



ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΟΥΡΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΑΔΑΜΗΣ

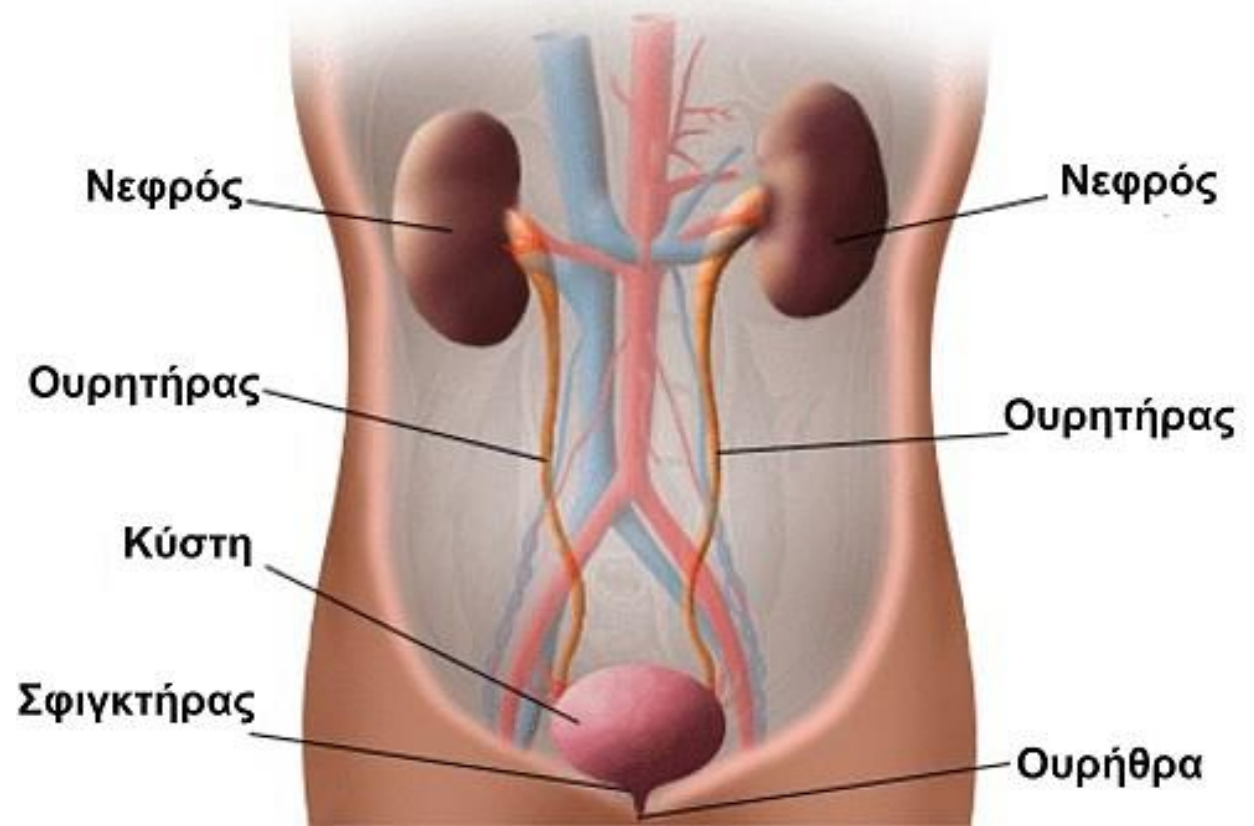
Το ουροποιητικό σύστημα αποτελείται από:

2 νεφρούς

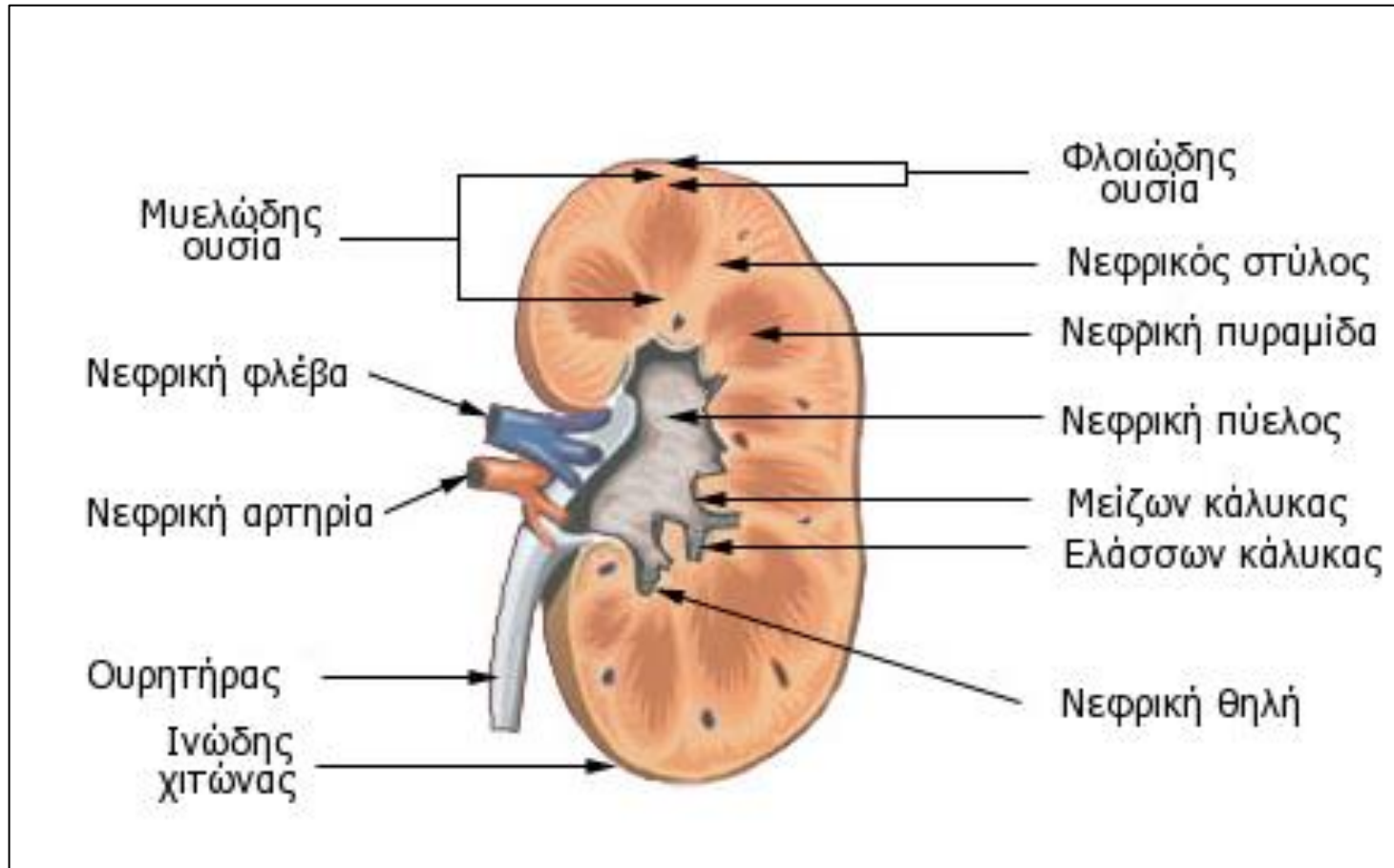
2 Ουρητήρες

1 ουροδόχο κύστη

1 ουρήθρα



Μέρη του νεφρού



“[Kidney structure el](#)”, από [Badseed](#) διαθέσιμο ως κοινό κτήμα

Λειτουργίες Νεφρών

- ❖ Εξασφαλίζουν την απέκκριση τοξικών παραπροϊόντων του μεταβολισμού (ουρία, ουρικό οξύ, κρεατινίνη κλπ)
- ❖ Ρύθμιση της σύστασης και του όγκου των υγρών σώματος, μεταβάλλοντας την απέκκριση των διαλυτών ουσιών (όπως Na^+ , K^+ , Cl^- , γλυκόζη και αμινοξέα) και του νερού.
- ❖ Λειτουργούν ως ενδοκρινή όργανα: συνθέτουν και εκκρίνουν τις ορμόνες
 - ρενίνη, (ρύθμιση αρτηριακής πίεσης)
 - Ερυθροποιητίνη (ρύθμιση ερυθροποίησης)
 - συμβάλλουν στη μετατροπή της βιταμίνης D στη δραστική μορφή της, η οποία ελέγχει τη μεταφορά ασβεστίου.
- ❖ Ρυθμίζουν την οξεοβασική ισορροπία (pH)

Νεφρώνας

Οι λειτουργικές μονάδες του νεφρού είναι οι νεφρώνες. Κάθε νεφρός περιέχει περίπου 1 εκατομμύριο νεφρώνες.

Κάθε νεφρώνας αποτελείται:

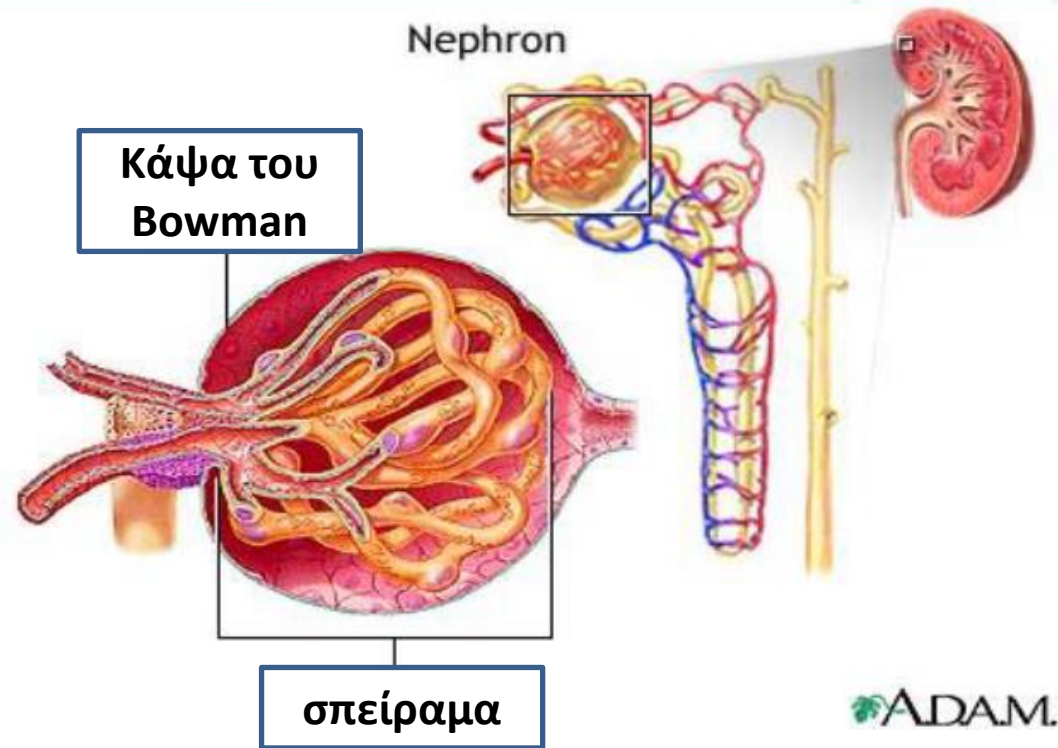
Από το νεφρικό σωματίο:

αποτελείται από το σπείραμα που είναι ένα δίκτυο τριχοειδών που περιβάλλεται και από την κάψα του Bowman.

Λειτουργία: Διήθηση πλάσματος που είναι το πρώτο βήμα για το σχηματισμό ούρων

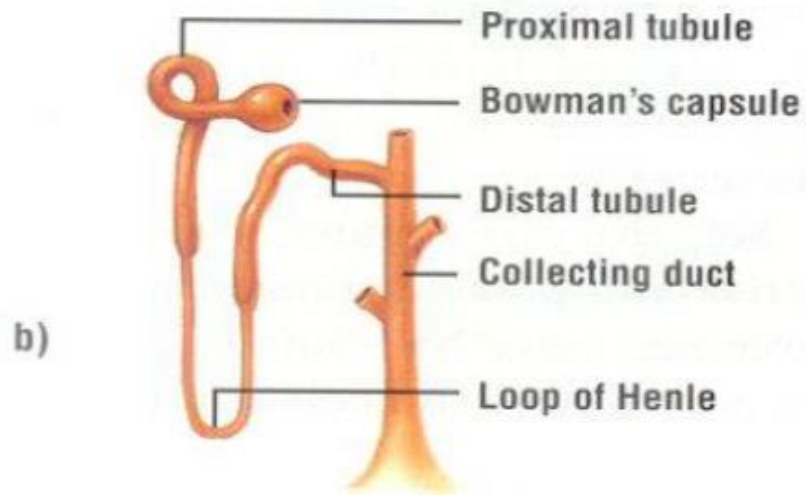
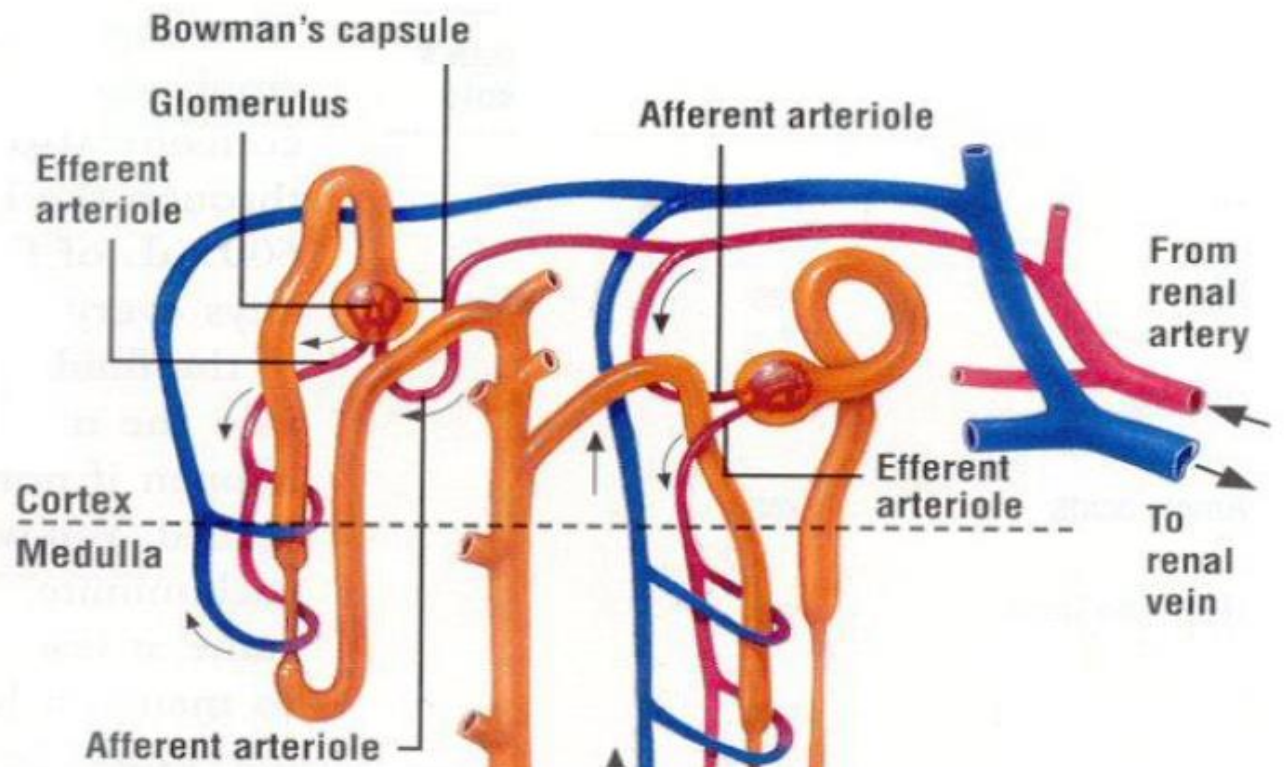
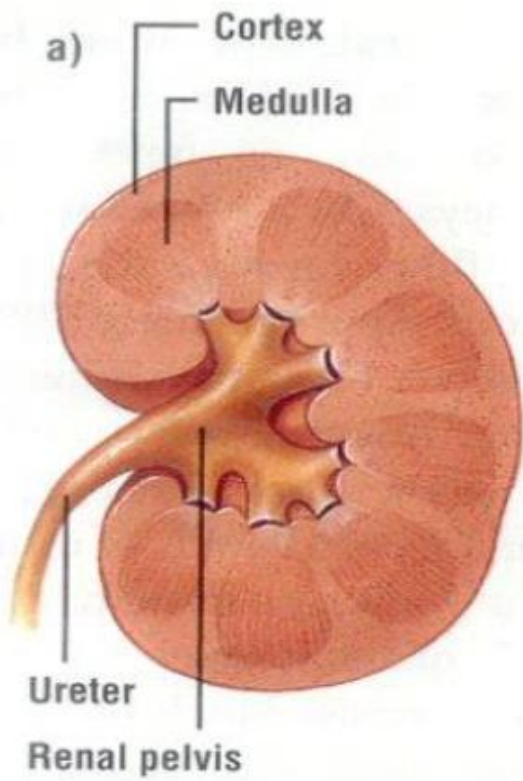
Από τα νεφρικά σωληνάκια:

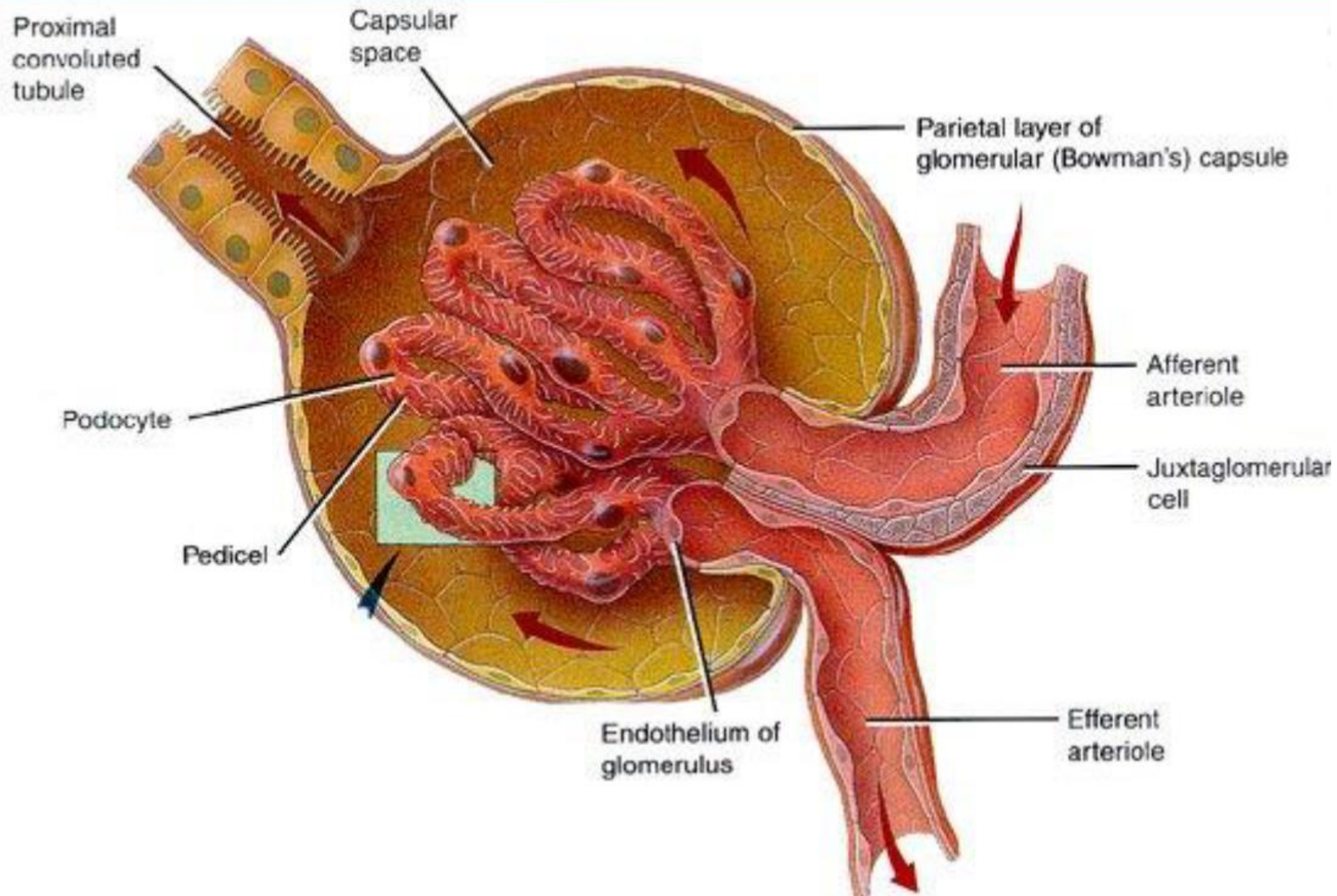
Αποτελούνται από επιθηλιακά κύτταρα που φέρουν μικρολάχνες και ως λειτουργία έχουν την επαναρρόφηση και έκκριση ουσιών



Νεφρώνας = ανεξάρτητη μονάδα νεφρικού παρεγχύματος

- Κάθε νεφρός έχει από 1-3,000,000 νεφρώνες
- Αποτελείται από ένα αγγειακό & ένα σωληναριακό σκέλος
- Το αγγειακό τμήμα, εκπορεύεται από τα προσαγωγά αρτηρίδια, & σχηματίζει ένα δίκτυο τριχοειδών στην περιοχή του ελύτρου Bowman που ονομάζεται μαλπυγιανό σπείραμα
- Εγγύς εσπειραμένο, ανιόν & κατιόν σκέλος
αγκύλης Henle, άπω εσπειραμένο
- Καταλήγουν στα αθροιστικά σωληνάρια
=>νεφρική θηλή

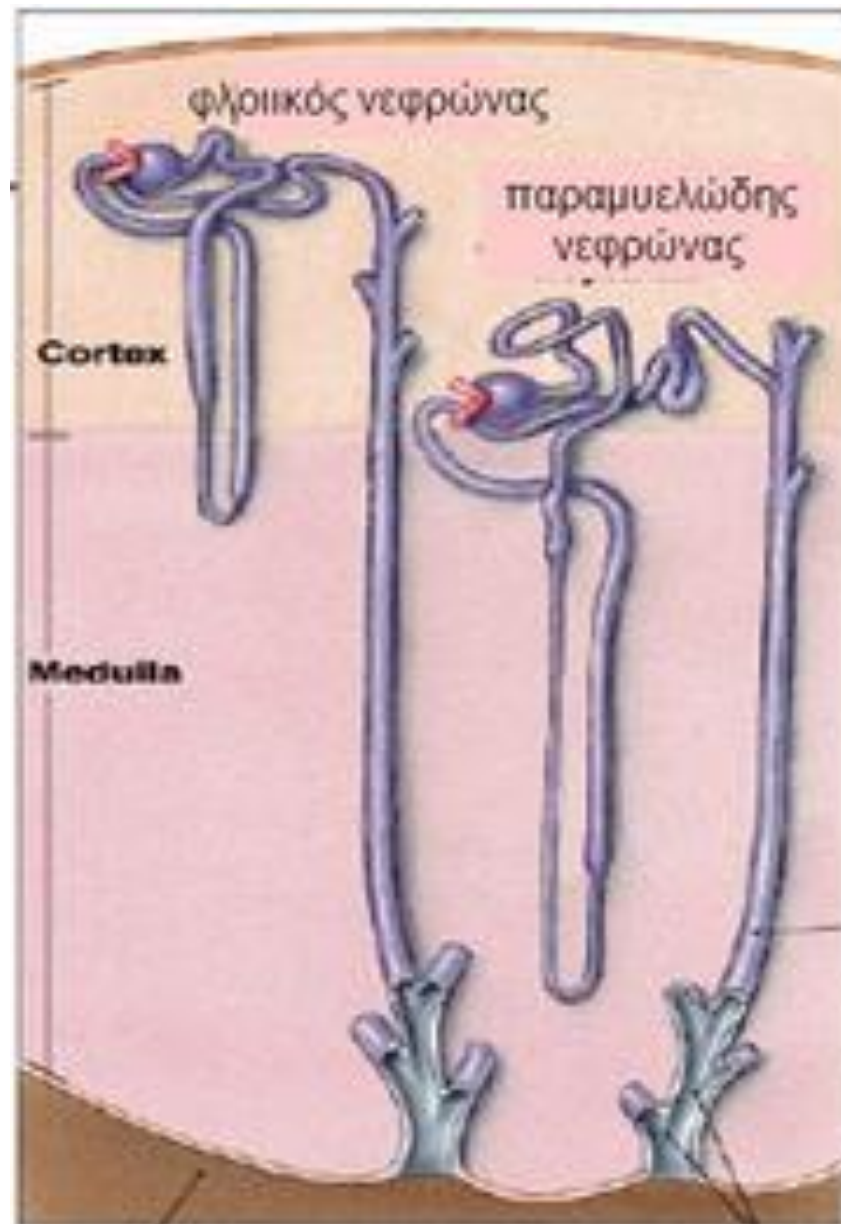




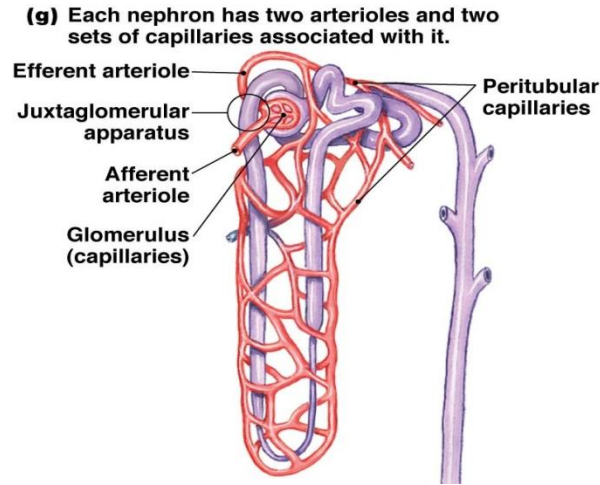
Τύποι Νεφρώνων

2 τύποι νεφρώνων:

- Φλοιώδεις νεφρώνες: εντοπίζονται στον φλοιό
- Παραμυελικοί νεφρώνες: τα νεφρικά σωμάτια εντοπίζονται στον φλοιό ενώ τα σωληνάρια στον μυελό



Αγγείωση νεφρού



- Νεφρική αρτηρία ~ τοξοειδείς αρτ. ~ μεσολοβιακές αρτ ~ προσαγωγά αρτηριόλια ~ αγγειακό σπείραμα ~ απαγωγά αρτηριόλια ~ **περισωληνα-ριακά τριχοειδή** ~ μεσολοβιακές φλ. ~ τοξοειδείς φλ. ~ νεφρική φλέβα.
- Στους παραμυελικούς νεφρώνες τα απαγωγά αρτηριόλια καταλήγουν στα ευθέα αγγεία (vasa recta) και σχηματίζουν αγκύλες παράλληλα με τις αγκύλες του Henle.

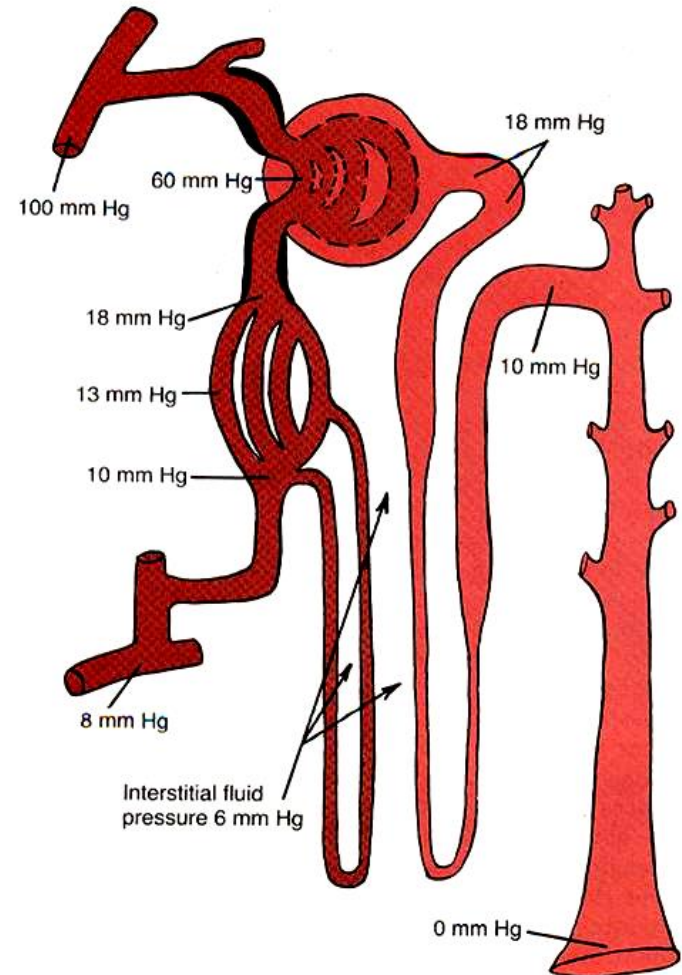
Νεφρική αιματική ροή RBF-Κατανάλωση O₂

Η νεφρική αιματική ροή είναι 1200 ml/min δηλ. το 20% της καρδιακής παροχής σε ηρεμία.

Η νεφρική κατανάλωση O₂ είναι 6 ml/100g/min.

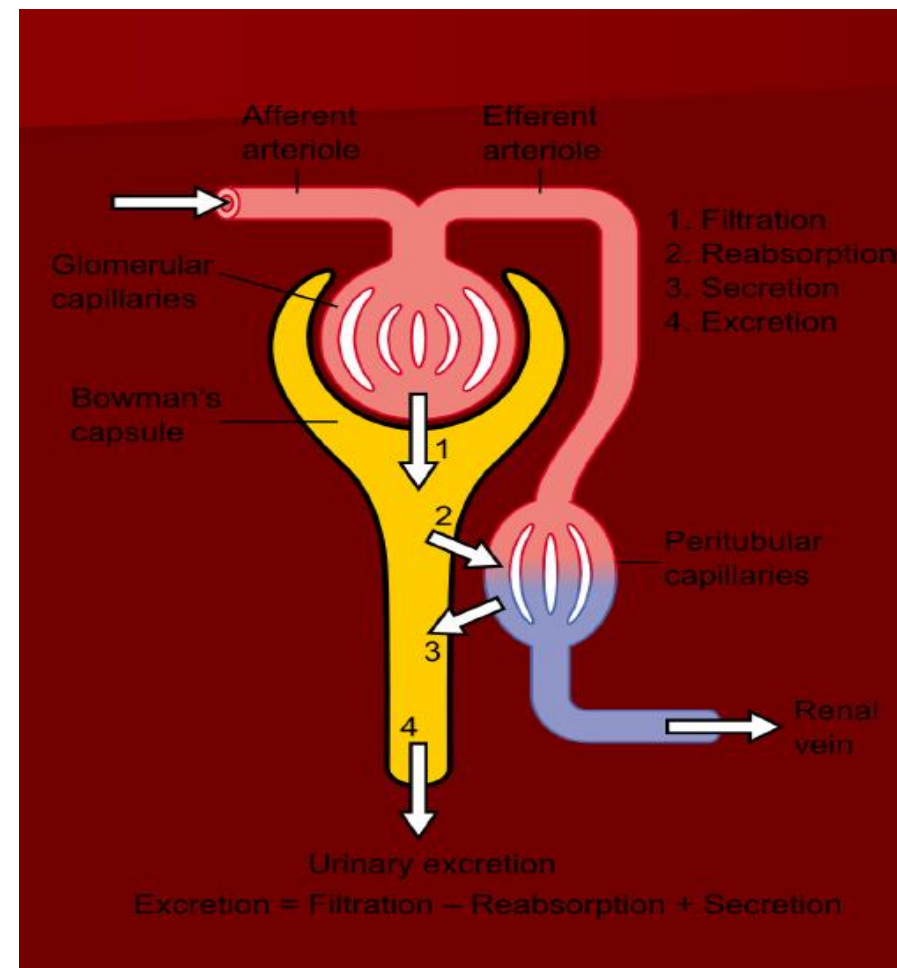
Η D_{a-v} είναι 1.5 ml/dl αίματος.

Η νεφρική κατανάλωση O₂ συσχετίζεται με την ενεργητική επαναρρόφηση Na⁺ και την αποβολή H⁺.



Πορεία σχηματισμού ούρων

1. Διήθηση
2. Επαναρρόφηση
3. Απέκκριση
4. Αποβολή



Η σωστή νεφρική λειτουργία προϋποθέτει:

- 1) Φυσιολογική αιματική ροή
- 2) Επαρκή σπειραματική διήθηση
- 3) Φυσιολογική λειτουργία νεφρικών σωληναρίων
- 4) Ελεύθερη ροή των ούρων στο ουροποιητικό σύστημα

Σπειραματική διήθηση

Είναι το πρώτο βήμα στο σχηματισμό των ούρων. Είναι μια παθητική διαδικασία κατά την οποία το αίμα διέρχεται από τα αγγεία του σπειράματος στην κάψα του Bowman και από εκεί στο νεφρικό σωληνάριο.

- ❖ Το αίμα κατεθύνεται μέσω της κοιλιακής αορτής και των νεφρικών αρτηριών στους νεφρώνες. Εκεί στο αγγειώδες σπείραμα διηθείται, εκτός από ενώσεις με μεγάλο μοριακό βάρος
- ❖ Το διήθημα (πρό-ούρο) περιέχει νερό, ιόντα, γλυκόζη, άλατα, βιταμίνες κ.α
- ❖ Καθημερινά παράγονται 180 L πρό-ουρου, από το οποίο το 99% επαναροφάται από τα κύτταρα των σωληναρίων
- ❖ Το υπόλοιπο 1% οδηγείται για απέκκριση

Ο ρυθμός διήθησης του πλάσματος / λεπτό ονομάζεται ρυθμός σπειραματικής διήθησης (GFR) και φυσιολογικά είναι: 80-120 mL/min

Ο GFR επηρεάζεται από:

- Την αρτηριακή αιματική πίεση
- Την νεφρική αιματική ροή
- Την νεφρική πίεση
- Την ηλικία
- Το μέγεθος σώματος
- Το φύλο

Μηχανισμοί νεφρικής αυτορύθμισης

- Όταν αυξάνει η ΑΠ => διάταση προσαγωγών αρτηριδίων => σύσπαση λείου μυϊκού τοιχώματος => αύξηση αντίστασης αρτ => μείωση ροής
- Ελάττωση RBF => έκκριση ρενίνης => αγγειοτενσίνη II => σύσπαση απαγωγού

Επίδραση της πίεσης στο ρυθμό σπειραματικής διήθησης (GFR)

Σύσπαση του προσαγωγού αρτηριδίου

→ μείωση GFR

Διαστολή του Προσαγωγού αρτηριδίου

→ αύξηση GFR

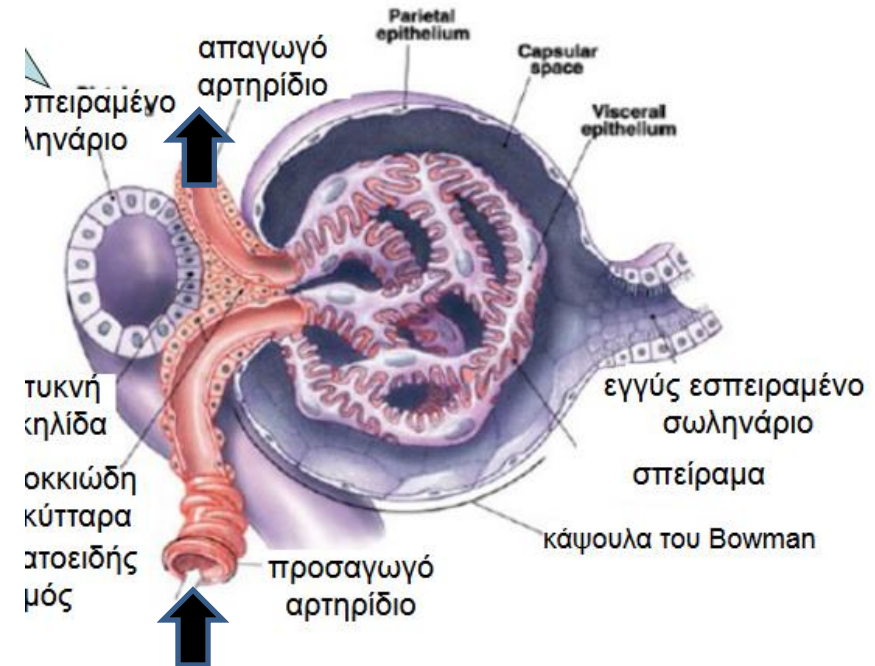
Σύσπαση απαγωγού αρτηριδίου → αύξηση GFR

Διαστολή απαγωγού αρτηριδίου → μείωση GFR

Αυξημένη συγκέντρωση πρωτεϊνών πλάσματος → μείωση GFR

Μειωμένη συγκέντρωση πρωτεϊνών πλάσματος → αύξηση GFR

Σύσπαση ουρητήρα → μείωση GFR



Παράγοντες που επηρεάζουν τις αντιστάσεις των αρτηριολίων

Συμπαθητική διέγερση (αγγειοσύσπαση προσαγω-γού και απαγωγού αρτηριδίου, της GFR).

Ορμονική ρύθμιση

- Η επινεφρίνη, η νορεπινεφρίνη, η αγγειοτενσίνη II και η αδενοσίνη προκαλούν νεφρική αγγειοσύσπαση).
- Οι προσταγλανδίνες PGE_2 , PGI_2 και το NO προκαλούν αγγειοδιαστολή του προσαγωγού και απαγωγού αρτηριδίου και της RBF και της GFR.

Νεφρική ροή αίματος *(renal blood flow)

- Για να εξασφαλισθούν οι ομοιοστατικές λειτουργίες των νεφρών θα πρέπει RBF να διατηρείται σταθερή
- Υπάρχουν ενδονεφρικοί αυτορυθμιστικοί μηχανισμοί για διατήρηση σταθερής RBF σε μεταβολές ΑΠ 60-200mmHg

Renal autoregulation

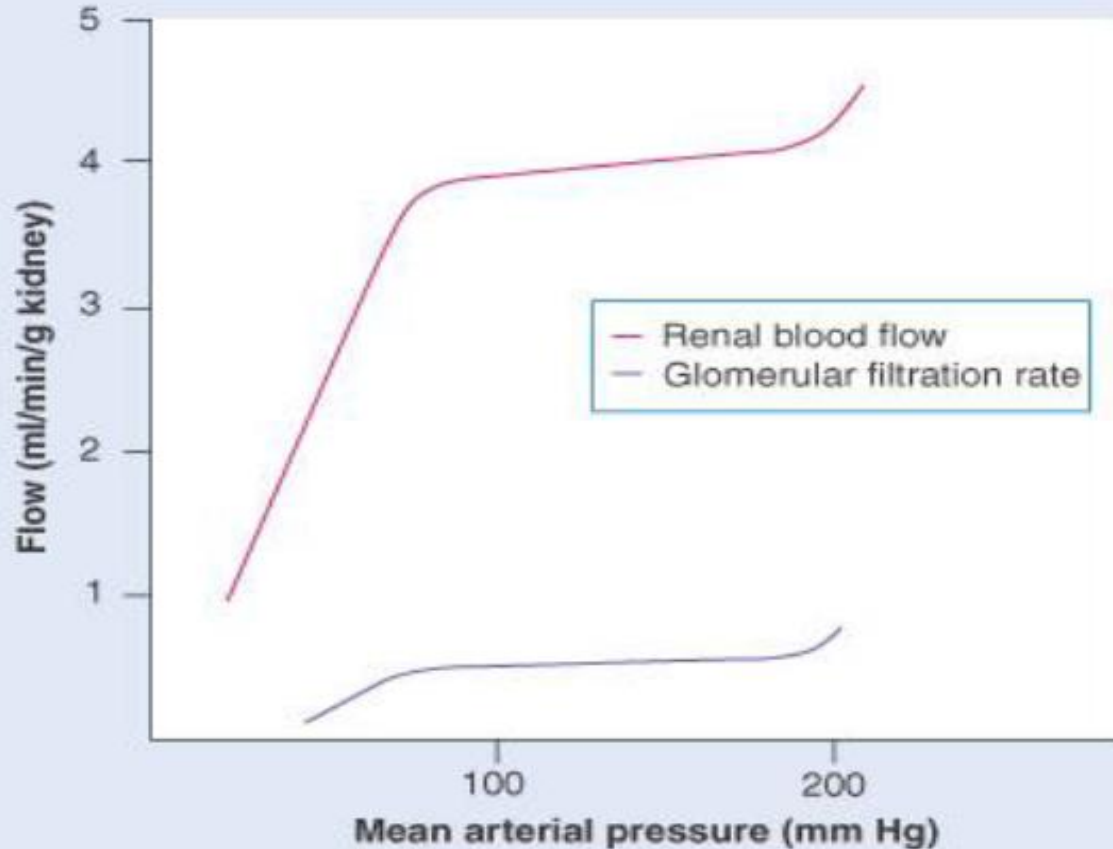
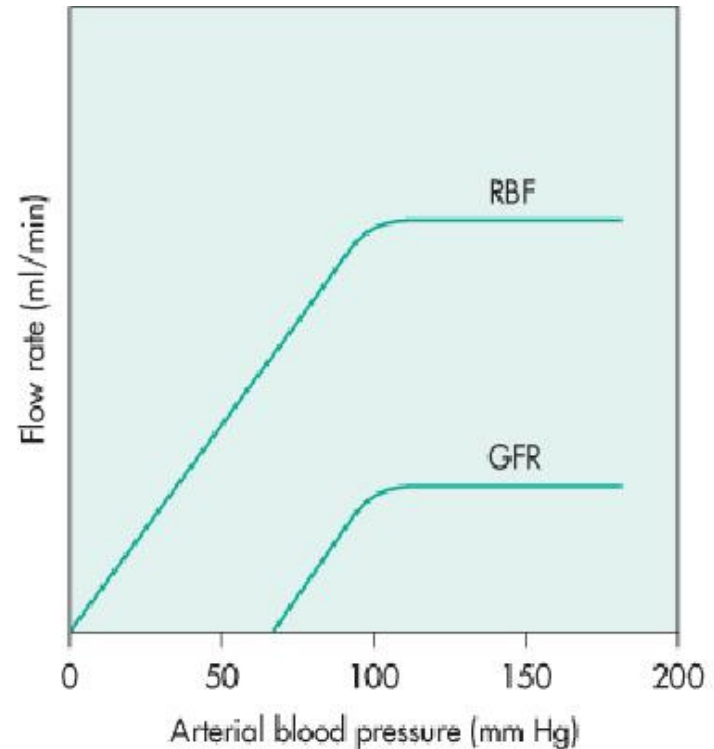


Figure 2.3 Renal autoregulation of renal blood flow and glomerular filtration rate. If mean arterial blood pressure is in the range of ~80 to 180 mm Hg, fluctuations in blood pressure have only marginal effects on renal blood flow and glomerular filtration rate. This is an intrinsic mechanism and can be modulated or overridden by extrinsic factors.

GFR και Νεφρική αιματική ροή RBF

Η αυτορρύθμιση παρατηρείται σε τιμές 90-190 mm Hg και παύει να υπάρχει όταν η MAP πέσει κάτω από 60 mm Hg.

Η αυτορρύθμιση μπορεί να υπάρχει σε απονευρωμένους νεφρούς, σε μεταμοσχευμένο νεφρό και μετά από επινεφριδικτομή.



Μέτρηση του ρυθμού σπειραματικής διήθησης (GFR)

Ο GFR μετράται μέσω της κάθαρσης ενός σπειραματικού δείκτη και δείχνει την λειτουργική ικανότητα των νεφρών.

ΚΑΘΑΡΣΗ μιας ουσίας είναι ο όγκος πλάσματος που καθαρίζεται πλήρως από τη συγκεκριμένη ουσία ανά μονάδα χρόνου

$$\text{Κάθαρση ινουλίνης} = \text{GFR} = \frac{\mathbf{U} \text{ (συγκέντρωση ινουλίνης στα ούρα)} \times \mathbf{V} \text{ (όγκος ούρων/λεπτό)}}{\mathbf{P} \text{ (συγκέντρωση ινουλίνης στο πλάσμα)}}$$

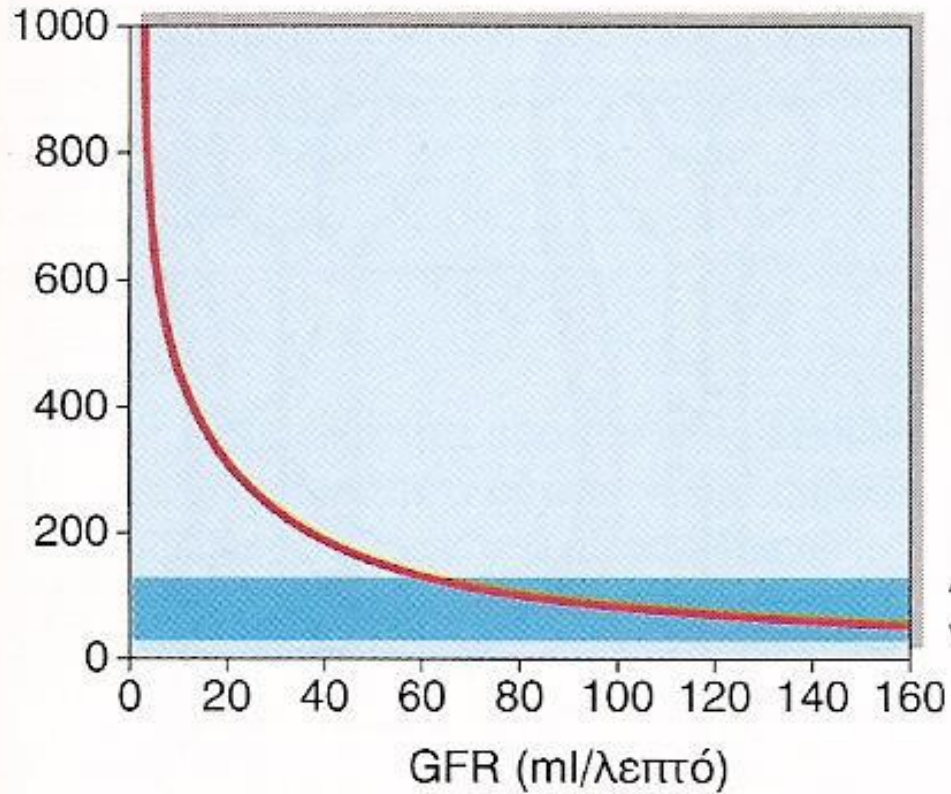
Άλλες ουσίες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του GFR είναι η κάθαρση κρεατινίνης και ουρίας

Κάθαρση μίας ουσίας (Clearance)

Η κάθαρση της ινουλίνης είναι ιδανική για τη μέτρηση της GFR γιατί:

- Η ινουλίνη διηθείται εξ ολοκλήρου, δεν επαναροφάται, ούτε απεκκρίνεται, οπότε η ποσότητα ινουλίνης που διηθείται από το αγγειώδες σπείραμα είναι ίση με την ποσότητα ινουλίνης στα ούρα.
- Δε συνδέεται με πρωτεΐνες του πλάσματος, ούτε μεταβολίζεται σε άλλες ουσίες
- Είναι βιολογικά αδρανής και μη τοξική.

Κρεατινίνη ορού
($\mu\text{mol/l}$)



Σε νεφρική ανεπάρκεια μειώνεται ο GFR και αυξάνεται η συγκέντρωση κρεατινίνης και ουρίας γιατί δεν διηθούνται επαρκώς από το αγγειακό σπείραμα

Παράδειγμα υπολογισμού κάθαρσης Ινουλίνης ή GFR

Σε μια γυναίκα χορηγείται ινουλίνη για τη μέτρηση του GFR. Μετά από 24ωρη συλλογή ούρων ο συνολικός τους όγκος ήταν 1200mL, η συγκέντρωση ινουλίνης στα ούρα ήταν 125 mg/mL και στο πλάσμα 1 mg/mL. Να υπολογίσετε την κάθαρση της ινουλίνης για τη μέτρηση του GFR

$$\text{Κάθαρση ινουλίνης} = \text{GFR} = \frac{\mathbf{U} \text{ (συγκέντρωση ινουλίνης στα ούρα)} \times \mathbf{V} \text{ (όγκος ούρων/λεπτό)}}{\mathbf{P} \text{ (συγκέντρωση ινουλίνης στο πλάσμα)}}$$

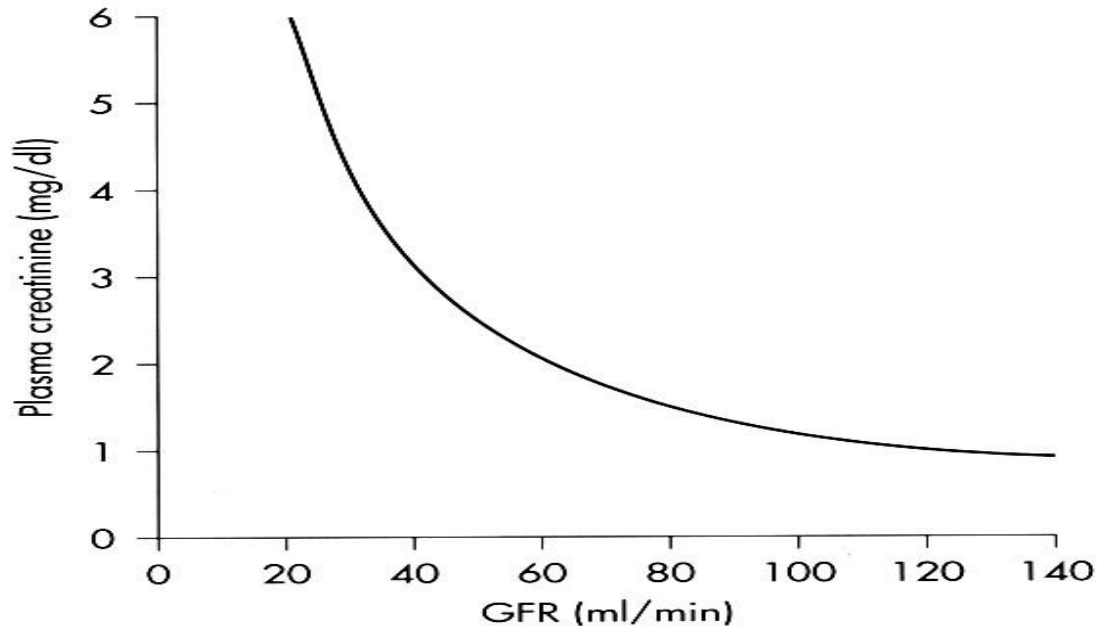
Υπολογισμός V: Έχω συνολικό όγκο ούρων για 24 ώρες: 1200 mL
άρα στο ένα λεπτό: 1200mL/1440min= 0.8 mL/min

24*60=1440min
↙

$$\text{Κάθαρση ινουλίνης} = \text{GFR} = \frac{125 * 0.8}{1} = 100\text{mL/ min}$$

Κάθαρση κρεατινίνης

Χρησιμοποιείται στην κλινική πράξη ως δείκτης της GFR. Κυμαίνεται από 80-110 ml/min, αλλά ελαττώνεται με την ηλικία. Αυτό οφείλεται σε παράλληλη ελάττωση του ρυθμού αποβολής της λόγω μει



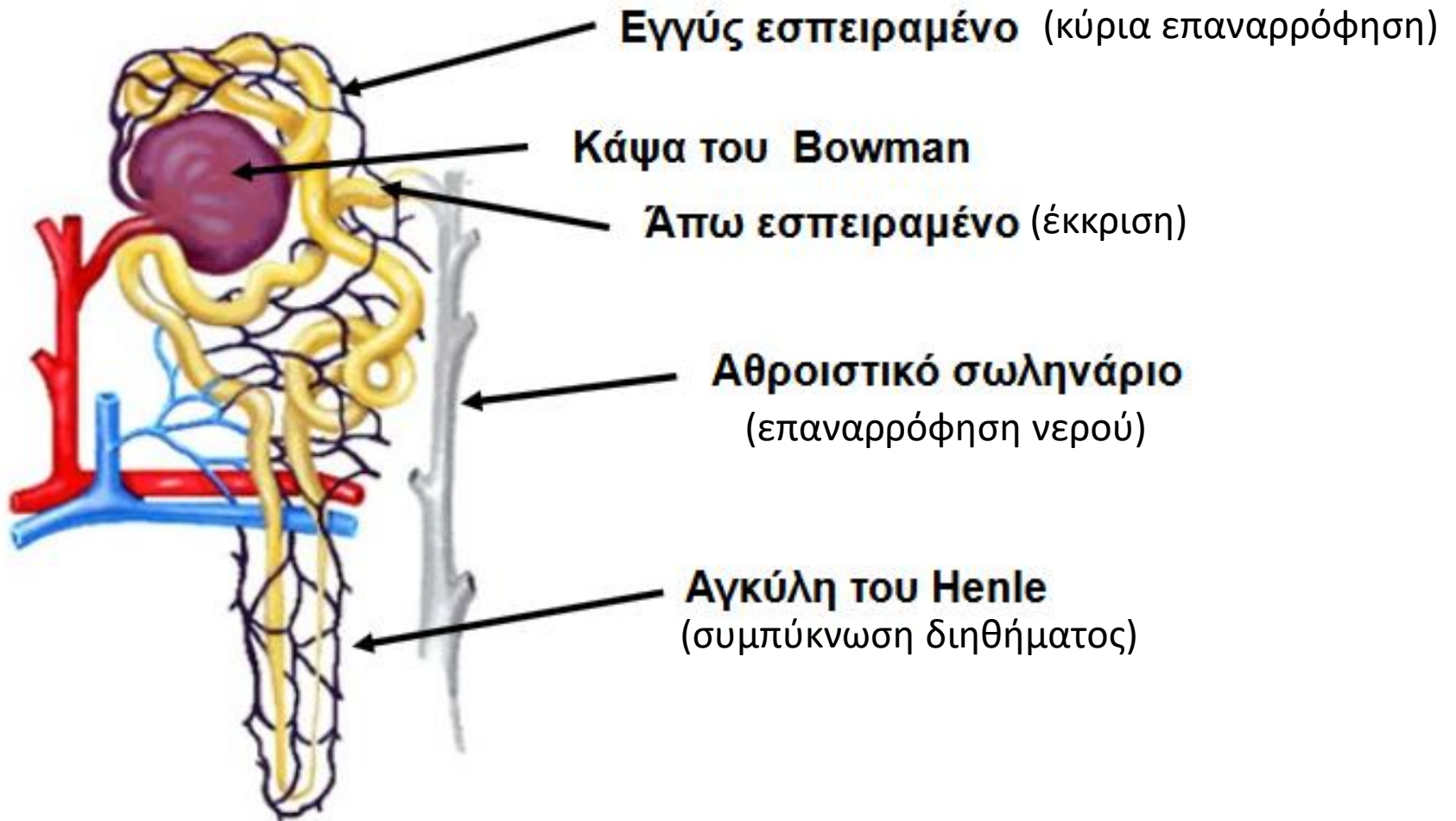
Επαναρρόφηση - Έκκριση

Η διαδικασία της επαναρρόφησης ξεκινά στο εγγύς σωληνάριο. Οι ουσίες που επαναρροφούνται είναι το νερό, η γλυκόζη, αμινοξέα, βιταμίνες και ιόντα όπως Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^-).

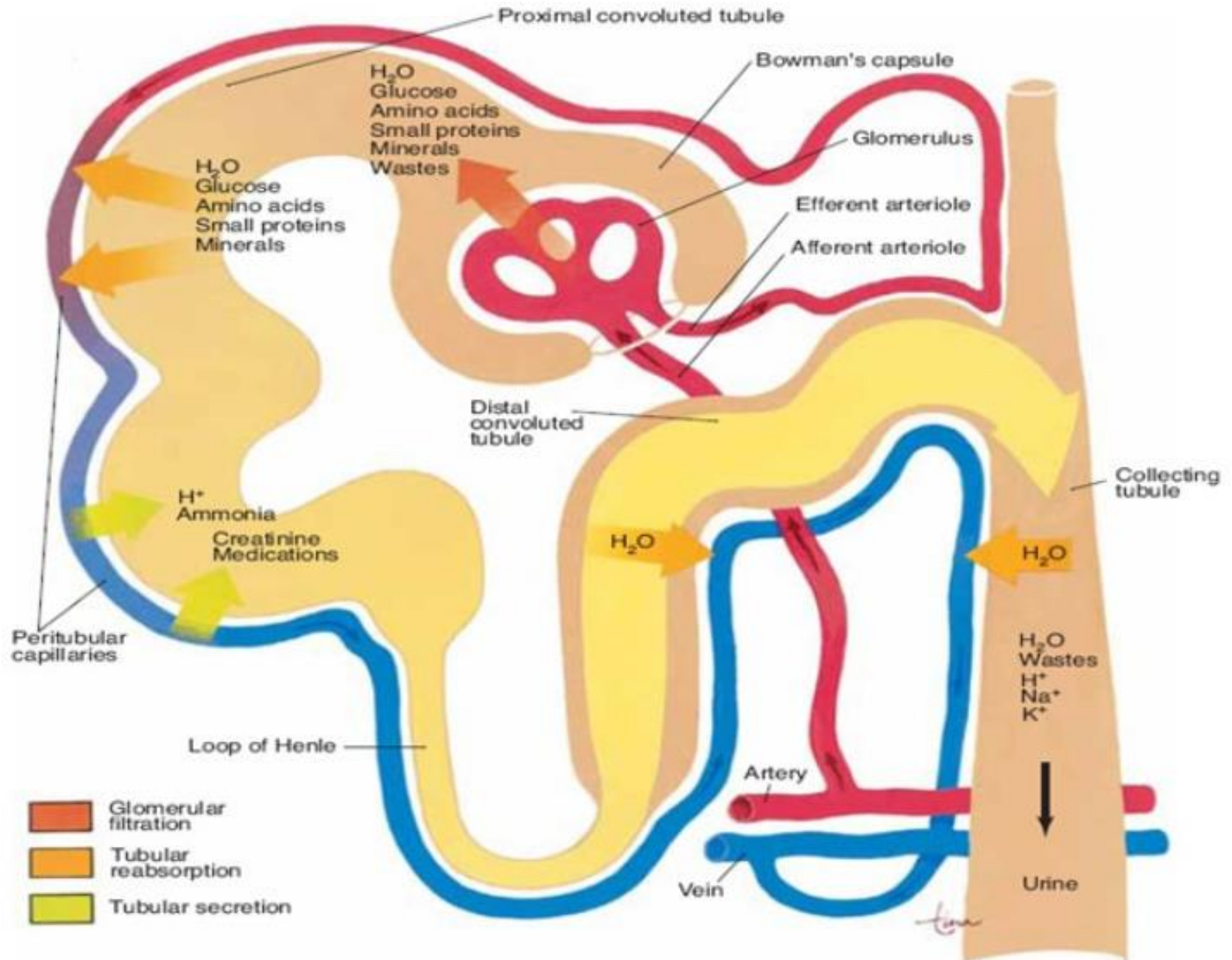
Ορισμένες ουσίες, όπως η κρεατινίνη, η ουρία, H^+ , εκκρίνονται στο σωληναριακό υγρό.

Και οι δύο διαδικασίες πραγματοποιούνται μέσω πρωτεϊνών-μεταφορέων με παθητική ή ενεργητική μεταφορά που βρίσκονται στις μεμβράνες των επιθηλιακών κυττάρων που καλύπτουν τον νεφρώνα.

Νεφρικά σωληνάρια



Επαναρρόφηση - Έκκριση



Νεφρική σωληναριακή λειτουργία

Filtered load είναι το ποσό της ουσίας που εισέρχεται στα σωληνάρια μετά από διήθηση στη μονάδα του χρόνου.

$$\text{Filtered load} = \text{GFR} \cdot P_x = C_{in} \cdot P_x$$

Excretion rate είναι το ποσό μιας ουσίας που εμφανίζεται στα ούρα στη μονάδα του χρόνου.

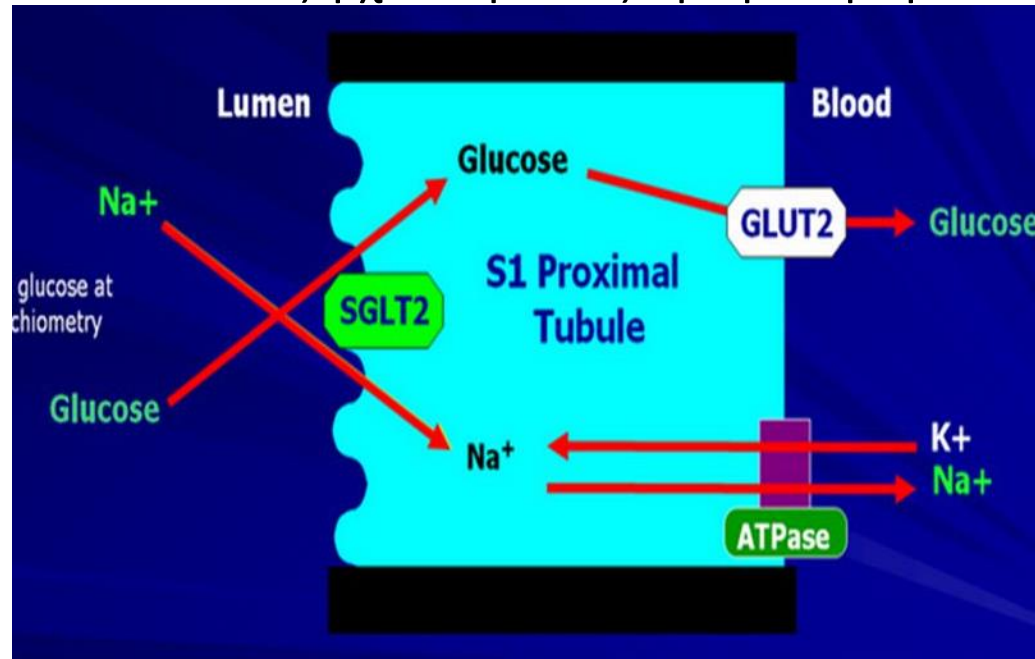
$$\text{Excretion rate} = U_x \cdot V$$

Επαναρρόφηση Γλυκόζης

Η γλυκόζη διηθείται από το σπείραμα και επαναρροφάται από τα κύτταρα στο εγγύς σωληνάριο.

Η επαναρρόφηση πραγματοποιείται ως εξής:

1. Μέσω ενεργητικής μεταφοράς με τη μεσολάβηση συμμεταφορέα Na^+ -γλυκόζης. Η είσοδος Na^+ λόγω διαφοράς συγκέντρωσης συμπαρασύρει την είσοδο γλυκόζης.
2. Η ύπαρξη της αντλίας Na^+/K^+ εξασφαλίζει την έξοδο 3 Na^+ και την είσοδο 2 K^+ διατηρώντας τη βαθμίδωση συγκέντρωσης Na^+ .
3. Η γλυκόζη μεταφέρεται από το κύτταρο στο τριχοειδικό αίμα μέσω υποβοηθούμενης διάχυσης, με τη μεσολάβηση μεταφορέων γλυκόζης (GLUT1, GLUT2), μέσω των οποίων εξέρχεται γλυκόζω με βάση την κλίση συγκέντρωσής της.



Γλυκοζουρία

Σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις γλυκόζης στο αίμα (70-100 mg/dl), ολόκληρη η ποσότητα γλυκόζης επαναροφάται πλήρως και δεν απεκκρίνεται καθόλου.

Σε ορισμένες παθολογικές καταστάσεις παρατηρείται γλυκοζουρία, δηλαδή απέκκριση γλυκόζης στα ούρα.

Τα αίτια μπορεί να είναι:

1. Σακχαρώδης διαβήτης: Η έλλειψη ινσουλίνης οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης γλυκόζης στο πλάσμα με αποτέλεσμα να μην επαναροφάται όλη η ποσότητα και η γλυκόζη να απεκκρίνεται στα ούρα.
2. Κατά τη διάρκεια κύησης, ο GFR αυξάνει με αποτέλεσμα αύξηση του διηθούμενου φορτίου γλυκόζης που μπορεί να ξεπεράσει την ικανότητα επαναρόφησης
3. Διαταραχές του συμμεταφορέα Na^+ /γλυκόζης οδηγώντας σε απέκκριση της γλυκόζης στα ούρα όταν βρίσκεται σε χαμηλότερες τιμές από το φυσιολογικό στο πλάσμα.

Έκκριση ορμονών από τους νεφρούς

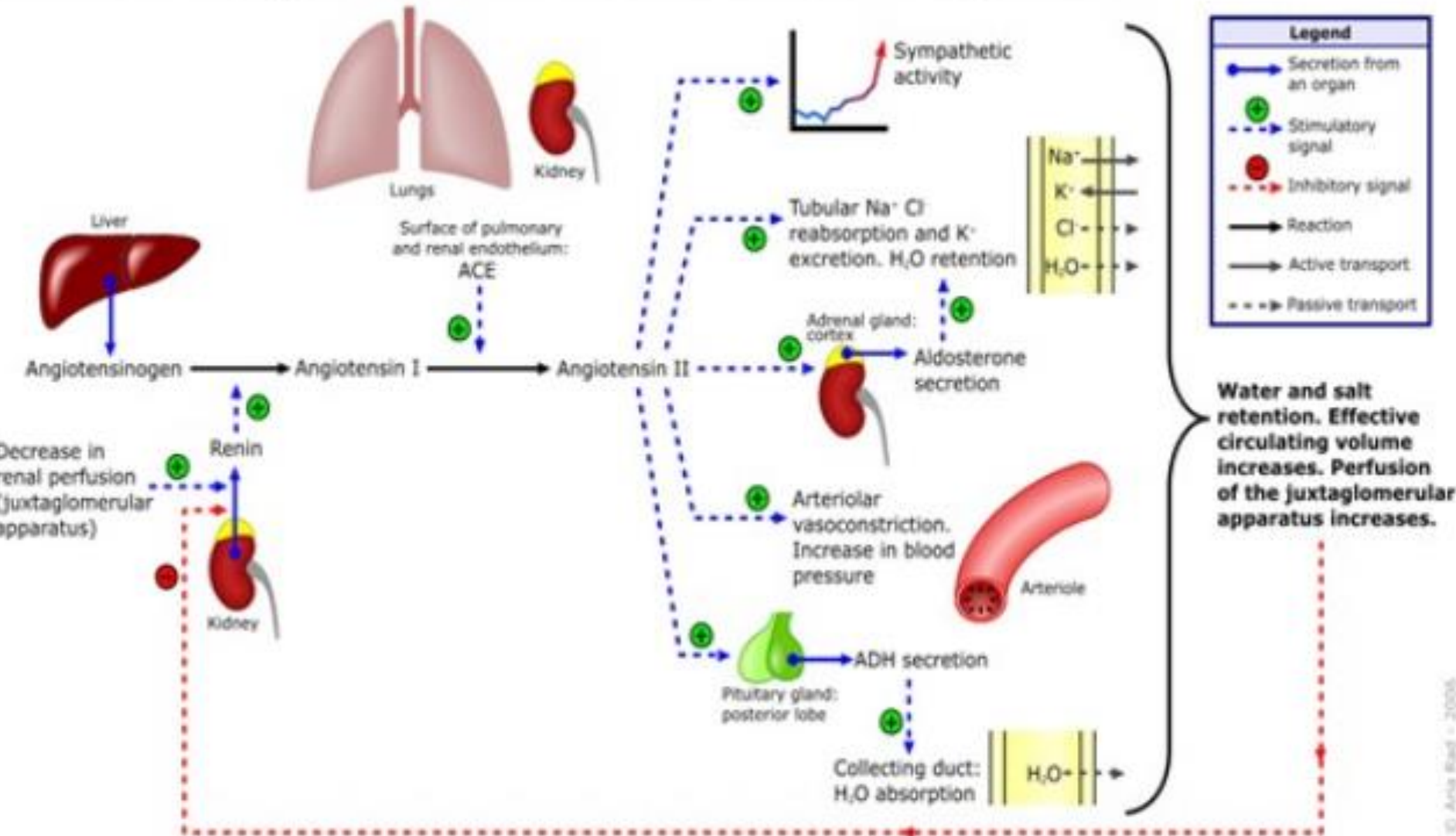
1. Ρενίνης

Η ρενίνη εκκρίνεται από τους νεφρούς στην κυκλοφορία ως απάντηση σε μειωμένη νεφρική αιμάτωση.

Η ρενίνη που έχει απελευθερωθεί στην κυκλοφορία μετατρέπει το αγγεοτενσινογόνο σε ένα μη ενεργό πεπτίδιο, την αγγειοτενσίνη I. Αυτή στη συνέχεια μετατρέπεται σε ένα ενεργό πεπτίδιο την αγγειοτενσίνη II.

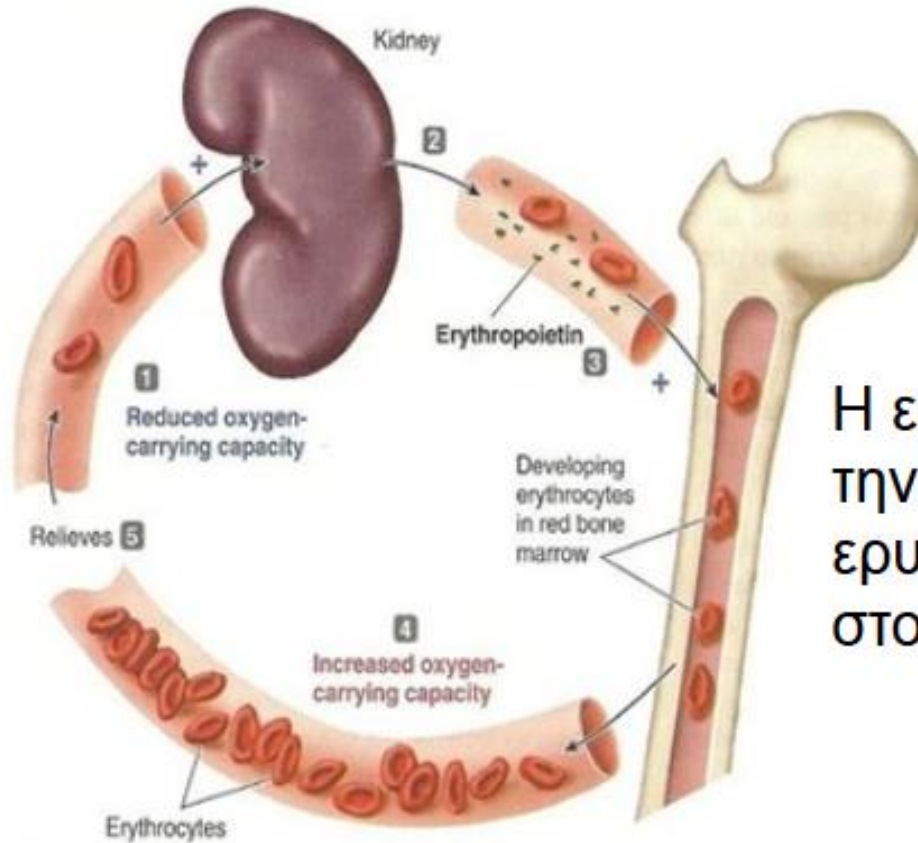
- Η σύνδεση της αγγειοτενσίνη II με τους υποδοχείς της έχει ως αποτέλεσμα την αγγειοσύσπαση,
- την απελευθέρωση αλδοστερόνης από τα επινεφρίδια
- την κατακράτηση νερού και Na^+
- Αυξημένη Έκκριση K^+
- Αύξηση αρτηριακής πίεσης
- Έκκριση αντιδιουρητικής ορμόνης (ADH)

Renin-angiotensin-aldosterone system



Έκκριση ορμονών από τους νεφρούς

2. Ερυθροποιητίνης



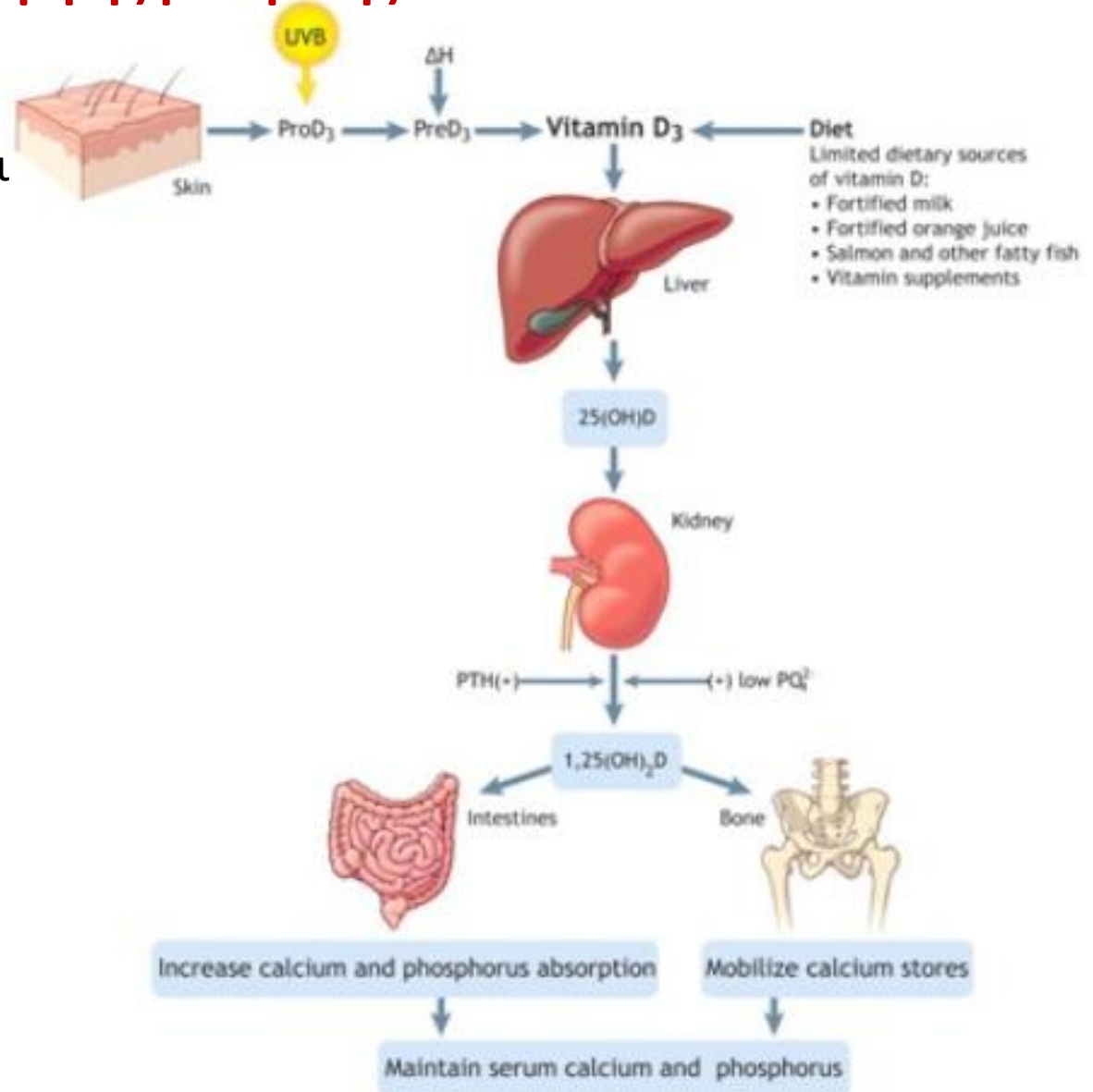
Η ερυθροποιητίνη διεγείρει την παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων στο μυελό των οστών

Έκκριση βιταμινών από τους νεφρούς

3. Έκκριση δραστικής μορφής βιταμίνης D

- Η βιταμίνη D υδροξυλιώνεται στο ήπαρ και η 25(OH)D₃ απελευθερώνεται στην κυκλοφορία
- Στη συνέχεια εισέρχεται στους νεφρούς και διηθείται στο σπείραμα, επαναροφάται στο εγγύς σωληνάριο και μετατρέπεται στην ενεργό μορφή 1, 25(OH)₂D₃₀

Εξασφαλίζει την ομοιόσταση Ca²⁺ για τη σωστή οστική ανάπτυξη



Αποβολή

Είναι η τελική διαδικασία παραγωγής ούρων.

Η αποβολή είναι το τελικό αποτέλεσμα των διαδικασιών επαναρρόφησης και έκκρισης.

Έχει καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση του pH του αίματος

Σύσταση ούρων:

1. Νερό
2. Οργανικά συστατικά: ουρία, ουρικό οξύ, κρεατινίνη, αμινοξέα κλπ
3. Ανόργανα συστατικά: αμμωνία, χλωριούχα άλατα, φωσφορικά άλατα, κλπ

Ωσμωτικότητα

Η ωσμωτικότητα εκφράζει το ποσό διαλυμένων ουσιών στο βιολογικό υγρό.

- Μεγάλες τιμές ωσμωτικότητας δείχνουν έλλειψη νερού.
- Μικρές τιμές ωσμωτικότητας δείχνουν περίσσεια νερού.

Οι νεφροί διαθέτουν ομοιοστατικούς μηχανισμούς που εξασφαλίζουν σταθερή την ωσμωτικότητα των σωματικών υγρών.

Απάντηση στην στέρση νερού

Μειωμένη ποσότητα νερού στο σώμα



Αύξηση ωσμωτικότητας πλάσματος



Ενεργοποίηση ωσμωυποδοχέων του πρόσθιου υποθαλάμου



Ενεργοποιούν τη δίψα και την έκκριση της αντιδιουρητικής ορμόνης (ADH) από την υπόφυση



Η ADH κατευθύνεται στους νεφρούς, όπου προκαλεί αύξηση της διαπερατότητας του νερού στα κύτταρα του νεφρώνα και του αθροιστικού σωληναρίου



Αύξηση της επαναρρόφησης νερού



Αύξηση της ωσμωτικότητας των ούρων και μείωση του όγκου τους (Συμπύκνωση ούρων)



Μείωση της ωσμωτικότητας του πλάσματος και επαναφορρά στα φυσιολογικά επίπεδα

Απάντηση στην περίσσεια νερού

Αυξημένη ποσότητα νερού στο σώμα



Μείωση ωσμωτικότητας πλάσματος



Ενεργοποίηση ωσμωυποδοχέων του πρόσθιου υποθαλάμου



Μειώνουν τη δίψα και την έκκριση της αντιδιουρητικής ορμόνης (ADH) από την υπόφυση



Μειωμένα επίπεδα ADH φθάνουν στους νεφρούς, με αποτέλεσμα μείωση της διαπερατότητας του νερού στα κύτταρα του νεφρώνα και του αθροιστικού σωληναρίου



Μείωση της επαναρρόφησης νερού



Μείωση της ωσμωτικότητας των ούρων και αύξηση του όγκου τους (Αραίωση ούρων)



Αύξηση της ωσμωτικότητας του πλάσματος και επαναφορρά στα φυσιολογικά επίπεδα

Απάντηση στην αυξημένη πρόσληψη Na^+

Αυξημένη πρόσληψη Na^+



Αύξηση εξωκυττάριου όγκου, όγκου αίματος και αρτηριακής πίεσης

↓ της δράσης του
συμπαθητικού



Διαστολή του προσαγωγού
αρτηριδίου (↑GFR)



Μείωση της επαναρρόφησης Na^+
στο εγγύς σωληνάριο

↑ Ατριοπεπτίνης



Σύσπαση απαγωγού
αρτηριδίου (↑GFR)



Μείωση της επαναρρόφησης Na^+
στο αθροιστικό σωληνάριο

↓ συστήματος ρενίνης-
αγγειοτασίνης-
αλδοστερόνης



Μείωση της επαναρρόφησης Na^+
(εγγύς και αθροιστικό σωληνάριο)

Όξεοβασική ισορροπία

Επομένως οι νεφροί ρυθμίζουν την οξεοβασική ισορροπία με το να αποβάλλουν όξινα ή αλκαλικά ούρα.

Διαταραχές οξεοβασικής ισορροπίας:

Αλκάλωση: μειωμένη συγκέντρωση H^+ στο αίμα

Οξέωση: Αυξημένη συγκέντρωση H^+ στο αίμα

Ρύθμιση οξεοβασικής ισορροπίας από τους νεφρούς

- Επαναρρόφηση διηθούμενων HCO_3^- στο εγγύς σωληνάριο
- Απέκκριση ιόντων H^+
- Απέκκριση αμμωνίου και φωσφορικών ιόντων