».
- Χημεία Β' Λυκείου, Θετικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 3 «Χημική κινητική», Ενότητα 3.2. «Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης. Καταλύτες» και Κεφάλαιο 5 «Οξειδοαναγωγή», Ενότητα 5.1 «Αριθμός οξείδωσης. Οξείδωση – Αναγωγή».

Χώρος διεξαγωγής της διδασκαλίας

Σχολική τάξη – εργαστήριο σχολείου

Υλικά υποστήριξης της διδασκαλίας

Ανακλαστικός προβολέας διαφανειών

Διαφάνειες

Φύλλο εργασίας

Φύλλο αξιολόγησης

Χρονική διάρκεια

3 ώρες

Προτείνεται ενδεικτική διδακτική προσέγγιση για τη Βιολογία Β΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας

Φάση 1η: Διέγερση ενδιαφέροντος μαθητών

Δείχνουμε στους μαθητές μια εικόνα βιομηχανίας με τα προϊόντα που αυτή μπορεί να παράγει (Εικόνα 1) και μετά μια δεύτερη εικόνα (Εικόνα 2) που δείχνει ότι τα περισσότερα προϊόντα παράγονται από απλούστερες ουσίες. Ξεκινάμε συζήτηση με τους μαθητές για το αν πιστεύουν ότι πρέπει να παράγονται ταχύτερα τα προϊόντα αυτά και με ποιους τρόπους μπορούμε να επιταχύνουμε τις χημικές αντιδράσεις. Γίνεται αναφορά στους καταλύτες.

Φάση 2η: Σύγκριση μιας βιομηχανικής μονάδας με τον ανθρώπινο οργανισμό

Ρωτάμε τους μαθητές αν πιστεύουν ότι ο ανθρωπινός οργανισμός μοιάζει με μια βιομηχανική μονάδα (Εικόνα 3). Από τη συζήτηση καταλήγουμε ότι όπως κάθε βιομηχανική μονάδα έτσι και ο άνθρωπος πρώτον χρειάζεται καύσιμα για να πάρει ενέργεια και να λειτουργήσει και δεύτερον παράγει διάφορα προϊόντα. Αναφέρουμε στους μαθητές τις ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους που αποτελούν τις τροφές (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, νουκλεϊνικά οξέα), οι οποίες διασπώνται σε απλούστερες (αμινοξέα, απλά σάκχαρα, λιπαρά οξέα και γλυκερόλη, νουκλεοτίδια) κατά την πέψη και στη συνέχεια

πως αξιοποιούνται (Εικόνα 4). Δηλαδή είτε ότι χρησιμοποιούνται πάλι για τη σύνθεση νέων μεγαλομοριακών ενώσεων, που είναι απαραίτητες ως δομικά ή λειτουργικά συστατικά των κυττάρων, είτε οξειδώνονται, αποδίδοντας σταδιακά χημική ενέργεια μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται κυτταρική αναπνοή. [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 1 και 2 του φύλλου εργασίας]

Φάση 3η: Κυτταρική αναπνοή και περιγραφή ATP

Ξεκινάμε να αναφέρουμε στους μαθητές τη διαδικασία με την οποία παίρνουμε ενέργεια από τις οργανικές ενώσεις. Συγκεκριμένα ότι ο οργανισμός παράγει ενέργεια διασπώντας συνήθως υδατάνθρακες ή λίπη και μόνο όταν υπάρχει ανάγκη διασπά πρωτεΐνες. Ότι ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται κατά τις αντιδράσεις οξείδωσης ελευθερώνεται ως θερμότητα και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες και ότι το υπόλοιπο ποσό ενέργειας διατίθεται στα κύτταρα με τη μορφή ATP. Στο σημείο αυτό περιγράφουμε το μόριο ATP και την αντίδραση με την οποία αποδίδει ενέργεια στα κύτταρα (Εικόνες 5 και 6). Στο τέλος της φάσης αυτής, τονίζουμε ότι αν η κυτταρική αναπνοή γίνει με τη βοήθεια οξυγόνου (οξειδωτικό) λέγεται αερόβια αναπνοή, ενώ χωρίς οξυγόνο λέγεται αναερόβια αναπνοή. [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 3 και 4 του φύλλου εργασίας]

Φάση 4η: Περιγραφή αερόβιας αναπνοής

Ξεκινάμε τη φάση αυτή δείχνοντας στους μαθητές την αντίδραση οξείδωσης της γλυκόζης:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \xrightarrow{\text{Ένζυμα}} 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{ενέργεια (2870 kJ/mol)}$$

Παρουσιάζουμε στους μαθητές μια εικόνα (εικόνα 7) με τα στάδια της κυτταρικής αναπνοής και τα περιγράφουμε. Τονίζουμε ότι το πρώτο στάδιο (γλυκόλυση) πραγματοποιείται στο κυτταρόπλασμα, είναι μια αναερόβια διαδικασία και παράγονται 2 μόρια ATP. Επίσης δείχνουμε την εικόνα ενός μιτοχονδρίου (Εικόνα 8) όπου πραγματοποιούνται τα δύο τελευταία στάδια και

εδώ τονίζουμε ότι ο Κύκλος του Κρεμπς πραγματοποιείται στη μήτρα των μιτοχονδρίων και παράγονται 2 μόρια ATP, ενώ η οξειδωτική φωσφορυλίωση πραγματοποιείται στις αναδιπλώσεις της εσωτερικής μεμβράνης και στο διαμεμβρανικό χώρο του μιτοχονδρίου. Για τη διεξαγωγή της χρησιμοποιείται οξυγόνο και παράγονται 32 μόρια ATP. Δείχνουμε μία προσομοίωση από το διαδίκτυο όπου παρουσιάζεται η συνολική πορεία [1] και μία εικόνα (Εικόνα 9). [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5 του φύλλου εργασίας]

Φάση 5η: Περιγραφή της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης

Χαρακτηρίζουμε την οξειδωτική φωσφορυλίωση ως ένα στάδιο όπου έχουμε συνεχή μεταφορά ηλεκτρονίων κι επομένως λαμβάνουν χώρα οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Δείχνουμε στους μαθητές μια εικόνα της εσωτερικής μεμβράνης των μιτοχονδρίων (Εικόνα 10) και περιγράφουμε τους μεταφορείς ηλεκτρονίων που διαθέτει και που μεταβιβάζουν ηλεκτρόνια από τα NADH και τα FADH2 στο οξυγόνο. Τονίζουμε ότι οι μεταφορείς αποτελούνται από 3 βασικά ενζυμικά σύμπλοκα (NADH-αφυδρογονάση, κυτόχρωμα b και κυτοχρωμική οξειδάση) που βρίσκονται εμφυτευμένα στην εσωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων και δύο κινητούς μεταφορείς (ουβικινόνη και κυτόχρωμα c) και ότι η αλυσίδα αυτή ενζύμων ονομάζεται αναπνευστική αλυσίδα. Δείχνουμε μία προσομοίωση από το διαδίκτυο όπου φαίνεται η όλη διαδικασία παραγωγής του ATP [2] και στο τέλος μια συνολική εικόνα του ρόλου της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης (Εικόνα 11). [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 6 του φύλλου εργασίας]

Φάση 6η: Ο ρόλος του χαλκού στην κυτοχρωμική οξειδάση

Δείχνουμε μια εικόνα του ενζύμου κυτοχρωμική οξειδάση στους μαθητές (Εικόνα 12) και περιγράφουμε τη δομή της. Ξεκινάμε συζήτηση με τους μαθητές για το ρόλο που μπορεί να παίζει ένα μέταλλο σαν το χαλκό σε ένα οξειδοαναγωγικό ένζυμο. Θυμίζουμε στους μαθητές ότι ο χαλκός είναι ένα στοιχείο μετάπτωσης με πολλούς αριθμούς οξείδωσης, όπως επίσης και το ρόλο της κυτοχρωμικής οξειδάσης, που είναι να καταλύει την αναγωγή τεσσάρων ηλεκτρονίων του οξυγόνου προς νερό χωρίς την απελευθέρωση βλαβερών ενδιαμέσων, όπως το H_2O_2, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2\ H_2O$$

Τονίζουμε στους μαθητές ότι μέσω των δύο ιόντων χαλκού μεταφέρονται τα ηλεκτρόνια και κατά τη μεταφορά αλλάζει η οξειδωτική τους κατάσταση από +2 σε +1 και το αντίστροφο. Τους δείχνουμε εικόνα (εικόνα 13) και περιγράφουμε τη διαδικασία μεταφοράς των ηλεκτρονίων από το κυτόχρωμα c στο O_2 (κυτόχρωμα c $\rightarrow$ Cu_A $\rightarrow$ αίμη a $\rightarrow$ αίμη a_3 / Cu_B $\rightarrow$ O_2). [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 7 και 8 του φύλλου εργασίας]

<u>Φάση 7η:</u> Πειράματα.

<u>Στόχοι:</u> Να μπορούν οι μαθητές στο τέλος της διδακτικής ώρας

- Να συσχετίζουν τις μεταβολές των οξειδωτικών καταστάσεων με τις χρωματικές αλλαγές και το σχηματισμό των ιζημάτων.
- Να ξεχωρίζουν ποια χημική ένωση έδρασε ως οξειδωτικό και ποια ως αναγωγικό σε κάθε οξειδοαναγωγική αντίδραση.

“1ον) Αλλαγή οξειδωτικών καταστάσεων χαλκού (Cu^{+2} $\rightarrow$ Cu^{+})”

<u>Όργανα – Συσκευές</u>

- Ογκομετρική φιάλη 1 L (ανά τρεις ομάδες)
- 2 ποτήρια ζέσεως (50 mL)
- 1 ποτήρι ζέσεως (600 mL)
- 1 γυάλινη ράβδος
- Αντλία κενού Buchner
- Δοχείο με καπάκι
- Σπάτουλα

<u>Αντιδραστήρια – Υλικά</u>

- $CuCl_2 | 2H_2O$
- Απιονισμένο νερό
- Na_2SO_3
- Διάλυμα HCl (30%)
- Αιθέρα

- Διάλυμα οξικού οξέος
- Διάλυμα αιθανόλης 95 %

Πορεία μεθόδου

1. Χωρίζουμε τους μαθητές σε ομάδες των 3 ή 4 ατόμων, ανάλογα με τις δυνατότητες του εργαστηρίου σε όργανα και μοιράζουμε τα φύλλα εργασίας σε κάθε μαθητή.
2. Διαλύουμε 5 g $CuCl_2 | 2H_2O$ σε 5 mL νερό στο πρώτο ποτήρι ζέσεως. [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις παρατηρήσεις τους]. Στη συνέχεια διαλύουν 3,5 g Na_2SO_3 σε 25 mL νερό στο δεύτερο ποτήρι ζέσεως. Τέλος ανά δύο ομάδες παρασκευάζουμε ένα αραιωμένο διάλυμα θειώδους οξέος (H_2SO_3) στην ογκομετρική φιάλη του 1 L, διαλύοντας 1 g Na_2SO_3 και 2 mL πυκνού HCl σε 1 L νερό.
3. Αναμιγνύουμε τα διαλύματα που έχουμε παρασκευάσει στα δύο ποτήρια ζέσεως ανακατεύοντας παράλληλα με τη γυάλινη ράβδο. Παρατηρούμε ότι καθιζάνει λευκό ίζημα (CuCl). [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις παρατηρήσεις τους και συμπληρώνουν την ερώτηση 2]
4. Αναμιγνύουμε το διάλυμα της αντίδρασης που περιέχει το λευκό ίζημα με 500 mL από το αραιωμένο διάλυμα του θειώδους οξέος και ανακατεύουμε. Περιμένουμε 1 λεπτό μέχρι να κατασταλάξει ξανά το στερεό και αφαιρούμε όσο από το υπερκείμενο διάλυμα γίνεται και γρήγορα διηθούμε το υπόλοιπο διάλυμα στην αντλία κενού Buchner. [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις παρατηρήσεις τους]
5. Μετά το πέρας της διήθησης ξεπλένουμε το στερεό 5 φορές με διάλυμα θειώδους οξέος, 4 φορές με 10 mL διαλύματος οξικού οξέος, 3 φορές με διάλυμα αιθανόλης 95 % και 4 φορές με 10 mL αιθέρα προκειμένου να συλλέξουμε όσο το δυνατόν πιο στεγνό στερεό.
6. Συλλέγουμε το στερεό σε δοχείο που κλείνει αεροστεγώς και τοποθετούμε και παραφιλμ. ΠΡΟΣΟΧΗ. Η αποθήκευση του στερεού πρέπει να γίνει γρήγορα γιατί υπάρχει κίνδυνος να οξειδωθεί ο χαλκός από τον αέρα και να μετατραπεί σε πράσινο στερεό (Cu(OH)Cl). [Οι μαθητές

συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 3,4 και 5 του φύλλου εργασίας του πειράματος]

"2ον) Αλλαγή οξειδωτικών καταστάσεων χαλκού (Cu^{+} □ Cu^{+2})"

Όργανα - Συσκευές

- 1 κωνική φιάλη 250 mL
- 1 γυάλινη ράβδος

Αντιδραστήρια – Υλικά

- CuCl (Που παρασκευάστηκε στο πρώτο πείραμα)
- Απιονισμένο νερό
- Διάλυμα H_2O_2 (30 %)
- Διάλυμα HCl (30%)

Πορεία μεθόδου

1. Χωρίζουμε τους μαθητές σε ομάδες των 3 ή 4 ατόμων, ανάλογα με τις δυνατότητες του εργαστηρίου σε όργανα και μοιράζουμε τα φύλλα εργασίας σε κάθε μαθητή.
2. Διαλύουμε 5 g λευκού στερεού CuCl που παρασκευάσαμε στο πρώτο πείραμα σε 10 mL διαλύματος HCl 30 % στο πρώτο ποτήρι ζέσεως. [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις παρατηρήσεις τους].
3. Αφήνουμε το διάλυμα σε επαφή με τον αέρα για λίγα λεπτά μέχρι να οξειδωθεί ο χαλκός και να αλλάξει χρώμα το διάλυμα. [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις παρατηρήσεις τους].
4. Προσθέτουμε στο διάλυμα 5 mL διαλύματος H_2O_2 (30 %) [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις παρατηρήσεις τους και συμπληρώνουν την ερώτηση 2]
5. Τέλος προσθέτουμε τόσο νερό στο διάλυμα ώστε να δεκαπλασιαστεί ο όγκος του. [Οι μαθητές σημειώνουν στο φύλλο εργασίας του πειράματος τις παρατηρήσεις τους]

Φάση 8η: Αξιολόγηση

Links για προσομοιώσεις και βίντεο

9. http://www.youtube.com/watch?v=1KgDXDLZNJI
10. http://www.youtube.com/watch?v=xbJ0nbzt5Kw

5.3.1 Φύλλο εργασίας

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Να αντιστοιχίσετε κατάλληλα τις οργανικές ενώσεις της αριστερής στήλης με τα δομικά τους συστατικά της δεξιάς. (Στόχος 1)

Στήλη Α	Στήλη Β
1) Υδατάνθρακες	α) Σάκχαρα
2) Πρωτεΐνες	β) Λιπαρά οξέα
3) Λίπη	γ) Νουκλεοτίδια
4) Νουκλεϊνικά οξέα	δ) Αμινοξέα

2. Οι πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, νουκλεϊνικά οξέα: (Στόχος 1)

α) διασπώνται κατά την πέψη σε απλούστερες

β) χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση νέων μεγαλομοριακών ενώσεων

γ) χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας

δ) όλα τα παραπάνω

Επιλέξτε την σωστή απάντηση.

3. Η κυτταρική αναπνοή: (Στόχος 2)

α) όταν γίνεται παρουσία οξυγόνου ονομάζεται αναερόβια

β) όταν δεν γίνεται παρουσία οξυγόνου ονομάζεται αερόβια

γ) όταν γίνεται παρουσία οξυγόνου ονομάζεται αερόβια

δ) γίνεται πάντα παρουσία οξυγόνου

Επιλέξτε την σωστή απάντηση.

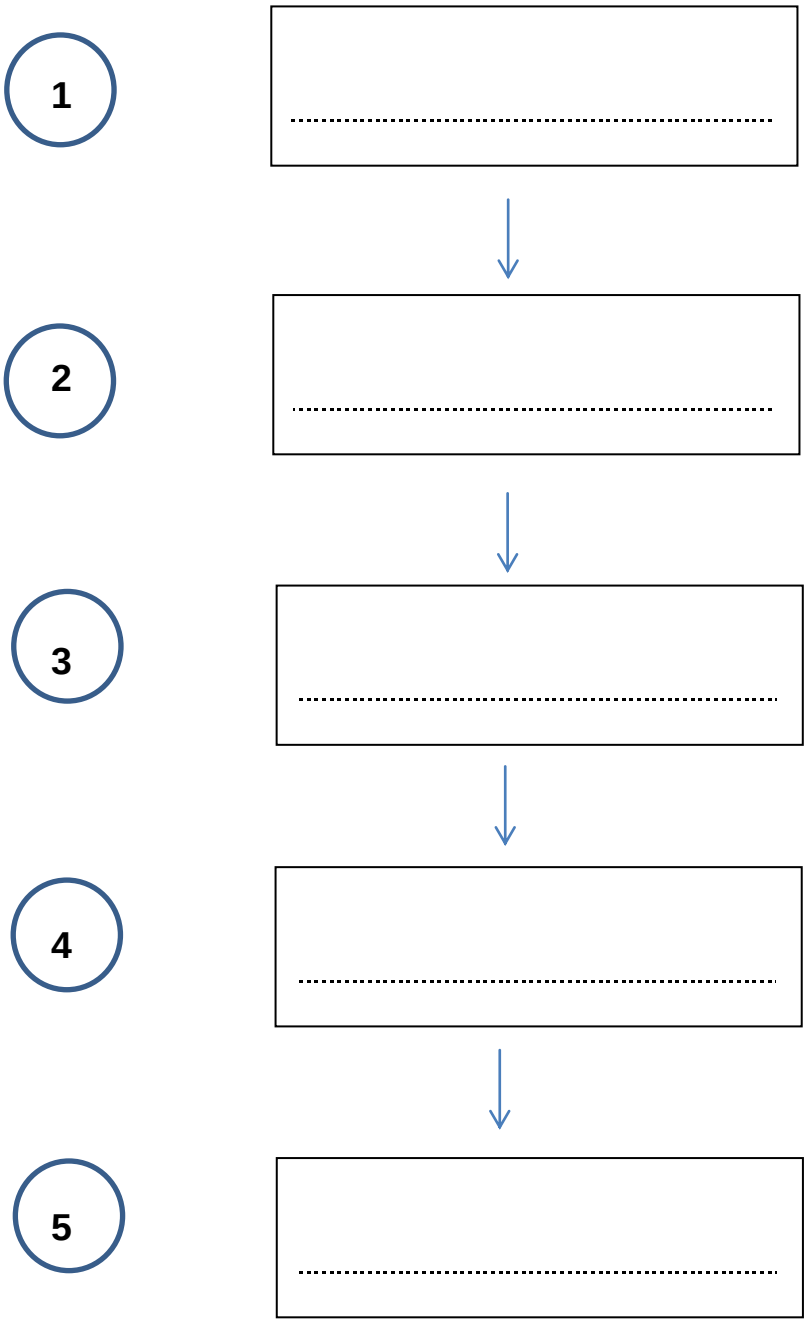
4. Συμπληρώστε με τις κατάλληλες λέξεις τα κενά στο παρακάτω κείμενο. (Στόχος 2)

Η ενέργεια που παράγεται από .... των τροφών, μετατρέπεται σε μια ειδική μορφή πριν τη χρησιμοποίηση της για κίνηση, ενεργό μεταφορά και βιοσύνθεση, τα μόρια ..... (..... .....). Το ..... είναι ένα νουκλεοτίδιο που αποτελείται από μια ....., μια ..... και μια ..... μονάδα

5. Γράψτε την αντίδραση οξείδωσης της γλυκόζης. (Στόχος 3)

6. Βάλτε στη σωστή σειρά τα ένζυμα – μεταφορείς ηλεκτρονίων που δίνονται, σύμφωνα με τη δράση τους στην αναπνευστική αλυσίδα της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης. (Στόχος 4)

Ουβικινόνη, NADH – αφυδρογονάση, κυτόχρωμα c, κυτοχρωμική οξειδάση και κυτόχρωμα b.



7. Ποιος ο ρόλος της κυτοχρωμικής οξειδάσης; Γράψτε τη χημική αντίδραση που καταλύει. (Στόχος 5)

.....

.....

8. Στις παρακάτω προτάσεις βάλτε ένα Σ αν η πρόταση είναι σωστή ή ένα Λ αν η πρόταση είναι λανθασμένη. (Στόχος 6)

   α) Η κυτοχρωμική οξειδάση διαθέτει ένα ιόν χαλκού.

   β) Ο Cu^{2+} δέχεται ένα ηλεκτρόνιο και οξειδώνεται.

   γ) Ο Cu^{+} αποβάλλει ένα ηλεκτρόνιο και οξειδώνεται.

   δ) Ο Cu της κυτοχρωμικής οξειδάσης μετατρέπεται από Cu^{2+} σε Cu^{+} και το αντίστροφο κατά την μεταφορά των ηλεκτρονίων.

5.3.2 Φύλλα εργασίας πειραμάτων

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 1

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Συμπληρώστε κατάλληλα των παρακάτω πίνακα κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Φάση	Αρχική κατάσταση	Τελική κατάσταση	Εξήγηση
$2^{η}$			
$3^{η}$			
$4^{η}$			

2. i) Στη χημική ένωση $CuCl_2$, ο χαλκός έχει αριθμό οξείδωσης:
   (Επιλέξτε τη σωστή απάντηση)

α) 0

β) +1

γ) +2

ii) Στη χημική ένωση CuCl, ο χαλκός έχει αριθμό οξείδωσης:

(Επιλέξτε τη σωστή απάντηση)

α) 0

β) +1

γ) +2

3. Γράψτε την αντίδραση αναγωγής του χαλκού από το Na_2SO_3.

4. Ποια χημική ένωση είναι το οξειδωτικό και ποια το αναγωγικό στην αντίδραση αναγωγής του χαλκού από το Na_2SO_3;

5. Ποιο χημικό στοιχείο ανάχθηκε και ποιο οξειδώθηκε στην αντίδραση αναγωγής του χαλκού από το Na_2SO_3; Να γράψετε τις μεταβολές των αριθμών οξείδωσης.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 1

1. Συμπληρώστε κατάλληλα των παρακάτω πίνακα κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Φάση	**Αρχική κατάσταση**	**Τελική κατάσταση**	**Εξήγηση**
$2^η$	Γαλάζιο στερεό	Γαλάζιο διάλυμα	Το $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ έχει γαλάζιο χρώμα και διαλύεται στο νερό
$3^η$	Γαλάζιο διάλυμα	Άχρωμο διάλυμα με λευκό στερεό	Το CuCl έχει λευκό χρωμά και είναι αδιάλυτο στο νερό
$4^η$	Άχρωμο διάλυμα με λευκό στερεό	Άχρωμο διάλυμα με λευκό στερεό	Το CuCl έχει λευκό χρωμά και είναι αδιάλυτο στο H_2SO_3

2. i) γ
   ii) β

3. Γράψτε την αντίδραση αναγωγής του χαλκού από το Na_2SO_3.

   $2\ CuCl_2 + Na_2SO_3 + H_2O$ — $2\ CuCl + Na_2SO_4 + 2\ HCl$

4. Ποια χημική ένωση είναι το οξειδωτικό και ποια το αναγωγικό στην αντίδραση αναγωγής του χαλκού από το Na_2SO_3;

   Αναγωγικό: Na_2SO_3

   Οξειδωτικό: $CuCl_2$

5. Ποιο χημικό στοιχείο ανάχθηκε και ποιο οξειδώθηκε στην αντίδραση αναγωγής του χαλκού από το Na_2SO_3; Να γράψετε τις μεταβολές των αριθμών οξείδωσης.

   Ανάχθηκε: Cu (+2 □ +1)

   Οξειδώθηκε: S (+4 □ +6)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 2

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Συμπληρώστε κατάλληλα των παρακάτω πίνακα κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Φάση	**Αρχική κατάσταση**	**Τελική κατάσταση**	**Εξήγηση**
$2^η$			
$3^η$			
$4^η$			
$5^η$			

2. i) Στη χημική ένωση $CuCl_2^-$, ο χαλκός έχει αριθμό οξείδωσης:
(Επιλέξτε τη σωστή απάντηση)

α) 0

β) +1

γ) +2

ii) Στη χημική ένωση H_2O_2, το οξυγόνο έχει αριθμό οξείδωσης:

(Επιλέξτε τη σωστή απάντηση)

α) 0

β) -1

γ) -2

3. Γράψτε την αντίδραση οξείδωσης του χαλκού από το H_2O_2.

4. Ποια χημική ένωση είναι το οξειδωτικό και ποια το αναγωγικό, στην αντίδραση οξείδωσης του χαλκού από το H_2O_2;

5. Ποιο χημικό στοιχείο ανάχθηκε και ποιο οξειδώθηκε στην αντίδραση οξείδωσης του χαλκού από το H_2O_2; Να γράψετε τις μεταβολές των αριθμών οξείδωσης

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 2

1. Συμπληρώστε κατάλληλα των παρακάτω πίνακα κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Φάση	**Αρχική κατάσταση**	**Τελική κατάσταση**	**Εξήγηση**
$2^η$	Λευκό στερεό	Κίτρινο διάλυμα	Σχηματίζεται $CuCl_2^-$ που είναι άχρωμο
$3^η$	Κίτρινο διάλυμα	Σκούρο καφέ διάλυμα	Σχηματίζεται ένα σύμπλεγμα $CuCl_2^-$ και $CuCl_2$
$4^η$	Σκούρο καφέ διάλυμα	Πράσινο διάλυμα	Σχηματίζεται $CuCl_2$ που είναι πράσινο
$5^η$	Πράσινο διάλυμα	Γαλάζιο διάλυμα	Σχηματίζεται $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ που είναι μπλε και διαλυτό στο νερό

2. i) β
   ii) β

3. Γράψτε την αντίδραση οξείδωσης του χαλκού από το H_2O_2.

$2\ CuCl + H_2O_2 + HCl \rightarrow 2\ CuCl_2 + 2\ H_2O$

4. Ποια χημική ένωση είναι το οξειδωτικό και ποια το αναγωγικό, στην αντίδραση οξείδωσης του χαλκού από το H_2O_2;

   Αναγωγικό: CuCl

   Οξειδωτικό: H_2O_2

5. Ποιο χημικό στοιχείο ανάχθηκε και ποιο οξειδώθηκε στην αντίδραση οξείδωσης του χαλκού από το H_2O_2; Να γράψετε τις μεταβολές των αριθμών οξείδωσης

   Ανάχθηκε: O (-1 → -2)

   Οξειδώθηκε: Cu (+1 → +2)

5.3.3 Φύλλο αξιολόγησης

ΦΥΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

Βαθμός:

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) Η ενέργεια που απελευθερώνεται από τις αντιδράσεις οξείδωσης στο κύτταρο:
i) ένα μέρος αξιοποιείται για τις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες και ένα μέρος χάνεται με τη μορφή θερμότητας.
ii) χάνεται στο περιβάλλον.
iii) χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του οργανισμού.
iv) αξιοποιείται για τις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες.

β) Κατά την οξειδωτική φωσφορυλίωση πάνω στα ένζυμα της αναπνευστικής αλυσίδας μεταφέρονται:
i) ηλεκτρόνια με τελικό αποδέκτη το οξυγόνο.
ii) ηλεκτρόνια με τελικό αποδέκτη το νερό.
iii) υδρογόνα με τελικό αποδέκτη το οξυγόνο.
iv) υδρογόνα με τελικό αποδέκτη το νερό.

γ) Στην οξειδωτική φωσφορυλίωση παράγεται:
i) CO_2 και νερό.
ii) μόνο νερό.
iii) νερό και ATP.
iv) CO_2 και ATP.

δ) Η κυτοχρωμική οξειδάση είναι ένα σύμπλοκο ένζυμο που διαθέτει:

i) δύο ιόντα Cr

ii) ένα ιόν Cu

iii) δύο ιόντα Cu

iv) δύο ιόντα Zn

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

Στήλη Α	Στήλη Β
1) Κυτοχρωμική οξειδάση	α) Κινητός μεταφορέας ηλεκτρονίων
2) Ουβικινόνη	β) Ανάγεται προς Cu^{+}
3) Cu^{2+} κυτοχρωμικής οξειδάσης	γ) Μεταφέρει ηλεκτρόνια στο οξυγόνο
4) Cu^{+} κυτοχρωμικής οξειδάσης	δ) Οξειδώνεται προς Cu^{2+}

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Κατά την πέψη των τροφών παράγεται ενέργεια.

β) Στην αναπνευστική αλυσίδα γίνονται αντιδράσεις κατά τις οποίες απελευθερώνεται ενέργεια για τη σύνθεση μορίων ATP.

γ) Μόρια ATP παράγονται και στα τρία στάδια της αερόβιας διάσπασης της γλυκόζης.

δ) Τα λιπίδια χρησιμοποιούνται από τα κύτταρα σαν πηγές ενέργειας όταν δεν υπάρχουν καθόλου υδατάνθρακες για οξείδωση.

ε) Η γλυκόζη οξειδώνεται και το οξυγόνο ανάγεται κατά την γλυκόλυση.

4. Συμπληρώστε με τις κατάλληλες λέξεις τα κενά στο παρακάτω κείμενο.

Για την παραγωγή ενέργειας, οι οργανισμοί διασπούν αρχικά τα βιολογικά.. .....στις απλούστερες ουσίες από τις οποίες αποτελούνται. Στη συνέχεια οι απλούστερες ουσίες.....αποδίδοντας ενέργεια

με τη μορφή ATP. Στην περίπτωση των υδατανθράκων, ο καταβολισμός τους περιλαμβάνει τη γλυκόλυση, τον κύκλο του.....οξέος και την..... .....Κατά τη γλυκόλυση που γίνεται στο..... .....,ένα μόριο γλυκόζης διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος με ενεργειακό κέρδος.....Το επόμενο στάδιο, ο κύκλος του Krebs, γίνεται στη.....του μιτοχονδρίου και παράγονται 2 ATP. Το τελευταίο στάδιο, δηλαδή η οξειδωτική φωσφορυλίωση, γίνεται στις..... .....,της.....μεμβράνης του μιτοχονδρίου. Σ' αυτό τα υδρογόνα από τη διάσπαση της γλυκόζης ενώνονται με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, παράγοντας.....ATP ανά μόριο γλυκόζης. Ο συνολικός δηλαδή αριθμός παραγόμενων ATP από τη διάσπαση ενός μορίου γλυκόζης είναι..... .....

5. Να γραφούν η αντίδραση οξείδωσης της γλυκόζης και η αντίδραση αναγωγής του O_2 σε H_2O που καταλύεται από την κυτοχρωμική οξειδάση. Πάνω από κάθε χημικό στοιχείο να γράψετε τον αριθμό οξείδωσης του.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τον παρακάτω εννοιολογικό χάρτη.

<u>1ο Στάδιο</u>

Η γλυκόλυση είναι

Που πραγματοποιείται

Κάθε μόριο γλυκόζης διασπάται σε

Με ενεργειακό κέρδος

<u>2ο Στάδιο</u>

Ο κύκλος του Krebs είναι

Που πραγματοποιείται στη

Το πυροσταφυλικό οξύ, μετατρέπεται σε

Με ενεργειακό κέρδος

<u>3ο Στάδιο</u>

Η οξειδωτική φωσφορυλίωση είναι

Που πραγματοποιείται στις

Μέσω της

Μεταφέρονται ηλεκτρόνια στο

και μετατρέπεται σε

Με ενεργειακό κέρδος

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) i

β) i

γ) iii

δ) iii

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

1) – γ)
2) – α)
3) – β)
4) – δ)

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Λ

β) Σ

γ) Σ

δ) Λ

ε) Σ

4. Συμπληρώστε με τις κατάλληλες λέξεις τα κενά στο παρακάτω κείμενο.

Για την παραγωγή ενέργειας, οι οργανισμοί διασπούν αρχικά τα βιολογικά.. μακρομόρια στις απλούστερες ουσίες από τις οποίες αποτελούνται. Στη συνέχεια οι απλούστερες ουσίες οξειδώνονται... αποδίδοντας ενέργεια με τη

μορφή ATP. Στην περίπτωση των υδατανθράκων, ο καταβολισμός τους περιλαμβάνει τη γλυκόλυση, τον κύκλο του κιτρικού οξέος και την οξειδωτική φωσφορυλίωση. Κατά τη γλυκόλυση που γίνεται στο κυτταρόπλασμα, ένα μόριο γλυκόζης διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος με ενεργειακό κέρδος 2 ATP. Το επόμενο στάδιο, ο κύκλος του Krebs, γίνεται στη μήτρα του μιτοχονδρίου και παράγονται 2 ATP. Το τελευταίο στάδιο, δηλαδή η οξειδωτική φωσφορυλίωση, γίνεται στις αναδιπλώσεις, της εσωτερικής μεμβράνης του μιτοχονδρίου. Σ' αυτό τα υδρογόνα από τη διάσπαση της γλυκόζης ενώνονται με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, παράγοντας 32 ATP ανά μόριο γλυκόζης. Ο συνολικός δηλαδή αριθμός παραγόμενων ATP από τη διάσπαση ενός μορίου γλυκόζης είναι 36.

5. Να γραφούν η αντίδραση οξείδωσης της γλυκόζης και η αντίδραση αναγωγής του O_2 σε H_2O που καταλύεται από την κυτοχρωμική οξειδάση. Πάνω από κάθε χημικό στοιχείο να γράψετε τον αριθμό οξείδωσης του.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \xrightarrow{\text{Ένζυμα}} 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{ενέργεια (2870 kJ/mol)}$$

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \square\ 2\ H_2O$$

6. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τον παρακάτω εννοιολογικό χάρτη.

Αερόβια αναπνοή:

1ο Στάδιο

Η γλυκόλυση είναι

Αναερόβια διαδικασία

Που πραγματοποιείται

Στο κυτταρόπλασμα

Κάθε μόριο γλυκόζης διασπάται σε

Δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος

Με ενεργειακό κέρδος

2 ATP

2ο Στάδιο

Ο κύκλος του Krebs είναι

Αερόβια διαδικασία

Που πραγματοποιείται στη

μήτρα των μιτοχονδρίων

Το πυροσταφυλικό οξύ, μετατρέπεται σε

ακετυλο-συνένζυμο Α (Ακέτυλο – CoA)

Το οποίο εισέρχεται στον κύκλο και μετατρέπεται σε

CO_2

Με ενεργειακό κέρδος

2 ATP

3ο Στάδιο

Η οξειδωτική φωσφορυλίωση είναι

Αερόβια διαδικασία

Που πραγματοποιείται στις

αναδιπλώσεις της εσωτερικής μεμβράνης του μιτοχονδρίου

Μέσω της

Αναπνευστικής αλυσίδας

Μεταφέρονται ηλεκτρόνια στο

O_2

και μετατρέπεται σε

H_2O

Με ενεργειακό κέρδος

32 ATP

5.4 Σχέδιο μαθήματος: Το μαγγάνιο σε οξειδοαναγωγικά ένζυμα

«Ο προστατευτικός ρόλος του μαγγανίου από τα παραπροϊόντα της κυτταρικής αναπνοής – Ένζυμο σουπεροξειδική δισμουτάση»

Γενικός Σκοπός

Να συνδέσουν οι μαθητές τα ιόντα μαγγανίου με τη δράση της σουπεροξειδικής δισμουτάσης.

Επιμέρους Στόχοι

Στο τέλος της διδασκαλίας της ενότητας αυτής οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να:

1. Περιγράφουν την κυτταρική αναπνοή και τα προϊόντα της.
2. Αναφέρουν τα βλαβερά παραπροϊόντα των καύσεων του ανθρώπινου οργανισμού.
3. Περιγράφουν το ρόλο της σουπεροξειδικής δισμουτάσης των μιτοχονδρίων.
4. Αναφέρουν τη δράση των ιόντων Mn στη σουπεροξειδική δισμουτάση.
5. Γράφουν την αντίδραση που καταλύει η σουπεροξειδική δισμουταση.

Διδακτική αξιοποίηση

- Βιολογία Β’ Λυκείου, Γενικής Παιδείας: Κεφάλαιο 3 «Μεταβολισμός», Ενότητα «Κυτταρική αναπνοή».
- Βιοχημεία Γ’ Λυκείου, Τεχνολογικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 10 «Κύκλος του κιτρικού οξέος και οξειδωτική φωσφορυλίωση».
- Χημεία Β’ Λυκείου, Θετικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 3 «Χημική κινητική», Ενότητα 3.2. «Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης. Καταλύτες» και Κεφάλαιο 5 «Οξειδοαναγωγή», Ενότητα 5.1 «Αριθμός οξείδωσης. Οξείδωση – Αναγωγή».

Χώρος διεξαγωγής της διδασκαλίας

Σχολική τάξη – εργαστήριο σχολείου

Υλικά υποστήριξης της διδασκαλίας

Ανακλαστικός προβολέας διαφανειών

Διαφάνειες

Φύλλο εργασίας

Φύλλο αξιολόγησης

Χρονική διάρκεια

2 ώρες

Προτείνεται ενδεικτική διδακτική προσέγγιση για τη Βιολογία Β΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας

Φάση 1η: Διέγερση ενδιαφέροντος μαθητών

Δείχνουμε στους μαθητές δύο εικόνες αυτοκινήτων, ενός παλιάς τεχνολογίας και ενός καταλυτικού (Εικόνες 1 και 2). Ζητάμε από τους μαθητές να απαντήσουν αν γνωρίζουν που πλεονεκτεί το καταλυτικό αυτοκίνητο έναντι του παλαιού. Εξηγούμε στους μαθητές ότι τα παλιά αυτοκίνητα κατά την καύση της βενζίνης παράγουν καυσαέρια που αποτελούν ρύπους (Εικόνα 3), ενώ τα καινούργια διαθέτουν μια συσκευή που λέγεται καταλύτης, δείχνουμε μια εικόνα του (Εικόνα 4), που μετατρέπει γρήγορα αυτές τις επικίνδυνες, για το περιβάλλον και την υγεία μας, ουσίες σε ακίνδυνες (Εικόνα 5).

Φάση 2η: Οι καύσεις στον οργανισμό μας

Ρωτάμε τους μαθητές να μας απαντήσουν αν πραγματοποιούνται καύσεις στον οργανισμό μας για να πάρουμε ενέργεια, όπως αντίστοιχα κάνουν τα αυτοκίνητα που καίνε βενζίνη. Ξεκινάμε συζήτηση με τους μαθητές για το ποιες ουσίες χρησιμοποιεί ο ανθρώπινος οργανισμός για να πάρει ενέργεια, ποια οργανίδια είναι οι «μηχανές» παραγωγής ενέργειας, ποια είναι τα καυσαέρια αυτών των καύσεων και πως αποβάλλονται. Δείχνουμε μία προσομοίωση που δείχνει πώς αποβάλλεται το CO_2 από τον ανθρώπινο οργανισμό [1]. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 1 του φύλλου εργασίας]

Φάση 3η: Τα προϊόντα των καύσεων του ανθρώπινου οργανισμού

Στη φάση αυτή ρωτάμε τους μαθητές αν πιστεύουν ότι παράγονται κατά τις καύσεις που γίνονται στα κύτταρα μας, και ιδίως στα μιτοχόνδρια, παραπροϊόντα που μας βλάπτουν όπως συμβαίνει με τα αυτοκίνητα παλαιάς τεχνολογίας. Περιγράφουμε συνοπτικά τη διαδικασία της κυτταρικής αναπνοής όπου προϊόν της είναι το τελείως ανηγμένο οξυγόνο (O^{2-}), και τελικά μετατρέπεται σε νερό. Δείχνουμε μία προσομοίωση που παρουσιάζει τη διαδικασία αυτή [2]. Αναφέρουμε στους μαθητές ότι το H_2O δεν είναι το μόνο προϊόν που εμφανίζεται στα κύτταρα και ότι ξεφεύγουν και αρκετά ποσά μερικά ανηγμένου οξυγόνου, που είναι τοξικό για τους οργανισμούς. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 2 του φύλλου εργασίας]

Φάση 4η: Τα παραπροϊόντα των καύσεων του ανθρώπινου οργανισμού

Εξηγούμε στους μαθητές ότι παράγεται μερικά ανηγμένο οξυγόνο γιατί τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται είτε σε ζεύγη, είτε ένα κάθε φορά. Έτσι, το μόριο του οξυγόνου ανάγεται σταδιακά μέχρι να λάβει και τα 4 ηλεκτρόνια και να αναχθεί σε νερό. Έτσι, δημιουργούνται ρίζες ιδιαίτερα βλαβερές για τα βιολογικά συστήματα, όπως τα ενδιάμεσα του τύπου O_2^- από αναγωγή με ένα ηλεκτρόνιο και H_2O_2 από αναγωγή με 2 ηλεκτρόνια. Η πραγματικότητα είναι ότι τέτοιου είδους προϊόντα πράγματι δημιουργούνται. Η καταστροφή του βλαβερού H_2O_2 γίνεται από την καταλάση, ενώ η βλαβερή ανιονική ρίζα του οξυγόνου καταστρέφεται από το ένζυμο δισμουτάση του υπεροξειδίου. Δείχνουμε στους μαθητές την αντίδραση που καταλύει η καταλάση:

$$2\ H_2O_2 \xrightarrow{\text{Καταλάση}} 2\ H_2O + O_2$$

[Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 3 του φύλλου εργασίας]

Φάση 5η: Ο ρόλος του Mn στη σουπεροξειδική δισμουτάση

Δείχνουμε μία εικόνα της σουπεροξειδικής δισμουτάσης και του ενεργού της κέντρου (Εικόνα 6) και την περιγράφουμε. Αναφέρουμε στους μαθητές ότι η πρωτεΐνη αυτή είναι ένα τετραμερές κι ότι κάθε μονομερές αποτελείται από ένα μονοπυρηνικό σύμπλοκο του Mn. Επικεντρωνόμαστε στο ενεργό κέντρο του ενζύμου όπου κάθε ιόν Mn(III) συνδέεται με δύο ιστιδίνες και μία

ασπαρτάμη σε ισημερινές θέσεις και ένα μόριο H_2O καθώς και μία ακόμα ιστιδίνη σε αξονικές θέσεις, δημιουργώντας μία τριγωνική διπυραμίδα, τονίζοντας την οξειδωτική κατάσταση του ιόντος μαγγανίου. Δείχνουμε στους μαθητές την αντίδραση που καταλύει η σουπεροξειδική δισμουτάση:

$$2O_2^- + 2H^+ \square H_2O_2 + O_2$$

Τέλος περιγράφουμε το ρόλο του μαγγανίου στην όλη διαδικασία, όπου αλλάζει μεταξύ των οξειδωτικών καταστάσεων +2 και +3 με μηχανισμό τύπου ping – pong και δείχνουμε τις αντιδράσεις, υπερτονίζοντας το γεγονός ότι το ένζυμο, όπως κάθε καταλύτης, ενώ συμμετέχει, δεν καταναλώνεται κατά την αντίδραση:

$$Mn^{(n+1)+}\text{-SOD} + O_2^- \rightarrow Mn^{n+}\text{-SOD} + O_2$$
$$Mn^{n+}\text{-SOD} + O_2^- + 2\,H^+ \rightarrow Mn^{(n+1)+}\text{-SOD} + H_2O_2$$

[Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 4 και 5 του φύλλου εργασίας]

<u>Φάση 6η:</u> Πείραμα

«Οξειδωτικές καταστάσεις Mn»

<u>Στόχοι:</u> Να μπορούν οι μαθητές στο τέλος της διδακτικής ώρας

- Να συσχετίζουν τις μεταβολές των οξειδωτικών καταστάσεων με τις χρωματικές αλλαγές.
- Να συμπληρώνουν τις ημιαντιδράσεις αναγωγής των ιόντων Mn.

<u>Όργανα – Συσκευές</u>

- 2 ποτήρια ζέσεως των 50 mL

<u>Αντιδραστήρια – Υλικά</u>

- Διάλυμα $KMnO_4$ 0,01 M, (20mL)
- Διάλυμα NaOH 1 M
- Χαρτομάντιλα ή διηθητικό χαρτί

Πορεία μεθόδου

1. Τοποθετούμε 20 ml $KMnO_4$ 0,01 M σε ποτήρι ζέσεως των 50 ml. Το διάλυμα έχει χρώμα μωβ το οποίο οφείλεται στα ιόντα Mn^{7+}.
2. Προσθέτουμε λίγα ml διαλύματος NaOH 1M, ώστε το περιβάλλον να γίνει βασικό.
3. Τοποθετούμε ένα χαρτομάντιλο σε ένα άλλο ποτήρι ζέσεως.
4. Αποχύνουμε το διάλυμα στο χαρτομάντιλο και παρατηρούμε το έντονο πράσινο χρώμα των ιόντων Mn^{6+} (MnO_4^{2-}), τόσο στο χαρτομάντιλο όσο και στο διάλυμα. Τα ιόντα Mn^{7+} ανάγονται από την κυτταρίνη που υπάρχει στο χαρτομάντιλο.
5. Με την πάροδο ενός λεπτού περίπου εμφανίζεται καφέ χρώμα στο χαρτομάντιλο, που οφείλεται στα ιόντα Mn^{4+} (MnO_2). [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 3,4 και 5 του φύλλου εργασίας του πειράματος]

Φάση 7η: Αξιολόγηση

Links για προσομοιώσεις και βίντεο

11. http://www.youtube.com/watch?v=DoSTehS7iq8
12. http://www.youtube.com/watch?v=lRlTBRPv6xM&feature=related

5.4.1 Φύλλο εργασίας

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Σε ποια οργανίδια του κυττάρου πραγματοποιείται η κυτταρική αναπνοή και ποια τα προϊόντα της; (Στόχος 1)

   .....

   .....

   .....

2. Κατά τη διαδικασία της κυτταρικής αναπνοής το οξυγόνο (O_2) που εισέρχεται στο κύτταρο: (Επιλέξτε τη σωστή απάντηση) (Στόχος 1)

   α) Ανάγεται με 2 ηλεκτρόνια προς O^{2-}

   β) Ανάγεται με 2 ηλεκτρόνια προς O^{-}

   γ) Ανάγεται με 1 ηλεκτρόνιο προς O^{-}

   δ) Ανάγεται με 4 ηλεκτρόνια προς O^{2-}

3. Κατά τη διαδικασία της κυτταρικής αναπνοής παράγονται παραπροϊόντα, βλαβερά για τον οργανισμό. Τα παραπροϊόντα αυτά είναι: (Επιλέξτε τη σωστή απάντηση) (Στόχος 2)

   α) H_2O_2 και H_2O

   β) H_2O_2 και O^{2-}

   γ) O^{2-} και H_2O

   δ) CO_2 και H_2O

4. α) Ποια η δομή και ο ρόλος της σουπεροξειδικής δισμουτάσης; (Στόχος 3)
   β) Ανάμεσα σε ποιες οξειδωτικές καταστάσεις αλλάζει το Mn της σουπεροξειδικής δισμουτάσης; (Στόχος 4)

   .....

   .....

   .....

   .....

   .....

   .....

5. Γράψτε την αντίδραση που καταλύει η σουπεροξειδική δισμουτάση; (Στόχος 5)

5.4.2 Φύλλο εργασίας πειράματος

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Συμπλήρωσε τα κενά στις παρακάτω προτάσεις:
   α) Το μωβ χρώμα οφείλεται στα ιόντα....., το πράσινο χρώμα στα ιόντα.....και το καφέ χρώμα στα ιόντα.....
   β) Στο χαρτομάντιλο υπάρχει η....., η οποία δρα ως..... .....και ανάγει τα μωβ ιόντα.....σε πράσινα ιόντα.....ενώ παράλληλα η κυτταρίνη.....

2. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τις ημιαντιδράσεις αναγωγής των ιόντων Mn.

α) + e^- □

(μωβ) (πράσινο)

β) + e^- □

(πράσινο) (καφέ)

3. Το Mn^{7+}:
(Επιλέξτε την σωστή απάντηση)

α) δέχεται ένα ηλεκτρόνιο και ανάγεται σε Mn^{6+}.

β) δέχεται δύο ηλεκτρόνια και ανάγεται σε Mn^{6+}.

γ) δέχεται ένα ηλεκτρόνιο και οξειδώνεται σε Mn^{6+}.

δ) δέχεται δύο ηλεκτρόνια και οξειδώνεται σε Mn^{6+}.

4. Το Mn^{6+}:
(Επιλέξτε την σωστή απάντηση)

α) δέχεται ένα ηλεκτρόνιο και ανάγεται σε Mn^{4+}.

β) δέχεται δύο ηλεκτρόνια και ανάγεται σε Mn^{4+}.

γ) δέχεται ένα ηλεκτρόνιο και οξειδώνεται σε Mn^{4+}.

δ) δέχεται δύο ηλεκτρόνια και οξειδώνεται σε Mn^{4+}.

5. Στην οξειδοαναγωγική αντίδραση μαγγανίου – κυτταρίνης:
(Επιλέξτε την σωστή απάντηση)

i) α) το μαγγάνιο οξειδώνεται και η κυτταρίνη ανάγεται.

β) το μαγγάνιο ανάγεται και η κυτταρίνη οξειδώνεται.

γ) και το μαγγάνιο και η κυτταρίνη οξειδώνονται.

δ) και το μαγγάνιο και η κυτταρίνη ανάγονται.

ii) α) το μαγγάνιο είναι το οξειδωτικό και η κυτταρίνη το αναγωγικό.

β) το μαγγάνιο είναι το αναγωγικό και η κυτταρίνη το οξειδωτικό.

γ) και το μαγγάνιο και η κυτταρίνη είναι οξειδωτικά.

δ) και το μαγγάνιο και η κυτταρίνη αναγωγικά.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

1. Συμπλήρωσε τα κενά στις παρακάτω προτάσεις:

   α) Το μωβ χρώμα οφείλεται στα ιόντα **Mn^{7+}**, το πράσινο χρώμα στα ιόντα **Mn^{6+}** και το καφέ χρώμα στα ιόντα **Mn^{4+}**.

   β) Στο χαρτομάντιλο υπάρχει η **κυτταρίνη**, η οποία δρα ως **αναγωγικό** και ανάγει τα μωβ ιόντα **Mn^{7+}** σε πράσινα ιόντα **Mn^{6+}** ενώ παράλληλα η κυτταρίνη **οξειδώνεται**.

2. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τις ημιαντιδράσεις αναγωγής των ιόντων Mn.

   α) $Mn^{7+} + e^- \square Mn^{6+}$

   (μωβ) (πράσινο)

   β) $Mn^{6+} + e^- \square Mn^{4+}$

   (πράσινο) (καφέ)

3. α)

4. β)

5. i) β)
   ii) α)

5.4.3 Φύλλο αξιολόγησης

ΦΥΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

Βαθμός:

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) Η κυτταρική αναπνοή είναι μια διαδικασία:

i) παραγωγής ενέργειας

ii) εισαγωγής οξυγόνου στο κύτταρο

iii) απομάκρυνσης διοξειδίου του άνθρακα

iv) τίποτα από τα παραπάνω.

β) Η καταλάση εξουδετερώνει:

i) το H_2O_2

ii) το H_2O

iii) το CO_2

iv) το O_2^-

γ) Η σουπεροξειδική δισμουτάση εξουδετερώνει:

i) το H_2O_2

ii) το H_2O

iii) το CO_2

iv) το O_2^-

δ) Το Mn της σουπεροξειδικής δισμουτάσης αλλάζει οξειδωτικές καταστάσεις ανάμεσα σε:

i) +2 και +5

ii) +2 και +3

iii) +3 και +7

iv) +3 και +4

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

Στήλη Α	Στήλη Β
1) Καταλάση	α) Παραπροϊόν καύσης
2) Σουπεροξειδική δισμουτάση	β) Καταλύει την εξουδετέρωση του O_2^-
3) H_2O	γ) Καταλύει την εξουδετέρωση του H_2O_2
4) H_2O_2	δ) Προϊόν καύσης

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Κατά τις καύσεις που πραγματοποιούνται στον ανθρώπινο οργανισμό παράγονται CO_2 και H_2O.

β) Τα ριβοσώματα αποτελούν τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας του οργανισμού.

γ) Η σουπεροξειδική δισμουτάση λειτουργεί όπως ο καταλύτης των αυτοκινήτων και μετατρέπει τα βλαβερά παραπροϊόντα των καύσεων σε αβλαβή.

δ) Το μαγγάνιο της σουπεροξειδικής δισμουτάσης αλλάζει οξειδωτικές καταστάσεις μεταξύ 2+ και 4+.

4. Γράψτε τις αντιδράσεις που καταλύει η σουπεροξειδική δισμουτάση, όπου φαίνεται ότι το ένζυμο ως βιολογικός καταλύτης δεν καταναλώνεται κατά την αντίδραση:

……
……
……
……

5. Συμπληρώστε κατάλληλα τα κενά στο παρακάτω κείμενο.

Η σουπεροξειδική.....είναι ένα τετραμερές με αλυσίδα που αποτελείται από 203.....Κάθε μονομερές αποτελείται από ένα μονοπυρηνικό σύμπλοκο του .....Κάθε ιόν Mn(III) συνδέεται με δύο ..... και μία ασπαρτάμη σε ισημερινές θέσεις και ένα μόριο .....καθώς και μία ακόμα ..... σε αξονικές θέσεις, δημιουργώντας μία τριγωνική .....

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) i

β) i

γ) iv

δ) ii

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

1) – γ)
2) – β)
3) – δ)
4) – α)

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Σ
β) Λ
γ) Σ
δ) Λ

4. Γράψτε τις αντιδράσεις που καταλύει η σουπεροξειδική δισμουτάση, όπου φαίνεται ότι το ένζυμο ως βιολογικός καταλύτης δεν καταναλώνεται κατά την αντίδραση:

$Mn^{(n+1)+}$-SOD + O_2^- → Mn^{n+}-SOD + O_2
Mn^{n+}-SOD + O_2^- + 2 H^+ → $Mn^{(n+1)+}$-SOD + H_2O_2

5. Συμπληρώστε κατάλληλα τα κενά στο παρακάτω κείμενο.

Η σουπεροξειδική **δισμουτάση** είναι ένα τετραμερές με αλυσίδα που αποτελείται από 203 **αμινοξέα**. Κάθε μονομερές αποτελείται από ένα μονοπυρηνικό σύμπλοκο του **Mn**. Κάθε ιόν Mn(III) συνδέεται με δύο **ιστιδίνες** και μία ασπαρτάμη σε ισημερινές θέσεις και ένα μόριο **H_2O** καθώς και μία ακόμα **ιστιδίνη** σε αξονικές θέσεις, δημιουργώντας μία τριγωνική **διπυραμίδα.**

5.5 Σχέδιο μαθήματος: Η δράση των ιχνοστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό

Γενικός Σκοπός

Να γνωρίσουν οι μαθητές τη δράση των ιχνοστοιχείων V, Cr, Se, Co, Mo και Zn στον ανθρώπινο οργανισμό.

Επιμέρους Στόχοι

Στο τέλος της διδασκαλίας της ενότητας αυτής οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να:

1. Αναφέρουν τις ουσίες που αποτελούν τον ανθρώπινο οργανισμό.
2. Ξεχωρίζουν τα μακροστοιχεία από τα ιχνοστοιχεία.
3. Αναφέρουν τα χημικά στοιχεία που αποτελούν τα απαραίτητα ιχνοστοιχεία για τον ανθρώπινο οργανισμό.
4. Περιγράφουν έναν σημαντικό βιολογικό ρόλο που παίζει κάθε ένα από τα ιχνοστοιχεία Zn, Co, Cr, V, Se και Mo.

Διδακτική αξιοποίηση

- Βιολογία Α' Λυκείου: Κεφάλαιο 2 «Πεπτικό σύστημα», Ενότητα «Πέψη και απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών».
- Χημεία Β' Λυκείου, Γενικής Παιδείας: Κεφάλαιο 4 «Βιομόρια και άλλα μόρια».
- Βιολογία Β' Λυκείου, Θετικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 5 «Ενέργεια και μεταβολισμός», Ενότητα «Πέψη και απορρόφηση».
- Βιολογία Β' Λυκείου, Γενικής Παιδείας: Κεφάλαιο 1 «Χημική σύσταση του κυττάρου», Ενότητα 1.2 «Μακρομόρια».
- Χημεία Β' Λυκείου, Θετικής Κατεύθυνσης: Κεφάλαιο 5 «Οξειδοαναγωγή», Ενότητα 5.1 «Αριθμός οξείδωσης. Οξείδωση – Αναγωγή».

Χώρος διεξαγωγής της διδασκαλίας

Σχολική τάξη – εργαστήριο σχολείου

Υλικά υποστήριξης της διδασκαλίας

Ανακλαστικός προβολέας διαφανειών

Διαφάνειες

Φύλλο εργασίας
Φύλλο αξιολόγησης

Χρονική διάρκεια

3 ώρες

Προτείνεται ενδεικτική διδακτική προσέγγιση για τη Βιολογία Β΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας

Φάση 1η: Εισαγωγή στα χημικά στοιχεία που αποτελούν το ανθρώπινο σώμα.

Ξεκινάμε συζήτηση με τους μαθητές για τις ενώσεις που αποτελούν τον ανθρώπινο οργανισμό. Τους δείχνουμε εικόνα με τις κατηγορίες των βιομορίων (Εικόνα 1) και εικόνες με τα μονομερή που τις αποτελούν (Εικόνες 2, 3, 4, 5). Ρωτάμε τους μαθητές να μας πουν από ποια χημικά στοιχεία παρατηρούν ότι αποτελούνται αυτές οι ενώσεις. Στη συνέχεια τους ρωτάμε αν εκτός από C, O, N και H υπάρχουν άλλα χημικά στοιχεία στο ανθρώπινο σώμα, όπως στα κόκκαλα ή στην αιμοσφαιρίνη. Στο σημείο αυτό αναφέρουμε ότι πολλά χημικά στοιχεία είναι απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό, γιατί η απουσία τους ή η ανεπάρκεια τους μπορεί να προκαλέσει ασθένειες, ανωμαλίες ή σοβαρές δυσλειτουργίες και ότι τα στοιχεία αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την ποσότητα τους ανά κιλό ανθρωπίνου σώματος. [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 1 και 2 του φύλλου εργασίας]

Φάση 2η: Εισαγωγή στα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία.

Ξεκινάμε τη φάση αυτή αναφέροντας στους μαθητές τις δύο κατηγορίες χημικών στοιχείων. Τους λέμε ότι ως μακροστοιχεία χαρακτηρίζονται τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται σε ποσότητες κάποιων g ανά κιλό σώματος και ότι αυτά είναι τα O, C, H, N, S, Na, K, Mg, Ca, P και Cl. Ενώ ως ιχνοστοιχεία, χαρακτηρίζονται τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται σε ποσότητες mg ή μg ανά κιλό σώματος και ότι αυτά είναι τα Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Cr, V, Se, I και Mo (Εικόνα 6). Επίσης, τονίζουμε στους μαθητές ότι για κάποια χημικά στοιχεία δεν έχει ξεκαθαριστεί ακόμα αν είναι απαραίτητα για τον οργανισμό ή όχι (π.χ. Ni και As). Τέλος, περιγράφουμε το βιολογικό ρόλο

που μπορεί να έχει ένα ιχνοστοιχείο, όπως να συμμετέχει σε ένα ένζυμο (π.χ. το Mn στη σουπεροξειδική δισμουτάση, που η δράση της περιγράφεται σε άλλο σχέδιο μαθήματος), σε μια πρωτεΐνη μεταφοράς οξυγόνου (π.χ. ο Fe στην αιμοσφαιρίνη), σε μια πρωτεΐνη - ένζυμο μεταφοράς ηλεκτρονίων (π.χ. ο Cu στην κυτοχρωμική οξειδάση, που η δράση της περιγράφεται σε άλλο σχέδιο μαθήματος) ή σε μια βιταμίνη. [Οι μαθητές συμπληρώνουν τις ερωτήσεις 3 και 4 του φύλλου εργασίας]

Φάση 3η: Η βιολογική δράση του Zn

Ξεκινάμε τη φάση αυτή αναφέροντας επιγραμματικά τους βιολογικούς ρόλους που έχει ο ψευδάργυρος στον ανθρώπινο οργανισμό. Συγκεκριμένα αναφέρουμε ότι αποτελεί μέρος της ινσουλίνης και πολλών ενζύμων, ότι συμμετέχει στην δημιουργία του γενετικού υλικού και αρκετών πρωτεϊνών. Επίσης συμμετέχει στις ανοσολογικές αντιδράσεις, στη μεταφορά της βιταμίνης Α, στην αίσθηση της γεύσης, στην επούλωση των πληγών, στην δημιουργία του σπέρματος και στη φυσιολογική ανάπτυξη του εμβρύου. Αναφέρουμε ότι συμμετέχει στα ένζυμα καρβοξυπεπτιδάσες και δείχνουμε τη δομή τους και το καταλυτικό τους κέντρο (Εικόνα 7). Οι καρβοξυπεπτιδάσες καταλύουν την υδρόλυση του C – τελικού αμινοξέος ενός πεπτιδίου ή μιας πρωτεϊνικής αλυσίδας (Εικόνα 8 και 9). Τέλος, παρουσιάζουμε στους μαθητές τα τρόφιμα που περιέχουν ψευδάργυρο και τις ασθένειες που οφείλονται σε έλλειψη ή περίσσεια του. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5. α) του φύλλου εργασίας]

Φάση 4η: Η βιολογική δράση του Cr

Ξεκινάμε τη φάση αυτή αναφέροντας επιγραμματικά τους βιολογικούς ρόλους που έχει το χρώμιο στον ανθρώπινο οργανισμό. Το χρώμιο είναι απαραίτητο για τον μεταβολισμό των λιπιδίων (χοληστερίνη, τριγλυκερίδια) και των σακχάρων αλλά ο κυριότερος του ρόλος είναι ότι κάνει τη δράση της ινσουλίνης πιο αποτελεσματική. Γίνεται συζήτηση με τους μαθητές για την ασθένεια του σακχαρώδη διαβήτη και τους εξηγούμε πως το χρώμιο βοηθά στο να χρειάζεται ο ασθενής λιγότερη ινσουλίνη. Συγκεκριμένα, τους περιγράφουμε πως το χρώμιο βοηθάει στη σύνδεση της ινσουλίνης στους κατάλληλους υποδοχείς των κυτταρικών μεμβρανών και τους δείχνουμε μια

εικόνα (Εικόνα 10). Τέλος παρουσιάζουμε στους μαθητές τα τρόφιμα που περιέχουν χρώμιο και τις ασθένειες που οφείλονται σε έλλειψη ή περίσσεια του. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5. β) του φύλλου εργασίας]

Φάση 5η: Η βιολογική δράση του Co

Για το κοβάλτιο επισημαίνουμε στους μαθητές ότι θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο αποκλειστικώς και μόνο επειδή είναι συστατικό της βιταμίνης B_{12} (Κοβαλαμίνη). Αρχικά περιγράφουμε τη δομή της, δηλαδή ότι αποτελείται από ένα σύστημα κορρινικού δακτυλίου, στο κέντρο του οποίου βρίσκεται ένα άτομο κοβαλτίου, από ένα ριβονουκλεοτίδιο και από μία ομάδα R (Εικόνα 11). Εν συνεχεία περιγράφουμε τις δράσεις της. Οι δράσεις αυτές περιλαμβάνουν τη σύνθεση του DNA, την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων και την αποτοξίνωση του οργανισμού από τα κυανιούχα και γενικά ενεργεί ως συμπαράγοντας σε πολλά ένζυμα στους ζωντανούς οργανισμούς. Τέλος, παρουσιάζουμε στους μαθητές τα τρόφιμα που περιέχουν κοβάλτιο και τις ασθένειες που οφείλονται σε έλλειψη ή περίσσεια του. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5. γ) του φύλλου εργασίας]

Φάση 6η: Η βιολογική δράση του Mo

Για το μολυβδαίνιο λέμε στους μαθητές ότι είναι απαραίτητο για τη δράση ορισμένων ενζύμων που συμμετέχουν στην αποικοδόμηση ουσιών όπως οι πουρίνες και τα θειοαμινοξέα, αλλά και ότι οι περισσότερες αντιδράσεις που καταλύονται από τα μολυβδαινοένζυμα περιλαμβάνουν μεταφορά οξυγόνου. Ως παράδειγμα αποικοδόμησης πουρινών, περιγράφουμε το ένζυμο οξειδάση της ξανθίνης που ρυθμίζει τον μεταβολισμό του σιδήρου και την παραγωγή ουρικού οξέος. Συγκεκριμένα, το ένζυμο αυτό καταλύει την οξείδωση της ξανθίνης (μία πουρίνη) προς ουρικό οξύ (Εικόνα 12). Τέλος, παρουσιάζουμε στους μαθητές τα τρόφιμα που περιέχουν μολυβδαίνιο και τις ασθένειες που οφείλονται σε έλλειψη ή περίσσεια του. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5. δ) του φύλλου εργασίας]

Φάση 7η: Η βιολογική δράση του Se

Για το σελήνιο αναφέρουμε στους μαθητές ότι έχει αντιοξειδωτική δράση. Συγκεκριμένα, βρίσκεται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου γλουταθειόνη

υπεροξειδάση και δρα συνεργικά με τις βιταμίνες A, C και E και εξουδετερώνει την περίσσεια των ελευθέρων ριζών, που είναι καταστροφικές για τον οργανισμό γιατί προσβάλλουν, και πολλές φορές καταστρέφουν, τις κυτταρικές μεμβράνες καθώς και το μόριο του DNA (Εικόνα 13). Στη συνέχεια τους περιγράφουμε τη δομή και τη δράση της, δείχνοντας τους μια εικόνα (Εικόνα 14) και τους γράφουμε στον πίνακα την αντίδραση που καταλύει ($2GSH + H_2O_2 \rightarrow GS–SG + 2H_2O$). Τέλος, παρουσιάζουμε στους μαθητές τα τρόφιμα που περιέχουν σελήνιο και τις ασθένειες που οφείλονται σε έλλειψη ή περίσσεια του. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5. ε) του φύλλου εργασίας]

<u>Φάση 8η:</u> Η βιολογική δράση του V

Στη φάση αυτή αναφέρουμε επιγραμματικά τους βιολογικούς ρόλους που έχει το βανάδιο στον ανθρώπινο οργανισμό. Συνήθως λειτουργεί ως συμπαράγοντας σε ένζυμα που συμμετέχουν στο μεταβολισμό των σακχάρων, των λιπιδίων και της χοληστερόλης, παίζει ρόλο στην ανάπτυξη των δοντιών και των οστών, στη λειτουργία του θυρεοειδή και στην παραγωγή ορμονών. Παίζει επίσης ρόλο για τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ του νατρίου και του καλίου στο σώμα. Τονίζουμε εδώ στους μαθητές, ότι το γεγονός ότι το βανάδιο είναι απαραίτητο σε τόσες διαδικασίες, οφείλεται στις πολλές οξειδωτικές του καταστάσεις. Τέλος παρουσιάζουμε στους μαθητές τα τρόφιμα που περιέχουν βανάδιο και τις ασθένειες που οφείλονται σε έλλειψη ή περίσσεια του. [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 5. στ) του φύλλου εργασίας]

<u>Φάση 9η:</u> Πείραμα βαναδίου

«Οξειδωτικές καταστάσεις V»

<u>Στόχοι:</u> Να μπορούν οι μαθητές στο τέλος της διδακτικής ώρας

- Να συσχετίζουν τις μεταβολές των οξειδωτικών καταστάσεων με τις χρωματικές αλλαγές.
- Να συμπληρώνουν τις αντιδράσεις αναγωγής των ιόντων V.

<u>Όργανα – Συσκευές</u>

- Ογκομετρική φιάλη 1L
- Ογκομετρικός κύλινδρος 500mL
- Κωνική φιάλη 1L
- Σπάτουλα
- Υδρόλουτρο
- Σταγονόμετρο
- Ογκομετρικός σωλήνας

<u>Αντιδραστήρια – Υλικά</u>

- Διάλυμα H_2SO_4 1M
- Στερεό NH_4VO_3
- Zn (σκόνη)
- Διάλυμα $KMnO_4/H_2SO_4$ 0,1M
- Απιονισμένο νερό

<u>Πορεία μεθόδου</u>

1. Τοποθετούμε 900mL διαλύματος H_2SO_4 1M σε ογκομετρική φιάλη του 1L και προσθέτουμε 11,7g NH_4VO_3. Συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Προκύπτει κίτρινο διάλυμα, λόγω των VO_2^+. (Αντίδραση: $VO_3^-{}_{(aq)} + 2H^+{}_{(aq)} \rightarrow VO_2^+{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$) [Οι μαθητές συμπληρώνουν την ερώτηση 2 και στην ερώτηση 1 την 1η στήλη του πίνακα του φύλλου εργασίας του πειράματος].
2. Τοποθετούμε 500mL από το διάλυμα σε μια κωνική φιάλη του 1L με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου και προσθέτουμε 15g Zn. Παρατηρούμε ότι παράγονται φυσαλίδες H_2 (Αντίδραση: $Zn_{(s)} + 2H^+{}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}{}_{(aq)} + H_{2(g)}$) [οι μαθητές συμπληρώνουν την αντίδραση στην ερώτηση 3 του φύλλου εργασίας του πειράματος] και το διάλυμα γίνεται αρχικά πράσινο και αμέσως γαλάζιο (Αντίδραση: $VO_2^+{}_{(aq)} + 4H^+{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow H_2O_{(l)} + V^{3+}{}_{(aq)} + Zn^{2+}{}_{(aq)}$). [Οι μαθητές συμπληρώνουν στην ερώτηση 1 την 2η στήλη του πίνακα και την ερώτηση 4 του φύλλου εργασίας του πειράματος].
2. Μετά από 15’ περίπου το χρώμα του διαλύματος γίνεται αρχικά πράσινο, λόγω των $V^{3+}{}_{(aq)}$ και τελικά μωβ, λόγω των $V^{2+}{}_{(aq)}$. [Οι

μαθητές συμπληρώνουν στην ερώτηση 1 την 3η στήλη και την 4η στήλη του πίνακα του φύλλου εργασίας του πειράματος].

3. Όταν η αντίδραση ολοκληρωθεί και το διάλυμα είναι πλέον καθαρό μωβ παίρνουμε 50mL του διαλύματος μέσα σε ογκομετρικό σωλήνα που τοποθετούμε σε υδρόλουτρο. Προσθέτουμε στάγδην στο σωλήνα διάλυμα $KMnO_4/H_2SO_4$ 0,1M με σταγονόμετρο. Το $V^{2+}_{(aq)}$ αρχίζει να οξειδώνεται προς $VO^{2+}_{(aq)}$ μέχρι $VO_3^-{}_{(aq)}$. Στην πορεία αυτή βλέπουμε το διάλυμα να χρωματίζεται από μωβ σε πράσινο, μπλε και τελικά κίτρινο.

Φάση 10η: Αξιολόγηση

5.5.1. Φύλλο εργασίας

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από: (Επιλέξτε τη σωστή απάντηση) (Στόχος 1)

   α) Πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη και νουκλεϊκά οξέα.
   β) Νερό.
   γ) Μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία.
   δ) Όλα τα παραπάνω.

2. Οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες, τα λίπη και τα νουκλεϊκά οξέα αποτελούνται κυρίως από: (Επιλέξτε τη σωστή απάντηση) (Στόχος 1)

α) C, O, N και H

β) Na, K και Ca.

γ) Zn, Fe, και Cu.

δ) Μέταλλα

3. Βάλτε ένα Σ αν η πρόταση είναι σωστή ή ένα Λ αν η πρόταση είναι λανθασμένη (Στόχος 2)

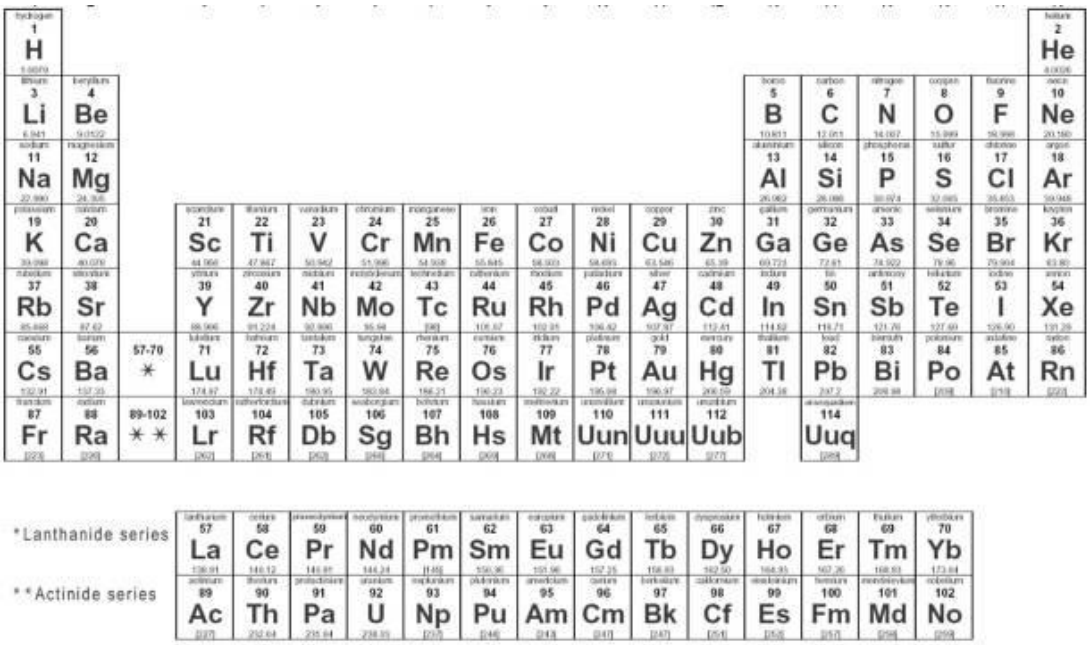
α) Στα ιχνοστοιχεία ανήκουν τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται σε ποσότητες κάποιων γραμμαρίων ανά κιλό σώματος.

β) Στα μακροστοιχεία ανήκουν τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται σε ποσότητες χιλιοστών ή εκατομμυριοστών του γραμμαρίου ανά κιλό σώματος.

γ) Τα O, C, H, N, S, Na, K, Mg, Ca, P και Cl ανήκουν στα μακροστοιχεία.

δ) Τα Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Cr, V, Se, I και Mo ανήκουν στα ιχνοστοιχεία.

4. Στον παρακάτω περιοδικό πίνακα κυκλώστε τα χημικά στοιχεία που ανήκουν στα μακροστοιχεία με μπλε χρώμα και στα ιχνοστοιχεία με κόκκινο χρώμα; (Στόχος 2 και 3)



5. Τοποθετήστε κατάλληλα στα παρακάτω κουτιά τις παρακάτω φράσεις: (Στόχος 4)
    - συστατικό της βιταμίνης B_{12}
    - οξείδωση της ξανθίνης προς ουρικό οξύ
    - πιο αποτελεσματική η ινσουλίνη
    - ένζυμα καρβοξυπεπτιδάσες
    - παίζει ρόλο στην ανάπτυξη των δοντιών και των οστών
    - αντιοξειδωτική δράση

α)	Zn □
β)	Cr □
γ)	Co □
δ)	Mo □
ε)	Se □
στ)	V □

5.5.2 Φύλλο εργασίας πειράματος

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

1. Συμπλήρωσε τον παρακάτω πίνακα με βάση τις παρατηρήσεις σας:

Ιόν	$VO_2^+(aq)$	$VO^{2+}(aq)$	$V^{3+}(aq)$	$V^{2+}(aq)$
Χρώμα				
Οξειδωτική κατάσταση				
Όνομα				

2. Να γράψετε την αντίδραση μετατροπής του VO_3^- σε VO_2^+ παρουσία οξέος.

3. Να γράψετε την αντίδραση του Zn με το H_2SO_4.

4. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τις παρακάτω αντιδράσεις και να γράψετε τα χρώματα που αντιστοιχούν σε κάθε οξειδωτική κατάσταση του βαναδίου.

α) $2VO_2^+{}_{(aq)} + 4H^+{}_{(aq)} + Zn_{(s)}$ □

β) $VO^{2+}_{(aq)} + 4H^{+}_{(aq)} + Zn_{(s)}$ □

γ) $2V^{3+}_{(aq)} + Zn_{(s)}$ □

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

1. Συμπλήρωσε τον παρακάτω πίνακα με βάση τις παρατηρήσεις σας:

Ιόν	VO_2^+(aq)	VO^{2+}(aq)	V^{3+}(aq)	V^{2+}(aq)
Χρώμα	Κίτρινο	Γαλάζιο	Πράσινο	Μωβ
Οξειδωτική κατάσταση	5+	4+	3+	2+
Όνομα	Βαναδικό κατιόν	Βαναδύλιο	Τρισθενές βανάδιο	Δισθενές βανάδιο

2. Να γράψετε την αντίδραση μετατροπής του VO_3^- σε VO_2^+ παρουσία οξέος.

$$VO_3^-{}_{(aq)} + 2H^+_{(aq)} \square VO_2^+{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

3. Να γράψετε την αντίδραση του Zn με το H_2SO_4.

$$Zn_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \square Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}\square$$

4. Να συμπληρώσετε κατάλληλα τις παρακάτω αντιδράσεις και να γράψετε τα χρώματα που αντιστοιχούν σε κάθε οξειδωτική κατάσταση του βαναδίου.

α) $2VO_2^+{}_{(aq)} + 4H^+{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + 2VO^{2+}{}_{(aq)} + Zn^{2+}{}_{(aq)}$

Κίτρινο Γαλάζιο

β) $2VO^{2+}{}_{(aq)} + 4H^+{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + 2V^{3+}{}_{(aq)} + Zn^{2+}{}_{(aq)}$

Γαλάζιο Πράσινο

γ) $2V^{3+}{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow 2V^{2+}{}_{(aq)} + Zn^{2+}{}_{(aq)}$

Πράσινο Μωβ

5.5.3 Φύλλο αξιολόγησης

ΦΥΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

Βαθμός:

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) Ως μακροστοιχεία χαρακτηρίζονται τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται σε ποσότητες:

i) κάποιων g ανά kg σώματος.

ii) κάποιων mg ανά kg σώματος.

iii) κάποιων μg ανά kg σώματος.

iv) τίποτα από τα παραπάνω.

β) Ένα ιχνοστοιχείο, μπορεί να συμμετέχει:

i) σε ένα ένζυμο.

ii) σε μια πρωτεΐνη μεταφοράς οξυγόνου.

iii) σε μια πρωτεΐνη - ένζυμο μεταφοράς ηλεκτρονίων.

iv) όλα τα παραπάνω.

γ) Τα χημικά στοιχεία Cu, Fe, Mn, I, Zn, Co, Cr, V, Mo και Se ανήκουν στα:

i) μέταλλα

ii) αμέταλλα

iii) μακροστοιχεία

iv) ιχνοστοιχεία

δ) Το Co βρίσκεται:

i) στη βιταμίνη D

ii) στη βιταμίνη B_{12}

iii) στη βιταμίνη A

iv) στη βιταμίνη E

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

Στήλη Α	Στήλη Β
1) Zn	α) Βιταμίνη B_{12}
2) Co	β) Αντιοξειδωτική δράση
3) Cr	γ) Ένζυμα καρβοξυπεπτιδάσες
4) V	δ) Κάνει τη δράση της ινσουλίνης πιο αποτελεσματική
5) Mo	ε) Οξείδωση της ξανθίνης προς ουρικό οξύ
6) Se	στ) Παίζει ρόλο στην ανάπτυξη των δοντιών και των οστών

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται μόνο από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη και νουκλεϊκά οξέα.
β) Ως ιχνοστοιχεία χαρακτηρίζονται τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται σε ποσότητες κάποιων mg ή μg ανά Kg ανθρωπίνου σώματος.
γ) Τα χημικά στοιχεία C, O, N και H ανήκουν στα ιχνοστοιχεία.
δ) Αν έχει ο ανθρώπινος οργανισμός ανεπάρκεια σε κάποιο ιχνοστοιχείο, μπορεί να ασθενήσει.

4. Γράψτε την αντίδραση που καταλύει το ένζυμο γλουταθειόνη υπεροξειδάση, που διαθέτει 4 άτομα σεληνίου στο ενεργό του κέντρο:

……
……
……
……

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΦΥΛΛΟΥ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Στις επόμενες ερωτήσεις να επιλέξεις τη σωστή απάντηση:

α) i

β) iv

γ) iv

δ) ii

2. Να αντιστοιχίσεις τους όρους της στήλης Α με τους όρους της στήλης Β:

1) – γ)
2) – α)
3) – δ)
4) – στ)
5) – ε)
6) – β)

3. Να χαρακτηρίσεις καθεμιά από τις παρακάτω ερωτήσεις με Σ για τις ορθές και Λ για τις λανθασμένες.

α) Λ
β) Σ
γ) Λ
δ) Σ

4. Γράψτε την αντίδραση που καταλύει το ένζυμο γλουταθειόνη υπεροξειδάση, που διαθέτει 4 άτομα σεληνίου στο ενεργό του κέντρο:

$$2GSH + H_2O_2 \rightarrow GS–SG + 2H_2O$$

5.6 Συνθετική εργασία – project

Θέμα: ***Διερευνώντας την αιμοσφαιρίνη.***

Το σχέδιο εργασίας που ακολουθεί απευθύνεται σε μαθητές της Γ' Λυκείου.

Το θέμα επιλέχθηκε γιατί μπορεί να διδαχθεί διαθεματικά συνδυάζοντας:

- Οργανική Χημεία
- Βιοχημεία
- Βιολογία

Οι στόχοι που θέτουμε είναι οι μαθητές με την επίτευξη αυτού του σχεδίου εργασίας να:

- Κατανοήσουν τη δομή και το ρόλο της αιμοσφαιρίνης στον ανθρώπινο οργανισμό.
- Γνωρίσουν τις ασθένειες που οφείλονται σε γενετικές μεταλλάξεις της αιμοσφαιρίνης.
- Αποκτήσουν κοινωνικές δεξιότητες (συνεργασία, επικοινωνία, αντιπαράθεση απόψεων).

Οι μαθητές χωρίζονται σε ομάδες και κάθε ομάδα αναλαμβάνει ένα από τα προτεινόμενα θέματα που ακολουθούν:

1^{ο} θέμα: Φυσιολογική λειτουργία της αιμοσφαιρίνης.

Αναζήτησε πληροφορίες από βιβλιοθήκες, ή από το διαδίκτυο σύμφωνα με τις οδηγίες του εκπαιδευτικού σου, σχετικά με:

Α. Τη δομή της αιμοσφαιρίνης.

Β. Το φυσιολογικό της ρόλο στον ανθρώπινο οργανισμό.

Γ. Το ρόλο που διαδραματίζει ο Fe στη μεταφορά του O_2.

Δ. Κατά πόσο υπάρχουν άνθρωποι που στις φλέβες τους κυλάει γαλάζιο αίμα («Γαλαζοαίματοι»).

2^{ο} θέμα: Αιμοσφαιρίνη και CO.

Αναζήτησε πληροφορίες από βιβλιοθήκες, ή από το διαδίκτυο σύμφωνα με τις οδηγίες του εκπαιδευτικού σου, σχετικά με:

Α. Τη δομή της αιμοσφαιρίνης.

Β. Τη δηλητηρίαση του ανθρώπινου οργανισμού από το CO.

Γ. Το ρόλο που διαδραματίζει ο Fe κατά τη δέσμευση του CO στην αιμοσφαιρίνη.

Δ. Κατά πόσο υπάρχουν άνθρωποι που στις φλέβες τους κυλάει γαλάζιο αίμα («Γαλαζοαίματοι»).

3^{ο} θέμα: Αιμοσφαιρίνη και θαλασσαιμία.

Αναζήτησε πληροφορίες από βιβλιοθήκες, ή από το διαδίκτυο σύμφωνα με τις οδηγίες του εκπαιδευτικού σου, σχετικά με:

Α. Τη δομή της αιμοσφαιρίνης.

Β. Τις αιτίες της θαλασσαιμίας.

Γ. Τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου που πάσχει από θαλασσαιμία.

Δ. Κατά πόσο υπάρχουν άνθρωποι που στις φλέβες τους κυλάει γαλάζιο αίμα («Γαλαζοαίματοι»).

4^{ο} θέμα: Αιμοσφαιρίνη και δρεπανοκυτταρική αναιμία.

Αναζήτησε πληροφορίες από βιβλιοθήκες, ή από το διαδίκτυο σύμφωνα με τις οδηγίες του εκπαιδευτικού σου, σχετικά με:

Α. Τη δομή της αιμοσφαιρίνης.

Β. Τις αιτίες της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας.

Γ. Τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου που πάσχει από δρεπανοκυτταρική αναιμία.

Δ. Κατά πόσο υπάρχουν άνθρωποι που στις φλέβες τους κυλάει γαλάζιο αίμα («Γαλαζοαίματοι»).

Οι μαθητές μπορούν να πραγματοποιήσουν επίσκεψη σε μικροβιολογικό εργαστήριο, κατόπιν συνεννόησης με τον ιδιοκτήτη.

Επίσκεψη σε μικροβιολογικό εργαστήριο

Πριν την επίσκεψη:

Ο εκπαιδευτικός πρέπει να προετοιμάσει κατάλληλα τους μαθητές:

- Γνωστικά, αναλύοντας τις σχετικές διδακτικές ενότητες μαζί με τους μαθητές, κατόπιν της έρευνας που οι ίδιοι πραγματοποίησαν.
- Ψυχολογικά, ενημερώνοντάς τους σχετικά με το χώρο που πρόκειται να επισκεφθούν και τι πρόκειται να παρακολουθήσουν.

Κατά την επίσκεψη:

- Να παρακολουθήσουν στο μικροσκόπιο φυσιολογικά ερυθρά αιμοσφαίρια καθώς και αιμοσφαίρια ανθρώπων που πάσχουν από θαλασσαιμία και δρεπανοκυτταρική αναιμία .
- Να αντλήσουν πληροφορίες για το θέμα, συζητώντας με τον υπεύθυνο και διατυπώνοντάς του ερωτήσεις .

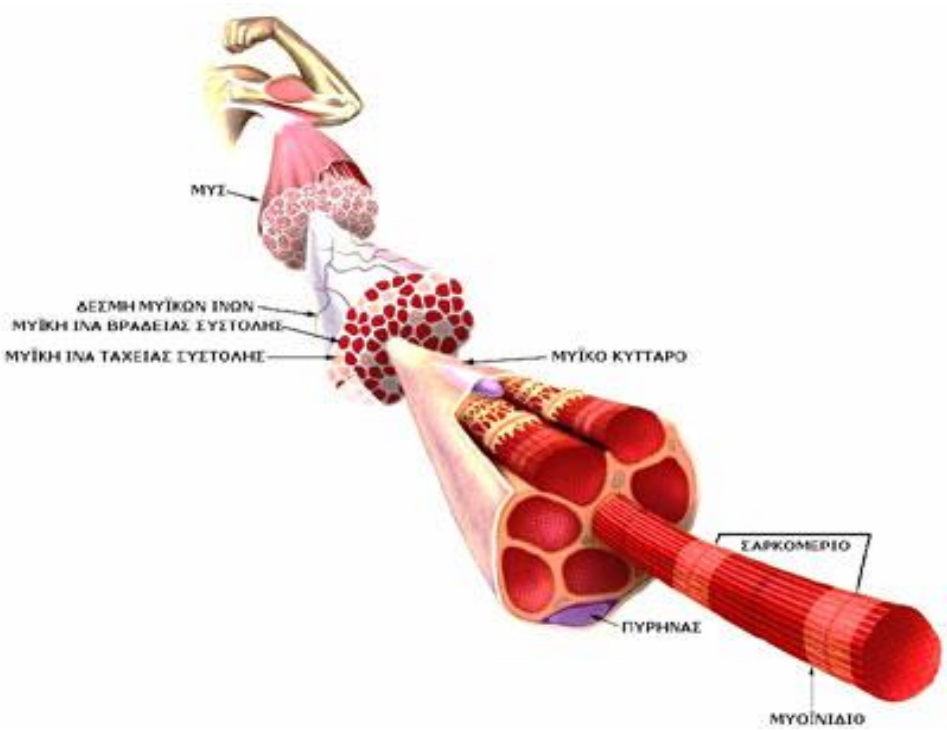
Μετά την επίσκεψη:

- Ακολουθεί συζήτηση ανάμεσα στις ομάδες και στον διδάσκοντα, σχετικά με τις εντυπώσεις που αποκόμισαν από την επίσκεψή τους.
- Κάθε ομάδα παρουσιάζει τα ευρήματα και της εμπειρίες που αποκόμισε μέσα από την όλη διαδικασία, δέχεται ερωτήσεις - προτάσεις για βελτίωση από τις υπόλοιπες ομάδες και τον διδάσκοντα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

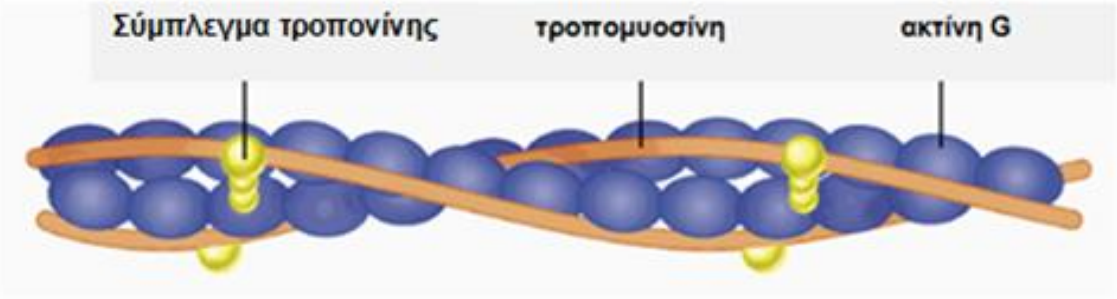
ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ ΣΧΕΔΙΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ

Σχέδιο μαθήματος: Μυϊκή συστολή

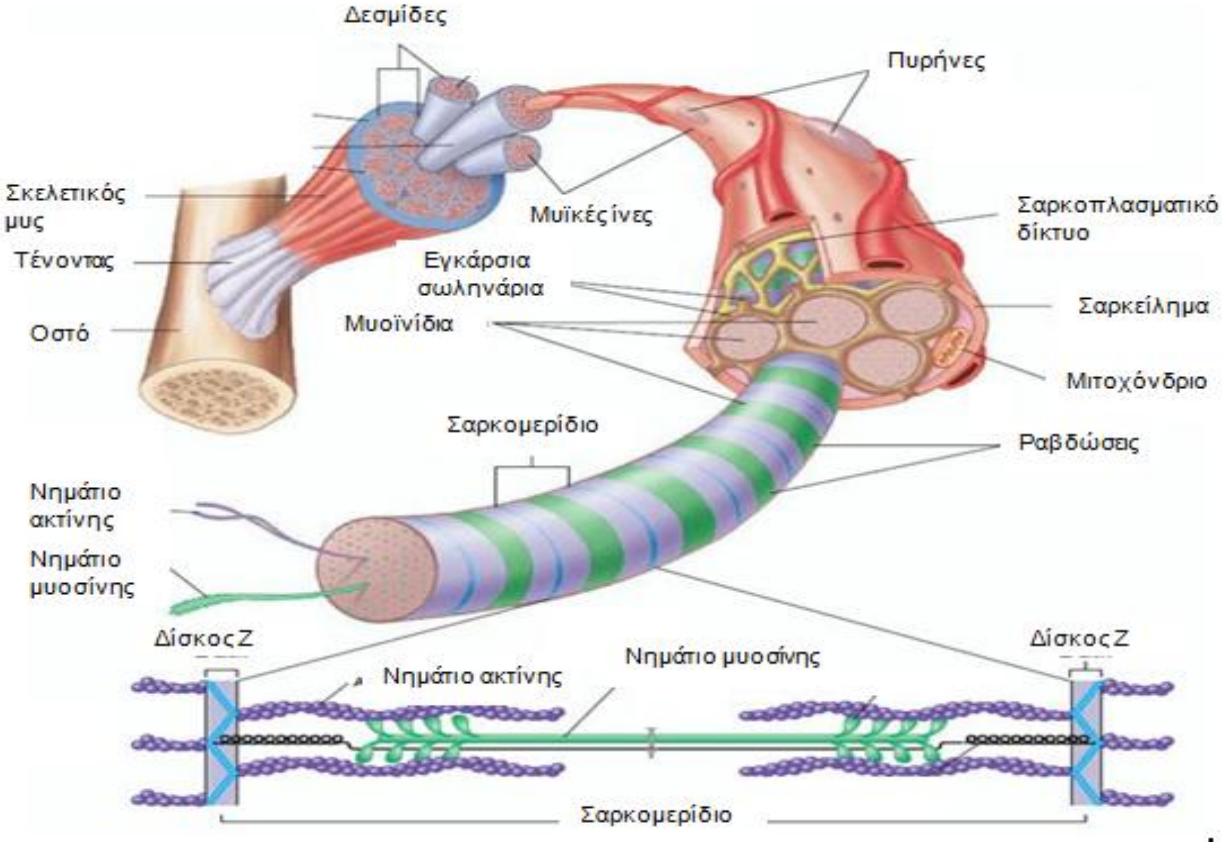


Εικόνα 1: Δομή του σκελετικού μυός.

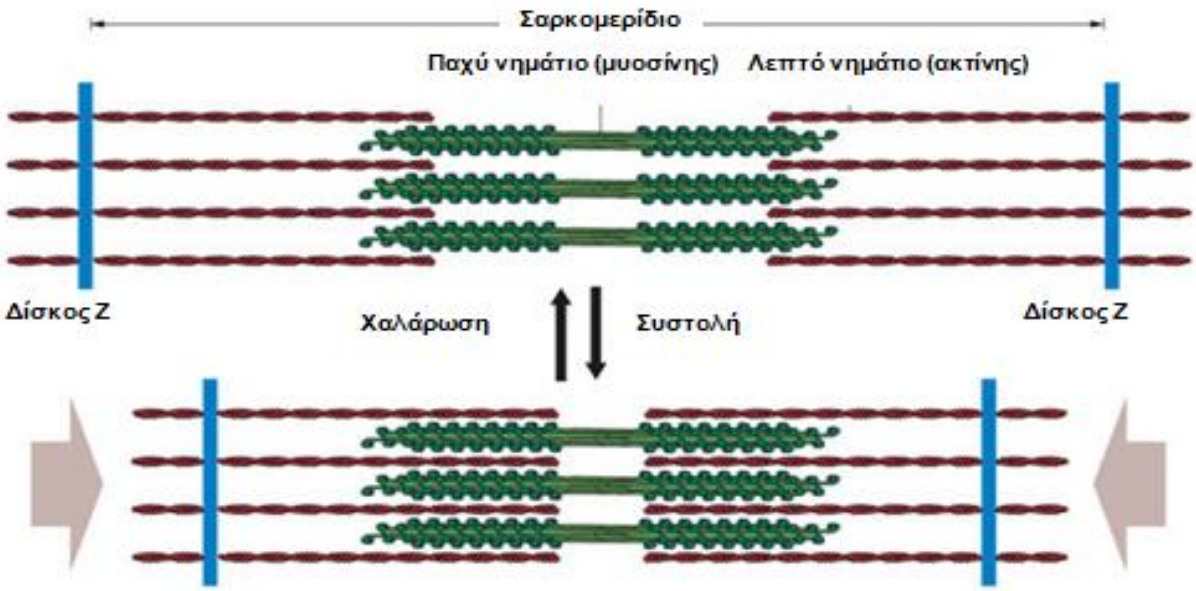
Εικόνα 2: Το μόριο της μυοσίνης.

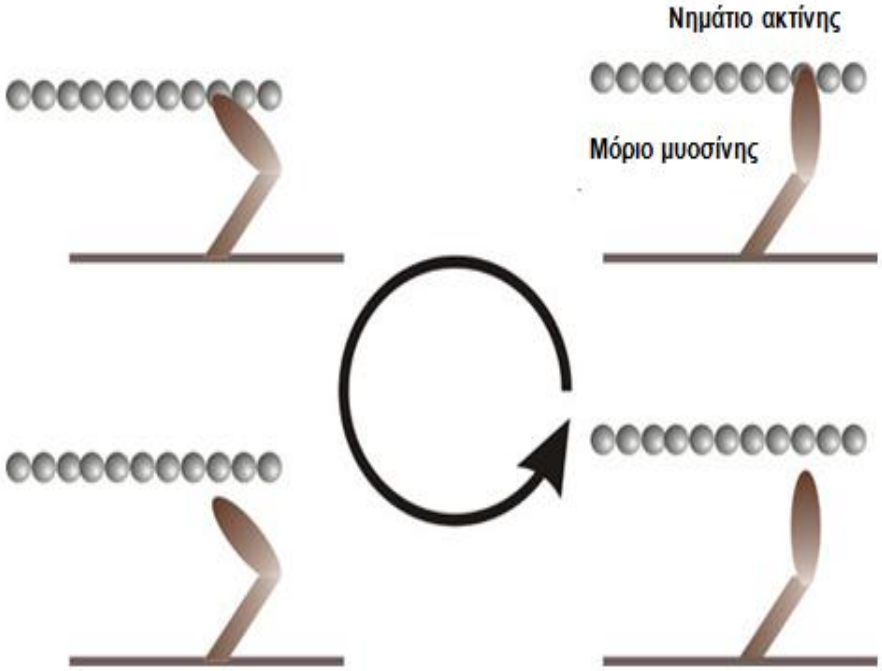


Εικόνα 3: Το σύμπλεγμα των πρωτεϊνών ακτίνη, τροπομυοσίνη και τροπονίνη.



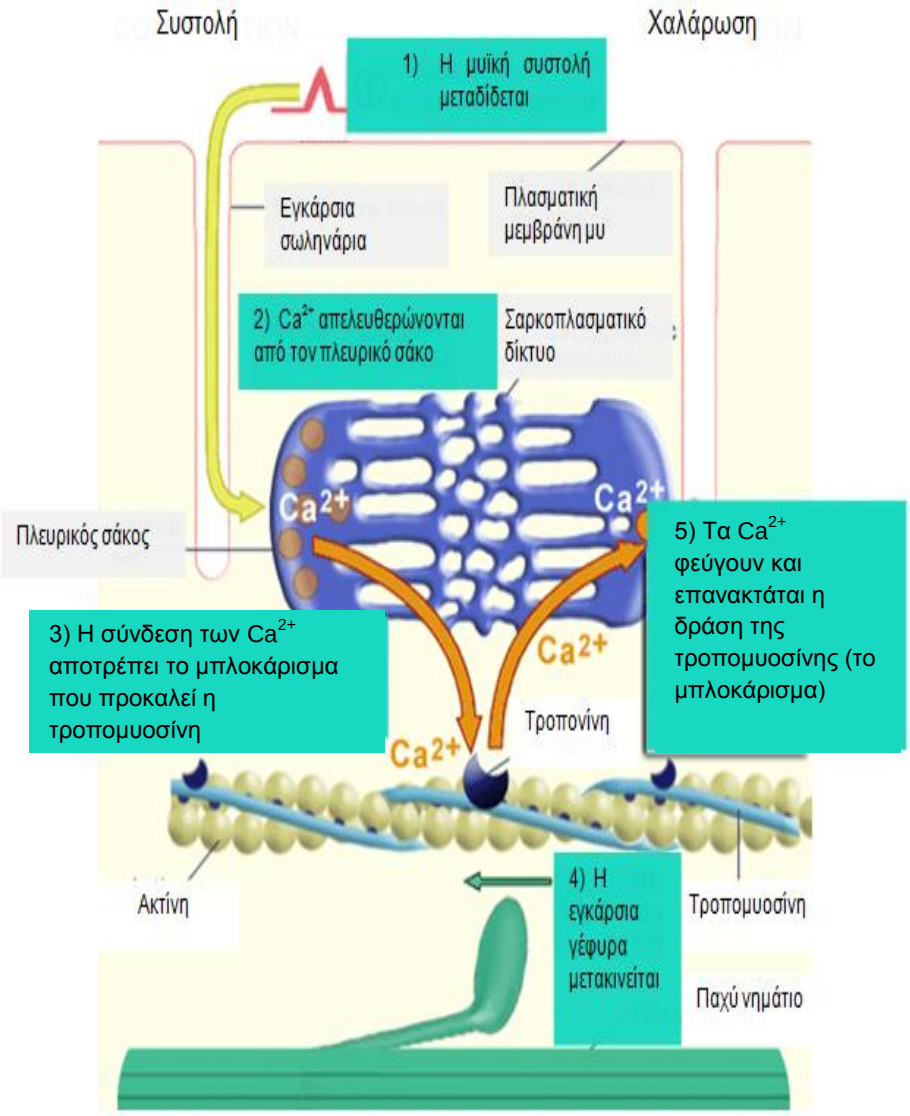
Εικόνα 4: Δομή ενός μυϊκού ινιδίου και άποψη ενός σαρκομεριδίου.



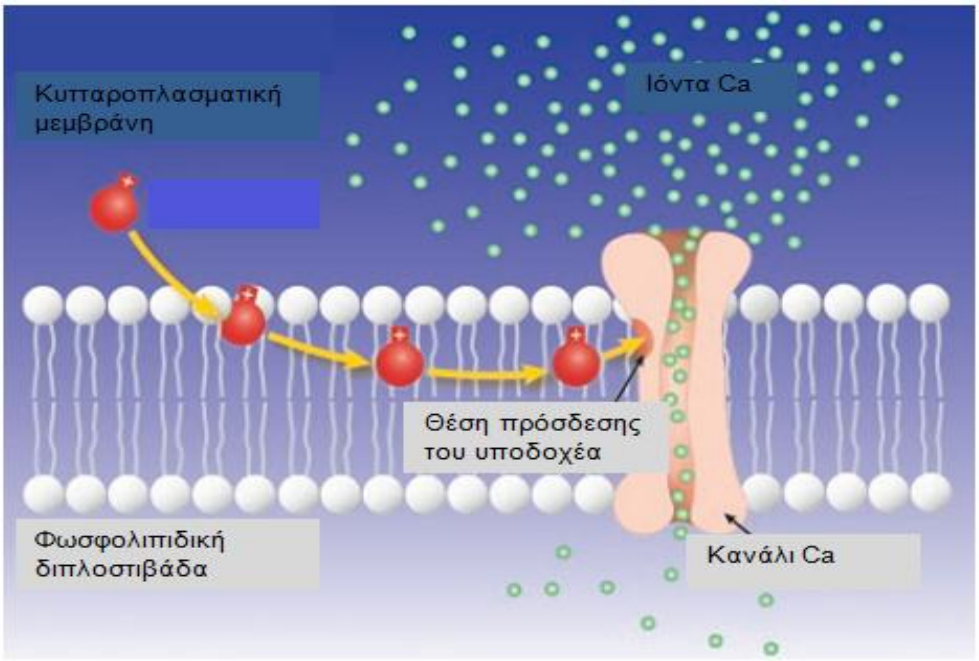


Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση των τεσσάρων σταδίων της μυϊκής συστολής.

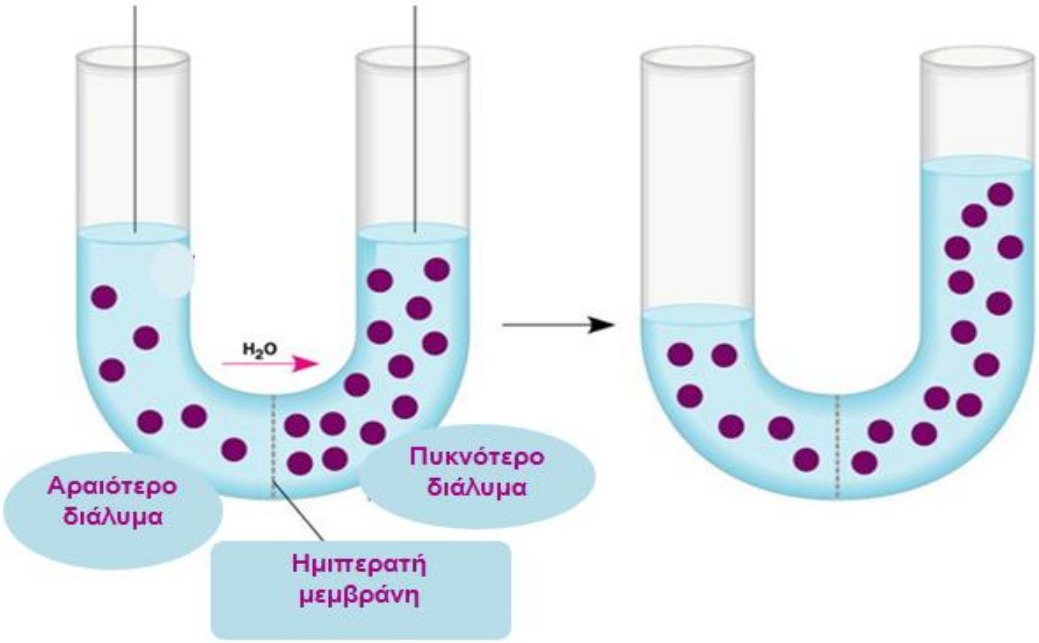
Εικόνα 5: Σχηματική απεικόνιση της σχέσης και της αλληλεπίδρασης ακτίνης και μυοσίνης.



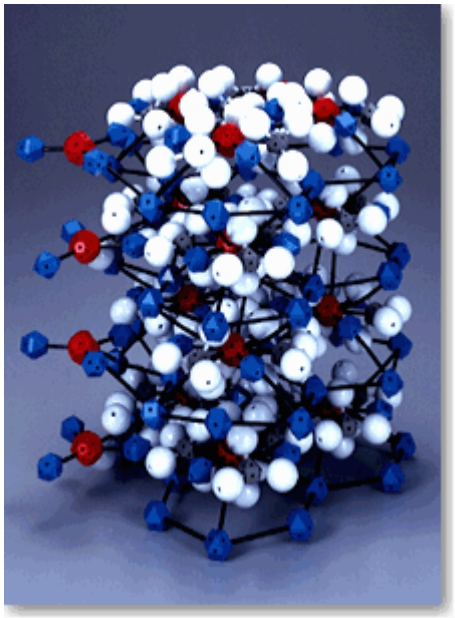
Εικόνα 7: Βήμα προς βήμα η μυϊκή συστολή. Από τη μετάδοση του νευρικού ερεθίσματος μέχρι και το τέλος της συστολής.



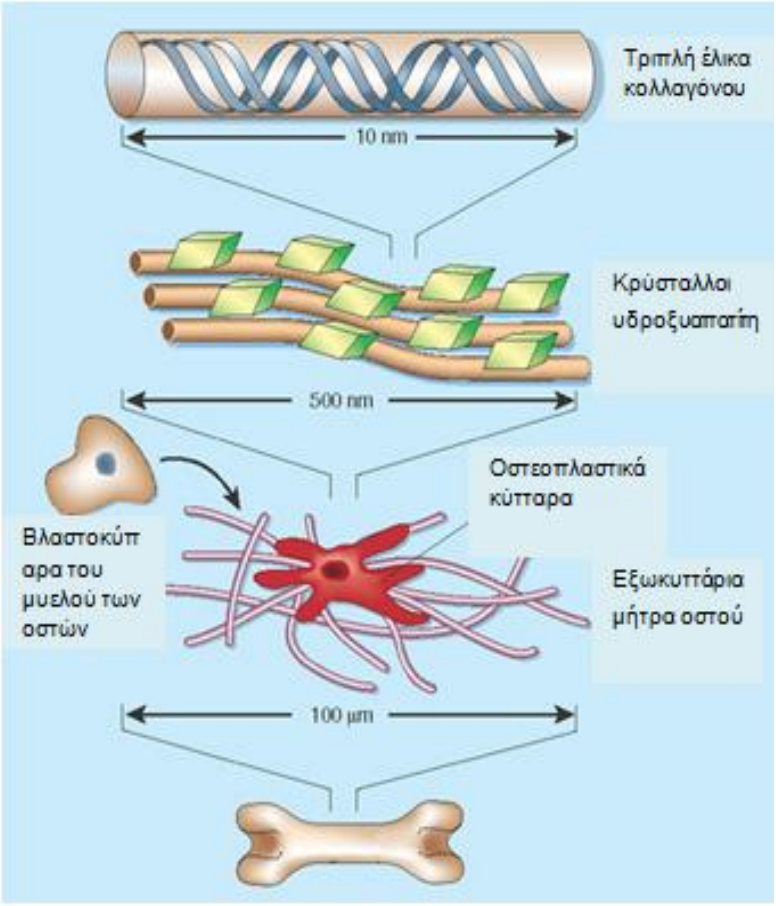
Εικόνα 8: Πρωτεΐνη που λειτουργεί ως κανάλι και επιτρέπει μόνο σε κατιόντα Ca (II) να εισέλθουν στο κύτταρο.



Εικόνα 9: Το φαινόμενο της ώσμωσης.

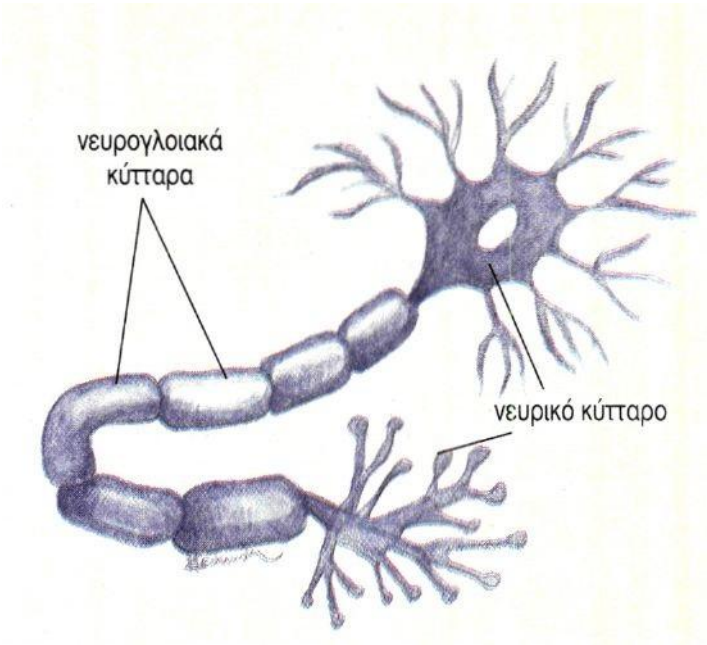


Εικόνα 10: Τρισδιάστατη δομή του υδροξυαπατίτη.

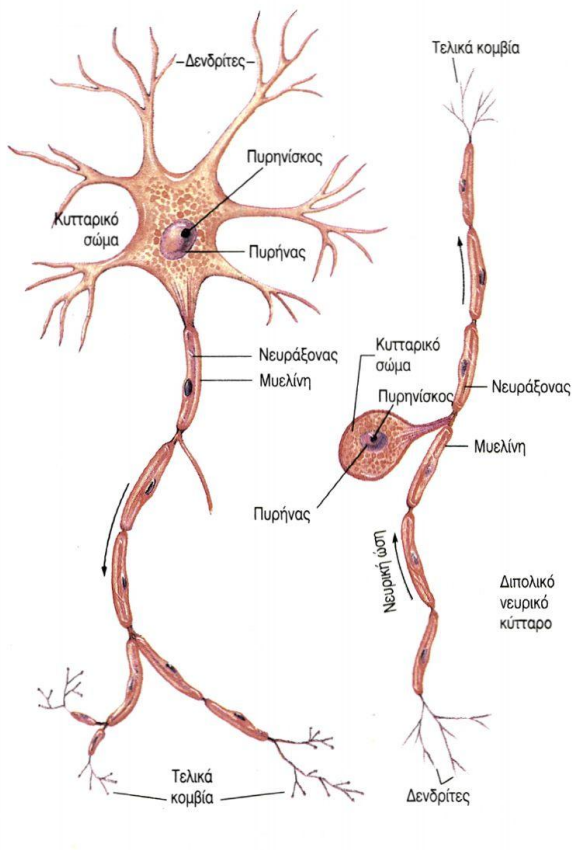


Εικόνα 11: Κολλαγόνο και υδροξυαπατίτης συνθέτουν τα οστά.

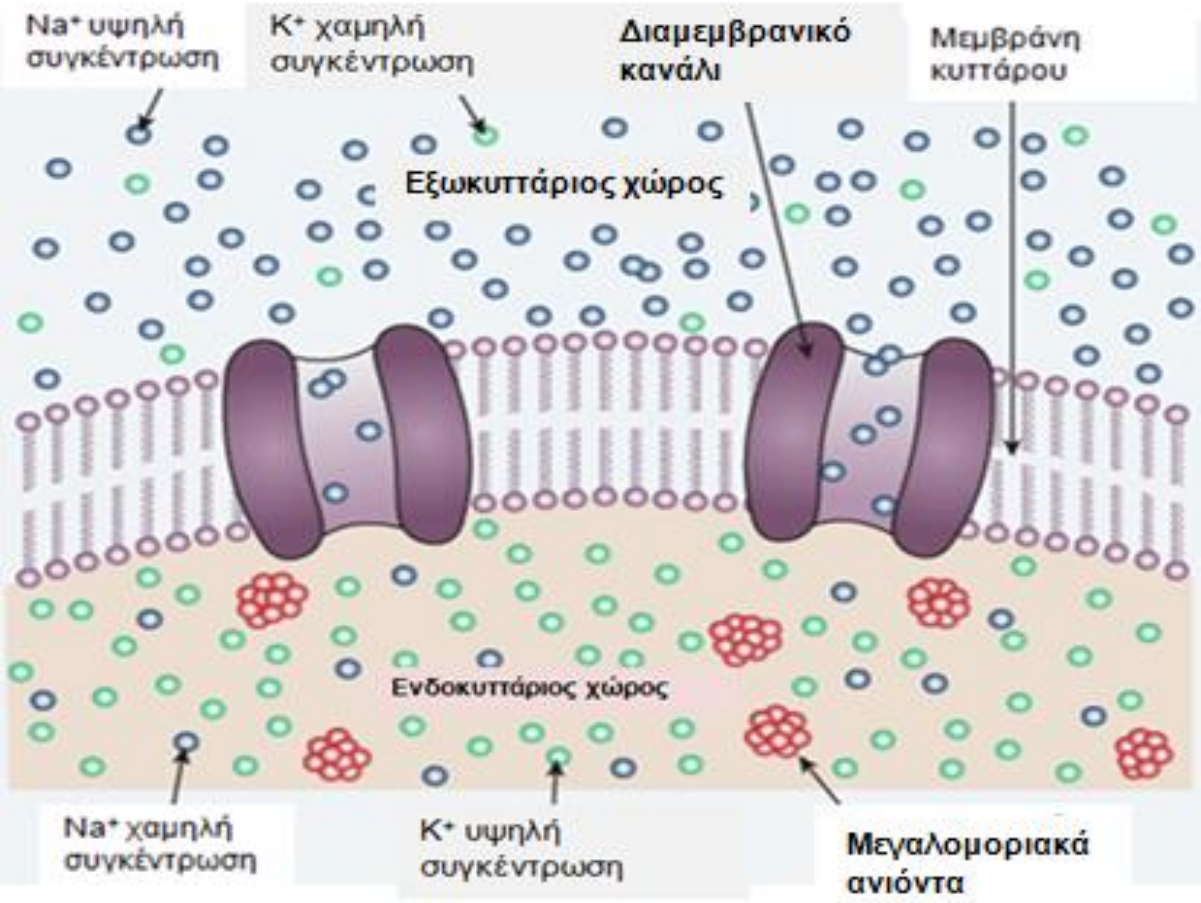
Σχέδιο μαθήματος: Νευρικό ερέθισμα



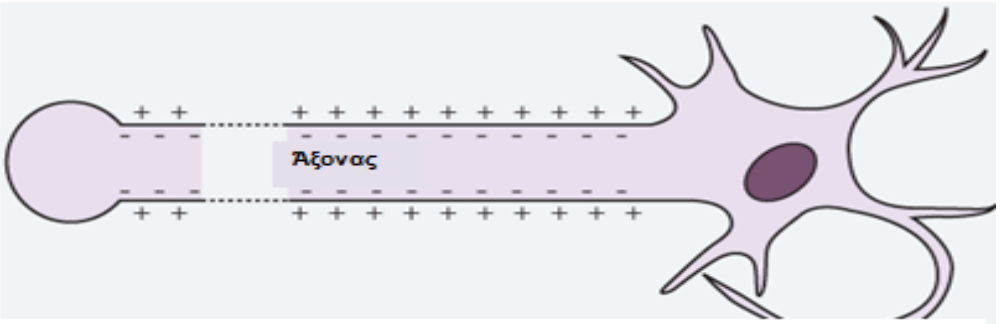
Εικόνα 1: Τα δύο είδη κυττάρων του νευρικού ιστού.



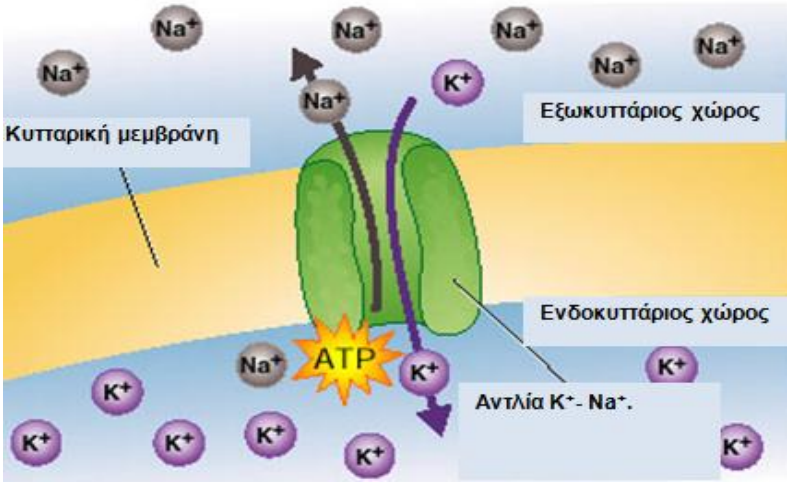
Εικόνα 2: Η δομή του νευρώνα.



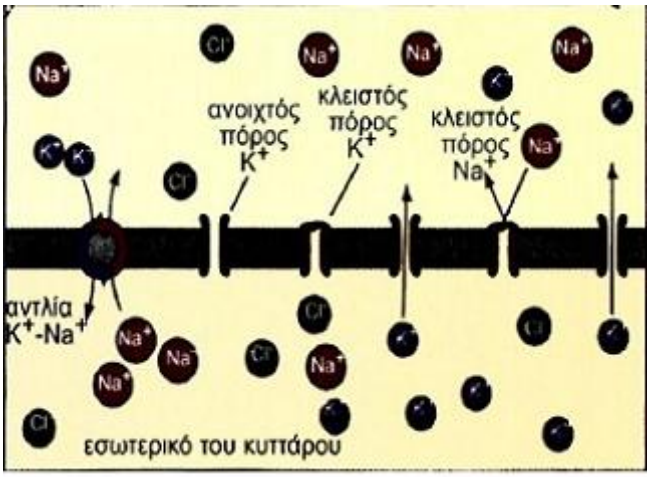
Εικόνα 3: Οι συγκεντρώσεις των ιόντων στον ενδοκυττάριο και τον εξωκυττάριο χώρο.



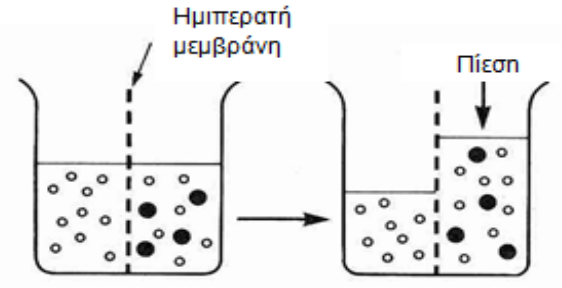
Εικόνα 4: Η πολικότητα της κυτταρικής μεμβράνης κατά μήκος του νευρώνα.



Εικόνα 5: Η πρωτεϊνική αντλία στην κυτταρική μεμβράνη του νευρώνα χρησιμοποιεί ενέργεια από το ATP για αποβάλλει Na^+ έξω από το κύτταρο και να εισάγει K^+ εντός του κυττάρου.

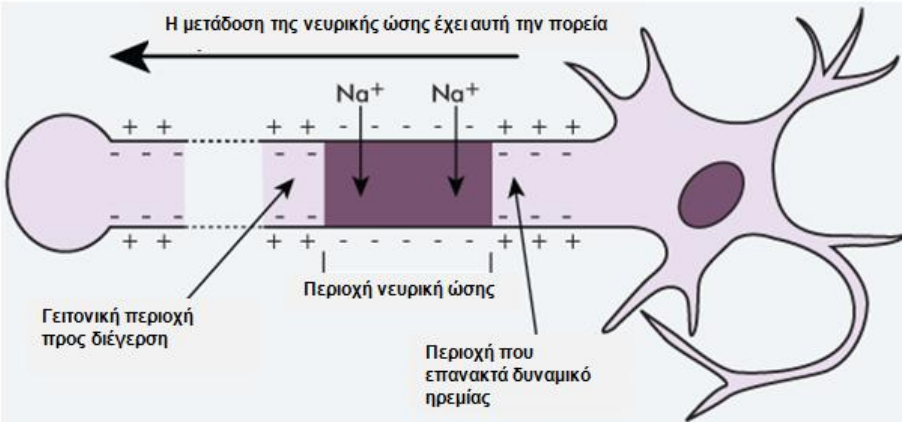


Εικόνα 6: Κατάσταση των καναλιών Na^+ και των καναλιών K^+ σε δυναμικό ηρεμίας.

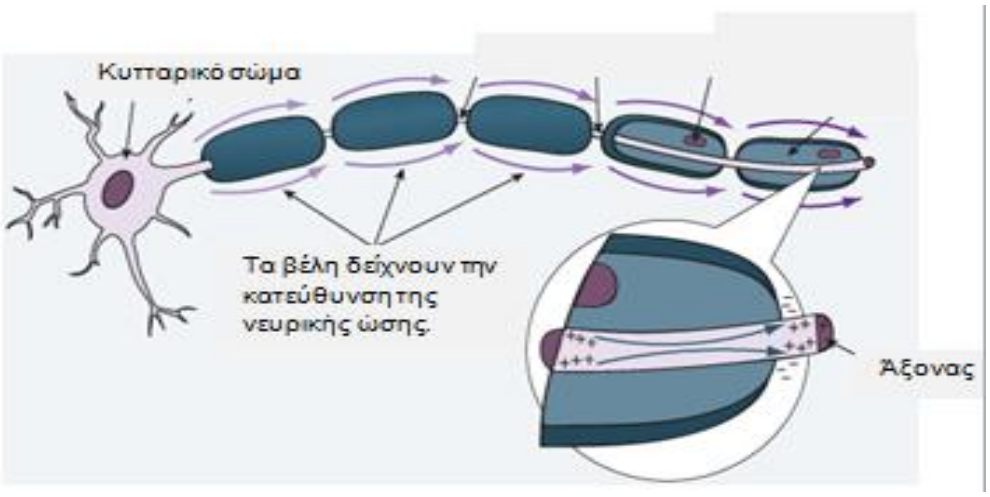


Εικόνα 7: Ο ρόλος της ημιπερατής μεμβράνης στο φαινόμενο της ώσμωσης.

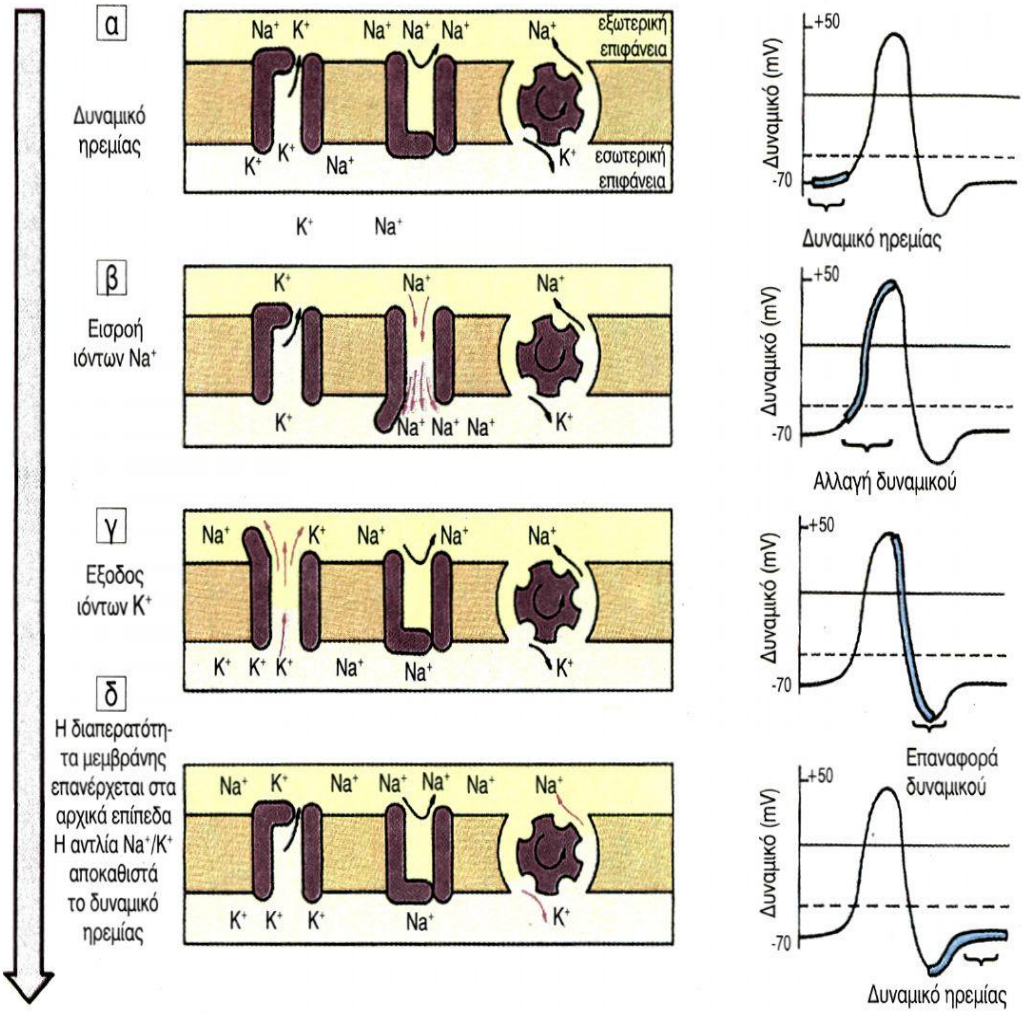
Εικόνα 8: Τα κανάλια K^+ και Na^+ και οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης.



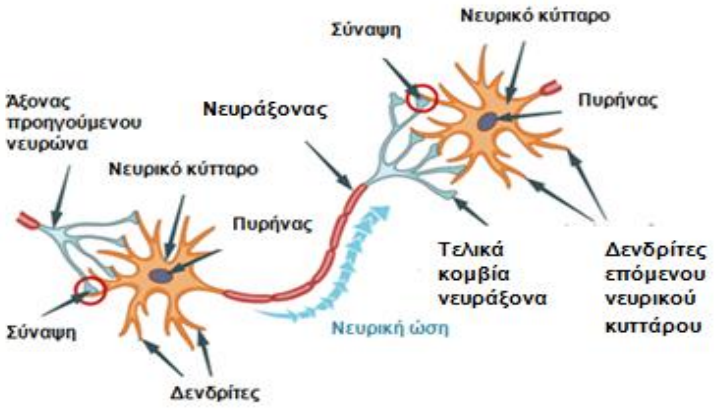
Εικόνες 9 : Ο κυρίαρχος ρόλος της αλλαγής της πολικότητας της μεμβράνης στη μετάδοση της νευρικής ώσης.



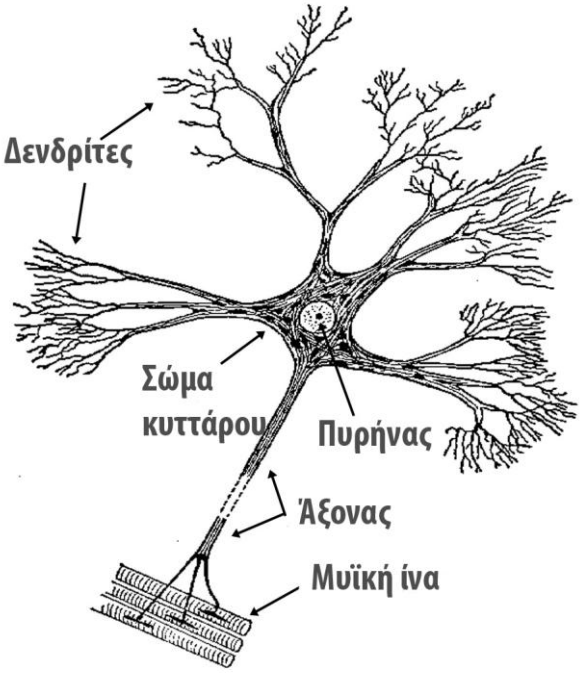
Εικόνες 10: Μετάδοση της νευρικής ώσης.



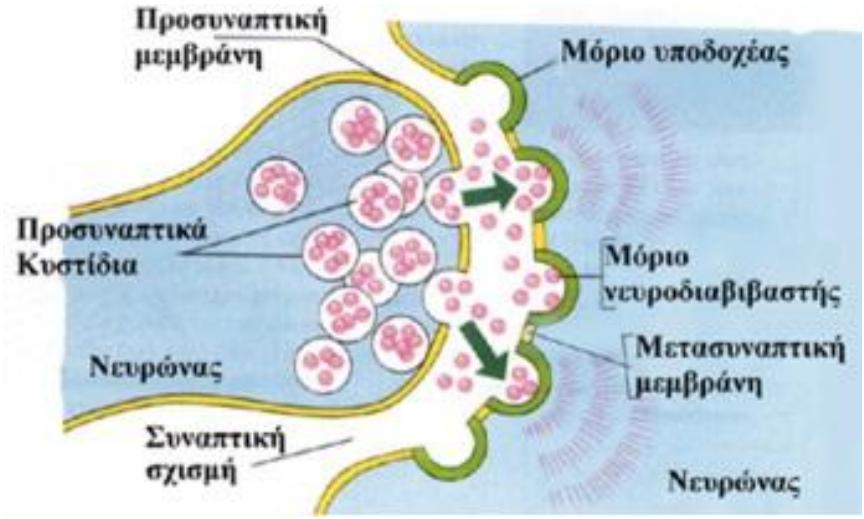
Εικόνες 11: Στάδια μεταβολής του δυναμικού της μεμβράνης μετά από δράση ερεθίσματος.



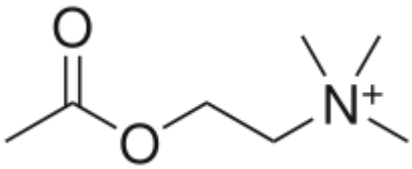
Εικόνα 12: Συνάψεις μεταξύ νευρώνων.



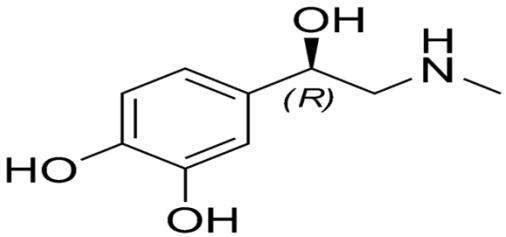
Εικόνα 13: Σύναψη μεταξύ νευρώνα και μυός.



Εικόνα 14: Συναπτική Σχισμή και νευροδιαβιβαστές.

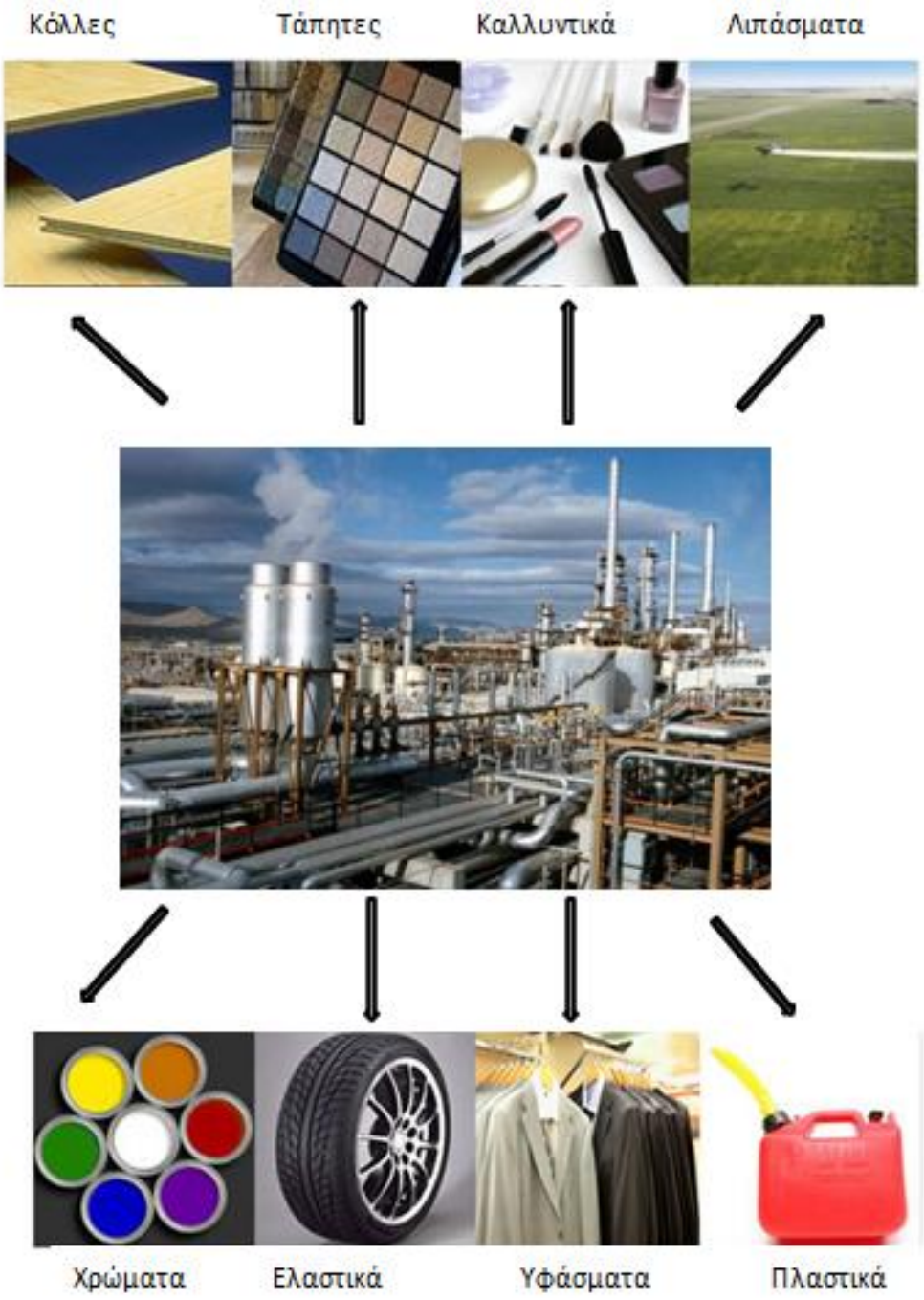


Εικόνα 15: Ακετυλοχολίνη.



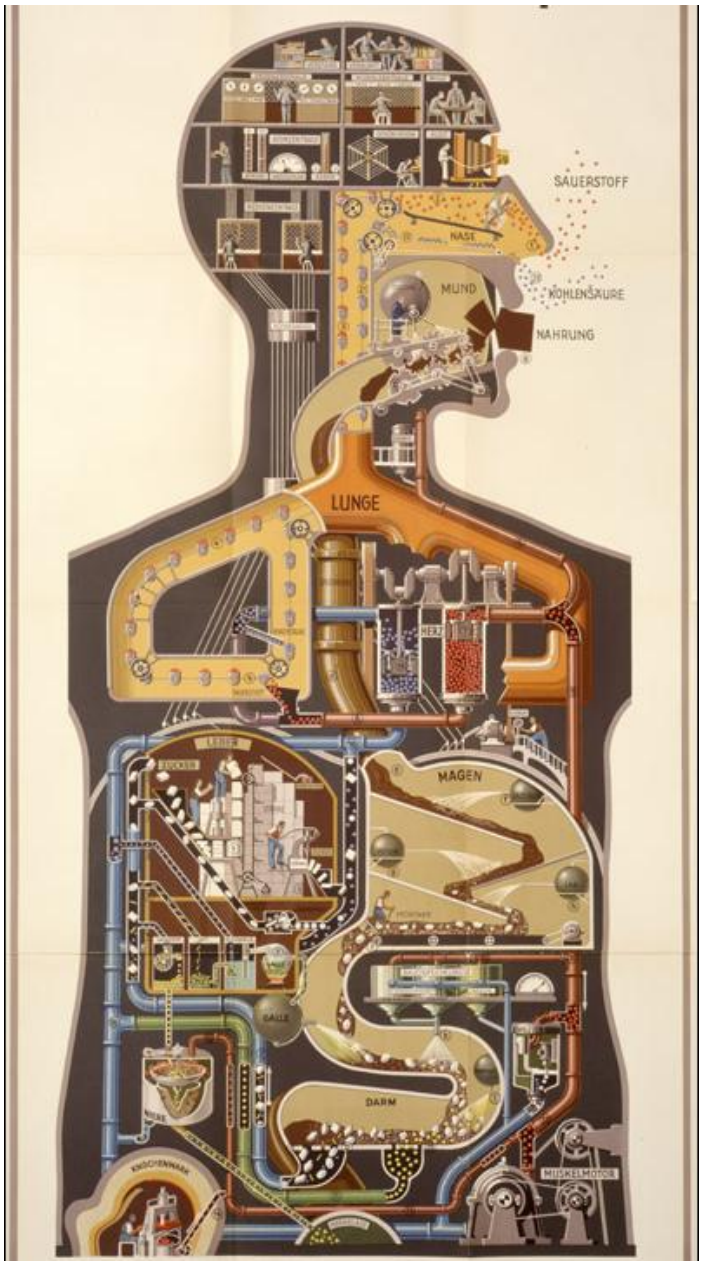
Εικόνα 16: Επινεφρίνη.

Σχέδιο μαθήματος: Ο χαλκός σε οξειδοαναγωγικά ένζυμα

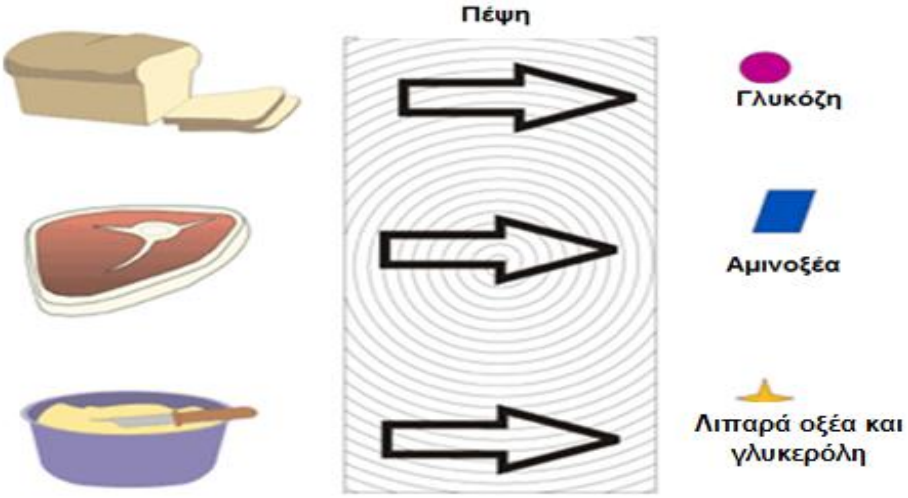


Εικόνα 1: Προϊόντα που παράγονται στη βιομηχανία.

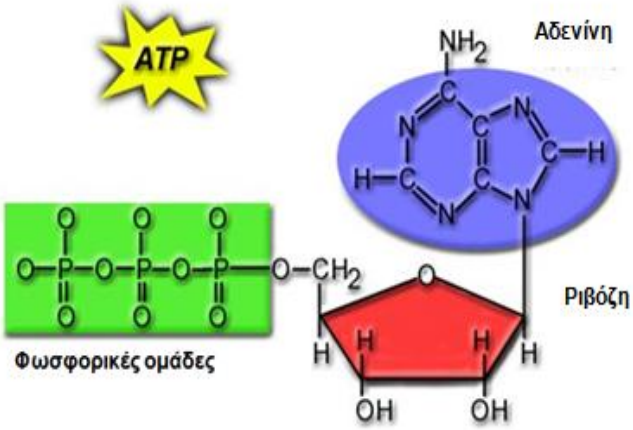
Εικόνα 2: Τα δομικά συστατικά των περισσότερων προϊόντων είναι απλούστερες ουσίες.



Εικόνα 3: Ο άνθρωπος λειτουργεί σαν μία βιομηχανική μονάδα.



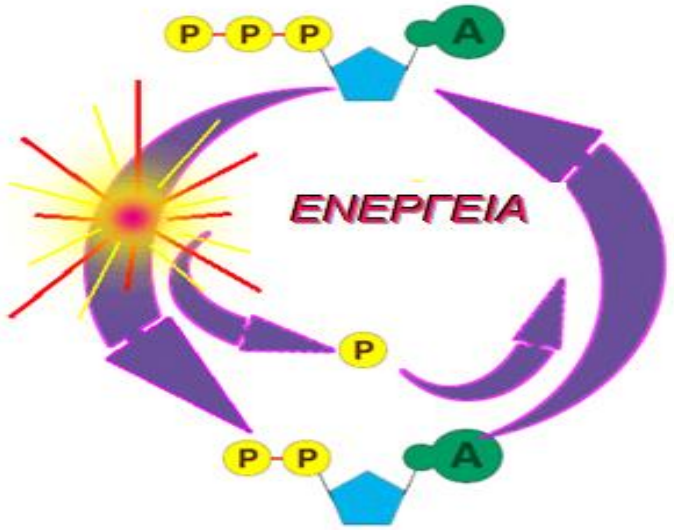
Εικόνα 4: Οι διάφορες τροφές (ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους) μετατρέπονται κατά την πέψη σε απλούστερες ουσίες.



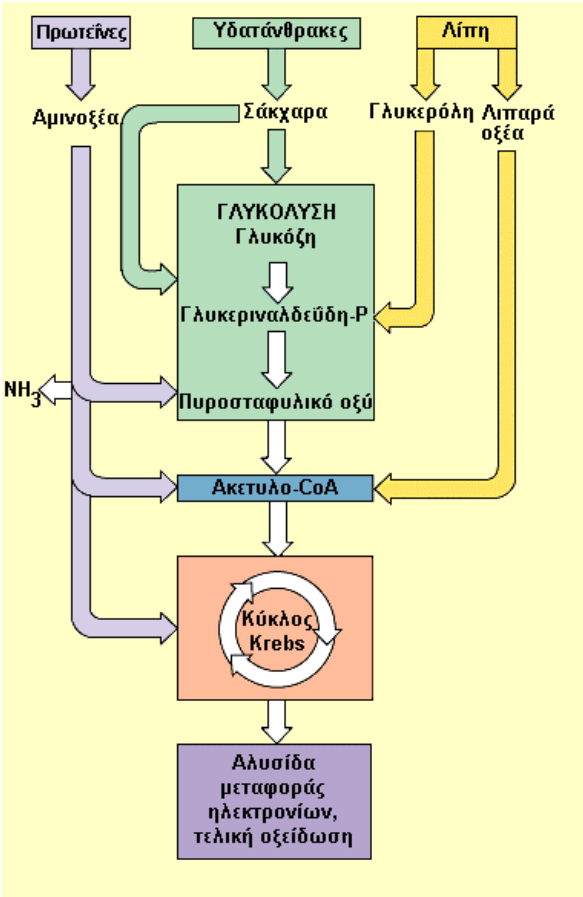
Εικόνα 5: Δομή του ATP: αδενίνη, ριβόζη, τριφωσφορική ομάδα.

$$ATP + H_2O \leftrightharpoons ADP + Pi + H^+ \qquad \Delta G^\circ = -7{,}3\ Kcal/mol$$

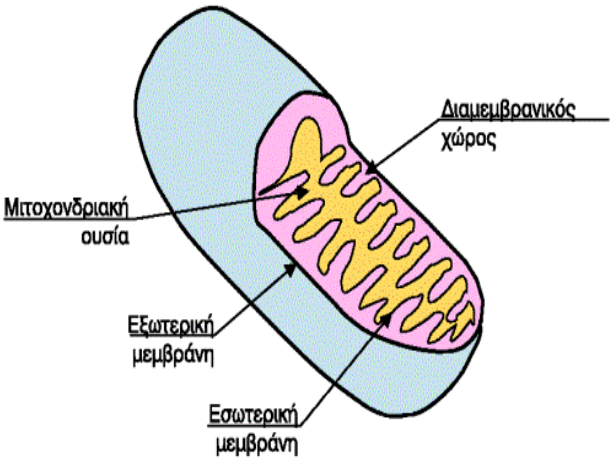
$$ATP + H_2O \leftrightharpoons AMP + PPi + H^+ \qquad \Delta G^\circ = -7{,}3\ Kcal/mol$$



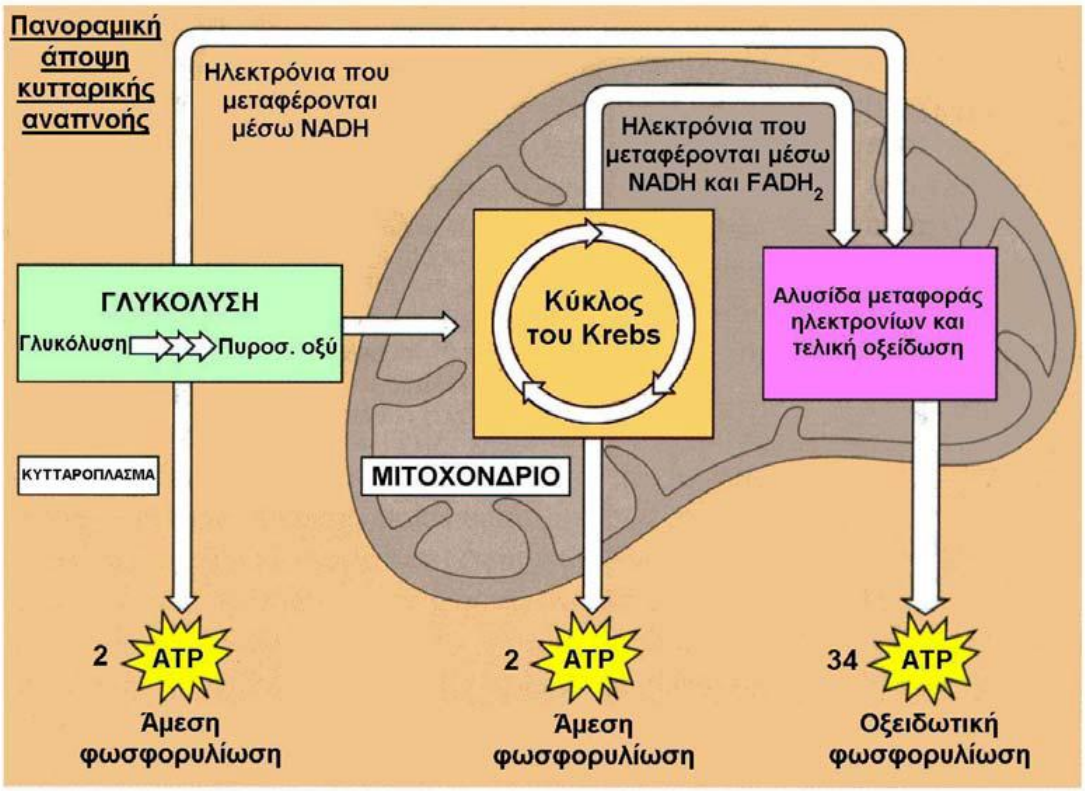
Εικόνα 6: Το ATP διασπάται απελευθερώνοντας ενέργεια και ξανασχηματίζεται από ADP και Pi απορροφώντας ενέργεια.



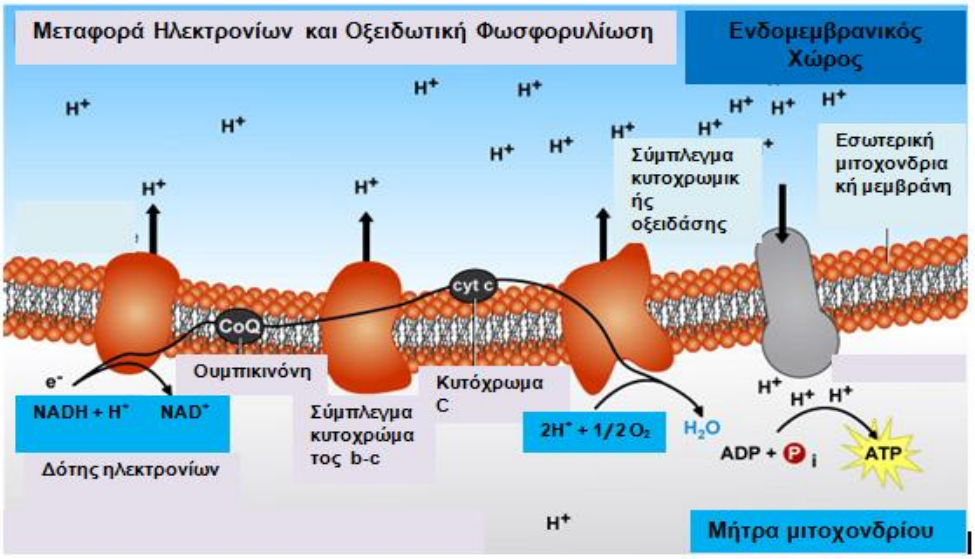
Εικόνα 7: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση της πορείας που ακολουθείται για την παραγωγή ενέργειας (ATP) στο κύτταρο.



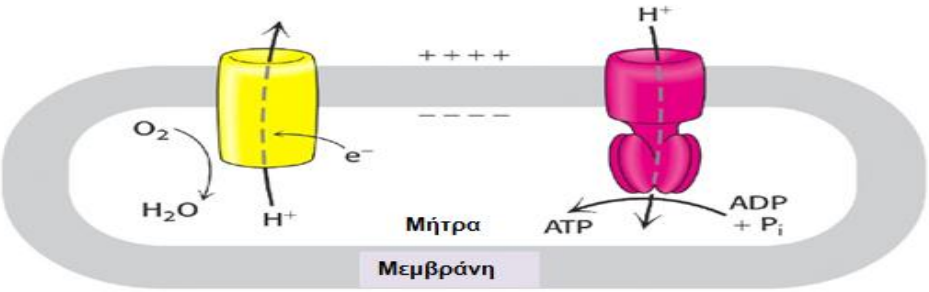
Εικόνα 8: Δομή του μιτοχονδρίου.



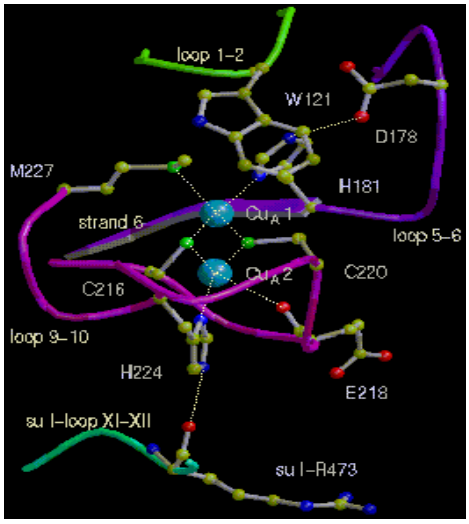
Εικόνα 9: Η πλήρης οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης αποδίδει 36 μόρια ATP.



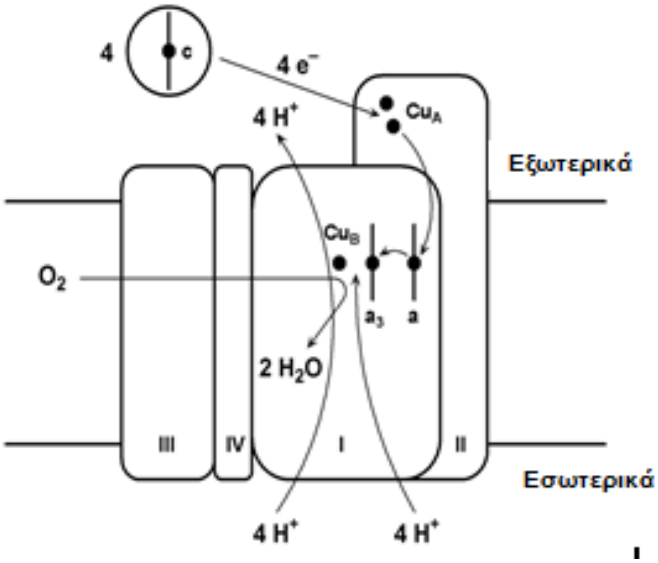
Εικόνα 10: Εσωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων: Τα ένζυμα της αναπνευστικής αλυσίδας και η μεταφορά των ηλεκτρονίων.



Εικόνα 11: Η οξειδωτική φωσφορυλίωση με μία ματιά.



Εικόνα 12: Η δομή του κέντρου Cu_A.

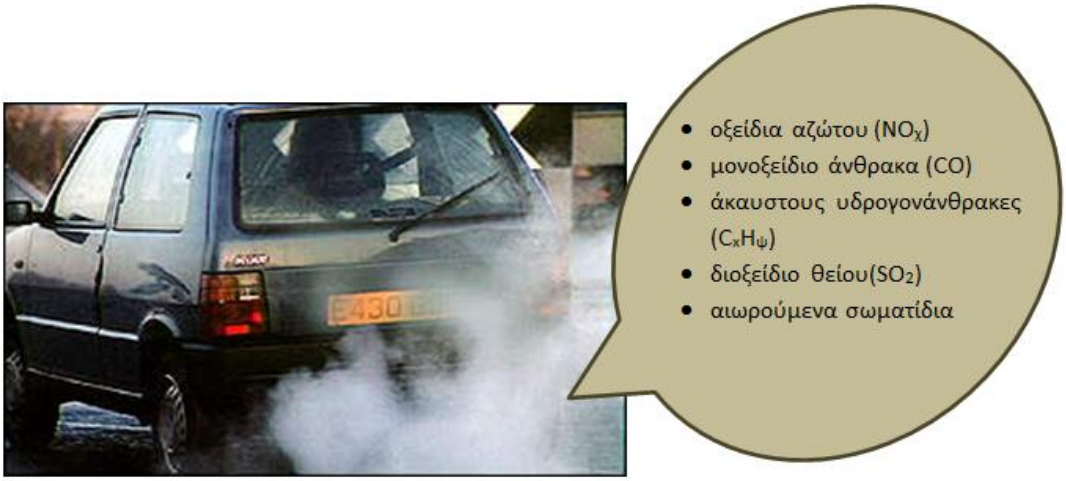


Εικόνα 13: Η πορεία δράσης του συμπλέγματος της κυτοχρωμικής οξειδάσης.

Σχέδιο μαθήματος: Το μαγγάνιο σε οξειδοαναγωγικά ένζυμα

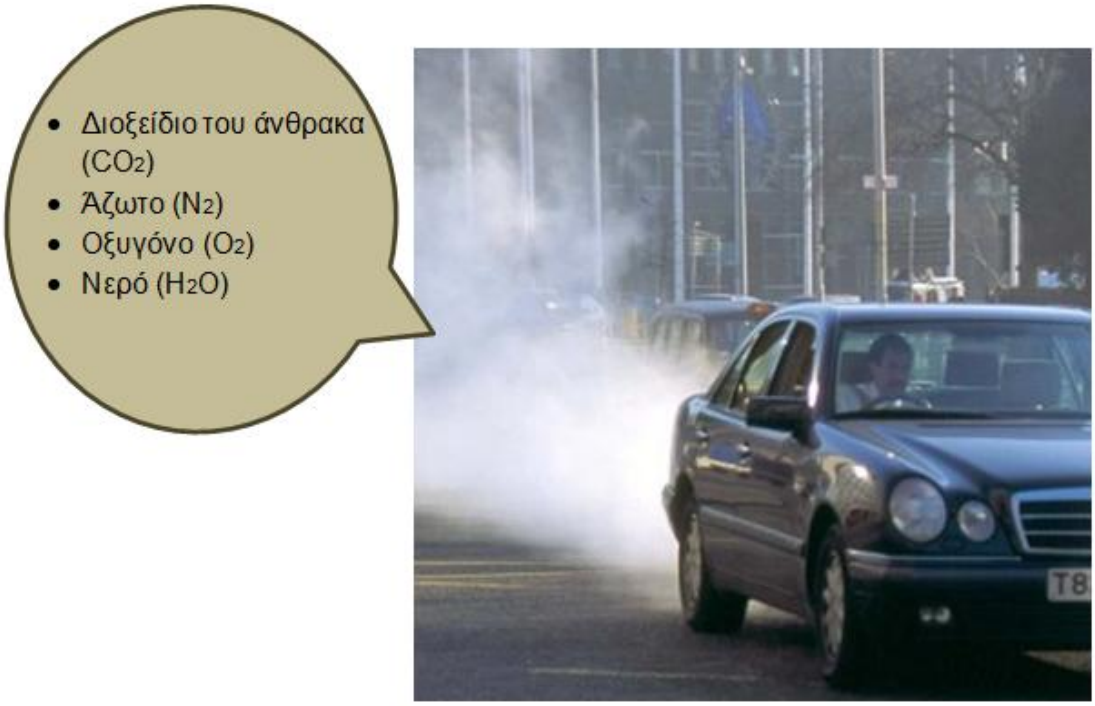
Εικόνα 1: Αυτοκίνητο παλαιάς τεχνολογίας.

Εικόνα 2: Αυτοκίνητο νέας τεχνολογίας (καταλυτικό).

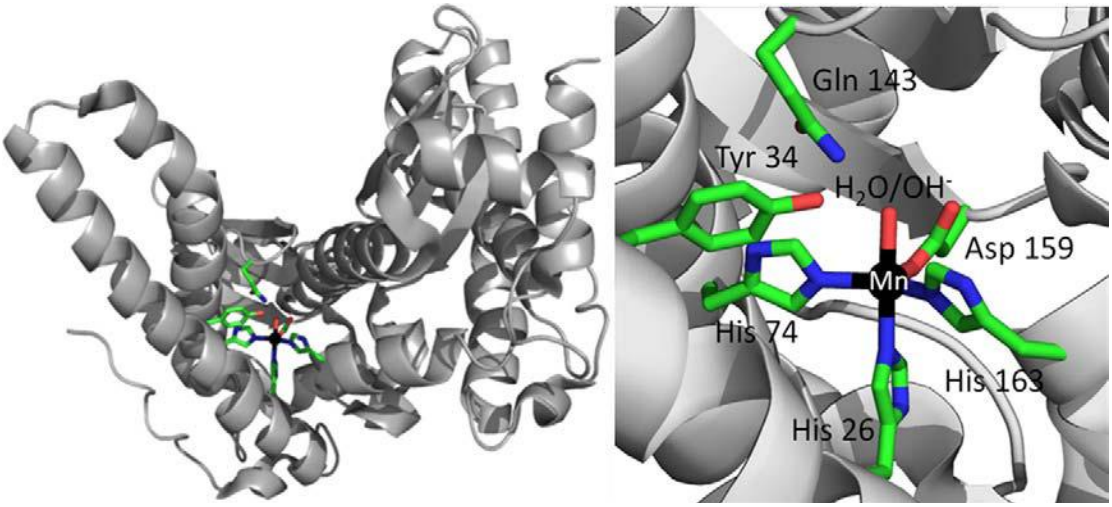


Εικόνα 3: Αυτοκίνητο παλαιάς τεχνολογίας: Κατά την καύση της βενζίνης παράγονται επιβλαβής ρύποι (καυσαέρια).

Εικόνα 4: Καταλύτης αυτοκινήτου νέας τεχνολογίας.

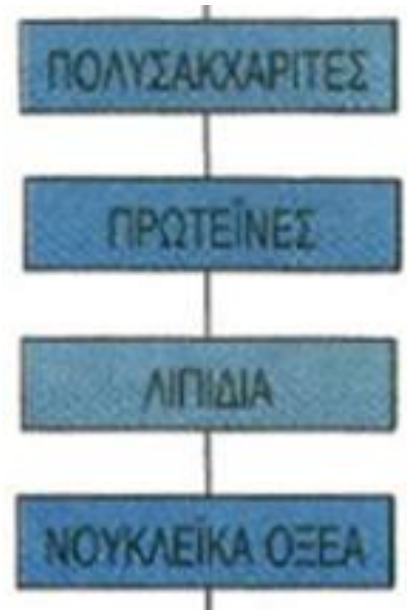


Εικόνα 5: Ο καταλύτης στα σύγχρονα αυτοκίνητα μετατρέπει γρήγορα τις επιβλαβής ουσίες, που παράγονται κατά την καύση της βενζίνης, σε ακίνδυνες.

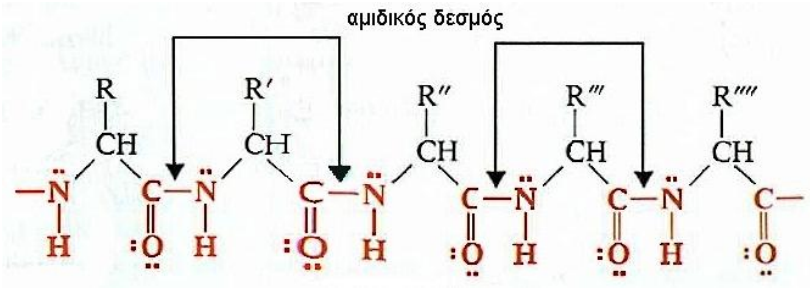


Εικόνα 6: (α) Η ανθρώπινη μιτοχονδριακή Mn-SOD, και (β) το ενεργό της κέντρο.

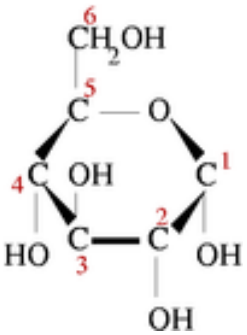
Σχέδιο μαθήματος: Η δράση των ιχνοστοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό



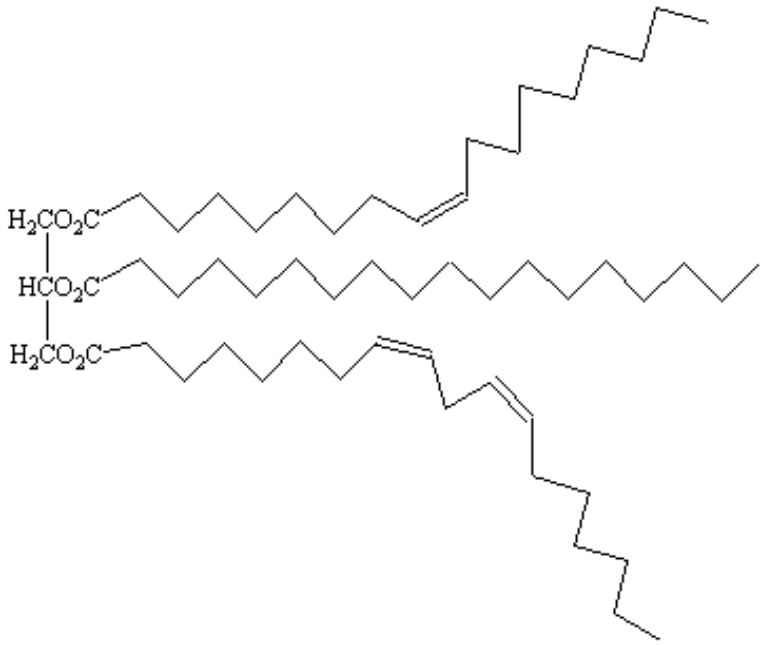
Εικόνα 1: Οι 4 βασικές ομάδες μεγαλομοριακών ενώσεων που συναντάμε στους οργανισμούς.



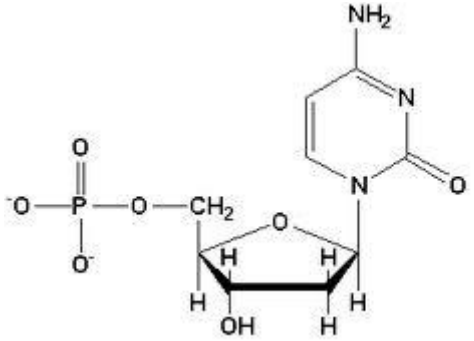
Εικόνα 2: Τμήμα πρωτεΐνης.



Εικόνα 3: Συντακτικός τύπος γλυκόζης.



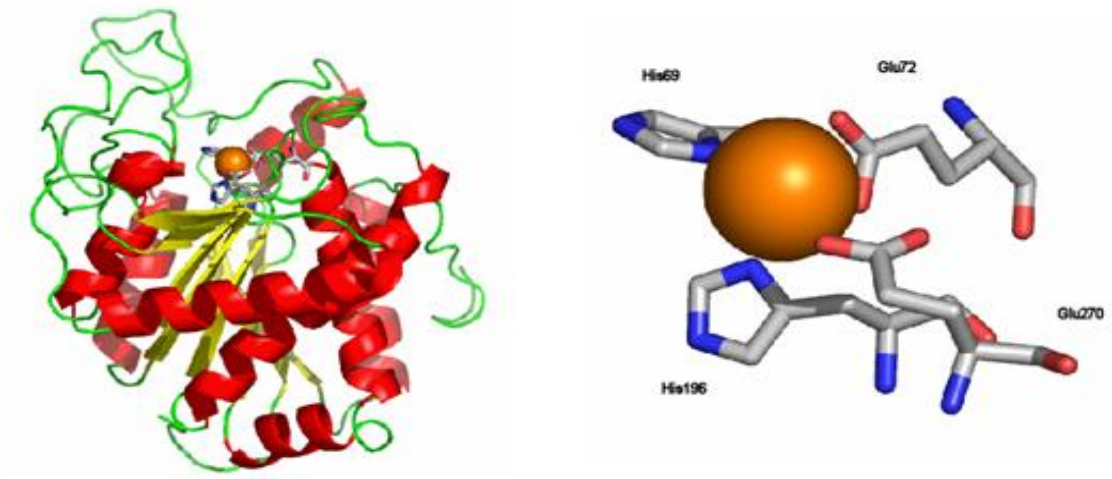
Εικόνα 4: Συντακτικός τύπος τριγλυκεριδίου.



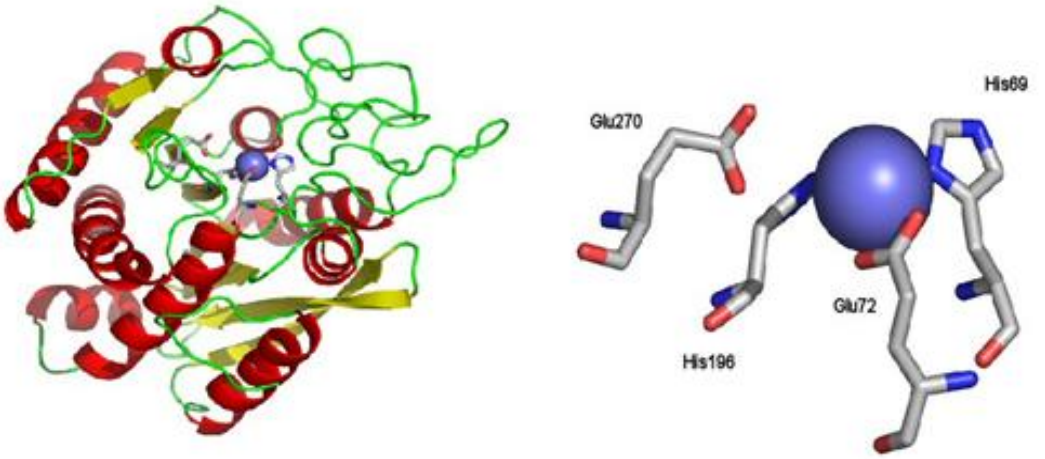
Εικόνα 5: Συντακτικός τύπος δεοξυριβονουκλεοτιδίου.

1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8	9	10	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

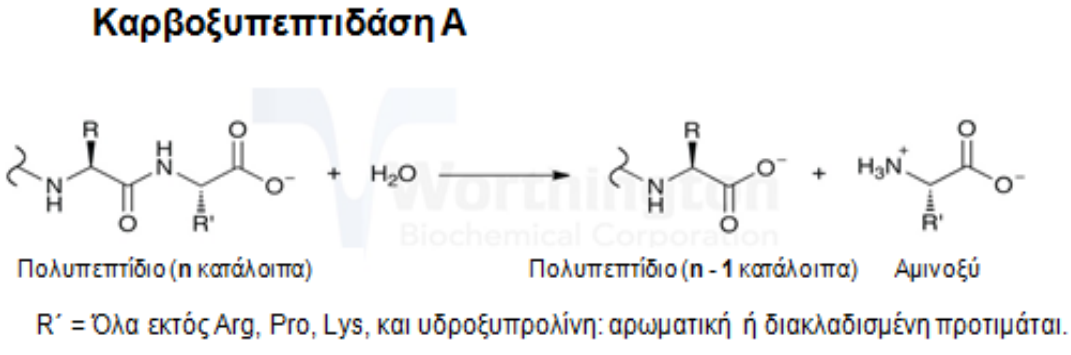
Εικόνα 6: Τα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία του ανθρώπινου σώματος. (Με κόκκινο τα μακροστοιχεία που βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες, με γαλάζιο τα μακροστοιχεία που βρίσκονται σε μικρότερες ποσότητες και με πράσινο τα ιχνοστοιχεία)



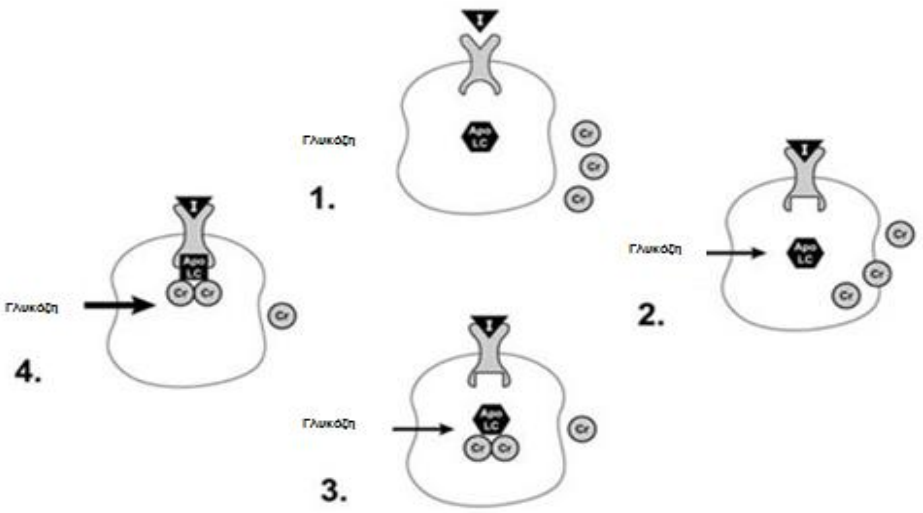
Εικόνα 7: Τετραεδρική δομή καρβόξυπεπτιδάσης Α (αριστερά) και το καταλυτικό της κέντρο (δεξιά).



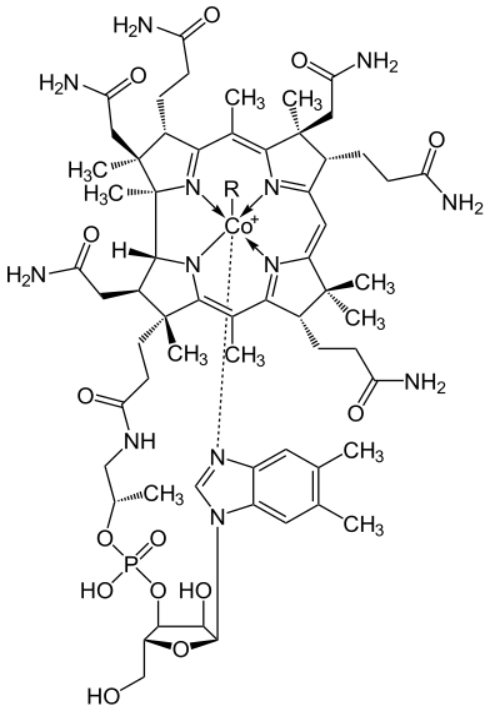
Εικόνα 8: Τετραεδρική δομή καρβόξυπεπτιδάσης Β (αριστερά) και το καταλυτικό της κέντρο (δεξιά).



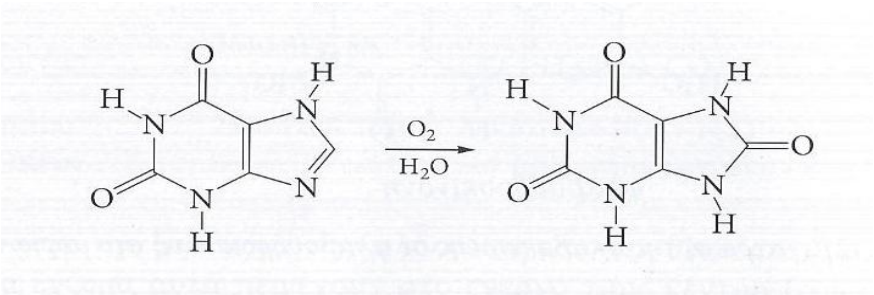
Εικόνα 9: Αντίδραση υδρόλυσης πολυπεπτιδίου καταλυόμενη από το ένζυμο καρβοξυπεπτιδάση.



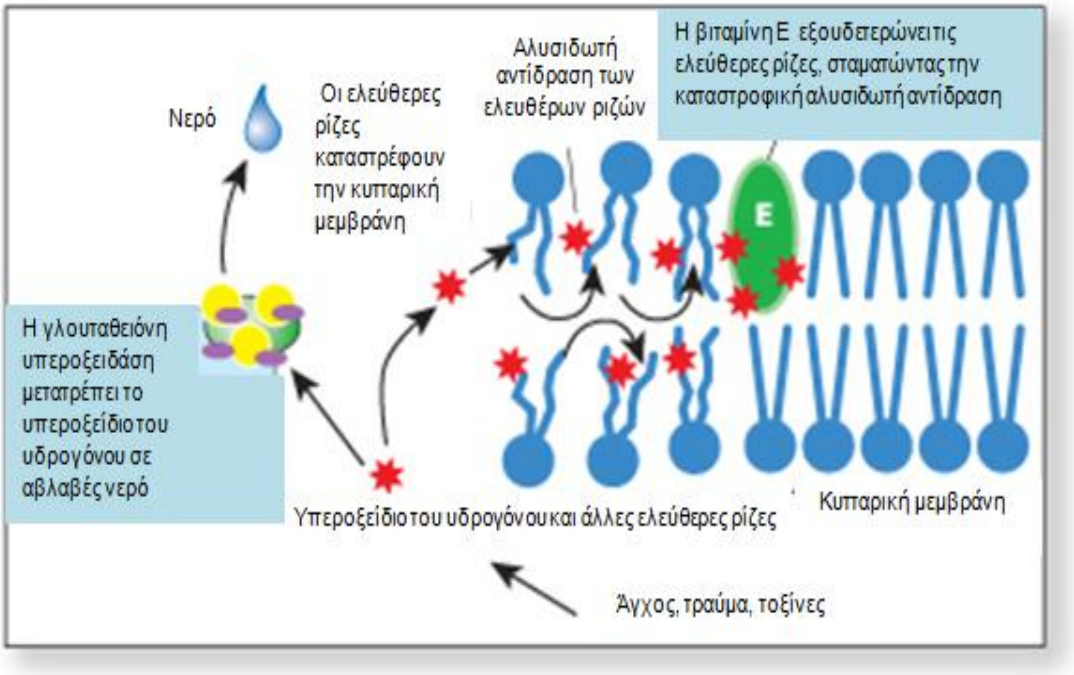
Εικόνα 10: Μηχανισμός δράσης του χρωμίου. Σύνδεση της ινσουλίνης στον κατάλληλο υποδοχέα ενεργοποιεί τη δράση του χρωμίου το οποίο με τη σειρά του ενισχύει την ινσουλίνη, όπου Apo-LC = Πεπτίδιο.



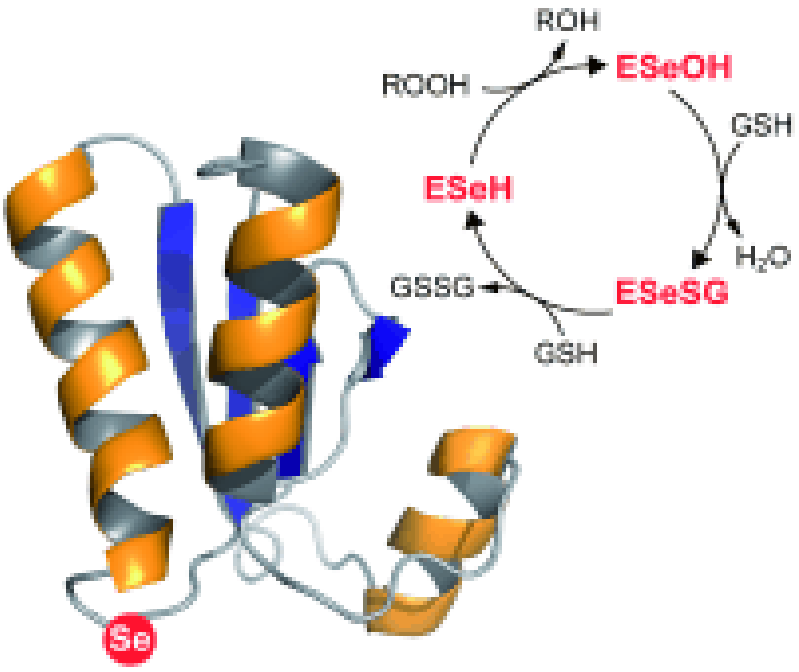
Εικόνα 11: Συντακτικός τύπος του συνενζύμου B_{12}.



Εικόνα 12: Οξείδωση της ξανθίνης προς ουρικό οξύ.



Εικόνα 13: Μηχανισμός καταστροφής της κυτταρικής μεμβράνης από τις ελεύθερες ρίζες.



Εικόνα 14: Τεταρτοταγής δομή γλουταθειόνης υπεροξειδάσης και μηχανισμός αναγωγής ομάδας υπεροξειδιου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Kersting, M., Alexy, U. and Sichert-Hellert, W., Nutr. Res., 2001, **21** (4), p. 607-616.
2. Parigi, A., Panza, F., Capurso, C. and Solfrizzi, V., Brain Res. Bull., 2006, **69**, (1), p. 1–19.
3. Καραλιώτα, Α., Σημειώσεις «Χημεία και Καθημερινή ζωή», Τμήμα Διδακτικής της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2007.
4. Milner, J.A., J. Pediatr, **117**, 2, 2,1990,147-155.
5. Fraga, C.G., Mol. Asp. Med., **26** (4–5), 2005, 235-244.
6. Michiels, C., Raes, M., Toussaint. O. and Remacle, J., Free Radical Biol. Med, 1994, **17** (3), p. 235-248.
7. Woehl, E.U. and Dunn, M.F., Coord. Chem. Rev., 1995, **144**, p. 147–197.
8. Latour J-M. and Carboni, Coord. Chem. Rev, 2011, **255** (1–2), p. 186–202.
9. Zelko, I.N., Mariani, T.J. and Folz, R.J., Free Radical Biol. Med, 2002, **33** (3), p. 337–349.
10. Kolb, D., J. Chem. Educ., 1977, **54** (11), p 696.
11. Alexander, S.V., Sevcik, R.S., McGinty, R.L. and Schultz, L.D., J. Chem. Educ., 2008, **85** (4), p 516.
12. Slocum, L.E., J. Chem. Educ., 2009, **86** (10), p 1142.
13. Frieden, E., J. Chem. Educ., 1985, **62** (11), p 917.
14. Moxon, A.L., J. Chem. Educ., 1957, **34** (7), p A322.
15. Θεοδωρόπουλος, Π., Βιβλίο του καθηγητή Χημεία Γ΄ Γυμνασίου, Ο.Ε.Δ.Β., 2002.
16. Γιούρη – Τσοχατζή, Κ. και Μανουσάκης, Γ., Διδακτική της Χημείας, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2000.
17. Κατσίκας, Χ., Θεριανός, Κ. και Νικολαΐδου, Ε., Παιδαγωγικά και Διδακτική, 3η Έκδοση, Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα, 2008.
18. Κόκκοτας, Π., Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα, 1999.

19. Βλάσση, Μ., Νέα διδακτική προσέγγιση του χημικού δεσμού, ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης μεταπτυχιακού προγράμματος ΔιΧηΝΕΤ, Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2001.
20. Ματσαγγούρας, Η., Η Διαθεματικότητα στη Σχολική Γνώση, Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα, 2003.
21. Θεοφιλίδης, Χ., Διαθεματική προσέγγιση της διδασκαλίας, Γ΄ έκδοση, Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα, 2002.
22. Ματσαγγούρας, Η., Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση, εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα, 2004.
23. Χουλιαροπούλου, Μ., Η χημεία του ζαχαροπλαστείου. Μια πρόταση διδασκαλίας βασικών εννοιών χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, για μια πιο γλυκιά χημεία, Ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης, ΔιΧηΝΕΤ, 2011.
24. Τρικαλίτη, Α., Σημειώσεις. Περιβαλλοντική εκπαίδευση-Θεωρία και Πράξη, Τμήμα Διδακτικής της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2007-08.
25. Βλάσση, Μ., Σύγκριση δύο διδακτικών μεθόδων: της καθοδηγούμενης διερευνητικής ανακαλυπτικής και της παραδοσιακής ως προς τη σύσταση της ύλης και το χημικό δεσμό στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ, Αθήνα 2008.
26. Κόκκοτας, Π., Διδακτικές προσεγγίσεις στις φυσικές επιστήμες σύγχρονοι προβληματισμοί, Εκδ. Τυπωθήτω, Αθήνα, 2000.
27. Γιούρη – Τσοχατζή, Κ., Διδακτική πειραμάτων Χημείας, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2000.
28. Espinoza and Fernando, Sci. Activ., **39** (3), 2002, p. 9-17.
29. Roger, L., Int. J. Sci. Educ., **20** (6), 1998, p. 633-642.
30. Ματσαγγούρας, Η., Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας, Τόμος 2ος , Στρατηγικές Διδασκαλίας, Η Κρητική Σκέψη στη Διδακτική Πράξη, Εκδόσεις Gutenberg, 2000.
31. Γεωργιάδου, Τ., Καφετζόπουλος, Κ., Πρόβης, Ν., Σπυρέλλης, Ν. και Χηνιάδης, Δ., Βιβλίο του καθηγητή Χημεία Β΄ Γυμνασίου, Ο.Ε.Δ.Β., 2002.
32. Παπαγεωργίου, Γ., Στοιχεία Διδακτικής της Χημείας, Β' Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 1998.

33. Πνευματικάκης, Γ., Μητσοπούλου, Χ. και Μεθενίτης, Κ., Ανόργανη Χημεία. Α' Βασικές Αρχές, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, 2005.
34. Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ. και Θεοδωρόπουλος, Π, Χημεία Γ' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2010.
35. Κεσίσογλου, Δ. και Ψωμάς, Γ., Βιοανόργανη Χημεία, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2011.
36. Μανουσάκης, Γ., Τα ιχνοστοιχεία στην υγεία του ανθρώπου, Εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 1992.
37. Κυρίτσης, Π., Βιολογική Ανόργανη Χημεία, Σημειώσεις Ανόργανης Χημείας ΙΙ, 2001.
38. Fenton, D.E., Biocoordination Chemistry, Oxford University Press, 1995.
39. Κατινάκης, Π., Βιοχημεία, 1η Έκδοση, Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα, 2004.
40. Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι.-Ε., Περάκη, Β. και Σαλαμαστράκης, Σ., Βιολογία Β' Λυκείου Γενικής παιδείας, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2006.
41. Stryer, L., Biochemistry, 3rd edition, (Μεταφρασμένο), Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1997.
42. Γκέγκιος, Θ., Διδακτική προσέγγιση των «ενζύμων» μέσω των εφαρμογών τους στην υγεία, Ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης, ΔιΧηΝΕΤ, 2009.
43. Φύττου-Παλληκάρη, Α., Βιοχημεία, 1η Έκδοση, Εκδόσεις Λύχνος, Αθήνα, 1997.
44. Hay, R.W., Βιο-ανόργανη Χημεία, (Μτφ. Μάνεση-Ζούπα Ε. και Ράπτης Δ.), Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1992.
45. Sizer, F. and Whitney, E., Nutrition. Concepts and Controversies, 8th Edition, Wadsworth Publications, Stamford, 2000.
46. http://en.wikipedia.org/wiki/Potassium (Τελευταία επίσκεψη 3/1/2011)
47. Τοσσίδης, Ι.Α. και Συγκολλίτου-Κουράκου, Α., Γενική και ανόργανη χημεία Τόμος 2ος, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1998.
48. Καστορίνης, Α., Κωστακη-Αποστολοπούλου, Μ., Μπαρώνα-Μάμαλη, Φ., Περάκη, Β. και Πιαλόγλου, Π., Βιολογία Α' Λυκείου, ΟΕΔΒ, 2011.
49. Πανελλήνια Ένωση Βιολόγων, Βιολογία Β' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2001.
50. Raven, P.H., Johnson, G.B., Mason, K.A., Losos, J.B. and Singer, S.R., Biology, 9th Edition, McGraw-Hill Publications, New York, 2011.

51. http://tle.westone.wa.gov.au/content/file/969144ed-0d3b-fa04-2e88-8b23de2a630c/1/human_bio_science_3b.zip/content/002_nervous_control/page_01.htm (Τελευταία επίσκεψη 13/11/2011)
52. Μαρμαράς, Β. και Λαμπροπούλου-Μαρμαρά, Μ., Βιολογία κυττάρου, 5η Έκδοση, Εκδόσεις Τυπόραμα, Πάτρα, 2005.
53. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BA%CE%B5%CF%84%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%87%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%BD%CE%B7 (Τελευταία επίσκεψη 17/1/2012)
54. Carter, R., The Human Brain Book, DK Publications, London, 2009.
55. http://www.eid.org.gr/Content.php?PageId=143 (Τελευταία επίσκεψη 18/8/2012)
56. http://www.env-edu.gr/packs/peinastonkosmo/3_2_peina.html (Τελευταία επίσκεψη 18/8/2012)
57. Campbell, N.A., Reece, J.B., Urry,L.A, Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. and Jackson, R.B., Biology, Pearson Education Inc., 8th Edition, (Μεταφρασμένο), Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2010.
58. Χαβαριώτη, Μ., Χημεία και αθλητισμός, Ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης, ΔιΧηΝΕΤ.
59. http://www.scienceinschool.org/2007/issue4/motors/greek (Τελευταία επίσκεψη 3/7/2012)
60. Baylor, S.M. and Hollingworth, S., Prog. Biophys. Mol. Biol., **105**, 3, 2011, p. 162–179.
61. Luo, Y. and Rall, J.A., Arch. Biochem. Biophys., **456**, 2006, p. 119–126.
62. Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ. και Θεοδωρόπουλος, Π. και Κάλλης, Α, Χημεία Β' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2010.
63. Κατσάνου, Ν. Α., Φυσικοχημεία, Βασική θεώρηση, Έκδοση Τρίτη, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1998.
64. Ballou, D.B., Essays in biochemistry, Portland Press, London, 1999.
65. Γεωργάσος, Ι.Γ., Εισαγωγή στη Βιοχημεία, 5η Έκδοση, Εκδόσεις Γιαχουδή – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 2001.
66. Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ. και Θεοδωρόπουλος, Π. και Κάλλης, Α, Χημεία Β' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2005.

67. Γιαλούρης, Π., Μποσινάκου, Κ. και Σιδέρης, Δ., Βιοχημεία Γ' Λυκείου Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2000.
68. http://www.biosyn-oelmek.org/ekpaideftiko_yliko/ekpaideftiko_yliko_files/respiration.pdf (Τελευταία επίσκεψη 22/8/2012)
69. Hill, B.C. and Andrews, D., Biochim. Biophys. Acta, **1817**, 6, 2012, p. 948–954.
70. Powers, L., Blumberg, W.E., Chance, B., Barlow, C.H, Leigh Jr., J.S., Smith, J., Yonetani, T., Vik, S., Peisach, J., Biochim. Biophys. Acta, **546**, 3, 1979, p. 520–538.
71. Miller, A-F., Curr. Opin. Chem. Biol., **8**, 2, 2004, p. 162–168.
72. Iranzo, O., Bioorg. Chem., **39**, 2, 2011, p. 73–87.
73. Barynin, V.V., Whittaker, M.M., Antonyuk, S.V., Lamzin, V.S., Harrison, P.M., Artymiuk, P.J. and Whittaker, J.W., Structure, 2001, **9**, 725-738.
74. Γαλανοπούλου, Ν., Ζαμπετάκης, Γ., Μαυρή, Μ. και Σιαφάκα, Α., Διατροφή και Χημεία Τροφίμων, 1η Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθηνα, 2007.
75. Λυμπέρης, Ν., Η θαυμαστή ιστορία του σιδήρου. Μια διεπιστημονική προσέγγιση στο πρόβλημα της εξέλιξης, Ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης, ΔιΧηΝΕΤ, 2002.
76. Πνευματικάκης, Γ.Α., Μαθήματα χημείας στοιχείων μεταπτώσεως, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, 2001.
77. Kakar, S., Hoffman, F.G., Storz, J.F., Fabian. M. and Hargrove, M.S., Biophys. Chem., **152**, 1–3, 2010, p. 1–14.
78. McMurry, J., Organic Chemistry (Μεταφρασμένο), Τόμος 2ος, 2η Έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2001.
79. Piantadosi, C.A., Free Radical Biol. Med., **45**, 5, 2008, p. 562–569.
80. Διονυσίου – Αστερίου, Α.Γ και Τρούγκος, Κ.Β., Βιοχημεία στην ιατρική. Βιομόρια, Τόμος 1, 1η Έκδοση, Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, 2006.
81. Caret, R.L., Denniston, K.J. and Topping, J.J., Principles and Applications of Inorganic, Organic and Biological Chemistry (Μεταφρασμένο), 1η Έκδοση, Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, 2000.

82. Boron, W.F. and Boulpaep, L.E., Medical Physiology. A Cellular and Mollecular Approach (Μεταφρασμένο), 1η Έκδοση, Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, 2006.
83. http://www.diet-and-health.net/Supplements/Vanadium.html (Τελευταία επίσκεψη 3/1/2011)
84. Frausto, J.J.R. and Williams, R.J.P., The biological chemistry of the elements. The inorganic chemistry of life, 2nd Edition,
85. http://www.food-info.net/gr/metal/vanadium.htm (Τελευταία επίσκεψη 13/8/2012)
86. Wilson, B.E. and Gondy, A., Diabet. Res. Clin. Pr., 28, 3, 1995, p. 179–184.
87. Butler, I.S. and Harrod, J.F., Inorganic Chemistry, Principles and Applications, (Μεταφρασμένο), Έκδοση 1η, Εκδόσεις Κωσταράκη, Αθήνα, 1994.
88. Randaccio, L., Geremia, S. and Wuerges, J., J. Organomet. Chem., **692**, 6, 2007, p. 1198–1215.
89. Δημόπουλος, Κ.Α. και Αντωνοπούλου, Σ., Βασική βιοχημεία, Αθήνα, 2000.
90. Dickinson, L.C., J. Chem. Educ., 1976, **53**, 381-385.
91. http://www.springboard4health.com/notebook/min_selenium.html (Τελευταία επίσκεψη 13/11/2011)
92. Tappel, A.L., The Amer. J. Clin. Nutr., 1974, **27**, 960-965.