

Anatomie und Physiologie Harntrakt

zusammengestellt von Uta Warten

Quellen:

- Schwegler, J.S.: Der Mensch – Anatomie und Physiologie, 2. Aufl., Thieme 1998
Netter: Atlas der Anatomie des Menschen, Thieme 1997
Benner: Der Körper des Menschen, Weltbild-Verlag 1991
Schäffler, Schmidt: Biologie, Anatomie, Physiologie, 3. Aufl., Fischer 1998
Deetjen, Speckmann: Physiologie, 2. Aufl., U&S 1994
Silbernagl: Taschenatlas der Physiologie, 4. Aufl., Thieme 1991
Faller, A: Der Körper d. Menschen, Einführung in Bau und Funktion, 13. Aufl., Thieme 1999
Schiebler, Schmidt: Anatomie, 5. Aufl., Springer 1991
Kapit, Elson: Anatomie-MalAtlas, Arcis-Verlag 1989
Kapit, Macey, Meisami: Physiologie-MalAtlas, Arcis-Verlag 1992
Wikipedia

Der Harntrakt

- verantwortlich für Harnproduktion und Harnausscheidung

Die Nieren

- die Nieren sind wichtig für die Ausscheidung von Stoffwechselendprodukten, für die Entgiftung, für den Elektrolythaushalt, für den Wasserhaushalt und für das Säure-Basen-Gleichgewicht. Außerdem bildet die Niere Hormone und Vit. D.
- retroperitoneal links und rechts der Wirbelsäule, dicht unter dem Zwerchfell auf Höhe des Übergangs zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule liegen die Nieren. Sie sind bohnenförmig und je ca. 150g schwer.
- an der konkaven Seite der Bohnenform liegt die Nierenpforte (Nierenhilus), aus der das Nierenbecken (Pelvis renalis, Pylon) mit dem Harnleiter (Ureter), sowie die Nierenvene (V. renalis) austreten und in die die Nierenarterie (A. renalis) eintritt.
- außen ist die Niere durch eine feste bindegewebige Kapsel und einen dicken Fettgewebsmantel geschützt. Die Fettkapsel schützt die Nieren nicht nur, sie verankert sie auch an der hinteren Bauchwand.
- schneidet man die Niere auf, so erkennt man drei Zonen:
 - ganz innen das Nierenbecken, das über die Nierenkelche mit dem Nierenmark verbunden ist.
 - die Markschrift besteht aus kegelförmigen, gestreift wirkenden Gewebsstrukturen, den Markpyramiden, deren Spitzen, Nierenpapillen genannt, in den Nierenkelchen liegen.
 - die Nierenrinde, die zwischen den Markpyramiden bis an das Nierenbecken heranreicht, ist heller und homogener als die Markschrift.

Das Nephron

- das Nephron ist die kleinste Funktionseinheit der Niere. Es besteht aus einem Glomerulum mit Bowmann'scher Kapsel und dem zugehörigen Tubulusapparat
- Die Kapillaren des Glomerulums haben größere Poren als die meisten anderen Kapillaren des Körpers. Alle Bestandteile des Blutes außer den Blutzellen und den Eiweißen passen durch diese Poren hindurch
- um das Gefäßknäuel herum schließt sich hüllenartig die Bowmann'sche Kapsel, ein Hohlraum, dessen inneres Blatt mit den Kapillaren des Glomerulums verwachsen ist. Zwischen der Kapillarwand und dem inneren Blatt der Bowmann'schen Kapsel liegt eine Basalmembran, die den Übergang bildet. Das innere Blatt geht an der Eintrittsstelle des Gefäßknäuels, dem sogenannten Gefäßpol in das äußere Blatt der Bowmann'schen Kapsel über. Aus dem äußeren Blatt entspringt an der Gegenseite des Gefäßpols, dem Harnpol der proximale Tubulus
- das System der Harnkanälchen (Tubulusapparat) beginnt mit dem proximalen Tubulus direkt unterhalb der Bowmann'schen Kapsel. Der proximale Tubulus ist am Beginn stark gewunden, um dann gerade nach unten auszulaufen. Der gewundene Anteil des proximalen Tubulus liegt in der Nierenrinde, während der gerade Anteil schon im Nierenmark liegt
- an den geraden Teil des proximalen Tubulus schließt sich die Henle'sche Schleife, ein sehr dünnes kapillarartiges in Haarnadelform verlaufendes Tubulusteil an. Diese Henle'sche

Schleife liegt komplett im Nierenmark.

- Der sich anschließende distale Tubulus besteht wiederum aus einem geraden, aufsteigenden, sich direkt an die Henle'sche Schleife anschließenden und einem gewundenen Anteil. Auch hier befindet sich der gerade Anteil im Nierenmark, während der gewundene Anteil in der Nierenrinde liegt. Der gewundene Anteil des distalen Tubulus berührt den Gefäßpol des Glomerulums und bildet mit diesem zusammen den juxtaglomerulären Apparat
- der distale Tubulus mündet in das Sammelrohr, das mehrere distale Tubuli aufnimmt und sich dann an der Nierenpapille, der Spitze der Markpyramiden, in den Nierenkelch entleert
- der juxtaglomeruläre Apparat wird gebildet vom Vas afferens, dem Vas efferens, dem distalen Tubulus und einer Zellansammlung dazwischen, der Makula densa, die hormonaktiv ist.

Die Blutversorgung

- die Nierenarterie verzweigt sich zunächst in die Zwischenlappenarterien, aus denen am Übergang vom Mark zur Rinde wiederum mehrere Bogenarterien hervorgehen
- Die Bogenarterien verzweigen sich weiter, so daß aus ihnen die kleinen geraden Gefäße (Vasa recta) des Nierenmarks und die zuführenden Arteriolen (Vasa afferentia) der Nierenkörperchen (Glomerula) werden.
- jedes Vas afferens zweigt sich zu einem knäuelartigen Kapillarschlingengeflecht, dem Glomerulum auf. Diese Kapillarschlingen vereinen sich dann wieder zum Vas efferens, ebenfalls einer Arteriole, die sich dann erneut zu einem Kapillarnetz, das die Tubuli umgibt weiter aufzweigt. Diese Kapillaren münden dann in eine Vene, die ihrerseits nach diversen Verzweigungen in die V. renalis mündet.
- die Vasa recta verlaufen genau parallel zu den geraden Teilen des Tubulussystems
- weitere Gefäße dienen der Ernährung des Nierenparenchyms

Die Autoregulation der Nierendurchblutung

- die Durchblutung der Nieren beträgt ca 20% des Herzminutenvolumens, das entspricht bei einem normalen Herzminutenvolumen von 5 l/min also einer Nierendurchblutung von ca. 1 l/min, also ca. 1500 l/d
- Diese Durchblutung muß konstant gehalten werden, da ihr Absinken ein schnelles Versiegen der Urinproduktion und ihr Anstieg einen viel zu hohen Wasserverlust zur Folge hätte
- um ihre Durchblutung konstant zu halten bedient die Niere sich mehrerer Mechanismen:
 - lokal: Kontraktionsfähigkeit der Arteriolen
 - hormonell: Blutdrucksteigerung und Steigerung des Blutvolumens über Renin
 - systemisch: Steigerung der Hämatopoese durch Erythropoetin
- Die zuführende Arteriole (Vas afferens) kontrahiert sich bei erhöhtem Blutdruck um den Druck im nachgeschalteten Glomerulum abzusenken, während sich bei zu niedrigem Blutdruck die wegführende Arteriole (Vas efferens) kontrahiert um den Druck im vorgeschalteten Glomerulum zu erhöhen.
- durch diese Vorgänge wird im Glomerulum ein konstanter Blutdruck von 50 mm Hg gehalten
- diese Autoregulation der Niere funktioniert jedoch nur bei einem systolischen arteriellen Druck zwischen 80 mm Hg und 190 mm Hg. Sinkt der arterielle Druck unter systolische 80 mm Hg, so kommt es zum Nierenversagen, da der glomeruläre Druck dann soweit absinkt, daß die Urinproduktion abnimmt oder gar versiegt. Bei systolischen Drücken über 190 mm Hg

nimmt die Urinproduktion so stark zu, daß die Niere schnell überlastet ist und ihre Funktion ebenfalls einstellt

Die Nierenfunktion

Die glomeruläre Filtration

- In den Glomerulumkapillaren wird durch die Autoregulation der Niere ein konstanter Blutdruck von 50 mm Hg aufrechterhalten, der die Filtration des Blutplasmas durch den Ultrafilter, bestehend aus Kapillarwand, Basalmembran und innerem Blatt der Bowmann'schen Kapsel fördert
- diesem Druck wirken der kolloidosmotische Druck des Blutes, der ungefähr 25 mm Hg entspricht, und der hydrostatische Druck in der Bowmann-Kapsel, der ca. 17 mm Hg entspricht, entgegen.
- aus diesen drei gegenläufig wirksamen Drücken ergibt sich ein effektiver Filtrationsdruck von 8 mm Hg
- ($50\text{ mm Hg} - 25\text{ mm Hg} - 17\text{ mm Hg} = 8\text{ mm Hg}$)
- Dieser Filtrationsdruck preßt dem Blutplasma täglich ca. 180 l Ultrafiltrat (Primärharn) ab. Das entspricht ungefähr dem 60-fachen des Gesamtplasmavolumens
- Das Ultrafiltrat (Primärharn) entspricht in seiner Zusammensetzung ungefähr dem Blutplasma ohne Eiweiße. Es enthält also auch für uns durchaus noch wichtige Nährstoffe

Die tubuläre Sekretion und Resorption

- Da eine Ausscheidung von 180 l Ultrafiltrat (Primärharn) pro Tag sehr unpraktisch wäre, denn wir müßten diesen Verlust ja wieder ausgleichen, also 180 l Wasser trinken und 5,5 kg Natrium ($252\text{ mol} \cdot \text{Atommasse } 22$) essen.
- Um diesem Dilemma auszuweichen, werden alle Stoffe, die wir aus dem Primärharn noch benötigen wie Wasser, Nährstoffe und Elektrolyte weitgehend rückresorbiert, bevor er als Endharn ausgeschieden wird, während andere Stoffe, die den Körper stark belasten zusätzlich per Sekretion dem Primärharn hinzugefügt werden. Diese Vorgänge geschehen in den Nierenkanälchen (Tubuli)
- Im gewundenen Teil des proximalen Tubulus werden nahezu 100% der filtrierte Zucker-, Bikarbonat- und Aminosäuremoleküle und 60% der filtrierte Na^+ -Ionen aktiv zurückresorbiert. Die Cl^- -Ionen folgen aufgrund der Verteilung der elektrischen Ladung passiv. Diese Rückresorption führt zu einem starken osmotischen Gefälle zwischen dem Primärharn im Tubuluslumen und dem Blut in den umgebenden Kapillaren. Um dieses osmotische Gefälle auszugleichen, fließt Wasser aus dem Tubuluslumen in die Kapillaren. Am Ende des proximalen Tubulus sind bereits 60% des Primärharns ($\approx 110\text{ l/d}$) wieder rückresorbiert worden, so daß noch ca 70 l/d Primärharn verbleiben.
- in der Henle'schen Schleife werden durch ein Gegenstromsystem NaCl und Wasser rückresorbiert. In der Haarnadelkurve der Henle'schen Schleife verläuft eine Blutkapillare, das oben schon erwähnte Vas rectus, die zunächst dem osmotischen Gefälle entsprechend Wasser aus dem absteigenden Abschnitt der Henle'schen Schleife aufnimmt, wodurch es zu einem starken Anstieg des osmotischen Drucks im aufsteigenden Abschnitt der Henle'schen Schleife kommt. Diesem Druck folgend wandert Na^+ und Cl^- in die Kapillare, was den osmotischen

Druck in der Kapillare so erhöht, daß aus dem absteigenden Ast der Henle'schen Schleife wiederum Wasser in die Kapillare fließt. Am Ende der Henle'schen Schleife verbleiben von unseren 180 l Primärharn noch ca. 40 l/d

- im gewundenen Anteil des distalen Tubulus wird aktiv NaCl rückresorbiert, was dem osmotischen Gefälle entsprechend einen Wasserausstrom in die umgebenden Kapillaren zur Folge hat. Von den 180l/d Primärharn verbleiben am Ende des distalen Tubulus noch ca. 10%, also 18l/d.
- im Sammelrohr wird unter Hormoneinfluß (Aldosteron) je nach Wasser- und Elektrolythaushalt aktiv Na⁺ gegen K⁺ (durch die Na/K-ATPase) ausgetauscht. Es werden also je 1 K⁺-Ion in das Sammelrohr sezerniert und je 2 Na⁺-Ionen aus dem Sammelrohr rückresorbiert. Dies wirkt sich natürlich auf den osmotischen Druck aus, so daß Wasser aus dem Sammelrohr in die Kapillaren strömt. Unter Einfluß von Antidiuretischem Hormon (ADH) wird dieser Einstrom durch eine verstärkte Wasserdurchlässigkeit der Sammelrohrwand noch verstärkt. So kommen bei normal ausgeglichenem Wasser- und Elektrolythaushalt ca. 1,8 l/d Primärharn im Nierenbecken an.
- die Sekretion läuft ausschließlich im proximalen Tubulus ab, hier werden beispielsweise Harnsäure und Penicillin aktiv in den Primärharn sezerniert um den Schadstoffspiegel im Körper möglichst gering zu halten

Der Urin

- besteht zu 95% aus Wasser, zusätzlich enthält er Harnstoff, ein Abbauprodukt aus dem Eiweißstoffwechsel, Harnsäure, ein Abbauprodukt aus dem Nucleinsäurestoffwechsel (DNA, RNA), Kreatinin, ein Stoffwechselprodukt aus der Muskulatur, Natrium, Kalium, Phosphat aus dem Säure-Basen-Haushalt, Citrat (Zitronensäure) aus dem Kohlehydratstoffwechsel, Oxalat (Oxalsäure) aus dem Aminosäurestoffwechsel, Urobilinogen aus dem Hämoglobinabbau, sowie H⁺-Protonen aus dem Säure-Basen-Haushalt

Die ableitenden Harnwege

Harnleiter

- die 8-10 Nierenkelche einer Niere münden in das Nierenbecken, das nach unten in den Harnleiter (Ureter) übergeht. Auch die Harnleiter liegen retroperitoneal. Sie haben drei physiologische Engstellen:
 - am Abgang aus dem Nierenbecken
 - an der Kreuzungsstelle der Beckengefäße
 - am Durchtritt durch die Harnblasenwand.
- die Wand des Harnleiters besteht zu einem großen Teil aus Muskulatur, die den Harn peristaltikartig vorwärts bewegt. Innen ist der Harnleiter ausgekleidet mit Übergangsepithel

Harnblase

- die Harnblase (Vesica urinaria) liegt extraperitoneal unmittelbar hinter der Symphyse.
- An der Innenseite mit Übergangsepithel ausgekleidet, besteht die Harnblasenwand zum größten Teil aus Muskelgewebe, das stark durchflochten ist (Detrusor vesicae).

- an der Blasen hinterwand münden die beiden Harnleiter so, daß sie eine Art Ventil bilden aus dem der Harn in die Blase fließen kann, ohne jedoch im Normalfall einen Rückfluß zu erlauben
- unten aus der Harnblase geht die Harnröhre (Urethra) ab, die am Austritt aus der Harnblase durch den inneren Schließmuskel (Sphinkter internus) verschlossen wird. Der innere Schließmuskel ist ein glatter Muskel, der durch das vegetative Nervensystem gesteuert wird.

Harnröhre

- die Harnröhre der Frau ist ca 8 cm lang und verläuft direkt von der Harnblase, wo sie durch den inneren Schließmuskel verschlossen wird durch den Beckenboden, in dem der äußere Schließmuskel (Sphinkter externus) sitzt zur Scheide, wo sie sich nach außen öffnet. Der äußere Schließmuskel ist ein quergestreifter Muskel, der der Willkürmotorik unterliegt
- Die männliche Harnröhre nimmt direkt nach ihrem Abgang aus der Harnblase, wo sie durch den inneren Schließmuskel verschlossen wird, den Samenleiter sowie viele kleine Drüsengänge aus der Vorsteherdrüse, die die Harnröhre umschließt auf. Die Harnröhre verläuft dann durch den Beckenboden, wo auch beim Mann der äußere Schließmuskel sitzt und tritt dann durch den Penis an der Eichelspitze nach außen

Die Harnblasenentleerung

- Die Harnblase hat normalerweise ein Fassungsvermögen von ca. 800 ml
- ihre Entleerung ist ein reflexartiger Prozeß: Durch die Dehnung der Harnblasenwand wird ein Reiz an das Reflexzentrum im Hirnstamm gesandt, das dann durch Aktivierung des Parasympathikus den inneren Schließmuskel erschlaffen läßt und den Detrusor (Blasenwandmuskel) anspannt. Durch willkürliches Lockerlassen des äußeren Schließmuskels und unterstützendes Anspannen der Bauchdeckenmuskulatur (Bauchpresse) wird der Harn aus der Harnblase in die Harnröhre ausgepreßt.

Der Wasserhaushalt

- außer durch Trinken nehmen wir auch durch feste Nahrungsmittel Wasser zu uns. Zum einen ist in der festen Nahrung Wasser gelöst und zum anderen entsteht durch das Verstoffwecheln der Nährstoffe Wasser. Insgesamt nehmen wir so bei normaler Kost ca. 1 l Wasser zu uns, ohne getrunken zu haben
- außer über die Niere scheiden wir aber auch Wasser über die Haut (Schwitzen) und über die Atemluft (Luftbefeuchtung) aus. So verlieren wir an den Nieren vorbei ca. 800 ml Wasser pro Tag
- der Körper bildet eine Fülle von Hormonen, die einen Einfluß auf den Wasserhaushalt nehmen. Die beiden wichtigsten das Antidiuretische Hormon aus der Hypophyse und das Aldosteron aus der Nebennierenrinde wurden schon angesprochen. Um mit einer Ausschüttung dieser Hormone reagieren zu können muß der Körper über Meßfühler verfügen, die ihm jeweils den derzeitigen Zustand des Wasserhaushaltes mitteilen können.
- zum einen kann der Körper an der Makula densa des juxtaglomerulären Apparates der Niere direkt die Osmolarität in Blutplasma und Primärharn messen und zum anderen melden Dehnungsrezeptoren in den Herzvorhöfen Information über das derzeitige Blutvolumen an das ZNS. Im Karotissinus wird der Blutdruck gemessen, der im ZNS auch unter anderem als Aussage über das Blutvolumen verarbeitet wird.

- Verfügen wir über zu wenig Wasser so wird durch eine verstärkte Ausschüttung von Hormonen das Wasser aus dem Primärharn verstärkt rückresorbiert.
- Bei einem zu hohen Blutplasmavolumen wird die Ausschüttung der Hormone gehemmt, so daß weniger Wasser aus dem Primärharn rückresorbiert wird.

Der Säure-Basen-Haushalt

- Der Blut-pH liegt beim Erwachsenen zwischen 7,35 und 7,45. Ein Absinken unter 7,35 bedeutet Azidose (Übersäuerung) und ein Anstieg über 7,45 bedeutet Alkalose (Verlaugung).
- Einfluß auf den pH-Wert haben die Atmung, der Stoffwechsel, die Puffersysteme und die Nieren.
- Das Kohlendioxid wird im Blut als Kohlensäure gelöst und trägt dadurch zum pH-Wert des Blutes bei. Steigern wir also die Atmung, so geben wir zuviel Kohlendioxid ab und verlieren damit wichtige Säureanteile aus dem Blut, das Blut wird alkalisch. Drosseln wir die Atmung so halten wir Kohlendioxid und damit Säure zurück, der Blut-pH sinkt.
- Störungen des Säure-Basen-Gleichgewichts durch Atmungsstörungen werden als respiratorisch bezeichnet.
- Im Stoffwechsel fallen sowohl Säuren, z.B. Milchsäure (Zuckerstoffwechsel), Ketonkörper (Fettstoffwechsel) als auch Laugen, z.B. Ammonium (Eiweißstoffwechsel) an. Diese können je nach Menge in der sie anfallen, den pH nach oben oder unten verschieben. Hinzu kommt die Möglichkeit des Verlustes von Säuren bzw. Laugen. Durch Erbrechen beispielsweise verlieren wir Säuren, der Blut-pH steigt also an, bzw. durch starke Durchfälle verlieren wir Basen, der Blut-pH sinkt also ab.
- Störungen des Säure-Basen-Gleichgewichts durch Stoffwechselstörungen werden als metabolisch bezeichnet.
- die Puffersysteme sind der Bikarbonatpuffer, der Proteinpuffer, der Hämoglobinpuffer und der Phosphatpuffer. Alle vier Puffersysteme funktionieren grundsätzlich auf dieselbe Art und Weise: Sie liegen bei neutralem pH ca. zur Hälfte in deprotonierter Form vor (ein H^+ -Proton im Molekül fehlt) und nehmen daher bei niedrigem pH H^+ -Protonen auf und binden sie, so daß der pH ansteigt, bzw. geben sie bei hohem pH ab um den pH zu senken.
- Über die Nieren werden zum einen H^+ -Protonen und zum anderen Puffer wie Bikarbonat oder Phosphat ausgeschieden. Durch eine Steigerung oder Drosselung der Säure- oder Basenausscheidung kann die Niere den Blut-pH entscheidend beeinflussen.
- reguliert wird ein veränderter Säure-Basen-Haushalt jeweils über das nicht betroffene System. Respiratorische Störungen werden also metabolisch kompensiert, während metabolische Störungen respiratorisch korrigiert werden.
- Hat beispielsweise ein Patient durch einen Asthmaanfall eine gedrosselte Atmung, die zur Ansammlung von Kohlensäure im Blut führt, also zu einer respiratorischen Azidose, so werden zunächst die Puffersysteme mit einer verstärkten Bindung von H^+ -Protonen reagieren und dann wird die Niere verstärkt Säuren ausscheiden. Dies führt zu einer kompensatorischen metabolischen Alkalose.
- Hat der Patient dagegen beispielsweise durch Durchfälle einen erhöhten Basenverlust, also eine metabolische Azidose, so werden zunächst die Puffersysteme, ganz besonders der Bikarbonatpuffer Säuren binden und dann wird das Atemzentrum gegenregulieren und

versuchen möglichst viel Säure durch eine Beschleunigung und Vertiefung der Atmung abzuatmen. Es entsteht also eine kompensatorische respiratorische Alkalose.

- das gleiche Prinzip läßt sich natürlich auch für respiratorische Alkalosen und metabolische Alkalosen anwenden, eine respiratorische Alkalose würde so durch eine metabolische Azidose und eine metabolische Alkalose durch eine respiratorische Azidose kompensiert werden. Diese Kompensationsmechanismen sind natürlich nicht immer erfolgreich.

Endokrine Funktion der Niere

- Renin wird im juxtaglomerulären Apparat der Nierenkörperchen (Glomerula) gebildet und bei zu niedrigem Blutdruck ausgeschüttet. Renin formt das im Blut befindliche Angiotensinogen zu Angiotensin I um.
- Erythropoetin ist ein weiteres Hormon das bei zu niedrigem Blutdruck ins Blut abgegeben wird. Erythropoetin fördert im Knochenmark die Bildung von Blut, besonders von roten Blutkörperchen.
- Vitamin D (Cholecalciferol) ist ein Vitamin, daß der Körper auch selbst synthetisieren kann, das also im weitesten Sinne zu den Hormonen gezählt werden können. Die Vorstufe des fettlöslichen Vitamin D wird unter UV-Strahlung in der Haut aus Cholesterin synthetisiert. In der Leber wird es weiter chemisch verändert und in der Niere finden dann die endgültigen Veränderungen statt, so daß die inaktiven Vorstufen zum aktiven Vitamin D werden. Es erhöht den Calciumspiegel, indem es die Calciumresorption im Darm steigert. Gleichzeitig steigert es jedoch auch den Einbau von Calcium in die Knochen, so daß es gleichzeitig auch eine Calciumspiegel senkende Wirkung hat.