

Ισορροπία και διαταραχές της ισορροπίας του όγκου των οργανικών υγρών

Οι εξαιρετικά πολύπλοκες λειτουργίες του οργανισμού εξαρτώνται από τη διατήρηση σε στενά όρια του όγκου και της σύστασης των οργανικών υγρών, δεδομένου ότι το εσωτερικό περιβάλλον του οργανισμού είναι ένα κατ' εξοχήν υγρό μέσον. Το H_2O αποτελεί το 60% του σωματικού βάρους (0,6 l/kg) του ενήλικου ανθρώπου. Στις γυναίκες η μέση περιεκτικότητα του οργανισμού τους σε H_2O είναι 0,45-0,50 l/kg, ενώ στους άνδρες 0,55-0,60 l/kg. Η διαφορά αυτή οφείλεται, κυρίως, στο γεγονός ότι η εναπόθεση λιπών στις γυναίκες (ενήλικες) είναι μεγαλύτερη (ο λιπώδης ιστός περιέχει πολύ λίγο H_2O), ενώ στους άνδρες (ενήλικους) είναι μεγαλύτερη η μυϊκή μάζα. Στα νεογέννητα η περιεκτικότητα του οργανισμού σε H_2O είναι σχετικά πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με τους ενήλικους οργανισμούς: κατά τη γέννηση η περιεκτικότητα σε H_2O υπερβαίνει το 75% του σωματικού βάρους. (Κυρίως είναι αυξημένος ο όγκος του εξωκυτταρικού υγρού). Σταδιακά, όμως, η περιεκτικότητα του οργανισμού σε H_2O μειώνεται: η σημαντικότερη μείωση παρατηρείται τα πρώτα 10 χρόνια της ζωής (άνθρωπος) (πίν. 1).

*

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το 60% του σωματικού βάρους του ενήλικου ανθρώπου αποτελείται από H_2O . Από αυτό, 62% περίπου βρίσκεται μέσα στα κύτταρα και με άλλα στοιχεία και ουσίες σχηματίζει το *ενδοκυτταρικό*

Πίνακας 1. Η κατανομή του H_2O μεταξύ εξωκυτταρικού και ενδοκυτταρικού υγρού ως εκατοστιαία αναλογία του σωματικού βάρους (Hill, 1990).

Ηλικία	Ολικό H_2O (%)	Εξωκυτταρικό H_2O (%)	Ενδοκυτταρικό H_2O (%)	Εξωκυτταρικό H_2O / Ενδοκυτταρικό H_2O
0-1 ημέρα	79	43,9	35,1	1,25
1-10 ημέρες	74	39,7	34,3	1,14
1-3 μήνες	72,3	32,2	40,1	0,80
3-6 μήνες	70,1	30,1	40	0,75
6-12 μήνες	60,4	27,4	33	0,83
1-2 χρόνια	58,7	25,6	33,1	0,77
2-3 χρόνια	63,5	26,7	36,8	0,73
3-5 χρόνια	62,2	21,4	40,8	0,52
5-10 χρόνια	61,5	22	39,5	0,56
10-16 χρόνια	58	18,7	39,3	0,48

υγρό και το 38% βρίσκεται έξω από τα κύτταρα και συντελεί στο σχηματισμό του *εξωκυτταρικού υγρού*, το οποίο διακρίνεται στο *πλάσμα του αίματος* και στο *περικυτταρικό υγρό*.

Το ενδοκυτταρικό υγρό περιέχει εκατοντάδες χημικές ουσίες, που συμμετέχουν στις βιοχημικές αντιδράσεις του κυττάρου. Ανάμεσα σ' αυτές είναι η *γλυκόζη*, που αποδομείται ή πολυμερίζεται και αποθηκεύεται στο κύτταρο ως αδιάλυτο γλυκογόνο. Τα περισσότερα κύτταρα περιέχουν, επίσης, μικρές ποσότητες *λιπιδίων*, ενώ τα κύτταρα του λιπώδους ιστού μπορεί να περιέχουν μέχρι και 95% λιπίδια. Ένα άλλο σημαντικό συστατικό είναι, φυσικά, οι *πρωτεΐνες*. Ακόμη, το ενδοκυτταρικό υγρό περιέχει *ηλεκτρολύτες*, όπως κάλιο, μαγνήσιο και φωσφόρο σε μεγάλες ποσότητες και νάτριο, χλώριο, διττανθρακικά και θειικά άλατα σε μικρές ποσότητες. Μερικοί από τους ηλεκτρολύτες αυτούς είναι εξαιρετικής σημασίας για τη φυσιολογική λειτουργία του κυττάρου (για τις ενδοκυτταρικές χημικές αντιδράσεις και το δυναμικό μεμβράνης). Επίσης, το ενδοκυτταρικό υγρό περιέχει *οξυγόνο* σε σχετικά μεγάλη συγκέντρωση και *διοξειδίο του άνθρακα*, που παράγεται κατά το μεταβολισμό των θρεπτικών ουσιών και στη συνέχεια διαχέεται μέσω της κυτταρικής μεμβράνης στο εξωκυτταρικό υγρό.

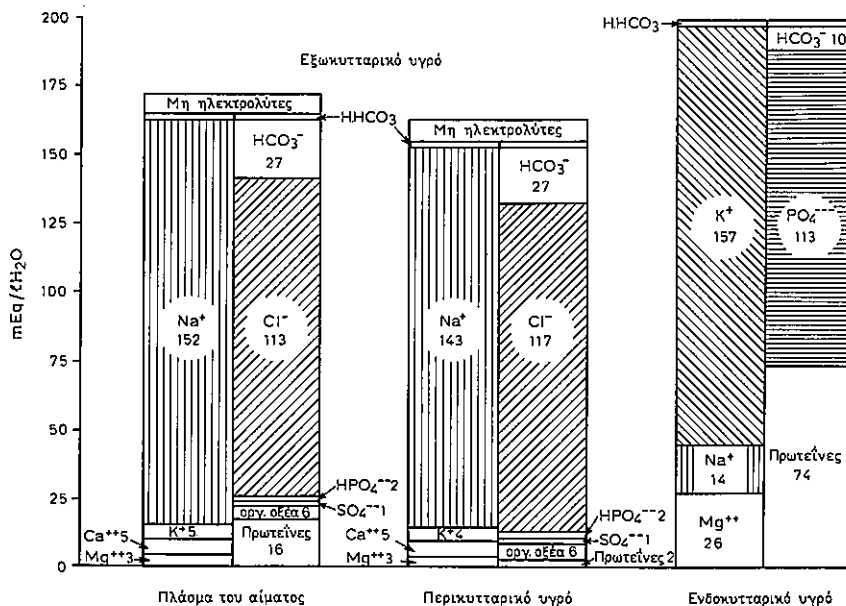
Το εξωκυτταρικό υγρό παρουσιάζει διαφορές στη χημική του σύσταση σε σύγκριση με το ενδοκυτταρικό υγρό. Η πιο σημαντική από αυτές αφορά τους *ηλεκτρολύτες*. Η συγκέντρωση νατρίου και χλωρίου στο εξωκυτταρικό υγρό είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση νατρίου και χλωρίου στο ενδοκυτταρικό υγρό. Αντίθετα, η συγκέντρωση καλίου, μαγνησίου

και φωσφόρου είναι πολύ μεγαλύτερη στο ενδοκυτταρικό υγρό σε σύγκριση με το εξωκυτταρικό υγρό. Σ' αυτές τις διαφορές οφείλονται, για παράδειγμα, τα ηλεκτρικά δυναμικά, που αναπτύσσονται στις κυτταρικές μεμβράνες.

Το εξωκυτταρικό υγρό, όπως και το ενδοκυτταρικό, περιέχει γλυκόζη, λιπίδια, πρωτεΐνες, οξυγόνο, διοξειδίο του άνθρακα κλπ, σε διαφορετικές, όμως, συγκεντρώσεις από εκείνες στο ενδοκυτταρικό υγρό. Οι διαφορές αυτές φαίνονται στην εικόνα 1.

Ουσίες κινούνται από το ενδοκυτταρικό στο εξωκυτταρικό υγρό και αντίστροφα, ενώ το εξωκυτταρικό υγρό των διαφόρων διαμερισμάτων του σώματος συνεχώς κινείται και αναμειγνύεται. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχουν πάντα στο εξωκυτταρικό υγρό και στο περιβάλλον των κυττάρων διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά, ενώ συγχρόνως αποτρέπεται η συσσώρευση στο άμεσο περιβάλλον των κυττάρων διαφόρων άχρηστων προϊόντων του μεταβολισμού, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβη στα κύτταρα.

Με το κυκλοφορικό σύστημα μεταφέρεται το εξωκυτταρικό υγρό σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στο σώμα, ενώ ειδικοί μηχανισμοί επιτρέπουν την ανταλλαγή ουσιών μεταξύ του υγρού των αιμοφόρων τριχοειδών (πλάσματος του αίματος) και του υγρού που βρίσκεται στο μεσοκυττάριο χώρο



Εικ. 1. Η σύσταση σε ηλεκτρολύτες του πλάσματος του αίματος, του περικυτταρικού υγρού και του ενδοκυτταρικού υγρού στον άνθρωπο (mEq/l H₂O) (Ganong, 1979).

(περικυτταρικό υγρό). (Και τα δύο αυτά υγρά είναι μέρος του εξωκυτταρικού υγρού). Στο σημείο, όμως, αυτό πρέπει να διευκρινιστεί ότι και ανάμεσα στο πλάσμα του αίματος και στο περικυτταρικό υγρό υπάρχουν μερικές διαφορές, κυρίως ως προς τη συγκέντρωση των πρωτεϊνών, που είναι μεγαλύτερη στο πλάσμα του αίματος (εικ. 1).

*

Στον ενήλικο άνθρωπο η μέση ημερήσια πρόσληψη H_2O (αυτούσιου και με τις τροφές) και η ποσότητα H_2O που παράγεται κατά τον καταβολισμό των θρεπτικών ουσιών (καταβολικό H_2O)* ανέρχονται σε 2300 ml περίπου. Στον πίνακα 2 φαίνονται οι ημερήσιες απώλειες του οργανισμού σε H_2O υπό διάφορες καταστάσεις. Γενικά, υπό φυσιολογική εξωτερική θερμοκρασία (περίπου 20°C) τα 1400 ml (από τα 2300 ml) αποβάλλονται με το ούρο, τα 100 ml με τον ιδρώτα, τα 100 ml με τα κόπρανα, ενώ τα υπόλοιπα 700 ml αποβάλλονται από το δέρμα (εκτός ιδρωτοποιών αδένων) και από τους αεραγωγούς (αναπνευστικό σύστημα). (H_2O αποβάλλεται και από το μαστό κατά τη γαλακτοπαραγωγή). Για τη ρύθμιση του όγκου των οργανικών υγρών μόνο η πρόσληψη H_2O και η απέκκρισή του από τους νεφρούς μπορούν να ελεγχθούν (βλέπε παρακάτω).

Παρόλο που οι διακυμάνσεις ως προς την πρόσληψη και αποβολή H_2O από τον οργανισμό είναι σημαντικές, η μεταβολή του όγκου των οργανικών υγρών είναι μικρή.

Πίνακας 2. Ημερήσιες απώλειες σε H_2O (σε ml) (Guyton, 1981)

Πηγή απώλειας H_2O	Φυσιολογική εξωτερική θερμοκρασία	Αυξημένη εξωτερική θερμοκρασία	Παρατεταμένη, έντονη σωματική προσπάθεια
Ούρο	1400	1200	500
Ιδρώτας	100	1400	5000
Κόπρανα	100	100	100
Αεραγωγοί	350	250	650
Δέρμα (εκτός ιδρωτοποιών αδένων)	350	350	350
Σύνολο	2300	3300	6600

* Η καύση ενός γραμμαρίου υδατανθράκων δίνει περίπου 0,6 ml H_2O , ενός γραμμαρίου πρωτεϊνών 0,4 ml H_2O και ενός γραμμαρίου λιπιδίων 1,1 ml H_2O .

κών υγρών, υπό φυσιολογικές συνθήκες, είναι μικρή. Στην ισορροπία αυτή του όγκου των οργανικών υγρών συμμετέχουν, σε ποικίλο βαθμό, σχεδόν όλα τα όργανα, τα οποία και επηρεάζονται, επίσης, σε περίπτωση διαταραχής της ισορροπίας αυτής.

Κατά την προσθήκη, για παράδειγμα, H_2O στο εξωκυτταρικό υγρό, αυτό αραιώνεται (γίνεται υπότονο σε σχέση με το ενδοκυτταρικό υγρό), οπότε σημαντικές ποσότητες H_2O εισέρχονται στα κύτταρα (όσμωση). Έτσι, μέσα σε λίγα λεπτά το H_2O κατανέμεται περίπου ομοιόμορφα ανάμεσα στο εξωκυτταρικό και το ενδοκυτταρικό υγρό (πίν. 3).

Σε πολλές παθολογικές καταστάσεις, η μειωμένη πρόσληψη υγρών, η υπερβολική απώλεια υγρών, η δυσλειτουργία διαφόρων οργάνων έχουν ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της ισορροπίας του όγκου των οργανικών υγρών. Σημαντική μεταβολή του όγκου του εξωκυτταρικού ή ενδοκυτταρικού υγρού μπορεί να προκληθεί, συγκεκριμένα, κατά την υπερβολική πρόσληψη H_2O , την ενδοφλέβια έγχυση διαφόρων διαλυμάτων, την αφυδάτωση, την απώλεια μεγάλων ποσοτήτων υγρών από το γαστρεντερικό σωλήνα (διάρροια, έμετος) ή από τους νεφρούς ή με τον ιδρώτα.

Για τη διατήρηση της δυναμικής ισορροπίας του όγκου των οργανικών υγρών, που εξασφαλίζεται φυσιολογικά, συμμετέχουν ποικίλοι μηχανισμοί, που θα αναφερθούν στη συνέχεια: οι μηχανισμοί αυτοί αφορούν, κυρίως, το νευρικό σύστημα, το ενδοκρινικό σύστημα, τους νεφρούς και το γαστρεντερικό σωλήνα.

Ρόλος του εντερικού σωλήνα και των νεφρών στην ισορροπία του όγκου των οργανικών υγρών

Ο εντερικός σωλήνας, επηρεάζοντας την απορρόφηση H_2O και $NaCl$, και οι νεφροί, επηρεάζοντας την απέκκριση H_2O και $NaCl$, συντελούν στην ισορροπία του όγκου των οργανικών υγρών. *Τον κύριο, όμως, και πρωταρχικό ρόλο τον παίζουν οι νεφροί.*

1. Ο ρόλος του εντερικού σωλήνα

Απορρόφηση H_2O και ιόντων νατρίου-χλωρίου από τον εντερικό σωλήνα

Η απορρόφηση του H_2O

Εκτός από την ποσότητα H_2O που καταναλώνεται ημερησίως, ένας σημαντικός όγκος H_2O προστίθεται στο εντερικό περιεχόμενο με τα διάφορα εκκρίματα το πεπτικού συστήματος. Στον άνθρωπο, για παράδειγμα,

Πίνακας 3. Η επίδραση της ενδοφλέβιας έγχυσης 10 l H₂O στο εξωκυτταρικό και ενδοκυτταρικό υγρό (Guyton, 1981)

	Εξωκυτταρικό υγρό		Ενδοκυτταρικό υγρό		Σύνολο οργανικών υγρών	
	Όγκος (l)	Συνολική Συγκέντρωση (m Osmole/l)	Όγκος (l)	Συνολική Συγκέντρωση (m Osmole/l)	Όγκος (l)	Συνολική Συγκέντρωση (m Osmole/l)
Αρχικές τιμές	15	300	25	300	40	300
Ενδοφλέβια έγχυση	10	0	0	0	10	0
Σταγμιαία επίδραση (πριν αρχίσει η όσμωση)	25	180	25	300	50	ισορροπία
Μετά την οσμωτική ισορροπία	18,75	240	31,25	240	50	240
						12000

έχει υπολογιστεί ότι επιπλέον των 1,5-2,5 l H₂O που καταναλώνονται ημερησίως, 8,5-10 l H₂O προστίθενται ημερησίως στο εντερικό περιεχόμενο με τα εκκρίματα αυτά. Το μεγαλύτερο μέρος του H₂O απορροφάται από το λεπτό έντερο και μόνον 1-1,5 l προωθείται στο κόλον, ενώ μόνο 100-150 ml περίπου περιέχονται, φυσιολογικά, στα κόπρανα. (Στα μηρυκαστικά σημαντικό ρόλο παίζει και η μεγάλη κοιλία).

Γενικά, υπό φυσιολογικές συνθήκες (όπως έχει διαπιστωθεί στον άνθρωπο), απορροφάται το 99% του H₂O και των ιόντων που περιέχονται στην τροφή και στα εκκρίματα του πεπτικού συστήματος. Αυτό ονομάζεται «υδροηλεκτρολυτική απορρόφηση». Τα υγρά που εκκρίνονται στον πεπτικό σωλήνα (H₂O και ιόντα) αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο ποσοστό του εξωκυτταρικού υγρού από το οποίο προέρχονται. Αυτός ο συνολικός όγκος υγρού θα πρέπει να επαναρροφηθεί σχεδόν στο σύνολό του για να μη διαταραχθεί ο όγκος του εξωκυτταρικού υγρού και η αρτηριακή πίεση του αίματος. Η επαναρρόφηση αυτή, γίνεται, κυρίως, στο τελευταίο τμήμα του λεπτού εντέρου και στο παχύ έντερο από τη νήστιδα προς το κόλον το επιθήλιο γίνεται προοδευτικά λιγότερο διαπερατό.

Ο βλεννογόμος του δωδεκαδακτύλου παρουσιάζει μεγάλη διαπερατότητα στο H₂O· σημαντικές ποσότητες H₂O κινούνται από τον αυλό του δωδεκαδακτύλου στο αίμα και από το αίμα στον αυλό του δωδεκαδακτύλου. Το περιεχόμενο του δωδεκαδακτύλου είναι υπέρτονο ως προς το πλάσμα του αίματος και έτσι, συνήθως, υπερέχει η κίνηση H₂O από το αίμα στον αυλό. Η απορρόφηση H₂O (υπεροχή κίνησης H₂O από τον αυλό του εντέρου στο πλάσμα του αίματος) είναι μεγαλύτερη στη νήστιδα σε σύγκριση με τον ειλέο. Στο κόλον, η απορρόφηση H₂O είναι μικρή (περίπου 400 ml/ημερησίως, στον άνθρωπο), αλλά μπορεί να πραγματοποιηθεί ενάντια σε μία μεγαλύτερη διαφορά οσμωτικής πίεσης σε σύγκριση με τα άλλα τμήματα του γαστρεντερικού σωλήνα.

Καθώς οι διαλυμένες ουσίες απορροφούνται στο αίμα, η οσμωτική πίεση του εντερικού περιεχομένου τείνει να μειωθεί, αλλά η απορρόφηση H₂O είναι τόσο γρήγορη, ώστε δε διαταράσσεται η οσμωτική πίεση. Έτσι, όχι μόνο η απορρόφηση των διαλυμένων ουσιών γίνεται πλήρως πριν αυτές διέλθουν όλο το μήκος του λεπτού εντέρου, αλλά και το 95-99% του H₂O απορροφάται.

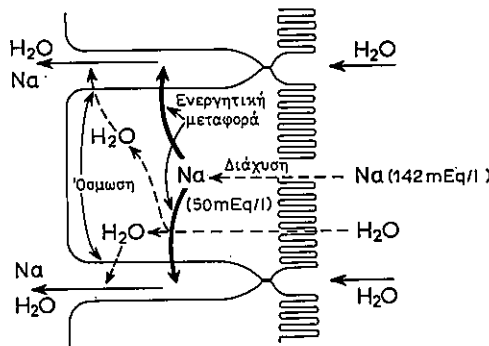
Η απορρόφηση του νατρίου

Κατ' αρχήν, τα ιόντα νατρίου (Na⁺) μπορούν να κινηθούν τόσο από τον αυλό του εντέρου στο πλάσμα του αίματος (απορρόφηση) όσο και από το πλάσμα του αίματος στον αυλό του εντέρου.

Ιόντα νατρίου απορροφούνται κατά μήκος όλου του εντερικού σωλήνα. Τα Na^+ διέρχονται τη μεμβράνη των μικρολαχνών λόγω της ηλεκτροχημικής διαφοράς στις δύο πλευρές της μεμβράνης (διάχυση), ενώ από τη βασική και τις πλάγιες επιφάνειες του απορροφητικού επιθηλιακού κυττάρου τα Na^+ εξέρχονται στο μεσοκυττάριο χώρο με το μηχανισμό της ενεργητικής μεταφοράς. Οι συγκεντρώσεις Na^+ στον αυλό του εντέρου και στο πλάσμα του αίματος είναι περίπου ίδιες και έτσι η απορρόφηση των Na^+ (φυσιολογικά) πραγματοποιείται χωρίς σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση Na^+ στις δύο πλευρές της μεμβράνης. Δίεδρος, όμως, Na^+ μέσω της κυτταρικής μεμβράνης μπορεί να συμβεί και ενάντια σε μία μικρή διαφορά συγκέντρωσης Na^+ (ενεργητικά).

Ο μηχανισμός της απορρόφησης των Na^+ από τα απορροφητικά επιθηλιακά κύτταρα του βλεννογόνου του λεπτού εντέρου φαίνεται στην εικόνα 2. Κατ' αρχήν, Na^+ κινούνται με μηχανισμό ενεργητικής μεταφοράς από το εσωτερικό του επιθηλιακού κυττάρου μέσω των πλαγίων επιφανειών του στο μεσοκυττάριο χώρο. Μέρος των Na^+ κινείται μαζί με Cl^- , ένα μέρος κινείται με ανταλλαγή K^+ και, τέλος, μέρος των Na^+ κινείται ανεξάρτητα των Cl^- ή των K^+ . Έτσι, η ενδοκυτταρική συγκέντρωση Na^+ μειώνεται και, κατά συνέπεια, Na^+ διαχέονται στο εσωτερικό των απορροφητικών επιθηλιακών κυττάρων από τον αυλό του εντέρου. Με τον τρόπο αυτό αντικαθίσταται το νάτριο που κινήθηκε ενεργητικά από το εσωτερικό των απορροφητικών επιθηλιακών κυττάρων στο μεσοκυττάριο χώρο.

Η υπεροχή της κίνησης Na^+ από τον αυλό του εντέρου στο αίμα έναντι της κίνησης Na^+ κατά την αντίθετη κατεύθυνση (αίμα-αυλός εντέρου) είναι μεγαλύτερη στη νήστιδα. Η ταχύτητα μάλιστα απορρόφησης των Na^+ στη νήστιδα αυξάνεται από την παρουσία γλυκόζης, γαλακτόζης και των ουδέ-



Εικ. 2. Απορρόφηση νατρίου από τα απορροφητικά επιθηλιακά κύτταρα του βλεννογόνου του λεπτού εντέρου (Guyton, 1981· τροποποίηση).

τερων αμινοξέων στον αυλό του εντέρου. Πιστεύεται ότι οι ουσίες αυτές και τα ιόντα νατρίου διέρχονται την κυτταρική μεμβράνη των μικρολαχνών με τις ίδιες πρωτεΐνες-φορείς. Η ενέργεια η απαραίτητη για την κίνηση της γλυκόζης, της γαλακτόζης και των ουδέτερων αμινοξέων από τον αυλό του εντέρου στο εσωτερικό των απορροφητικών επιθηλιακών κυττάρων, όπου η συγκέντρωσή τους είναι μεγαλύτερη, εξασφαλίζεται από την κίνηση των Na^+ από τον αυλό του εντέρου στο εσωτερικό των απορροφητικών επιθηλιακών κυττάρων (ηλεκτροχημική διαφορά: αυλός-εσωτερικό απορροφητικών επιθηλιακών κυττάρων). Έτσι, τα Na^+ αυξάνουν την απορρόφηση των μονοσακχαριτών και των αμινοξέων, και αντίστροφα.

Στον ειλέο, η υπεροχή της απορρόφησης Na^+ είναι μικρότερη σε σύγκριση με τη νήστιδα. Η απορρόφηση Na^+ στον ειλέο λίγο μόνο αυξάνεται από τους μονοσακχαρίτες και τα αμινοξέα, γιατί οι πρωτεΐνες-φορείς των ουσιών αυτών βρίσκονται σε μικρότερη συγκέντρωση στον ειλέο. Στον ειλέο, όμως, μπορεί να γίνει απορρόφηση Na^+ (ενεργητικά) ενάντια σε μία μεγαλύτερη ηλεκτροχημική διαφορά σε σύγκριση με τη νήστιδα.

Στο κόλον, τέλος, η απορρόφηση Na^+ γίνεται ενάντια σε μία μεγάλη ηλεκτροχημική διαφορά (ενεργητικά).

Η απορρόφηση των Cl^- και HCO_3^-

Ιόντα χλωρίου (Cl^-) και HCO_3^- απορροφούνται σε μεγάλο βαθμό στη νήστιδα. Στον ειλέο απορροφούνται Cl^- , αλλά φυσιολογικά εκκρίνονται HCO_3^- . Το ίδιο συμβαίνει και στο κόλον.

Στην πρώτη μοίρα του λεπτού εντέρου τα Cl^- απορροφούνται, κυρίως, με το μηχανισμό της παθητικής διάχυσης. Συγκεκριμένα, η μετακίνηση Na^+ μέσω των απορροφητικών επιθηλιακών κυττάρων δημιουργεί ηλεκτρική δυναμική στο εντερικό περιεχόμενο και ηλεκτροθετικότητα στη βασική πλευρά του απορροφητικού επιθηλιακού κυττάρου (στην αντίθετη πλευρά από την ελεύθερη, την επιφανειακή πλευρά του κυττάρου). Έτσι, τα Cl^- κινούνται μαζί με τα Na^+ . Στα απορροφητικά επιθηλιακά, όμως, κύτταρα της τελικής μοίρας του ειλεού και στα επιθηλιακά κύτταρα του παχέος εντέρου η απορρόφηση των Cl^- είναι ενεργητική, σε συνδυασμό με την ενεργητική έκκριση διττανθρακικών που αποσκοπεί στην εξουδετέρωση του όξινου pH, που αναπτύσσεται από τα προϊόντα της μικροβιακής ζύμωσης στο παχύ, κυρίως, έντερο.

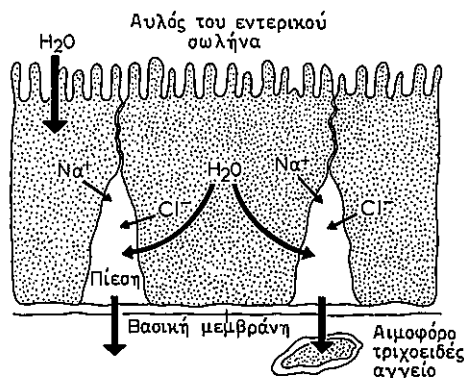
Μηχανισμός απορρόφησης H_2O και NaCl από το έντερο

Κατ' αρχήν, ένα μέρος H_2O και ιόντων διέρχεται ανάμεσα από τα επιθηλιακά κύτταρα (η σύνδεση των επιθηλιακών κυττάρων μεταξύ τους ποι-

κίλλει στις διάφορες περιοχές του εντέρου), ενώ ένα μέρος διέρχεται δια μέσου των απορροφητικών επιθηλιακών κυττάρων. Η υπεροχή της μιας ή της άλλης οδού εξαρτάται από την περιοχή του εντέρου και από τη συγκέντρωση των ιόντων ή του H_2O .

Η κίνηση του H_2O μέσο του επιθηλίου του εντέρου ακολουθεί την κίνηση των ιόντων, είναι δηλαδή δευτερογενής. Η απορρόφηση, λοιπόν, του H_2O εξαρτάται από την απορρόφηση ιόντων, κυρίως Na^+ και Cl^- . Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η απορρόφηση H_2O από το λεπτό έντερο συμβαίνει χωρίς να υπάρχει διαφορά οσμωτικής πίεσης ανάμεσα στο εντερικό περιεχόμενο και στο αίμα των τριχοειδών αγγείων του εντέρου. Στο κόλον, η απορρόφηση H_2O , συνήθως, συμβαίνει ενάντια μιας διαφοράς οσμωτικής πίεσης.

Το περίεργο της απορρόφησης H_2O στο λεπτό έντερο χωρίς να υπάρχει διαφορά οσμωτικής πίεσης, μπορεί να εξηγηθεί με τη λειτουργία ενός ειδικού μηχανισμού όσμωσης, που φαίνεται καθαρά στην εικόνα 3. Όπως ήδη αναφέρθηκε, Na^+ εξέρχονται ενεργητικά από τις πλάγιες επιφάνειες του απορροφητικού επιθηλιακού κυττάρου στο μεσοκυττάριο χώρο. Ιόντα χλωρίου (Cl^-) κινούνται στο μεσοκυττάριο χώρο από τον αυλό του εντέρου ανάμεσα από τα επιθηλιακά κύτταρα ή από τα παρακείμενα επιθηλιακά κύτταρα. Η συγκέντρωση, λοιπόν, $NaCl$ στο μεσοκυττάριο χώρο κοντά στο επιθήλιο είναι μεγάλη, ώστε το υγρό στα σημεία αυτά είναι υπέρτονο σε σύγκριση τόσο με το περιεχόμενο του αυλού όσο και με το κυτταρόπλασμα των παρακείμενων επιθηλιακών κυττάρων. Έτσι, H_2O εισέρχεται στο μεσοκυττάριο χώρο (όσμωση) από τον αυλό του εντέρου (ανάμεσα από τα



Εικ. 3. Η απορρόφηση H_2O από τα απορροφητικά επιθηλιακά κύτταρα του λεπτού εντέρου. (Ο μηχανισμός αυτός προτάθηκε, κατ' αρχήν, για τη συμπύκνωση της χολής στη χοληδόχο κύστη) (Kutchai, 1983).

επιθηλιακά κύτταρα) ή από τα παρακείμενα επιθηλιακά κύτταρα. Η είσοδος H_2O προκαλεί αύξηση της υδροστατικής πίεσης και διεύρυνση του χώρου. Λόγω της διαφοράς της υδροστατικής πίεσης το H_2O ρέει προς τα κάτω στο μεσοκυττάριο χώρο και διέρχεται (μαζί με ιόντα) το βασικό υμένα του επιθηλίου. Καθώς το υπέρτονο υγρό ρέει προς τα κάτω στο μεσοκυττάριο χώρο, H_2O συνεχίζει να κινείται στο μεσοκυττάριο χώρο από τα παρακείμενα επιθηλιακά κύτταρα. Το H_2O , που κινήθηκε από το εσωτερικό των επιθηλιακών κυττάρων στο μεσοκυττάριο χώρο, ανανεώνεται με H_2O που κινείται με τα Na^+ από το εντερικό περιεχόμενο στο εσωτερικό των επιθηλιακών κυττάρων. Όταν το υγρό φτάνει στο βασικό υμένα του επιθηλίου είναι περίπου ισότονο με το κυτταρόπλασμα των παρακείμενων επιθηλιακών κυττάρων και ως τέτοιο εισέρχεται τελικά στο αίμα των τριχοειδών του χορίου των λαχνών.

*

Η απορρόφηση H_2O και $NaCl$ από τον εντερικό σωλήνα επηρεάζεται τόσο από το νευρικό σύστημα όσο και από βιοχημικούς παράγοντες του αίματος.

α) Νευρικό σύστημα

Κατ' αρχήν, το υποβλεννογόνιο πλέγμα (ενδογενής νεύρωση του εντέρου) επηρεάζει σημαντικά την απορρόφηση $NaCl$ και H_2O · συνεχείς νευρικές ώσεις από το υποβλεννογόνιο πλέγμα περιορίζουν την απορρόφηση Na^+ και Cl^- , γεγονός που συμβάλλει στο υδαρές του εντερικού περιεχομένου. Σε περίπτωση δε εισόδου μικροοργανισμών στον εντερικό σωλήνα ή ξένων χημικών, επιβλαβών ουσιών αυξάνεται και η έκκριση H_2O και ηλεκτρολυτών από τον εντερικό βλεννογόνο, μετά από ενεργοποίηση ενός ενδογενούς, τοπικού αντανακλαστικού, οπότε αυξάνεται η υδαρότητα του εντερικού περιεχομένου (με ευνόητη την προστατευτική του σκοπιμότητα). Ως χημικοί μεταβιβαστές στο υποβλεννογόνιο πλέγμα (που μειώνουν την απορρόφηση Na^+ και Cl^- ή αυξάνουν την έκκριση Cl^-) δρουν η ακετυλοχολίνη, το αγγειοκινητικό εντερικό πολυπεπτίδιο και άλλα πεπτίδια.

Το υποβλεννογόνιο πλέγμα επηρεάζεται, όμως, και από το αυτόνομο νευρικό σύστημα (συμπαθητικό και παρασυμπαθητικό), με αποτέλεσμα την αυξημένη απορρόφηση $NaCl$ και H_2O από το έντερο ή την αυξημένη απέκκριση $NaCl$ και H_2O με τα κόπρανα, όχι για τους τοπικούς λειτουργικούς λόγους, που αναφέρθηκαν, αλλά για λόγους ισορροπίας του όγκου των οργανικών υγρών. Σε περίπτωση που απαιτείται, για παράδειγμα, αύξηση του $NaCl$ και του H_2O στον οργανισμό, εκτός από την κατακράτηση $NaCl$ και H_2O από τους νεφρούς, αυξάνεται και η απορρόφηση $NaCl$ και H_2O από