

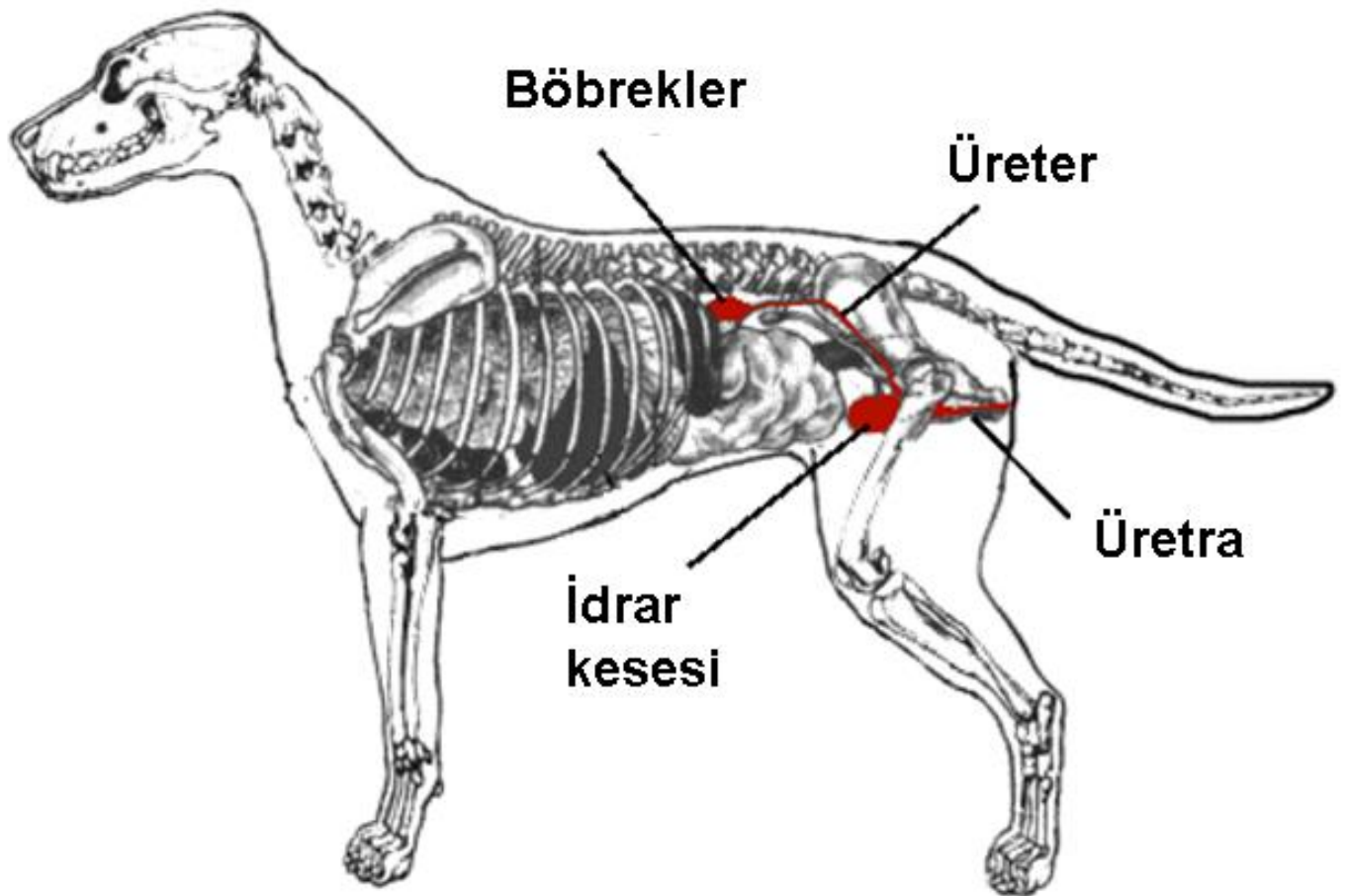


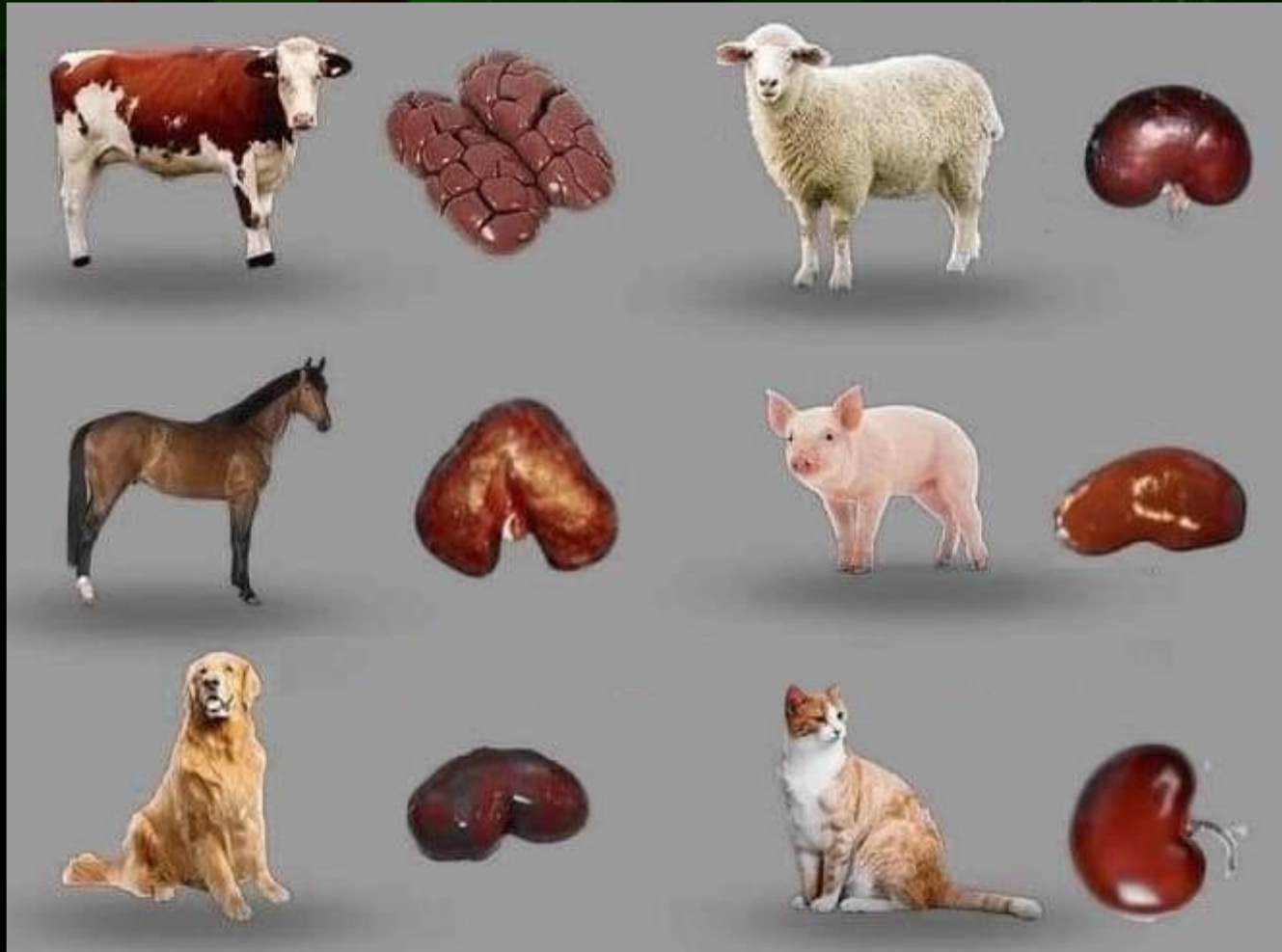
Boşaltım Sistemi

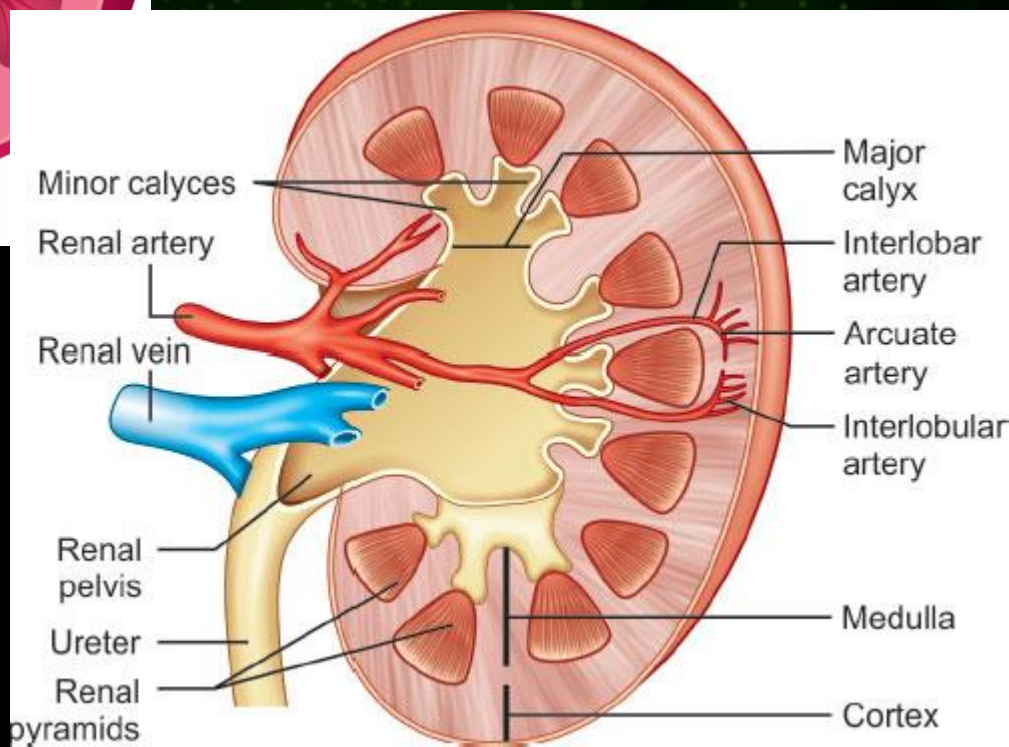
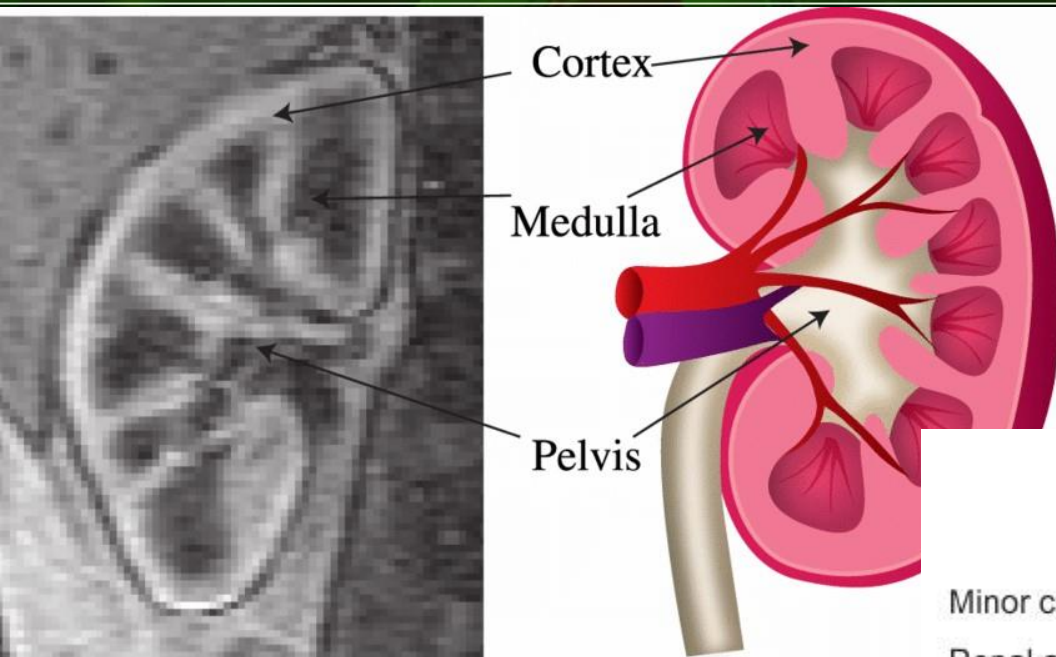
Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK

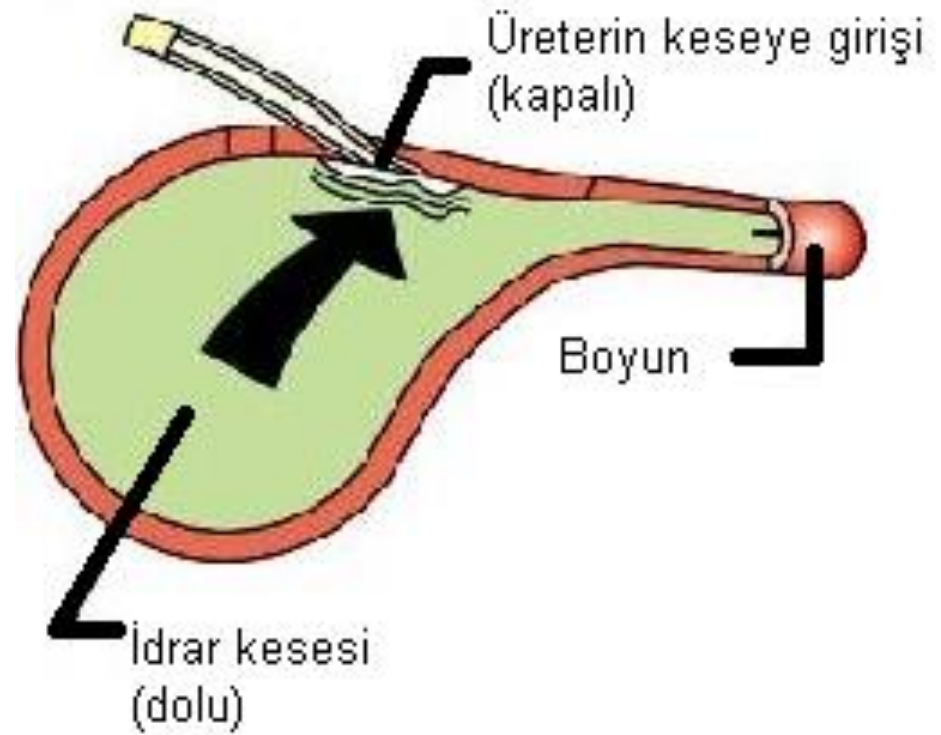
Böbreklerin 5 Temel Görevi

- 1. İdrarla çıkarılması gereken metabolizma son ürünlerinin ve yabancı maddelerin **atılması**. Bunlar ya sadece filtrelenir (örneğin kreatinin), filtrelenir ve kısmen geri emilir (örneğin üre) ya da filtrelenir ve ayrıca salgılanırlar (örneğin potasyum, ürik asit, NH_4^+ , protonlar, ilaçlar, zehirler, uyuşturucular).
- 2. Organizmada kalması gereken maddelerin **korunması**. Bunlar ya hiç filtrelenmezler (örneğin büyük moleküler ağırlıklı proteinler) ya da filtrelenir ve tekrar geri emilirler (örneğin glikoz, amino asitler, su).
- 3. Yoğunlaştırılmış veya seyreltilmiş idrarın atılması veya her bir elektrolitin atılma/geri emilme oranının ayarlanmasıyla **su ve elektrolit dengesinin düzenlenmesi**.
- 4. Asidik veya alkali idrar çıkarılmasıyla **asit-baz dengesinin düzenlenmesi**.
- 5. Hormonların metabolize edilmesi ve üretilmesiyle **endokrin fonksiyonları yerine getirme**.

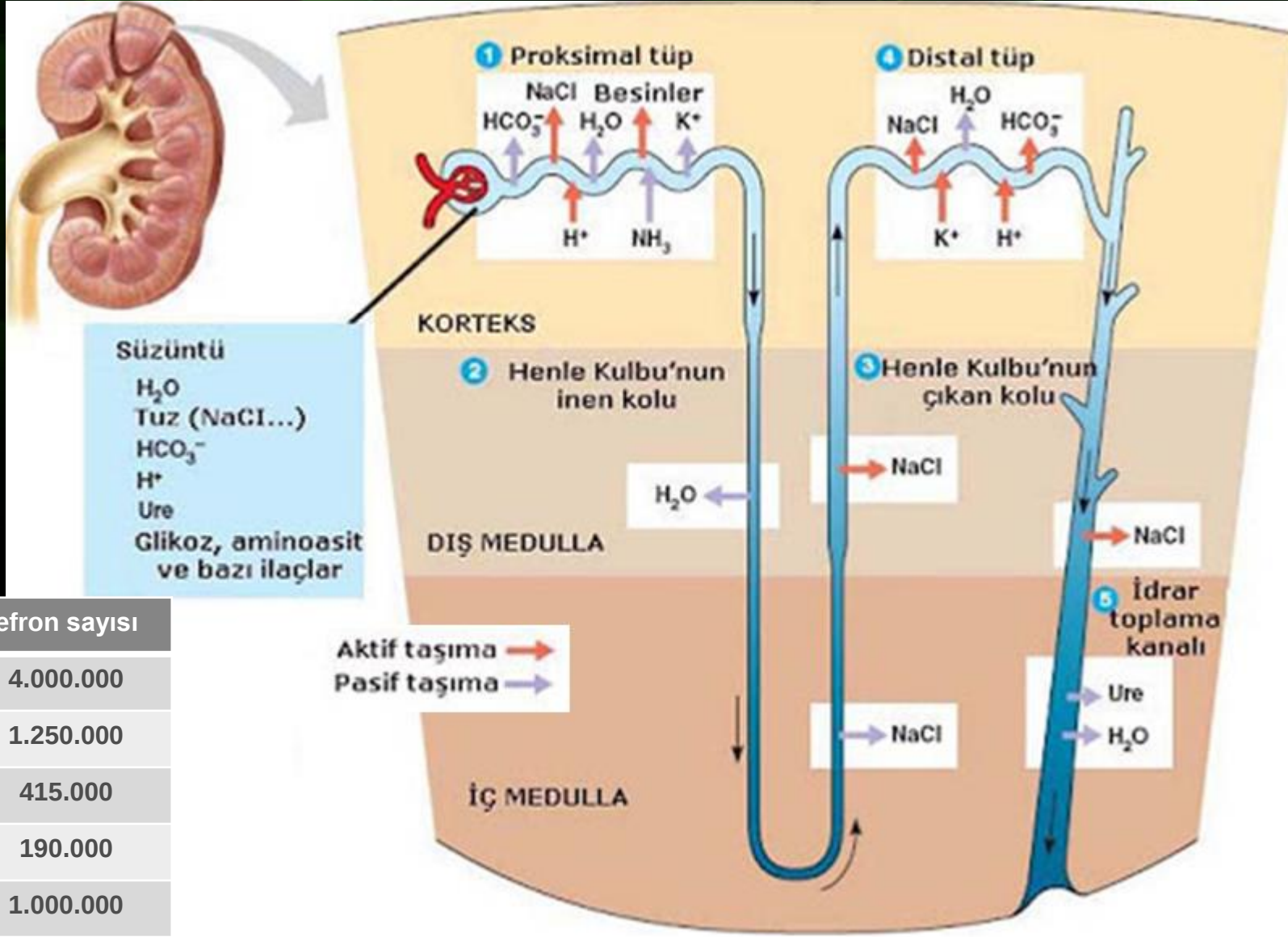








NEFRON



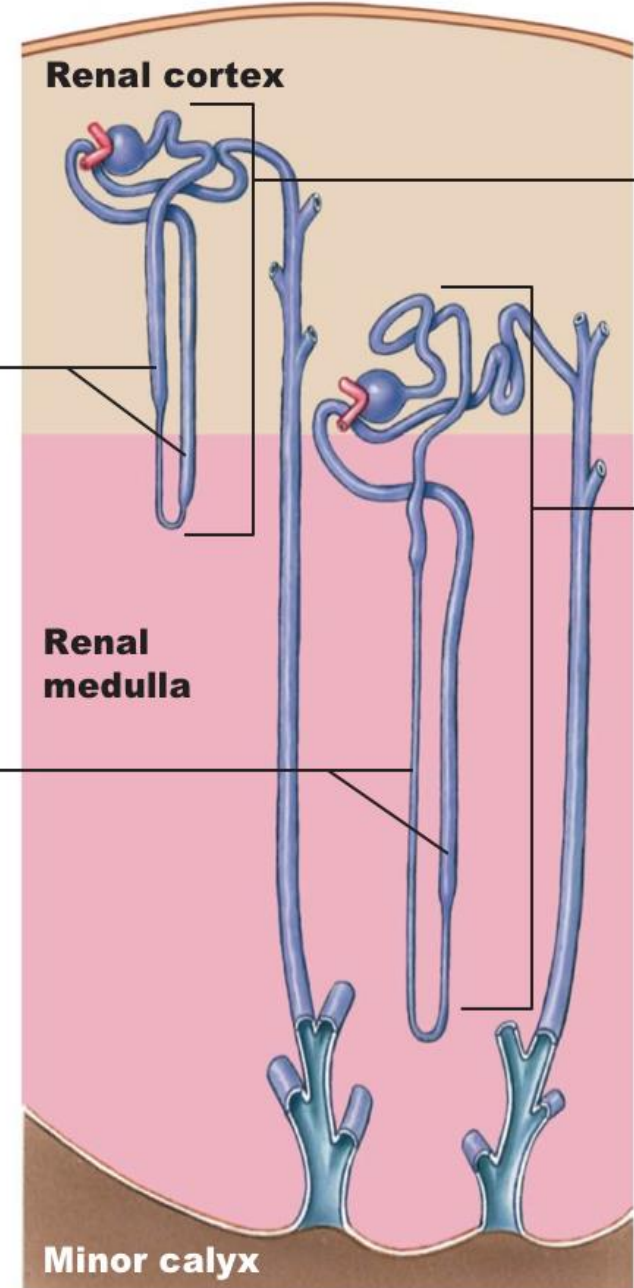
Tür	Nefron sayısı
İnek	4.000.000
Domuz	1.250.000
Köpek	415.000
Kedi	190.000
İnsan	1.000.000



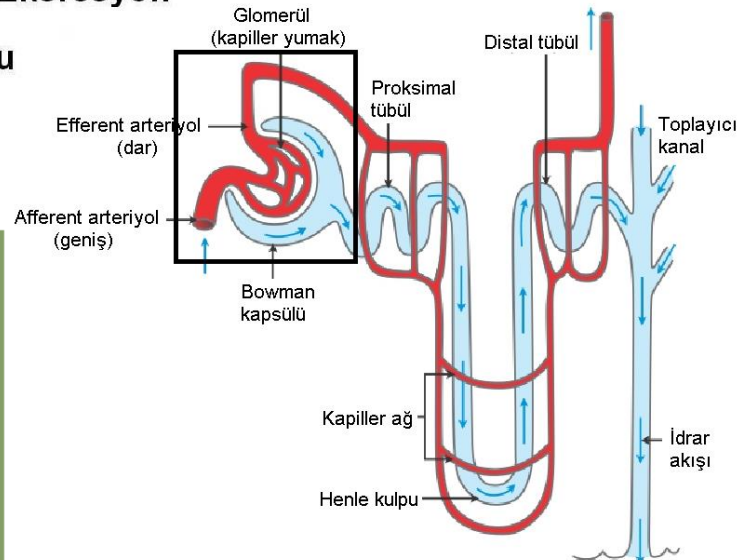
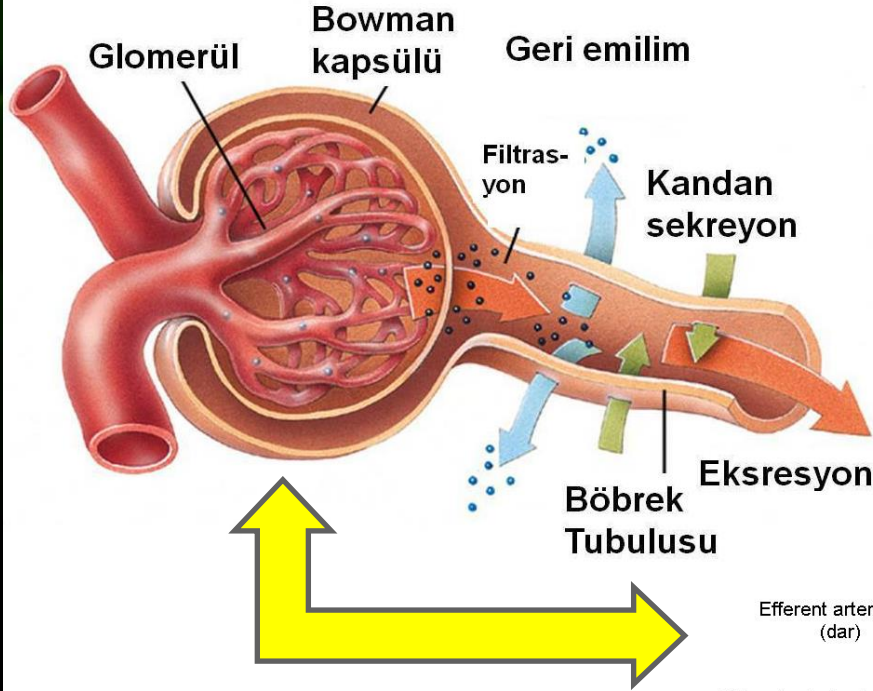
Jukstamedullar
nefronların yüzdeleri
hayvan türleri
arasında farklılıklar
göstermekle birlikte,
bu oran domuzlarda
%3, kedilerde ise
%100
dolaylarındadır.
insanlarda ise bu
nefronların oranı,
tüm nefronların
yaklaşık %14
civarındadır.

**Kortikal nefronun
tübülleri**

**Jukstamedüller
nefronun
tübülleri**



BÖBREĞİN EN KÜÇÜK BİRİMİ; Nefron



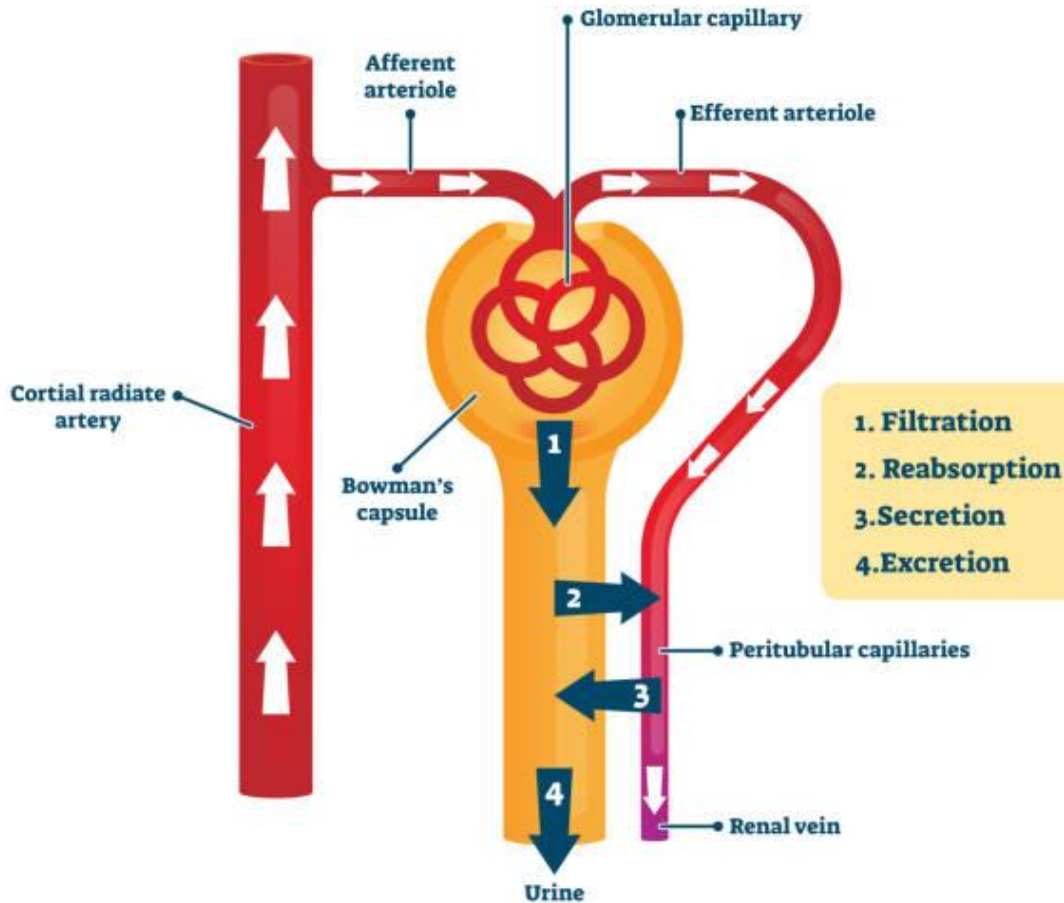
KISACA

Nefronlar böbreğin fonksiyonel birimleri olup, glomerül ve tübül sisteminden oluşmuştur. Böbrek, glomerüller kılcal damarlar ve peritübüler kılcal damarların oluşturduğu birbirine seri şekilde bağlanmış iki kılcal damar sistemine sahiptir.

Bazı türlerde ortalama günlük idrar miktarı ve maksimum idrar ozmolalitesi (antidiürez durumunda). [Altman ve Dittmer, 1961; van Vonderen ve ark., 1997; Ketz, 1989; Suter ve ark., 2011]

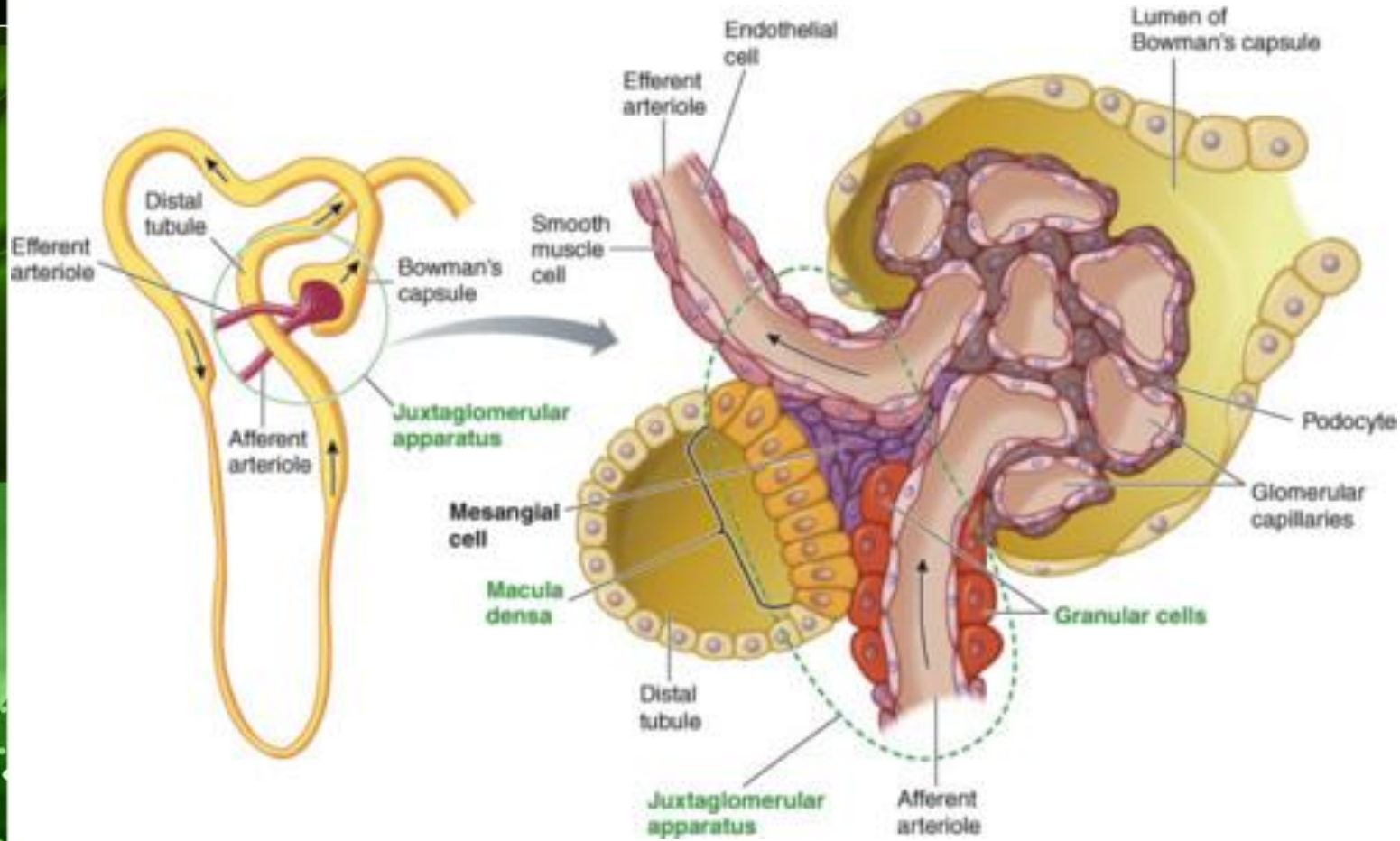
Ortalama günlük idrar miktarı ($\text{ml} \cdot \text{gün}^{-1} \cdot \text{VA}^{-1}$)		Maksimum idrar ozmolalitesi ($\text{osmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Sığır	17-45	1,0
İnsan	9-30	1,4
Domuz	5-30	1,1
At	3-18	1,2
Köpek	20-40	2,8
Kedi	10-20	>3

FORMATION OF URINE



Nefronlar ve onların kan damarlarının katılımıyla idrar oluşumuna yardım eden 3 işlem şunlardır:

- 1)Glomerular filtrasyon,
- 2)Tübüler geri emilim,
- 3)Tübüler sekresyon



Jukstaglomerular aparat, böbrek kan akımı, glomerüler filtrasyon hızı, renin salgılanması ve vazokonstriktör etkili bir hormon olan Anjiotensin II'nin oluşumunda önemli rol oynar.

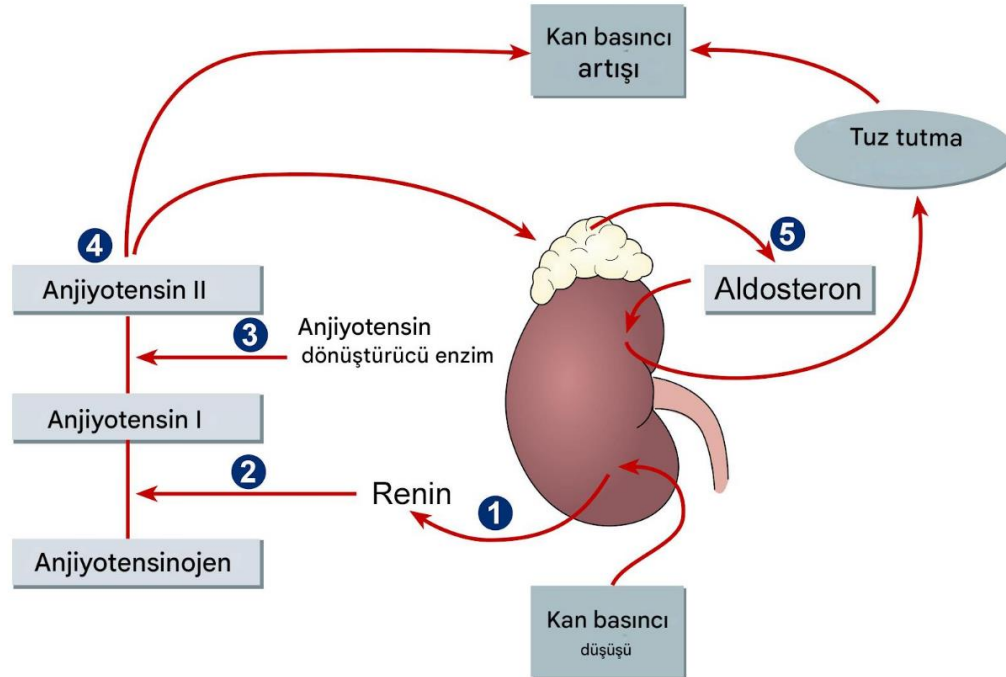
Otoregölasyon

- Geribildirim mekanizması, otoregölasyondan sorumlu tübüloglomerular feedback mekanizması olarak (TFM) bilinir. GFR'yi kontrol eden birbirleriyle yakın ilişkili iki tane etken vardır: biri **afferent arteriol geri bildirim mekanizması** diğeri ise **efferent arteriol geri bildirim mekanizması**.
- Makula densa'daki hücreler distal tübüle gelen ultrafiltrattaki hacim değişikliklerini algılama yeteneğine sahiplerdir. Henle kulpuna gelen ultrafiltratın azalması çıkan kolun sodyum ve klor iyonlarına karşı geri emilimini artırır. Böylece makula densa'ya gelen ultrafiltratta sodyum ve klor konsantrasyonu azalır. Bunun sonucu makula densa'dan çıkan sinyaller afferent arteriyoldeki kan akımı direncini azaltır ve arteriyolü dilate eder. Afferent arteriolün dilate olması glomerulusa daha fazla kan gelmesini dolayısıyla da glomerulustaki HB'yi artırır. Böylece glomerulusa fazla kan gelmesi ile GFR normale döner.

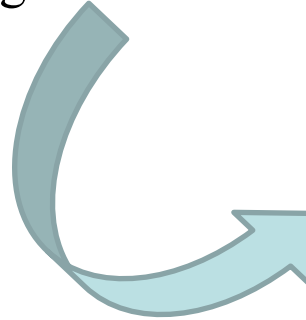


Otoregölasyon

- Makula densa'ya hipotonik bir sıvı geldiğinde buradan çıkan sinyaller afferent ve efferent arteriollerde JG hücrelerden renin salınımını artırır.
- Bir enzim olan renin anjiyotensinojeni Anjiyotensin I'e, anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) ise Anjiyotensin I'i Anjiyotensin II'ye dönüştürür. Anjiyotensin II efferent arteriolü daraltır, böylece glomerulustaki HB artar ve GFR normale döner.
- Ayrıca Anjiyotensin II sodyum geri emilmesine neden olan aldosteron sekresyonunu uyarır, bu da ekstrasellüler sıvı hacminin düzenlenmesini sağlar.



Sağlıklı bir köpekte (11,35 kg ağırlığında) çeşitli böbrek fonksiyonlarının parametrik değerleri



Sağlıklı bir yetişkin insanda çeşitli böbrek fonksiyonlarının parametrik değerleri

Kidney Function

- Cardiac output (CO)
 - 6 L/min
- Renal blood flow (RBF) 20% of CO
 - 1.2 L/min
- Renal plasma flow (RPF) $RBF \times (1-Hct)$
 - 650 mL/min
- Filtration fraction
 - 20%
- Glomerular filtration rate (GFR) $RPF \times FF$;
 - 125 mL/min

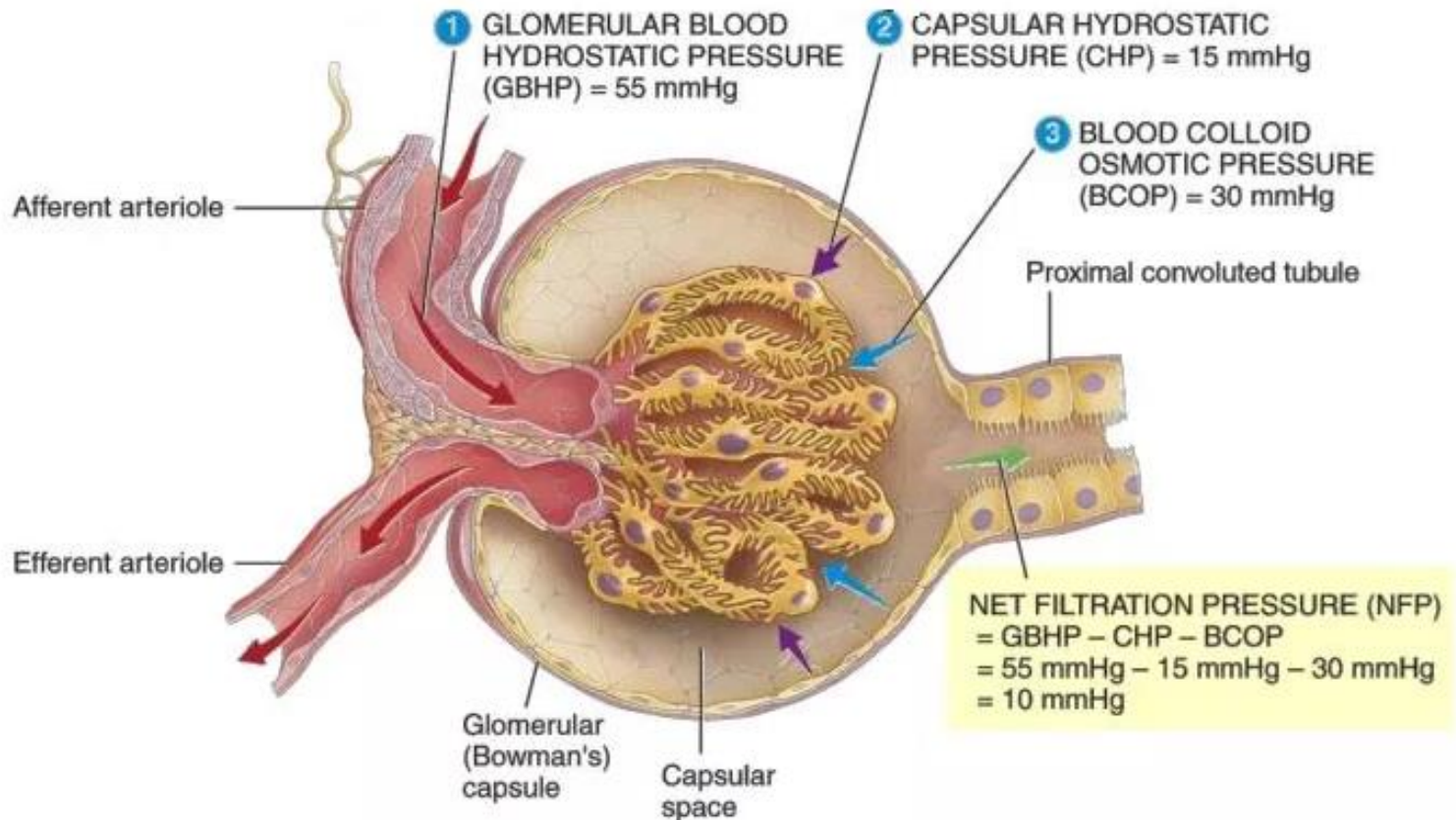
PARAMETRE	DEĞER
Kalp debisi (mL/dk)	1,500
Böbreklere kan akımı (% kalp debisinin yüzdesi)	20
Böbrek kan akımı (mL/dk)	300
Böbrek plazma akımı ^a (mL/dk)	180
Glomerular filtrasyon hızı (mL/dk)	45
Filtrasyon fraksiyonu (ondalık karşılığı)	0.25
24 saatlik toplam idrar ^b (mL)	681
24 saatlik glomerular filtrat hacmi (mL)	64,800
Filtrat yüzdesi olarak idrar hacmi	1.05
Geri emilen filtrat (%)	98.95

^aPlazmanın, tam kanın % 60'ını oluşturduğu varsayılmıştır.

^bKöpeklerde 24 saatte toplana idrar (60 mL/kg/24 hr), idrar oluşum hızı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Glomerüler Filtrasyon

GF üzerine etki eden 3 temel güç söz konusudur!

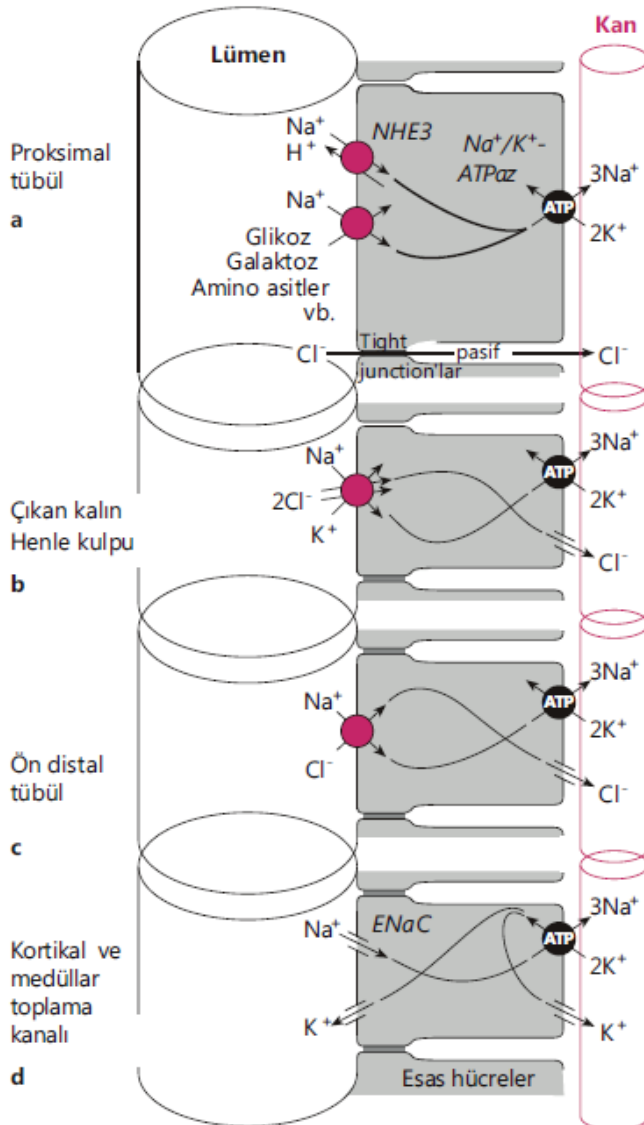


Filtrasyon Faktörleri

- Afferent ve efferent arteriollerin çaplarındaki değişiklikler glomerular filtrat hızının değişimine neden olur.
- Eşit büyüklükteki moleküllerden, pozitif yüklü olanlar negatif yüklülerden daha kolay filtre olur. Bunun sebebi proteoglikan özellik taşıyan glomerular bazal membranın anyonik alanları tarafından gerçekleştirilen elektrostatik geri itmedir. Fizyolojik pH aralığında plazma albumin molekülleri polianyoniktir. Bu sebepten dolayı plazma albumin moleküllerinin büyüklüklerinin yani sıra polianyonik özellikleri onların filtrasyona uğramalarını engeller.
- Böbrek hastalıkları böbreklere gelen kan akımını azaltarak glomerular membranın elektrostatik yükünde değişime sebep olabilir. Bu sebepten dolayı normal şartlarda filtrasyona uğramayan maddeler filtre olup kapsüler boşluğa geçebilirler.



Na⁺, Cl⁻, Glikoz ve Aminoasitlerin Geri Emilimi



Proksimal tübülün apikal tarafında Na⁺ esas olarak diğer maddelerle birlikte, özellikle de glikozla ve nötral veya asidik amino asitlerle birlikte proksimal tübül hücresine **kotransport** ile taşınır.

Sodyum iyonlarının taşınmasıyla pozitif yükler lümenen kanaya aktarılır. Bu durumda lümen negatif olurken epitel hücrelerinin kan tarafı pozitif yüke sahip olur (yaklaşık 2 mV'luk potansiyel fark oluşur), bu da klorun geçmesi için itici bir güç teşkil eder.

Belirtilen simportlara ilaveten, sodyum iyonları tübül lümeninden bir Na⁺/H⁺-antiporteri aracılığıyla da tübül hücrelerine alınır. Bu sayede sodyum hücre içine alınırken, protonlar tübül lümenine salgılanır. Na⁺/H⁺-antiporteri asit-baz dengesinin korunmasında önemli bir mekanizmadır.

Su ve Ürenin Geri Emilimi

- Na^+ , glikoz ve aminoasitler gibi solütler, tübül lümeninden interstisyel sıvıya taşınırken peritübüler aralıkta ozmotik basınç artar, buna yanıt olarak da su osmoz yoluyla interstisyel sıvıya geri emilir. Peritübüler kapiller içinde kolloidal ozmotik basınç artıp HB'nin düşmesi interstisyel sıvıdan peritübüler kapiller damarlara suyun geri emilimini sağlar.
- Su, proksimal tübülden geri emilirken üre gibi pasif olarak difüze olabilen maddelerin tübül lümenindeki konsantrasyonu artar. Üre proksimal tübülden pasif difüzyonla geri emilir (%50). Proksimal tübül hücrelerinin üreye geçirgenliği suya göre daha az olduğundan üre diğer tübüllere doğru yol alır. ADH varlığında filtre edilen ürenin %70'i medüller toplayıcı kanallardan kolaylaştırılmış difüzyonla geri emilir. Glomerüllerden filtre edilen ürenin %40'ı idrarla atılır.
- Glomerüllerden filtre edilen glikoz ve aminoasitlerin %100'ü; H_2O , Na^+ , Cl^- ve HCO_3^- 'nin ise %65'i proksimal tübüllerden geri emilir.





H^+ , K^+ , NH_3 ve Organik Moleküllerin Sekresyonu

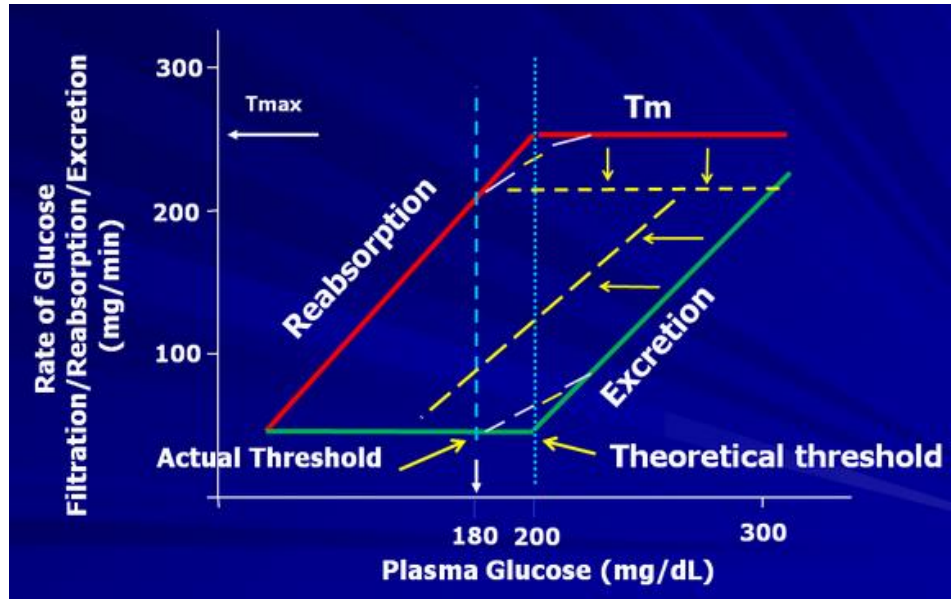
- Sekresyon, maddelerin peritübüler kapillerlerden interstisyuma, buradan da tübül epitel hücrelerine ve daha sonra da tübül lümenine atılmasıdır (tübüler sekresyon).
- H^+ sekresyonu, Henle kulpunun ince kolu hariç nefron tübülleri boyunca HCO_3^- geri Emilimi ile birlikte olur. K^+ sekresyonu distal tübül kıvrımında, toplayıcı tübül ve kanallarda Na^+ geri Emilimine eşlik eden zıt taşınma ile olur. Amonyakın nefron tübülleri tarafından sekresyonu vücut sıvılarının asit baz dengesine bağlıdır.
- Bazı organik moleküller aynı zamanda tübül epitel hücrelerinden tübül lümenine sekrete edilir. Penisilin ve türevlerinin vücuttan tübüler sekresyonla uzaklaştırılması benzer bir durumdur.

Maksimum Taşınma

Glikoz gibi maddelerin tübül lümeninden peritübüler kapillerlere taşınması veya maksimum oranda geri emilebilmesi için gerekli aktif transport mekanizması maksimum tübüler taşıma (T_M) olarak bilinir. Nefronda herhangi bir maddenin T_M sınırı aşıldığında madde idrarda görülmeye başlar. Örneğin glikoz için T_M sınırı aşıldığında diyabetes mellitus olarak bilinen hastalık tablosu gelişir.

Diyabetes mellitusta idrarda glikoz tespit edilir ve bu da daha büyük hacimli idrar oluşturur (ozmotik diürez). Vücutta çok büyük miktarda su idrar ile kaybedildiğinden bu durumdaki hayvan su kaybını dengelemek için daha fazla su içer.

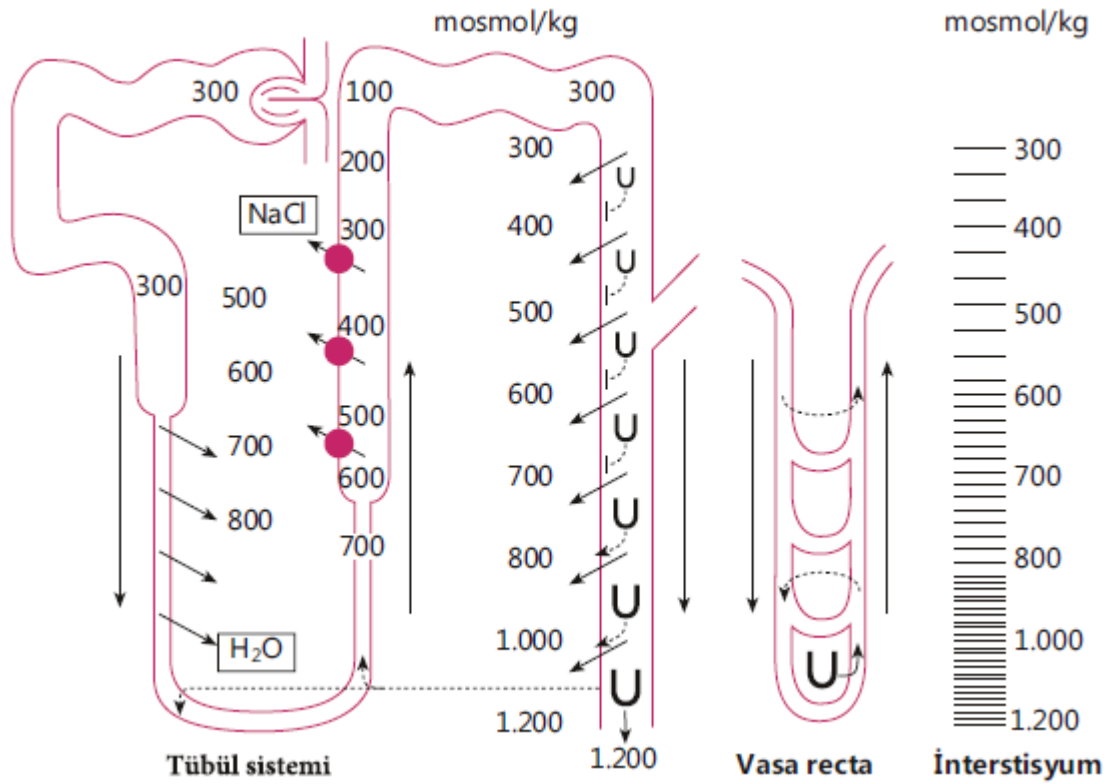
Glikoz için renal eşik değeri (glikozun idrarda ilk görüldüğünde plazmadaki yoğunluğu) yaklaşık 180 mg/dl, T_M ise 260 mg/dl'dir.



İdrarın Konsantre Edilmesi

(Çoğaltıcı Ters Akım Sistemi ve Değiştirici Ters Akım Mekanizması)

- Renal medullada tübüler sıvının yoğunlaştırılabilmesi medüller interstisyumun ozmolalitesine bağlıdır. Ozmolalite korteksten medullaya doğru artış gösterir, en dipte maksimum düzeye ulaşır. Maksimum değerler türler arasında farklılık göstermekle birlikte, köpeklerde plazmanın ozmolalitesi yaklaşık 300 mOsm/kg H₂O iken, medullanın ozmolalitesi ise 2400 mOsm/kg H₂O'ya kadar ulaşabilir. Bu yüksek ozmolalite ters akım mekanizması sayesinde sağlanır. Medulladaki bu yüksek ozmolalite Henle kulpunun aktivitesi tarafından belirlenir, medullaya kan sağlayan vaza rekta gibi özel karakteristik bir mekanizma tarafından da korunur.
- Tübül ve damarlarda var olan ters akım sisteminin oluşabilmesi için gelen sıvı ile giden sıvının birbirine yakın, paralel fakat zıt yönlü iki taşıma sistemi içerisinde ilerlemesi gerekir. Bu karakteristik özellik Henle kulpu ve Vaza rekta'nın anatomisine oldukça uygundur. Bu nedenle böbrekte ters akım mekanizması, **çoğaltıcı ters akım (Henle kulpu)** ve **değiştirici ters akım (Vaza rekta)** olmak üzere iki zıt akım sisteminden oluşur.



KISACA

İdrarın yoğunlaştırılması iki ters akım prensibi sayesinde gerçekleştirilir. Bunlar: 1. Henle kulpunun inen ve çıkan kısmı arasında ve 2. Henle kulpunun çıkan kısmı ile toplama kanalı arasında bulunur.

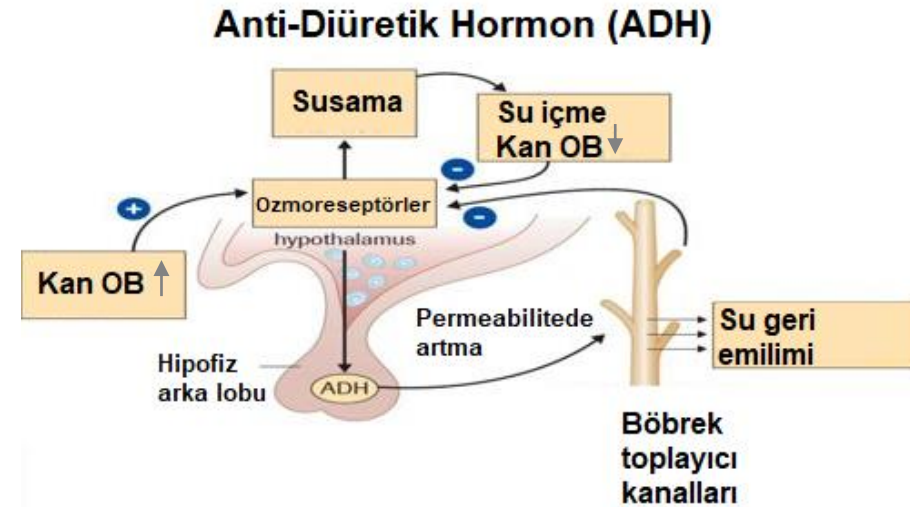
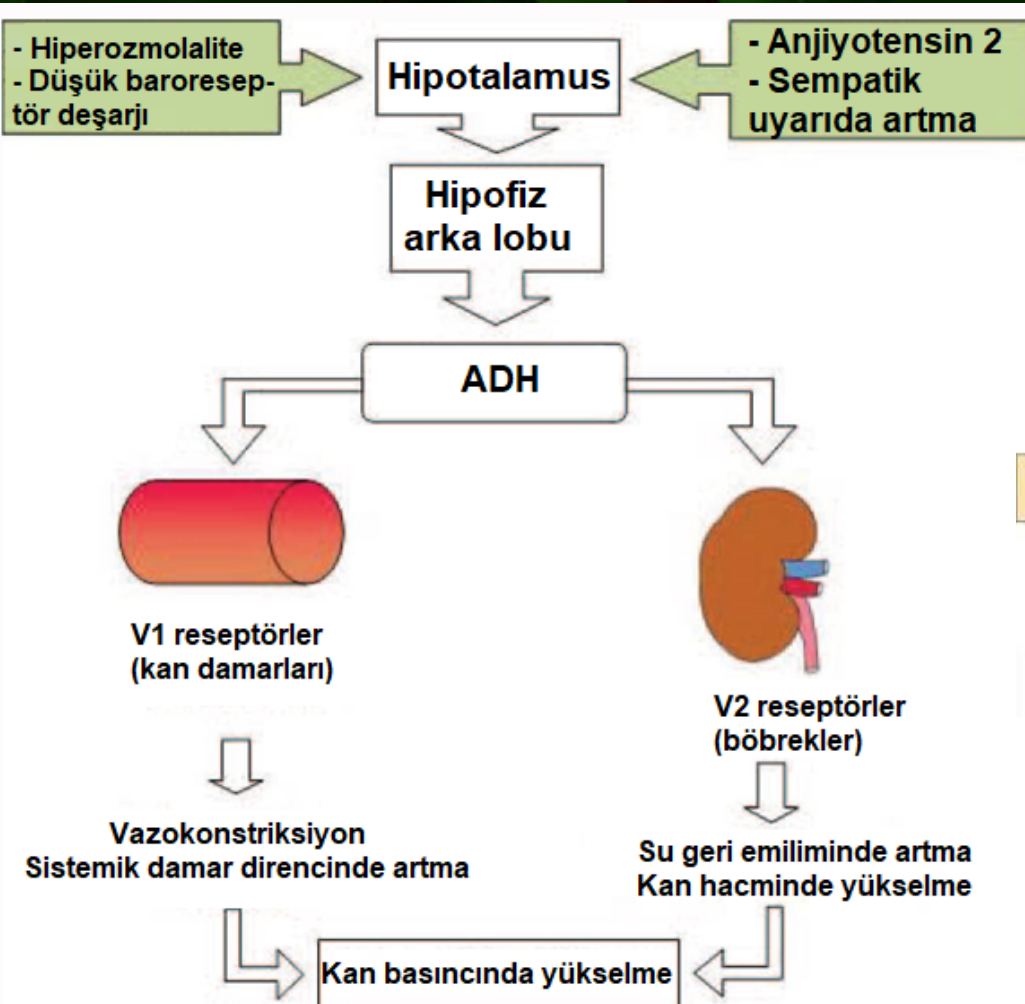
KISACA

Henle kulpunun inen kısmından ve toplama kanalından suyun geri emilmesi için itici güç, Henle kulpunun çıkan kısmından NaCl emilimine bağlı olarak interstitiyumdaki osmolalite artışıdır. Renal pelvis yakınında, interstiyel osmolalite toplama kanalının üre geçirgenliği sayesinde de artırılır. İdrarı yoğunlaştırmanın derecesi ADH tarafından kontrol edilir.

Antidiüretik Hormon ve Ozmoregülasyon

- Ozmotik basınçtaki değişikliklere hipotalamustaki ozmoreseptörler etkili bir şekilde cevap verirler. Na^+ hücre dışı sıvıda en yüksek konsantrasyondaki katyon olduğundan ozmoreseptör hücreler sıklıkla Na^+ reseptörleri olarak düşünülür.
- Hücrelerin plazma ozmolalitesinde artış tespit edildiğinde (hiperozmolalite) daha fazla ADH salgılanması için posterior hipofiz bezi uyarılır. ADH kan yoluyla böbreklere gelerek tübüllerin suya karşı geçirgenliğini artırır. Aynı zamanda hiperozmolalite hipotalamustaki susama merkezini de uyarır.
- ADH'nın hiç salgılanmadığı ya da çok az salgılanması ile karakterize hastalık **Diabetes insipidus** olarak isimlendirilmektedir. Bu hastalıkta klinik bulgu olarak poliüri (çıkarılan idrar miktarının artması) ve polidipsi (susama hissine bağlı olarak aşırı su içme) gözlenir.

Antidiüretik Hormon ve Ozmoregülasyon



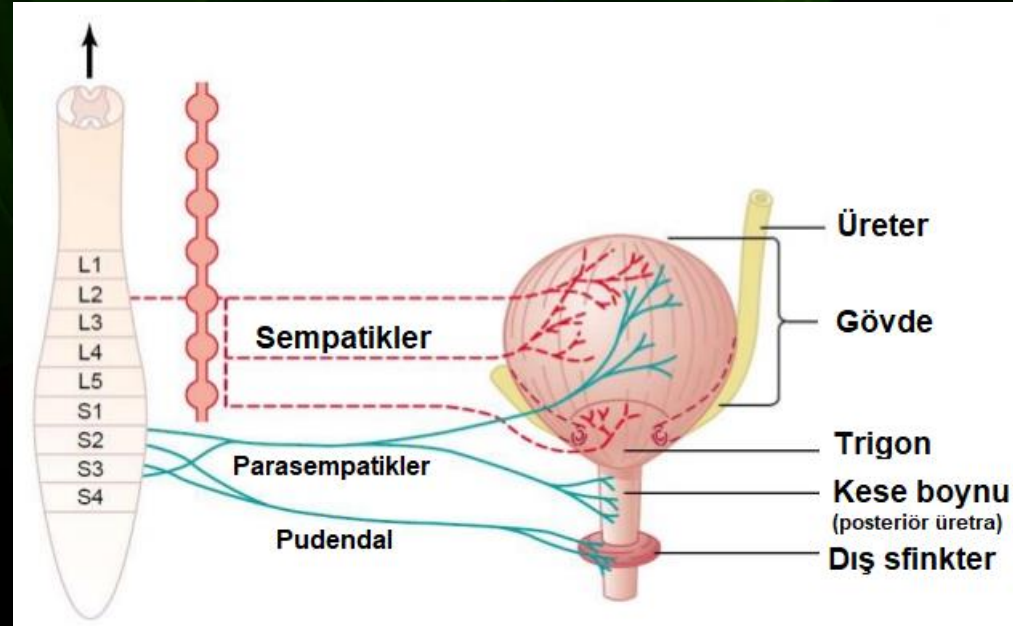
Soğuk ortamda bulunma ve alkol
ADH salınımı baskılar!

Böbreklerle İlişkili Diğer Hormonlar

- Anjiyotensin II, Aldosteron ve ADH hormonları direkt olarak böbrek fonksiyonları ile ilişkilidirler. **Paratiroid** ve **eritropoetin** gibi hormonlar ise böbrek fonksiyonlarına dolaylı yollardan yardımcı olurlar.
- **Paratiroid hormonu**, paratiroid bezi tarafından salgılanan, böbrek tubüllerinden Ca^{+2} 'nin geri emilimini, aynı zamanda fosfatın atılımını sağlayan bir hormondur. Paratiroid hormonu, ekstraselüler sıvılarda Ca^{+2} konsantrasyonu düştüğünde salgılanır. Azalan kalsiyum konsantrasyonuna böbreklerin cevabı ise kalsitriol olarak bilinen D vitamininin aktif formunu (1,25 dihidroksikolekalsiferol) oluşturmaktır. Parathormon, böbreklerde D vitamininin aktifleşmesinde etkili olur.
- **Eritropoetin (EPO)**, dokuların oksijen ihtiyacı arttığı zaman (hipoksi şekillendiğinde) salgılanan bir hormondur. Vücudun bu ihtiyacını karşılamak için hormon kemik iliğini uyararak yeni eritrosit yapımını başlatır. Yetişkin memelilerde eritropoetin hormonunun büyük bir kısmı böbreklerde sentezlenir. Eritropoetin, korteksin alt tarafı ile medullanın üst tarafına yerleşmiş olan peritübüler interstisyel hücreler tarafından sentezlenir. Yetişkinlerde ayrıca karaciğerde de sentezlenmektedir (fetal yaşamda ise büyük bir kısmı).
- Afferent ve efferent arterioller arasında (glomerüler kapillerler arasında) mezangial bölge olarak bilinen bir yer vardır. Bu bölgede mezangial matriks ve mezangial hücreler bulunmaktadır. Mezangial hücreler, matriks salgılar, destek görevi yaparlar, fagositik aktiviteleri vardır ve **prostaglandin** salgılarlar.

İşeme (Micturition)

- Bowman kapsülünde HB yaklaşık 15-20 mmHg dolaylarındadır. Ancak renal pelviste HB yoktur.
- idrar, renal pelvisten idrar kesesine üreterlerdeki peristaltizm sayesinde taşınır.
- Üreterler idrar kesesine oblik (eğik) açıyla (üreteroveziküler birleşim yeri) girerler ve böylece kese dolarken idrarın geriye doğru kaçması önlenmiş olur.
- Spinal kordun sakral bölgesindeki ve beyin kökündeki refleks kontrol, idrar kesesinin boşalmadan önce dolmasına izin verir. Dolma esnasında kese duvarındaki reseptörlerin gerilmesi sakral spinal refleksin aktivasyonunu sağlar. Bu da idrarın kesenin boynu ve eksternal sfinkter yardımıyla boşaltılmasını sağlar.



Renal Klirens

Renal klirens, böbreklerin maddeleri plazmadan uzaklaştırma yeteneklerini belirlemek için kullanılır. RPF ve GFH ölçümlerini belirlemede renal klirens değerleri kullanılır. Ancak yalnızca bu ölçümleri belirlemede değil, aynı zamanda teşhis amaçlı kullanılan böbrek fonksiyon değerlerini karşılaştırmak için de kullanır. Renal klirens, böbreklerin maddeleri böbrekten uzaklaştırma yeteneğinin belirlenmesine denilmektedir. Aşağıdaki formülle belirlenir:

$$C_x = (U_x \dot{V}) / P_x$$

C_x = X maddesinin klirensi (ml/dk), U_x = x maddesinin idrardaki yoğunluğu (mg/mL),
 $\dot{V}$ = İdrar oluşum hızı (ml/dk) ve P_x = X maddesinin plazmadaki yoğunluğu (mg/ml).
Böylece eğer $U_x = 130$ mg/ml, $\dot{V} = 1$ ml/dk ve $P_x = 2$ mg/ml olursa,
o zaman $C_x = (130 \times 1) / 2 = 65$ ml/dk olur. Yani dakikada 65 ml plazma X maddesinden tamamen temizlenmektedir.

Renal Klirens

- Kreatinin klirensi, böbrek hastalıklarının düzeyini belirlemede kullanılan bir klinik testtir. Köpek gibi bazı hayvanların kreatininleri inüline benzerlik gösterir (serbestçe filtre edilir, ancak geri emilmez ve sekrete edilmez).
- Vücutta endojen olarak bulunan kreatinin herhangi bir test maddesinin infüzyonuna gerek kalmadan böbrek fonksiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılır. Çünkü kreatinin klirensi direkt olarak böbrek fonksiyonlarını gösterir. Benzer şekilde, böbrek fonksiyonları sonucu oluşan nefron kaybı GFR'yi azaltır. Köpeklerde endojen kreatinin klirensinin normal plazma değeri 2-4 ml/dk/ kg CA'tır.

KISACA



(Renal) klirens, madde ile ilgili bir parametredir ve belirli bir zaman zarfında ilgili maddeden tamamen temizlenen plazma hacmine karşılık gelir. Kreatininin renal klirensi böbreğin filtrasyon performansı hakkında bilgi verir.



Böbrekler ve Asit-Baz Dengesi

Ekstrasellüler sıvıdaki H^+ iyon konsantrasyonunun sabit tutulması asitlerle bazlar arasındaki denge sayesinde gerçekleşir. Ortama H^+ iyonu verenlere asit, H^+ iyonunu alanlara ise baz denir. Asit ve bazlar vücut sıvılarına çıkarılıp ya da ilave edildiğinde bu denge bozulur. Kanın pH'sının normalin altına düşmesine asidemi; üstüne çıkmasına ise alkalemi denir. Ekstrasellüler sıvıya asidin fazla ilave edilmesi ya da bazın fazla ayrılmasıyla şekillenen bozukluğa asidoz; aksine bazın fazla ilavesi ya da asidin fazla ayrılması ile oluşan duruma ise alkaloz denir.

Normal şartlarda, yiyeceklerle alınan ya da metabolik olaylar sonucu oluşan asit ve bazlar sürekli vücut sıvılarına ilave edilir. Hipoventilasyon, kusma, ishal ve böbrek yetmezliklerinde vücutta asit ve bazların olağan dışı kaybı ya da artışı söz konusu olabilir. Vücut bu bozuklukları düzeltmek için:

- 1) Kimyasal tamponlama,
 - 2) CO_2 konsantrasyonunun solunumla düzenlenmesi
 - 3) H^+ ve HCO_3^- iyonlarının böbrekler tarafından atılması
- gibi üç önemli mekanizmayı devreye sokar.

Böbreklerin H⁺ İyonu Salgılama Mekanizmaları

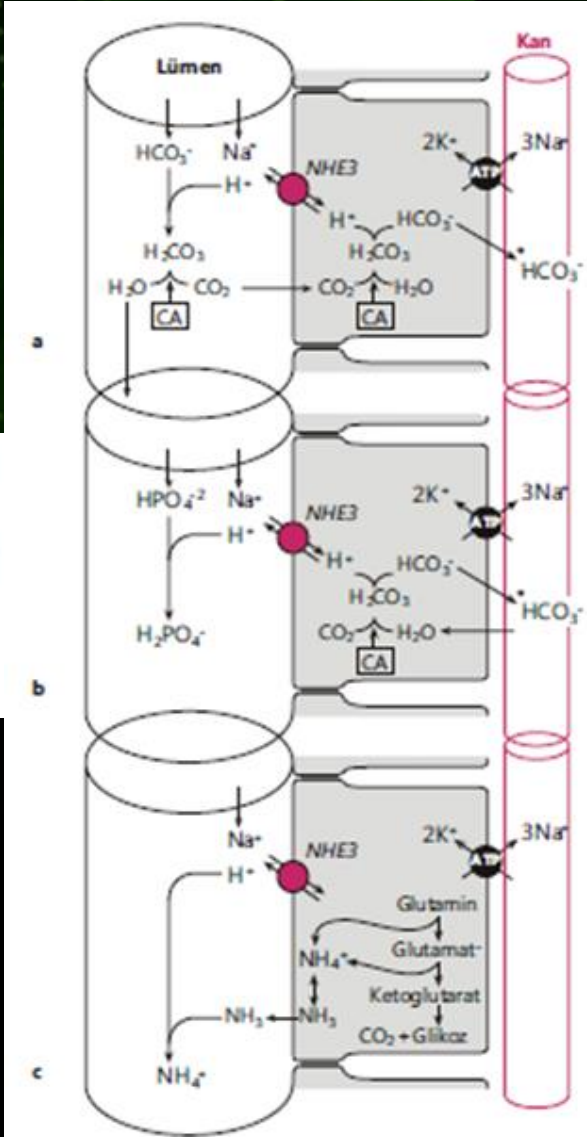
Nefron boyunca yer alan epitel hücrelerden (Henle kupunun ince kolu hariç) sekrete edilen H⁺ iyonu sekresyonu %85 oranında proksimal tübüllerden gerçekleşmektedir. Hidrasyon reaksiyonu, tübül epitel hücrelerinin sitoplazmasında karbonik anhidraz enzimi tarafından şu şekilde gerçekleşir:



CO₂ konsantrasyonunun artması hidrasyonu artırır, azalması ise azaltır. Karbondioksit hidrasyonu sonucu oluşan karbonik asitten tübül lümenine H⁺ iyonu sekrete edilir. Bu reaksiyon karbonik anhidraz enzimi aracılığıyla gerçekleşir. ESS'deki CO₂ hücrelere serbest olarak difüze olur. Artan CO₂ miktarı hidrasyonu artırır ve düşük hidrasyon miktarı daha da düşer. Yani karbonik asit dissosiyasyon olurken oluşan bikarbonat iyonu kana geri emilir, H⁺ iyonu ise tübül sıvısına sekrete olur. Elektriksel denge tübüllerdeki Na⁺ iyonlarının H⁺ iyonları ile yer değiştirerek tübül epitel hücrelerine gelmesiyle birlikte Na⁺ iyonlarının bikarbonat iyonlarıyla birlikte kana geçmesi ile korunmuş olunur. Ekstraselüler sıvıda H⁺ iyonlarının azalması HCO₃⁻ iyonlarının artması anlamına gelir. Ekstraselüler sıvıda bikarbonatın artması ya da azalması pH'yı dengeler. H⁺ iyonu sekresyonu arttığı zaman fosfat tampon sistemi devreye girer ve bu tampon sistemi sayesinde sodyum iyonu ile H⁺ iyonları yer değiştirilerek kana geri verilir. Eğer asidozis şekillenmişse tübül epitel hücrelerinden amonyum sentezlenip salgılanır. Böylece fazla H⁺ iyonları tübül lümenine salgılanarak idrarla atılıp pH dengelenmiş olur. Tübül epitel hücrelerinin intraselüler pH düzeylerindeki artışı CO₂ artışıyla ilişkili olmayan bir asidozis şekillenmesine neden olur. Bu durum tübül epitel hücrelerinden H⁺ iyon sekresyonunda artışa neden olur.

Böbreklerin H^+ İyonu Salgılama Mekanizmaları

Proksimal tübüldeki HCO_3^- geri kazanımı ve H^+ sekresyonunun hücresel mekanizmaları. a HCO_3^- geri kazanımı b Protonların $H_2PO_4^-$ olarak atılımı c Protonların NH_4^+ formunda sekresyonu.



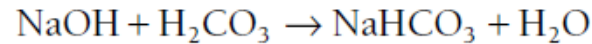
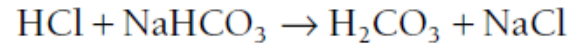


Solunum Sisteminin Rolü

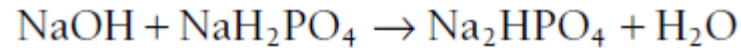
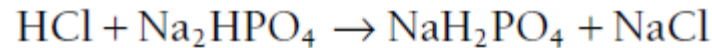
Ekstraselüler sıvıda asit baz dengesinin korunmasında solunum sistemi önemlidir. Gazların doku hücrelerinden akciğerlere doğru taşınması esnasında eritrosit membranındaki CO_2 karbonik anhidraz enzimi tarafından hidrate edilir. Bu durumda oluşan karbonik asit aynı enzim tarafından iyonlarına ayrıştırılır. Bu iyonlardan H^+ iyonu tampon sistemi tarafından tutulurken, HCO_3^- iyonu ise plazmaya geri verilir. Kan pulmoner kapillerlere doğru hareket ederek alveollere hızlı bir şekilde difüze olur. Böylelikle ESS'deki H^+ iyonu konsantrasyonu azaltılmış olunur. Plazmada H^+ iyonu konsantrasyonu arttıkça akciğerlerdeki ventilasyon da artar. Aynı şekilde CO_2 konsantrasyonu arttığında da gazın akciğer alveollerine difüzyonu hızlanır ve böylece de H^+ iyon konsantrasyonu azaltılmış olunur. CO_2 konsantrasyonunun artışı akciğerlerdeki ventilasyonu arttırarak hidrasyon sonucu oluşan fazla H^+ iyonunun atılımına yardımcı olur. Görüldüğü gibi H^+ iyonlarının konsantrasyonunun ayarlanmasında solunum sistemi oldukça önemlidir.

Kimyasal Tampon Sistemleri

- Kimyasal tampon sistemleri ESS'de pH'nın ayarlanmasında oldukça önemli bir role sahiptir. Bu kimyasal tampon sistemlerinden en önemlileri bikarbonat, fosfat ve protein tampon sistemidir.
- Bikarbonat tampon sistemi bir eriyikte sodyum bikarbonat (NaHCO_3) ile karbonik asidin (H_2CO_3) karışımından oluşmuştur. Tampon eriyiğine kuvvetli asit ya da baz katılırsa aşağıdaki reaksiyon oluşur:



- Fosfat tampon sistemi, NaH_2PO_4 ve Na_2HPO_4 ile ifade edilir. Bu maddelerin karışımına sırasıyla kuvvetli bir asit ile baz katılırsa aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelir:



- Protein molekülleri büyük miktarda asidik ve bazik gruplar içerdiğinden tamponmuş gibi davranırlar. Bazik gruplar (R-NH_2) H^+ alarak tampon gibi hareket eder katyon formuna (R-NH_3^+) dönüşürler. Asidik gruplar ise H^+ kaybederek tampon gibi hareket eder anyon (R-COO^-) formuna dönüşürler.

