

ΝΕΦΡΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η φυσιολογική νεφρική λειτουργία συμβάλλει αποφασιστικά:

1. Στη ρύθμιση του όγκου και της σύνθεσης των υγρών του σώματος («εσωτερικό περιβάλλον» κατά Claud Bernard),
2. Στη ρύθμιση της οξεοβασικής ισορροπίας,
3. Στη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης,
4. Στην παραγωγή του αίματος (ερυθροποίηση).

Τα νεφρά, με τη λειτουργία τους, διαδραματίζουν μέγιστο ρόλο στη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Το γεγονός αυτό επισημαίνεται από την εξαιρετικά μεγάλη αιμάτωσή τους. Από το σύνολο των πέντε (5) περίπου λίτρων αίματος, που κυκλοφορούν κάθε ένα (1) λεπτό στο ανθρώπινο σώμα (**ΚΛΟΑ, BF**), το 1/5 (δηλ. 1 λίτρο) προσφέρεται στα νεφρά (νεφρική ροή αίματος, **RBF**).

Το **RBF** λοιπόν είναι η νεφρική ροή αίματος, δηλαδή η ποσότητα του αίματος που περνάει από τα νεφρά κάθε 1' λ. Με δεδομένη την αναλογία του υγρού στοιχείου του αίματος (πλάσμα), που είναι περίπου το 60% του ολικού αίματος, η νεφρική ροή πλάσματος (**RPF**), δηλαδή το πλάσμα που περνάει από τα νεφρά κάθε 1' λ., είναι ίση με 600 ml.

Φυσιολογικά, γύρω στα 120 ml υγρών αποχωρίζονται κάθε 1' από τα 600 ml του πλάσματος ή τα 1000 ml αίματος, που διέρχονται από τα νεφρά στο χρονικό αυτό διάστημα και περνούν στους ουροφόρους χώρους (έλυτρο Bowman). Αυτά τα 120 ml/1', που χαρακτηρίζονται ως ο **ρυθμός της σπειραματικής διήθησης (GFR)**, αποτελούν το **πρώμο ή αρχικό διήθημα**. Το αρχικό διήθημα περιέχει όλα τα συστατικά του πλάσματος, στην ίδια αναλογία με την οποία περιέχονται και στο πλάσμα, εκτός από λεύκωμα. Το λεύκωμα περιέχεται στο αρχικό διήθημα σε πολύ μικρή αναλογία ($\leq 15 \text{ mg\%}$). Εξαιτίας αυτής της σύνθεσης του, το αρχικό διήθημα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αλευκωματούχο πλάσμα. Μεταξύ του ρυθμού της σπειραματικής διήθησης (GFR) και της νεφρικής ροής πλάσματος (RPF), υπάρχει μία συγκεκριμένη σχέση (**GFR/RPF, 120/600**). Η σχέση αυτή χαρακτηρίζεται ως **κλάσμα διήθησης**, το οποίο σε φυσιολογικά άτομα ισούται με 0,2, ενώ σε καταστάσεις με παθολογική νεφρική λειτουργία μπορεί να παρουσιάζει διακυμάνσεις, μέσα όμως σε στενά όρια (0,1-0,3).

Η διατήρηση του όγκου και της σύνθεσης των υγρών του σώματος σε φυσιο-

λογικές αναλογίες πετυχαίνεται αφενός με τη λειτουργία του σπειράματος (σπειραματική διήθηση) και αφετέρου με τη λειτουργία του ουροφόρου σωληναρίου (απέκκριση TS, επαναρρόφηση TR).

Σε ότι αφορά τη σπειραματική λειτουργία, είναι σε κοινή χρήση ο όρος **κάθαρση (clearance)**, ο οποίος χρησιμοποιούμενος υποδηλώνει το ρυθμό της σπειραματικής διήθησης (GFR). Ο όρος όμως αυτός είναι “συμβατικός” και δημιουργεί ορισμένες παρανοήσεις. Ενώ δηλαδή θα έπρεπε να αναφέρεται, γιατί αυτό συμβαίνει στην πράξη, στο μικρό ποσοστό της κάθε ουσίας που συνεχώς απομακρύνεται με διήθηση από **το σύνολο** της ποσότητας της ουσίας που περιέχεται στο πλάσμα, το οποίο φτάνει στα νεφρά και στο σπείραμα κάθε 1' λεπτό (600 ml), τυπικά αναφέρεται στην ποσότητα της ουσίας που απομακρύνεται τελείως από **ένα μέρος** μόνο του πλάσματος, στη διάρκεια της διέλευσής του από το σπείραμα. Το μέρος αυτό του πλάσματος που «καθαρίζεται» τελείως από τις διάφορες ουσίες που περιέχονται σ' αυτό (δηλαδή η κάθαρση της κάθε ουσίας), είναι διαφορετικό για τις διάφορες ουσίες και είναι ανάλογο με ορισμένες ιδιότητες που έχουν ή δεν έχουν οι ουσίες αυτές. Προκειμένου δε για ουσίες που αποβάλλονται στα ούρα μόνο με σπειραματική διήθηση, η κάθαρσή τους αντιπροσωπεύει το ρυθμό της σπειραματικής διήθησης (GFR), δηλαδή είναι ίση με 120 ml/1' λ.

Προσδιορισμός της νεφρικής ροής πλάσματος (RPF) και αίματος (RBF)

Η νεφρική ροή πλάσματος (RPF) μετρείται με τη βοήθεια μιας ουσίας, που κυκλοφορεί στο αίμα και αποβάλλεται στα ούρα, και με εφαρμογή του τύπου **του Fick**: $RPF = UV/R_A - R_V$ ml/1' λ., όπου

U = πυκνότητα της ουσίας στα ούρα, mg%,

V = όγκος των ούρων, ml/1' λ.,

R_A = πυκνότητα της ουσίας στη νεφρική αρτηρία, mg%,

R_V = πυκνότητα της ουσίας στη νεφρική φλέβα, mg%.

Για τη μέτρηση δηλαδή του RPF με τον παραπάνω τύπο, απαιτούνται οι πυκνότητες της ουσίας, που χρησιμοποιούμε για το σκοπό αυτό, στη νεφρική αρτηρία και τη νεφρική φλέβα, κάτι που οπωσδήποτε ενέχει ορισμένες δυσκολίες. Όμως, αν τελικά καταφέρουμε να μετρήσουμε το RPF με τον παραπάνω τρόπο, τότε είναι εύκολο να μετρήσουμε και τη νεφρική ροή αίματος (RBF), εφαρμόζοντας τον ακόλουθο τύπο:

$$RBF = RPF/1-Ht/100.$$

Ουσία κατάλληλη, που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τις μετρήσεις των RPF και RBF, είναι το παρααμινοϊππουρικό οξύ (PAH). Με την ουσία αυτή, αφού πετύχουμε, με χορήγησή της, σταθερή πυκνότητα στο πλάσμα, και στη συνέχεια μετρήσουμε την πυκνότητά της πριν από το νεφρό (στη νεφρική αρτη-

ρία) και μετά από το νεφρό (στη νεφρική φλέβα), την πυκνότητά της στα ούρα και τον όγκο των ούρων ανά 1' λεπτό, τότε μπορούμε, εφαρμόζοντας τον τύπο του Fick, να μετρήσουμε το RPF και το RBF. Είναι αξιοσημείωτο, ότι **αν η πυκνότητα του παρααμινοϊππουρικού οξέος στο πλάσμα είναι <5 mg%, τότε το PAH οξύ απομακρύνεται από το αίμα, με τα φυσιολογικά νεφρά, σχεδόν στο σύνολό του (>90%)**. Έτσι, αφού μ' αυτό τον τρόπο η πυκνότητα του PAH οξέος στη νεφρική φλέβα είναι ίση περίπου με μηδέν ($RV=0$), δεδομένου ότι «όλο» το PAH οξύ έχει μεταφερθεί από τη νεφρική αρτηρία στους ουροφόρους χώρους, ο τύπος του Fick μεταβάλλεται σε UV/RA . Και επειδή το περιφερικό φλεβικό αίμα περιέχει την αυτή πυκνότητα PAH οξέος με αυτήν που περιέχει η νεφρική αρτηρία, για τη μέτρηση του PAH οξέος στη νεφρική αρτηρία δεν απαιτείται παρά απλή φλεβοκέντηση (δηλαδή η μέτρηση του PAH οξέος στο περιφερικό φλεβικό αίμα). Ο υπολογισμός των RPF και RBF με τη μέτρηση της κάθαρσης του παρααμινοϊππουρικού οξέος είναι ένας ακριβής τρόπος για την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων, αλλά μόνο για ερευνητικούς σκοπούς. Δεν είναι πρακτικός τρόπος για κλινικές μελέτες.

Η δοκιμασία για μέτρηση της κάθαρσης του παρααμινοϊππουρικού οξέος πραγματοποιείται με τον ακόλουθο τρόπο:

Δώδεκα (12) ml PAH οξέος 20%, μαζί με έξι (6) ml διαλύματος ξυλοκαϊνης 2%, χορηγούνται υποδοριώς, στο χαλαρό ιστό της μασχαλιαίας κοιλότητας. Μετά από 30-45' λεπτά αρχίζει η συλλογή των ούρων και στη συνέχεια ακολουθείται η διαδικασία, όπως προαναφέρθηκε, με την εφαρμογή του τύπου του Fick.

Προσδιορισμός του ρυθμού της σπειραματικής διήθησης

Η μέτρηση του ρυθμού της σπειραματικής διήθησης (GFR) μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μιας ουσίας, η οποία μπορεί να υπάρχει στην κυκλοφορία (π.χ. κρεατινίνη), ή μπορεί να εισαχθεί στην κυκλοφορία (π.χ. ινουλίνη), με την προϋπόθεση όμως η ουσία αυτή να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

Να μην έχει περιορισμούς στη χορήγησή της (τοξικότητα κ.ά.),

Να μη συνδέεται με τα λευκώματα του πλάσματος, ούτε να κατακρατείται από τους ιστούς,

Να μη μεταβολίζεται στη διάρκεια της διέλευσής της από τα νεφρά,

Να αποβάλλεται μόνο με σπειραματική διήθηση,

Να μην απεκκρίνεται από τα κύτταρα των ουροφόρων σωληνίων,

Να μην επαναρροφείται στα ουροφόρα σωληνάκια.

Ιδανική ουσία για το σκοπό αυτό θα ήταν η ινουλίνη, η οποία όμως μειονεκτεί όσον αφορά τον τρόπο πραγματοποίησής της, δεδομένου ότι απαιτείται πολύπλοκη διαδικασία, εφαρμογή ορού, ενδοφλέβια έγχυσή της με στόχο την επίτευ-

ξη σταθερής πυκνότητάς της στο αίμα, και τοποθέτηση καθετήρα στην ουροδόχο κύστη. Ως εκ τούτου, δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογή στην κλινική πράξη, αλλά μόνο για ερευνητικούς σκοπούς.

Στην πράξη, παρά τους περιορισμούς που υπάρχουν σε σχέση με την ακρίβειά της, κατάλληλη ουσία για τη μέτρηση της GFR είναι η κρεατινίνη, που φαίνεται να ανταποκρίνεται στους παραπάνω έξι περιοριστικούς όρους. Είναι εύκολη η διαδικασία της μέτρησης της GFR με την κρεατινίνη. Γίνεται με απλές μετρήσεις της πυκνότητάς της στα ούρα και στο φλεβικό αίμα, καθώς και με μέτρηση του όγκου των ούρων. Ο υπολογισμός της σπειραματικής διήθησης γίνεται με την εφαρμογή του τύπου των Addis και Van Slyke $C=UV/R$, όπου C = η κάθαρση σε ml/1' λ, U = η πυκνότητα της κρεατινίνης στα ούρα σε mg%, V = ο όγκος των ούρων σε ml/1' λ και P = η πυκνότητα της κρεατινίνης στο αίμα σε mg%.

Εκτίμηση της σπειραματικής λειτουργίας

Η εκτίμηση της σπειραματικής λειτουργίας μπορεί να γίνει:

α. **Με προσέγγιση**, με μέτρηση:

Της πυκνότητας της ουρίας και/ ή της κρεατινίνης στο αίμα,

β. **Με αρκετή ακρίβεια**, με μέτρηση:

Της κάθαρσης της κρεατινίνης,

γ. **Με απόλυτη ακρίβεια**, με μέτρηση:

Της κάθαρσης της ινουλίνης, ή της κάθαρσης της αληθούς ενδογενούς κρεατινίνης, ή της κάθαρσης άλλων ουσιών (EDTA, B_{12}).

Πυκνότητα ουρίας και κρεατινίνης

Οι πυκνότητες της ουρίας και της κρεατινίνης στο αίμα είναι αντιστρόφως ανάλογες με την τιμή της GFR. Σε περιπτώσεις όμως οξείας νεφρικής ανεπάρκειας, τις πρώτες λίγες ημέρες της εκδήλωσής της, μπορεί να υπάρχει μεγάλη ελάττωση της GFR, χωρίς παράλληλα μεγάλη αύξηση των πυκνοτήτων των δύο παραπάνω ουσιών στο αίμα και κυρίως της κρεατινίνης. Βεβαίως πρέπει να έχουμε στο νου μας, ότι οι πυκνότητες της ουρίας και της κρεατινίνης στο αίμα εξαρτώνται, εκτός από τη νεφρική λειτουργία, και από τη δίαιτα (πρωτεΐνες), καθώς και από τη λειτουργική κατάσταση και άλλων οργάνων του εξεταζόμενου, όπως π.χ. του ήπατος και της καρδιάς.

Αναφέρθηκε ήδη, ότι η εκτίμηση της νεφρικής λειτουργίας μπορεί να γίνει, με προσέγγιση, με την απλή μέτρηση της ουρίας και/ή της κρεατινίνης στο αίμα. Από τις δύο όμως αυτές ουσίες, η μέτρηση της κρεατινίνης ανταποκρίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση της νεφρικής λειτουργίας.

Κάθαρση ινουλίνης

Η μέτρηση της κάθαρσης της ινουλίνης παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες, γιατί για την πραγματοποίηση της απαιτούνται:

α. ικανός χρόνος, β. καθετήρας στην ουροδόχο κύστη, και γ. πολλά δείγματα αίματος.

Η πραγματοποίηση της εξέτασης αυτής επιβάλλει αυστηρό έλεγχο του περιεχομένου της ουροδόχου κύστεως (κενή ουροδόχο κύστη), που για την επίτευξη του στόχου αυτού επιβάλλεται η τοποθέτηση καθετήρα στην ουροδόχο κύστη. Αν η διαδικασία δε γίνει μ' αυτό τον τρόπο, τότε υπάρχει η πιθανότητα σφαλμάτων.

Στην πράξη, χορηγούνται ενδοφλεβίως 90 ml διαλύματος ινουλίνης 10% και συλλέγονται ούρα (δείγματα) 30' λ. μετά από την έγχυση της ινουλίνης, δηλαδή αφού επιτευχθεί σταθερή πυκνότητα της ινουλίνης στο αίμα.

Ο υπολογισμός της κάθαρσης γίνεται με την εφαρμογή του τύπου των Addis και Van Slyke, $C = UV/P$. Χρειάζονται δηλαδή η πυκνότητα της ινουλίνης στο αίμα και στα ούρα, και ο όγκος των ούρων σε ml/1' λ.

Κάθαρση κρεατινίνης

Η μέτρηση της κάθαρσης της κρεατινίνης είναι ευκολότερη από την προηγούμενη, αφού η κρεατινίνη υπάρχει στον ανθρώπινο οργανισμό σε σταθερή πυκνότητα όλο το 24ωρο. Πλησιάζει δε σ' ότι αφορά την ακρίβειά της εκείνη της ινουλίνης, δεδομένου ότι έχει σχεδόν τις ίδιες ιδιότητες με την ινουλίνη, σε σχέση με τη διακίνησή της από τα νεφρά. Συλλέγονται ούρα 24ωρου, και μετρώνται οι πυκνότητες της κρεατινίνης στο αίμα και στα ούρα, καθώς και ο όγκος των ούρων σε ml/1'. Και τελικά εφαρμόζεται ο παραπάνω αναφερόμενος τύπος.

Κάθαρση ουρίας

Η κάθαρση της ουρίας είναι μικρότερη από την κάθαρση των δύο προηγούμενων ουσιών, κι αυτό γιατί η ουρία, εκτός από τον αποβολή της με διήθηση, υφίσταται μεταβολές και κατά τη διέλευση της από τα ουροφόρα σωληνάκια, και συγκεκριμένα επαναρροφείται σε μεγάλο ποσοστό. Αν η ροή των ούρων είναι >2 ml/1', η επαναρρόφηση της ουρίας είναι ίση περίπου με τα 2/5 της ουσίας που πέρασε με διήθηση στους ουροφόρους χώρους, και επομένως η κάθαρσή της είναι ίση με τα 3/5 της κάθαρσης της ινουλίνης. Αν η ροή των ούρων είναι <2 ml/1', τότε η επαναρρόφηση της ουρίας είναι μεγαλύτερη από τα 2/5 της ποσότητας που διηθήθηκε, και επομένως η κάθαρσή της είναι ακόμη μικρότερη, όπως προκύπτει

και από τον τύπο υπολογισμού της σ' αυτή την περίπτωση $C = \frac{U\sqrt{V}}{P}$.

Σωληναριακή λειτουργία

Η λειτουργία του ουροφόρου σωληναρίου πραγματοποιείται με δύο τρόπους: α. με την απέκκριση (TS), και β. με την επαναρρόφιση (TR).

Απέκκριση: Αφορά ουσίες οι οποίες είτε υπάρχουν στο αίμα που φτάνει με την κυκλοφορία στα νεφρά, είτε παράγονται στα επιθηλιακά κύτταρα των ουροφόρων σωληναρίων. Οι ουσίες αυτές αποβάλλονται δια των κυττάρων των ουροφόρων σωληναρίων στους ουροφόρους χώρους και με τα ούρα απομακρύνονται από τον οργανισμό.

Τέτοιες ουσίες είναι:

1. Το νερό (H_2O),
2. Τα ιόντα υδρογόνου (H^+),
3. Η αμμωνία (NH_3),
4. Οι ηλεκτρολύτες (Na^+ , K^+ , Ca^{++}),
5. Ο φωσφόρος (Pi),
6. Τα αμινοξέα.

Επαναρρόφιση: Αφορά την επαναφορά από τους ουροφόρους χώρους στο αίμα διαφόρων ουσιών (σακχάρου, Na^+ , ουρικού οξέος κ.α), οι οποίες πέρασαν στους χώρους αυτούς είτε από το αίμα με διήθηση, είτε από τα κύτταρα των ουροφόρων σωληναρίων με απέκκριση.

Αποβολή ύδατος

Με την αποβολή ύδατος ρυθμίζεται ο όγκος και η σύσταση των υγρών του σώματος. Αποβάλλονται πιο πυκνά ή πιο αραιά ούρα, ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού.

Η πύκνωση των ούρων μπορεί να γίνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε η ωσμωτική πίεσή τους να ανεβαίνει σε ≥ 1300 mOsm/l, και το ειδικό βάρος τους σε ≥ 1040 , ενώ η αραιώση των ούρων μπορεί να εκδηλώνεται με πολύ χαμηλή ωσμωτική πίεση, ≤ 50 mOsm/l, και με ειδικό βάρος ≤ 1001 .

Η πύκνωση και η αραιώση των ούρων εξαρτώνται κυρίως από τη λειτουργική ακεραιότητα της αγκύλης του Henle και από την πυκνότητα της κυκλοφορούσας αντιδιουρητικής ορμόνης (ADH), η οποία αυξάνει τη διαπερατότητα του αθροιστικού σωληναρίου στο νερό. Στην αγκύλη του Henle – παχύ ανιόν σκέλος – υπάρχει αντλία ενεργητικής αποβολής Na^+ , που συντελεί στην παραγωγή υπότονων ούρων στο ύψος της εξόδου τους από την αγκύλη προς το αθροιστικό σωληνάριο, και στην αύξηση της πυκνότητας του Na^+ και της ωσμωτικής πίεσης των ούρων στο κατιόν σκέλος της αγκύλης και τον ενδιάμεσο χώρο αντίστοιχα.

Δοκιμασία πύκνωσης

Γίνεται: α: με στέρηση υγρών, β: με ένεση βαζοπρεσίνης.

α. Στέρηση υγρών για 16-24 ώρες, και ίσως παράλληλη χορήγηση στερεάς τροφής. Σε φυσιολογικές καταστάσεις, το ειδικό βάρος των ούρων αυξάνεται σε ≥ 1020 .

β. Διενέργεια υποδόριας ένεσης βαζοπρεσίνης (5 μονάδες), στις 8 π.μ., πριν από το πρόγευμα. Το ειδικό βάρος των ούρων 24ώρου αυξάνεται σε ≥ 1020 .

Δοκιμασία αραιώσης (“Υδατική ώση” κατά Volhard)

Χορήγηση υγρών (νερού), 20 ml/kg βάρους σώματος, σε διάρκεια 10'-20' λ. Συλλογή δειγμάτων ούρων τις επόμενες 4 ώρες και μέτρηση του ειδικού βάρους. Σε θετική δοκιμασία, σε μία από τις ουρήσεις, πρέπει το ειδικό βάρος των ούρων να βρεθεί ≤ 1004 . Πρέπει να αναφερθεί, ότι φυσιολογικά, σε 4 ώρες, αποβάλλεται τουλάχιστον το 75% των υγρών που χορηγήθηκαν.

Αποβολή ιόντων υδρογόνου - Ρύθμιση της οξεοβασικής ισορροπίας και του pH των ούρων

Τα ιόντα υδρογόνου αποβάλλονται με τα ούρα:

- α. ελεύθερα ή δυνητικώς ελεύθερα (τιτλοποιήσιμο οξύ),
- β. ενωμένα με NH_3 – ως αμμώνιο (NH_4).

Αυτή η λειτουργία συμβάλλει στη ρύθμιση της οξεοβασικής ισορροπίας (pH).

Για να επιτευχθεί ο στόχος, δηλαδή να διατηρηθεί σταθερό το pH του αίματος με τη βοήθεια των ιόντων υδρογόνου, πρέπει να απεκκρίνονται καθημερινώς περίπου 60 χιλιοστοϊσοδύναμα ιόντων υδρογόνου.

Οξέωση. Είναι μία παθολογική κατάσταση, που μπορεί να ρυθμίζεται με τη νεφρική λειτουργία. Η ικανότητα των νεφρών να αντιρροπούν την οξεωσική κατάσταση του οργανισμού, έγκειται εξ ολοκλήρου στη λειτουργία των ουροφόρων σωληναρίων, δηλαδή στην ικανότητα των σωληναρίων να απεκκρίνουν περισσότερα ιόντα υδρογόνου, ελεύθερα ή ενωμένα με αμμωνία.

Αλκάλωση. Είναι η παθολογική κατάσταση, που επίσης μπορεί να ρυθμίζεται με τη νεφρική λειτουργία. Σε αντίθεση με την οξέωση, που ρυθμίζεται με σωληναριακούς μηχανισμούς, η αλκάλωση ρυθμίζεται με τη διακίνηση των διττανθρακικών, τα οποία αποβάλλονται με σπειραματική διήθηση και επαναρροφώνται σε αναλογία περίπου 80% στα εγγύς εσπειραμένα σωληνάκια και στη συνέχεια στο σύνολό τους, ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού (φυσιολογικά τα διττανθρακικά του αίματος πρέπει να διατηρούνται περίπου στα 27 mEq/l).

Απέκκριση αμμωνίας

Η αμμωνία, σε κάποιο ποσοστό, παράγεται στα επιθηλιακά κύτταρα των ου-

ροφόρων σωληναρίων, ενώ το μεγάλο ποσοστό της παράγεται στο ήπαρ και φτάνει στα νεφρά με την κυκλοφορία. Αποβάλλεται από τα νεφρά είτε ως ελεύθερη NH_3 , είτε ως αμμώνιο ($\text{NH}_4 = \text{NH}_3 + \text{H}^+$), δεσμεύοντας περίπου 30 mEq ιόντων υδρογόνου στο 24ωρο. Σε φυσιολογικά άτομα, σε 24 ώρες, αποβάλλονται με τα ούρα 60 mEq ιόντων υδρογόνου. Τα μισά απ' αυτά αποβάλλονται ως ελεύθερα ιόντα υδρογόνου και τα υπόλοιπα ως NH_4 . Σε βαριά οξέωση αποβάλλεται μεγάλη ποσότητα NH_4 , δηλαδή μεγάλη ποσότητα ιόντων υδρογόνου συνδεδεμένων με NH_3 , μέχρι και 400 mEq το 24ωρο, ενώ στην ίδια κλινική κατάσταση, τα ελεύθερα ιόντα υδρογόνου που αποβάλλονται με τα ούρα, σε 24 ώρες, ξεπερνούν τα 100 mEq.

Απέκκριση Νατρίου

Το Νάτριο αποβάλλεται με σπειραματική διήθηση. Η απέκκρισή του επηρεάζεται από τον όγκο του αίματος, από τη θέση του σώματος, από την ψυχική κατάσταση του ατόμου, από την πυκνότητα της αλδοστερόνης στο αίμα (κατακρατεί Na^+) και από την ωσμωτική πίεση του πλάσματος, που όταν είναι αυξημένη (ουραιμία, υπεργλυκαιμία) οδηγεί σε αποβολή μεγαλύτερης ποσότητας νατρίου.

Πέρα από τα παραπάνω, σε ορισμένες νοσηρές καταστάσεις, τα επιθηλιακά κύτταρα των ουροφόρων σωληναρίων, δηλαδή τα νεφρά, αδυνατούν να συγκρατήσουν το Na^+ , με αποτέλεσμα την έντονη νατριούρηση και, εξ' αυτού του γεγονότος, την έκδηλη υπονατριαιμία. Τέτοιες καταστάσεις είναι:

1. Η νόσος του Addison,
2. Η βαριά σακχαρουρία,
3. Η χρόνια νεφρική ανεπάρκεια και κυρίως από χρόνια πυελονεφρίτιδα,
4. Η διουρητική φάση της οξείας νεφρικής ανεπάρκειας,
5. Η πρωτοπαθής νεφροσωληναριακή βλάβη.

Απέκκριση καλίου

Το K^+ αποβάλλεται με σπειραματική διήθηση, επαναρροφείται, μάλλον πλήρως, στο εγγύς εσπειραμένο σωληνάριο, και τέλος αποβάλλεται ενεργητικά στο άπω εσπειραμένο σωληνάριο. Πιθανό είναι, ότι η αποβολή K^+ στο άπω σωληνάριο έχει σχέση με την επαναρρόφηση του Na^+ (ανταλλαγή Na^+ με H^+ και/ή K^+)

Δοκιμές ελέγχου της καλιουρίας και της καλιοπενίας πραγματοποιούνται με τη χορήγηση καλίου από το στόμα και με έλεγχο της απέκκρισής του στα ούρα.

Νεφρική απώλεια καλίου παρατηρείται στις ακόλουθες κλινικές καταστάσεις:

1. Σε νεφροσωληναριακή οξέωση,
2. Σε υπεραλδοστερονισμό,
3. Σε νόσο του Cushing,
4. Σε χορήγηση στεροειδών,

5. Σε χορήγηση διουρητικών (θειαζίδες, φουροσεμίδη κ.ά).

Απέκκριση ασβεστίου

Το ασβέστιο αποβάλλεται με σπειραματική διήθηση και επαναρροφείται στο εγγύς εσπειραμένο σωληνάριο. Διαφορές που μπορεί να παρατηρηθούν, αναφορικά με την αποβολή του ασβεστίου από τα νεφρά, οφείλονται είτε σε πρωτοπαθή νεφροσωληναριακή βλάβη, είτε σε διαταραχές της παραθορμόνης.

Απέκκριση φωσφόρου

Γενικά, η αποβολή του φωσφόρου με τα ούρα (διήθηση, επαναρρόφιση) εξαρτάται από την πυκνότητα της παραθορμόνης στο πλάσμα, από την πυκνότητα του φωσφόρου στο πλάσμα, και από πιθανές νεφροσωληναριακές βλάβες (π.χ. σύνδρομο Fanconi κ.ά.). Ειδικότερα, η απέκκριση του φωσφόρου εξαρτάται από τη σπειραματική διήθηση και από την πυκνότητα του φωσφόρου στο πλάσμα. Αν η πυκνότητα του φωσφόρου στο πλάσμα είναι $<2,1 \text{ mg\%}$, τότε η αποβολή του στα ούρα μπορεί να είναι πολύ χαμηλή, ίσως και ίση με μηδέν.

Μέγιστη επαναρρόφιση (TmR) μιας ουσίας σε 1' λ

Αναφέρεται στην ποσοτική έκφραση της συνολικής μάζας των λειτουργικών σωληναριακών κυττάρων, και στην ικανότητά τους να επαναρροφούν μία ουσία που έχει περάσει με διήθηση στους ουροφόρους χώρους. Σπανίως χρησιμοποιείται στην κλινική πράξη, γιατί συνήθως στην καθημερινή πρακτική δε χρειάζεται η μεγάλη ακρίβειά της.

Μέγιστη απέκκριση (TMS)

Η εκτίμηση της μέγιστης απεκκριτικής ικανότητας των κυττάρων των ουροφόρων σωληναρίων είναι καλός δείκτης σωληναριακής λειτουργίας.

Αν μία ουσία υπάρχει στα ούρα σε μεγαλύτερη ποσότητα από ότι στο αρχικό διήθημα, τότε σημαίνει ότι η ουσία αυτή απεκκρίνεται και από τα ουροφόρα σωληνάρια. Ακόμη, υπάρχουν ουσίες που διηθούνται, επαναρροφούνται σε μεγάλο ποσοστό ή στο σύνολό τους στο εγγύς σωληνάριο, και τελικά απεκκρίνονται στο άπω σωληνάριο. Η ποσότητα των ουσιών αυτών στα ούρα, προέρχεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από απέκκρισή τους στα ουροφόρα σωληνάρια.

Η καλλίτερη εξέταση για τον έλεγχο της νεφρικής λειτουργίας (και της σωληναριακής), θα ήταν η ανεύρεση του αριθμού των νεφρώνων που παραμένουν λειτουργικοί. Αυτό είναι πολύ δύσκολο να γίνει στην πράξη, όπως δύσκολη είναι η συσχέτιση της GFR με τον αριθμό των λειτουργικών νεφρώνων, διότι οι απομείνοντες νεφρώνες υπερτρέφονται και υπερλειτουργούν, με στόχο την κάλυψη

μέρους της λειτουργίας των κατεστραμμένων νεφρών, με αποτέλεσμα την αλλοίωση της πραγματικής εικόνας.

Ισοτοπική μελέτη των νεφρών

Ραδιενεργό νεφρόγραμμα

Το ραδιενεργό νεφρόγραμμα, που χρησιμοποιείται πολύ συχνά για τον έλεγχο της νεφρικής λειτουργίας, είναι μία σημαντική πρόοδος για έρευνα στη Νεφρολογία. Με την εξέταση αυτή μπορούμε να εκτιμήσουμε:

- α. Τη συνολική νεφρική λειτουργία,
- β. Τη λειτουργία καθενός νεφρού ξεχωριστά, και
- γ. Την ύπαρξη ετερόπλευρης ή αμφοτερόπλευρης απόφραξης των ουροφόρων οδών.

Πραγματοποιείται με την ενδοφλέβια χορήγηση ραδιοφαρμάκων, και με τη βοήθεια ενός μετρητή γ-ακτινοβολίας, που τοποθετείται πάνω από κάθε νεφρό, καταγράφεται μία χαρακτηριστική καμπύλη, στην οποία διακρίνονται τρεις φάσεις:

- 1. η αιματική**, που δείχνει την πορεία του ισότοπου στο νεφρό,
- 2. η εκκριτική**, που δείχνει τη συγκέντρωση του ισότοπου στο νεφρό, και
- 3. η απεκκριτική**, που δείχνει την απομάκρυνση του ισότοπου από το νεφρό προς την ουροδόχο κύστη.

Με την εξέταση αυτή είναι δυνατό αφενός να υπολογισθεί με ακρίβεια το μέγεθος της νεφρικής ανεπάρκειας, και αφετέρου να εντοπισθεί η θέση που ευθύνεται για την έκπτωση της νεφρικής λειτουργίας (προνεφρική=αιμάτωση νεφρών, ενδονεφρική = διήθηση, μετανεφρική=απέκκριση).