



# Aineenvaihdunnan sääntely

30.1.2024



# Oppimistavoitteet

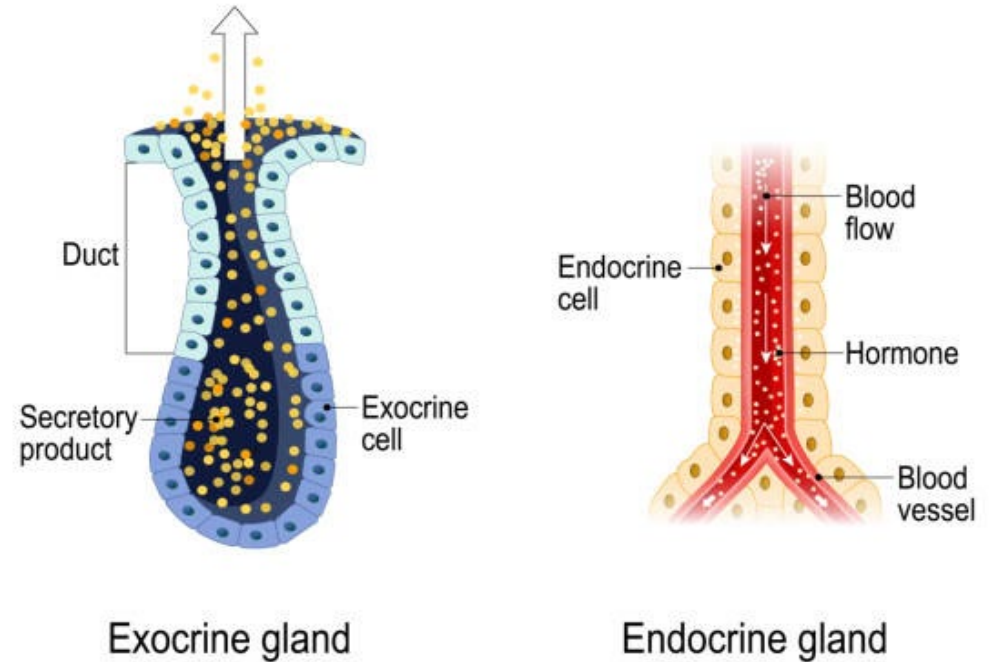
- Hahmottaa hormonaalisen eli umpieritysvälitteisen säätelyn periaatteet ja keskeiset anatomiset rakenteet
- Ymmärtää seuraavien säätelyjärjestelmien toiminta yleisellä tasolla:
  - Kalsiumtasapaino
  - Stressi
  - Sokeritasapaino
  - Nestetasapaino
  - Suolatasapaino
  - Hapποemästasapaino

Huom. Energia-aineenvaihdunta käsitellään myöhemmin

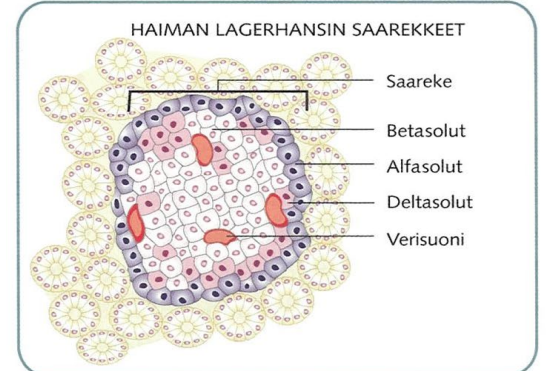
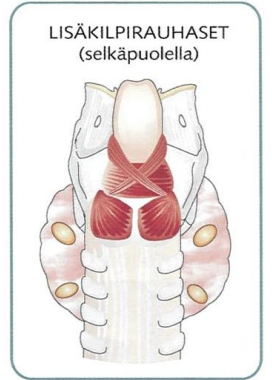
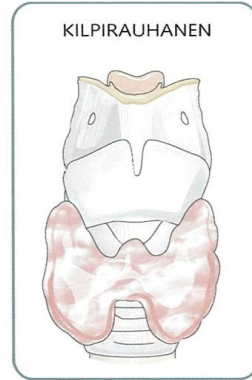
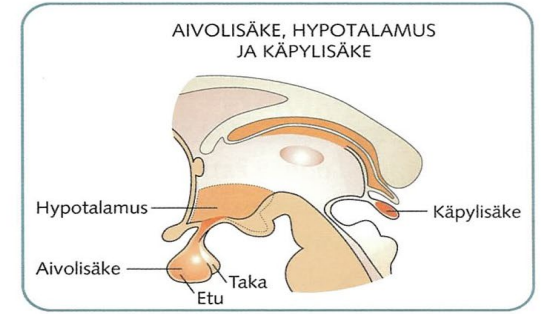
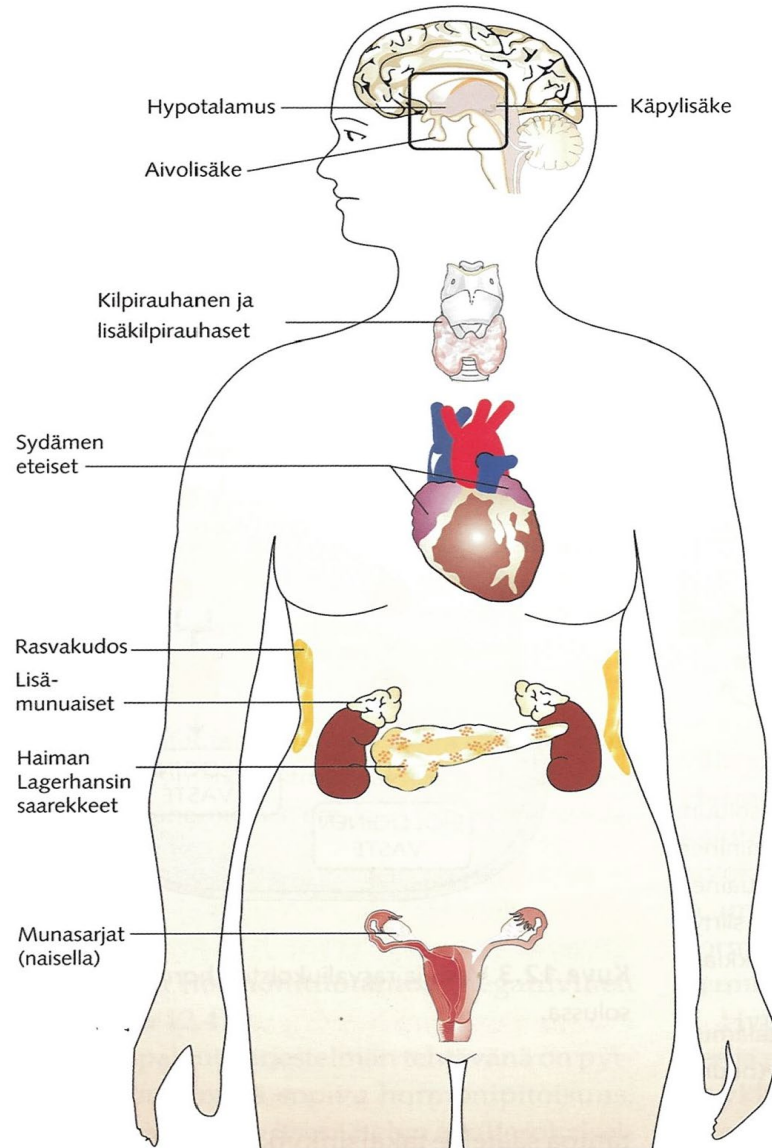
# Umpieritysjärjestelmän ja hormonien toiminta

- Umpieritysjärjestelmään eli **endokriiniseen järjestelmään** kuuluvat kaikki hormoneja tuottavat solut ja kudokset
  - “sivutoimisia” umpirauhasia ovat hermosto, mahalaukku, munuaiset, sydän
- Umpirauhaset (endokriiniset rauhaset): erityis verenkiertoon
- Hiki- ja talirauhaset ovat avorauhasia (eksokriinisiä rauhasia)

## Types of gland

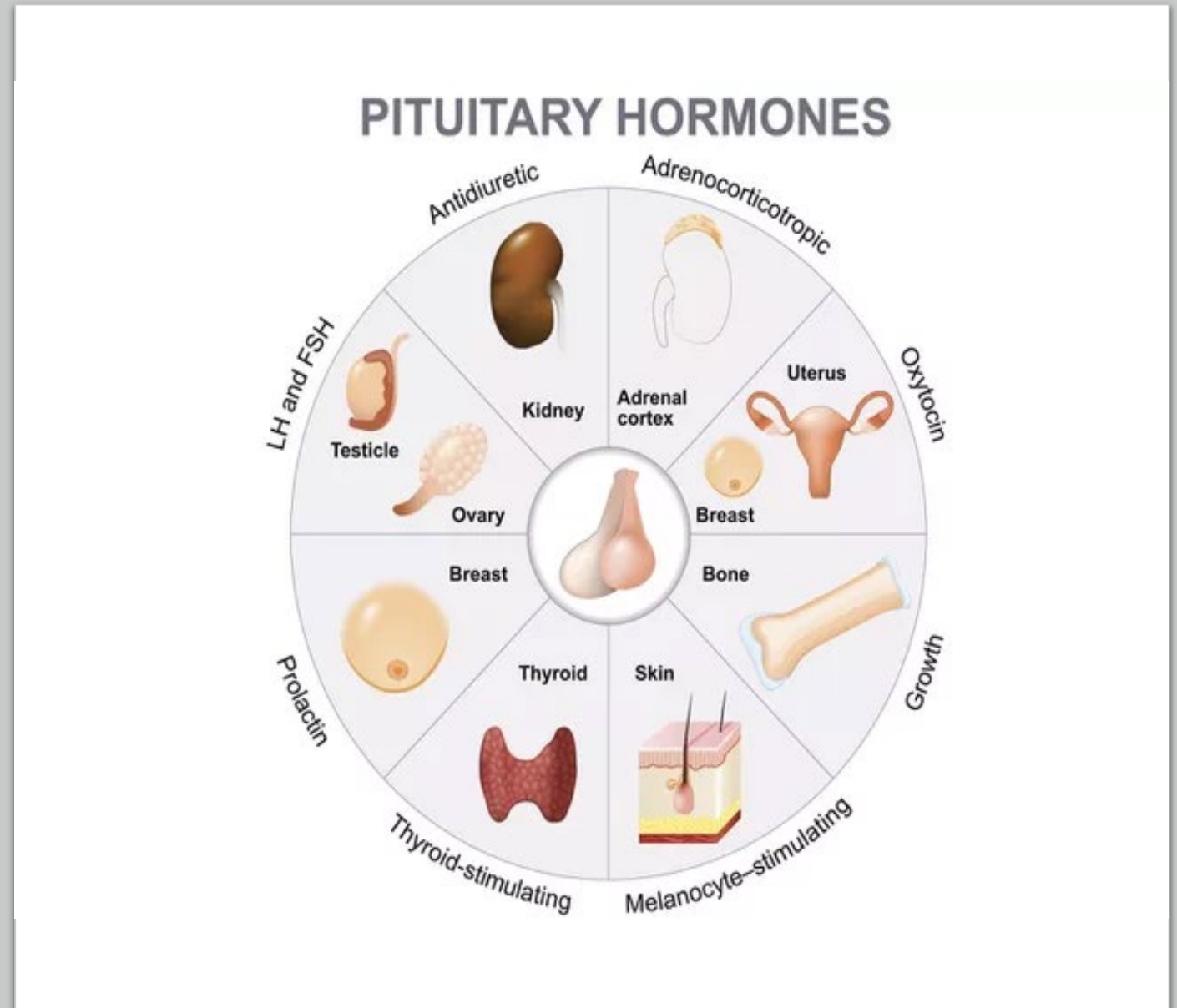


- Hormonit kulkevat joko vapaina molekyyleinä tai kuljettaja-proteiiniin sitoutuneena (esim. albumiini)
- Kuljettajaproteiinit tasaavat hormonipitoisuuksia: umpirauhasen erittämä hormoni on aktiivinen vain vapaana, ja proteiiniin sitoutuminen estää hormonin hajoamista



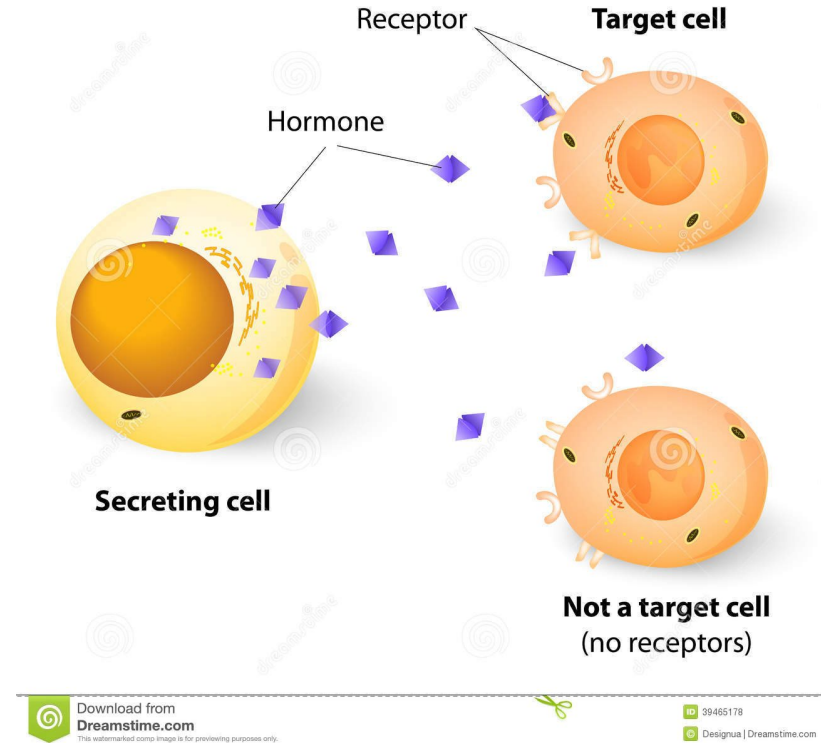
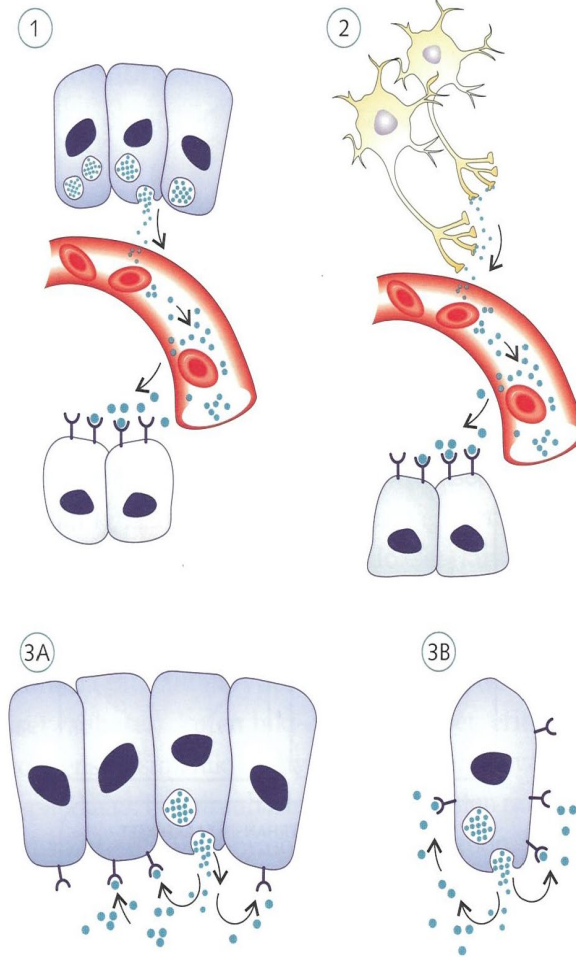
# Hormonien tehtävät

- Säätelevät  
Solujen aineenvaihduntaa  
Energiatasapainoa  
Lisääntymistoimintoja  
Kudosten kasvua ja uusiutumista
- Kontrolloivat kasvua ja kehitystä
- Ylläpitävät homeostaasia



# Hormoneilla on kohdesoluissa vastaanottajareseptori

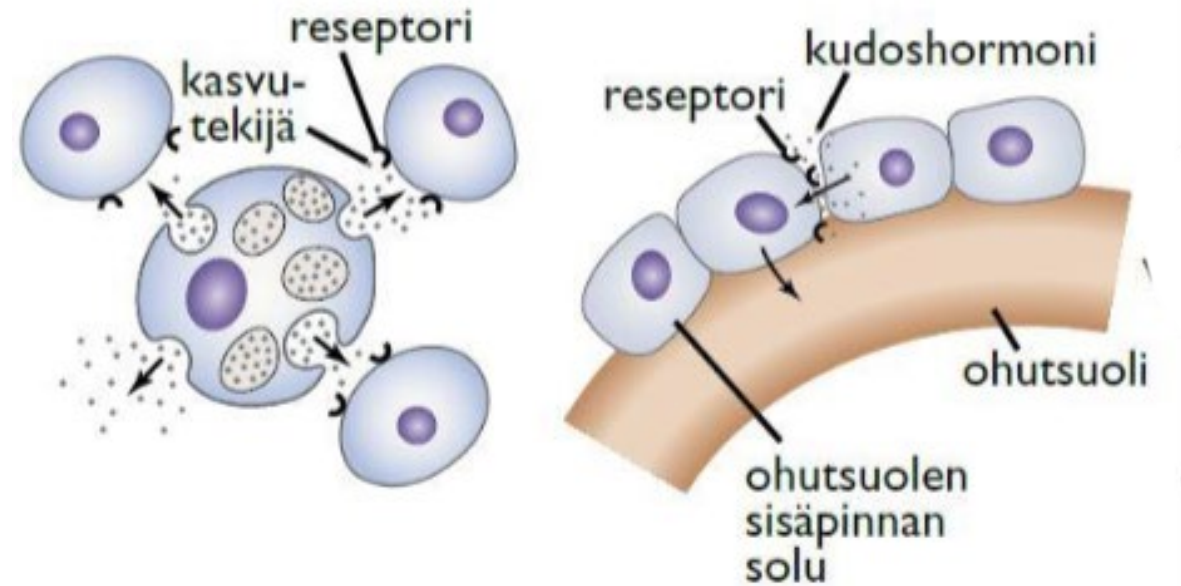
- 1) Verenkierron mukana liikkuvat umpirauhasten (kilpirauhanen, lisämunuainen, haima) erittämät hormonit
- 2) Hormonieritykseen erikoistunut hermosolu (hypotalamus) tuottaa hormoneja verenkiertoon (neuroendokriininen vaikutus)
- 3) Paikallinen vaikutus: parakriininen tai autokriininen vaikutus



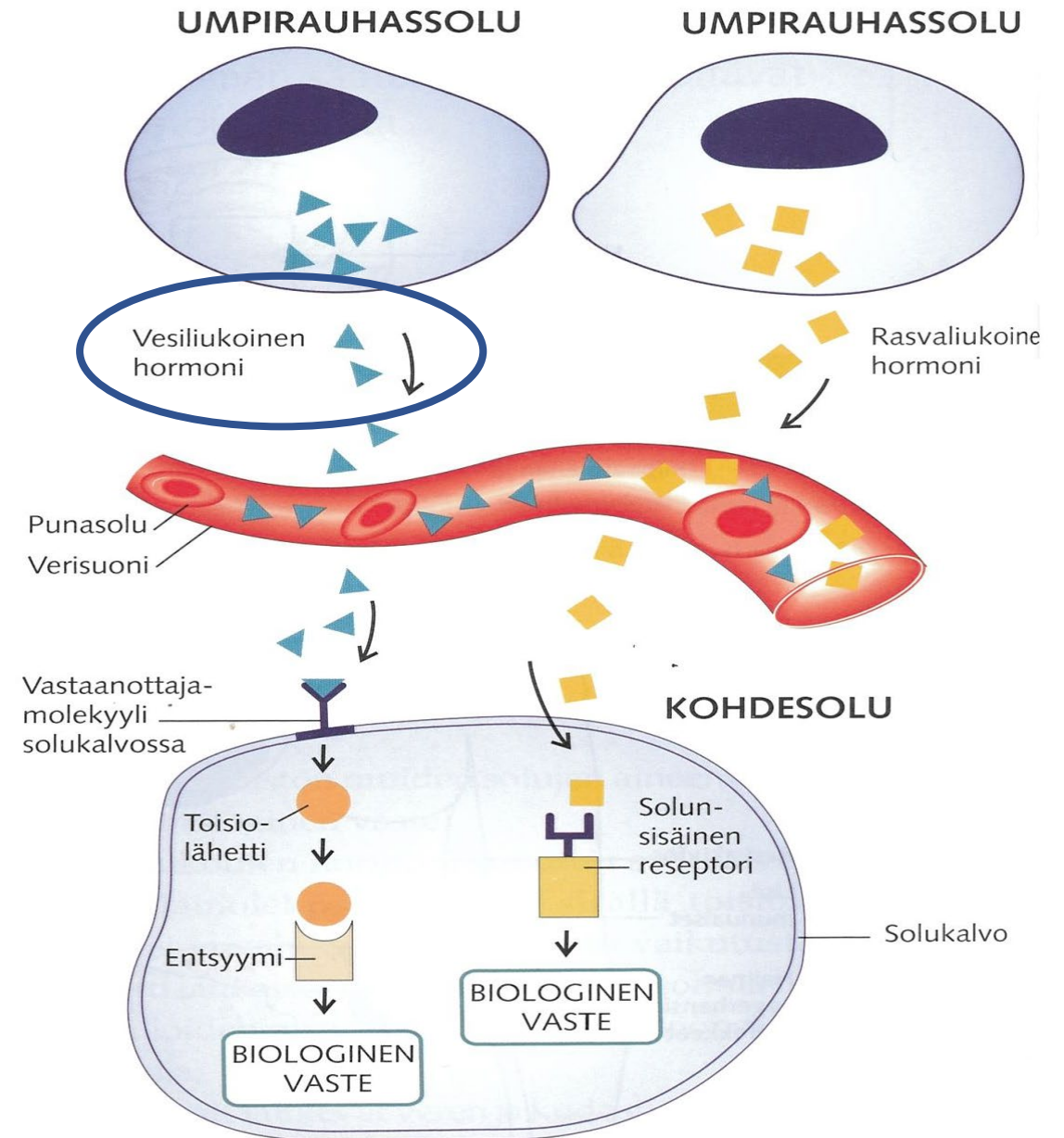
Download from Dreamstime.com  
This watermarked image is for previewing purposes only.  
39465178  
Designua | Dreamstime.com

# Kudoshormonit ja kasvutekijät

- *Kudoshormonit* vaikuttavat kudosten välityksellä naapurisoluihin (parakriininen vaikutus): Esim. prostaglandiinit, tromboksaanit, leukotrieenit
- Jos kudoshormoni säätelee solujen kasvua ja erilaistumista, puhutaan *kasvutekijöistä*

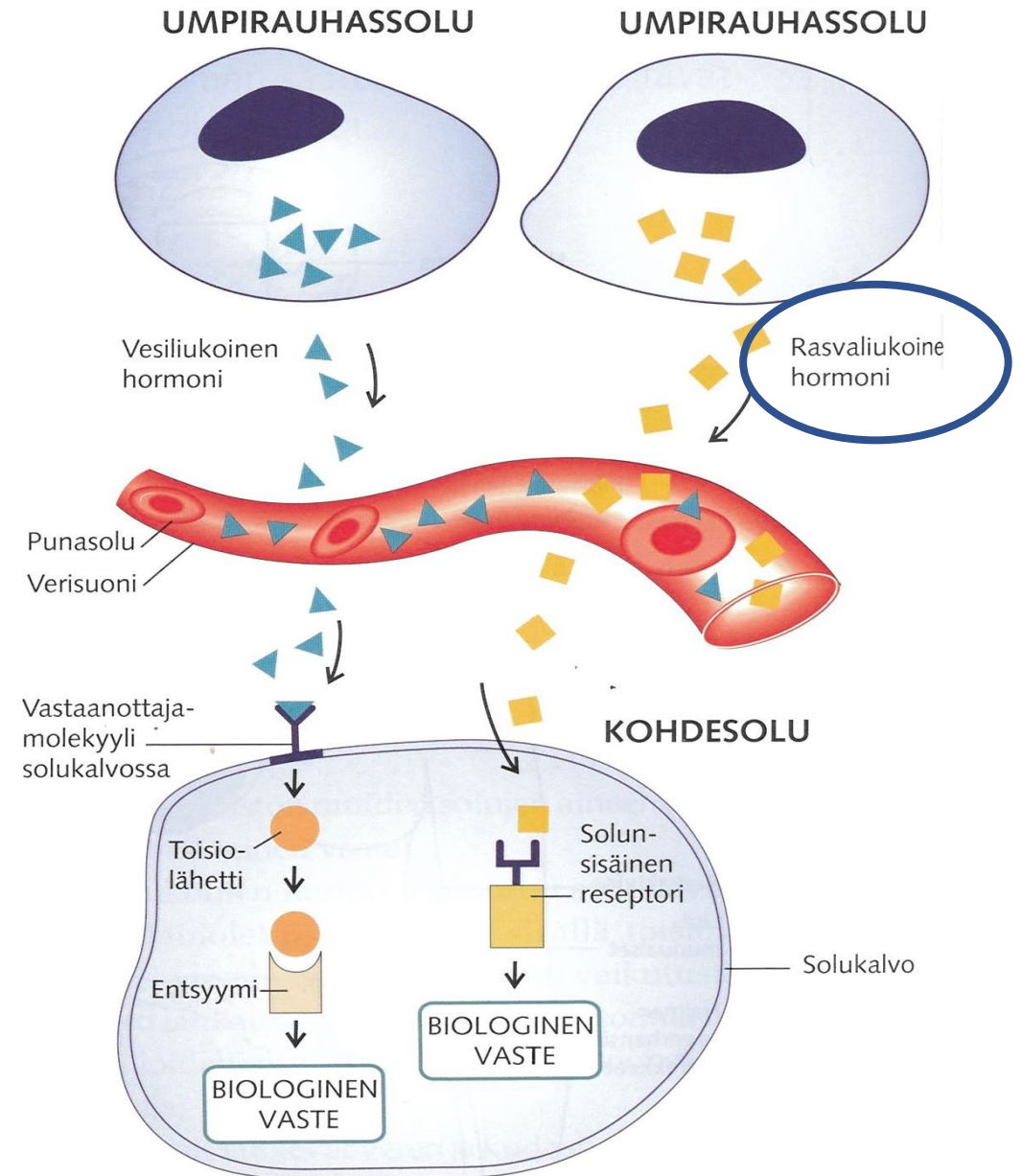


- **Vesiliukoinen hormoni**  
(proteiinihormonit, katekoliamiinit)  
sitoutuu solukalvon reseptoriin
- Solun sisällä toisiolähetit (esim. syklinen adenosiinimono-fosfaatti) käynnistävät reaktioketjuja, joissa entsyymit aktivoivat toisiaan → esim. glykogeenin ja glukoosin pilkkoutuminen
- Pienikin hormonipitoisuus voi näin vaikuttaa merkittävästi



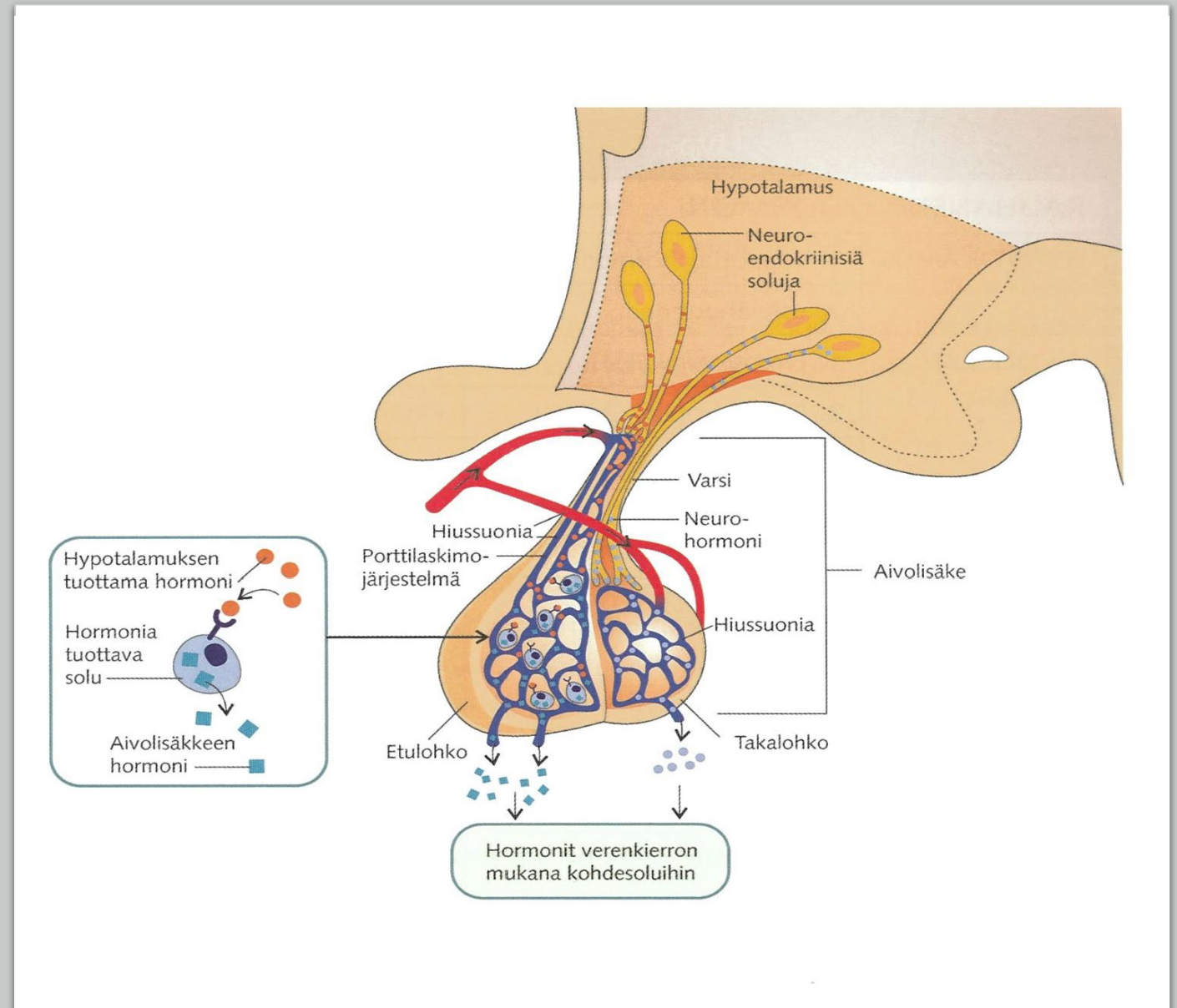


- **Rasvaliukoinen hormoni** (steroidihormonit, D-vitamiini, kilpirauhashormonit) menevät solun sisään
- Reseptori sijaitsee solulimassa tai tumassa
- Lisäävät tai estävät solussa proteiinisynteesiä



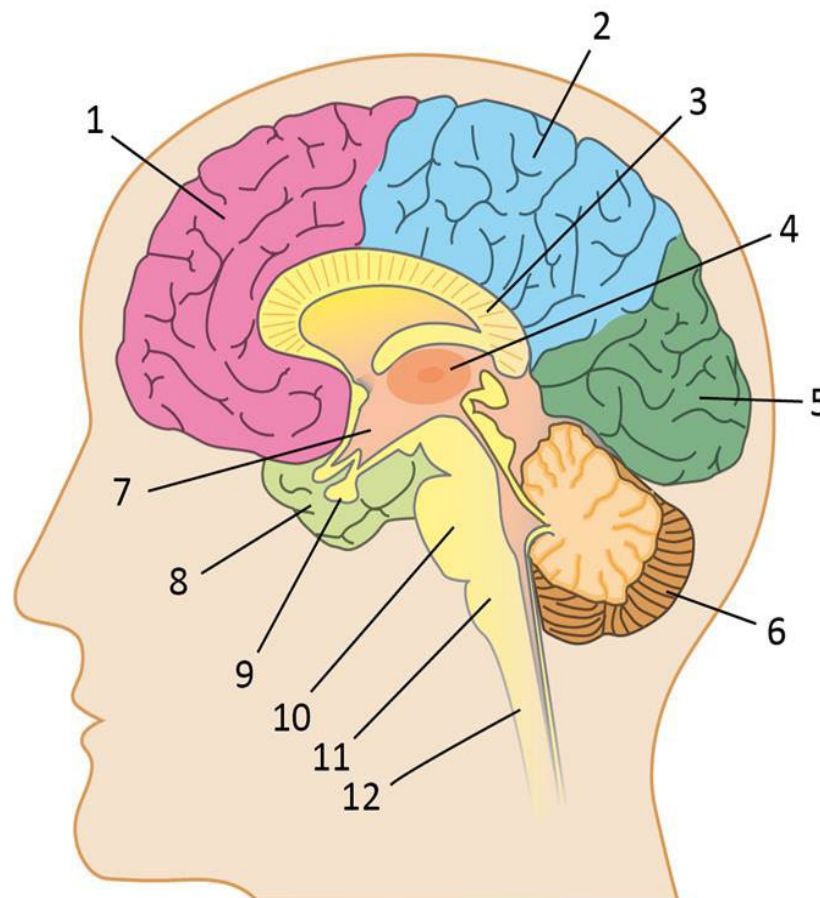
# Hormonien erittymisen säätely

- Homeostaasissa hermosto ja umpieritysjärjestelmä toimivat osittain päällekkäin
- Hypotalamus tuottaa aivolisäkkeen toimintaa sääteleviä hormoneja ja säätelee muiden rauhasien toimintaa



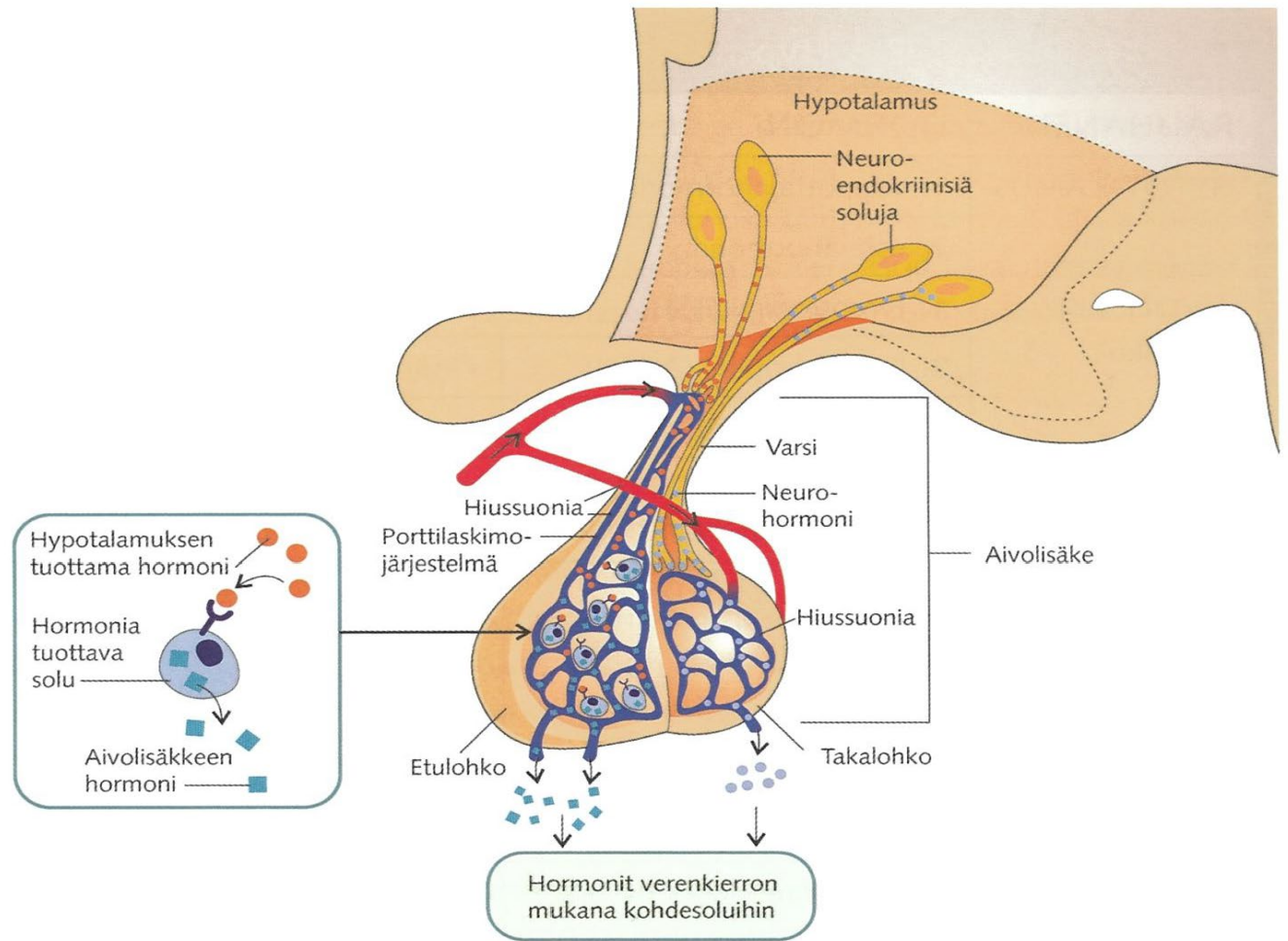
# Hypotalamus

- Sijaitsee väliaivojen pohjassa
- *Verenkierron* välityksellä yhteydessä aivolisäkkeen (hypofyysi) etulohkoon
- Hermostollisesti yhteydessä aivolisäkkeen takalohkoon, aivorunkoon, aivokuoreen
- Erikoistuneita neurosekretoorisia soluja
- Vapauttaja- ja estäjähormonien kautta vaikutus aivolisäkkeeseen



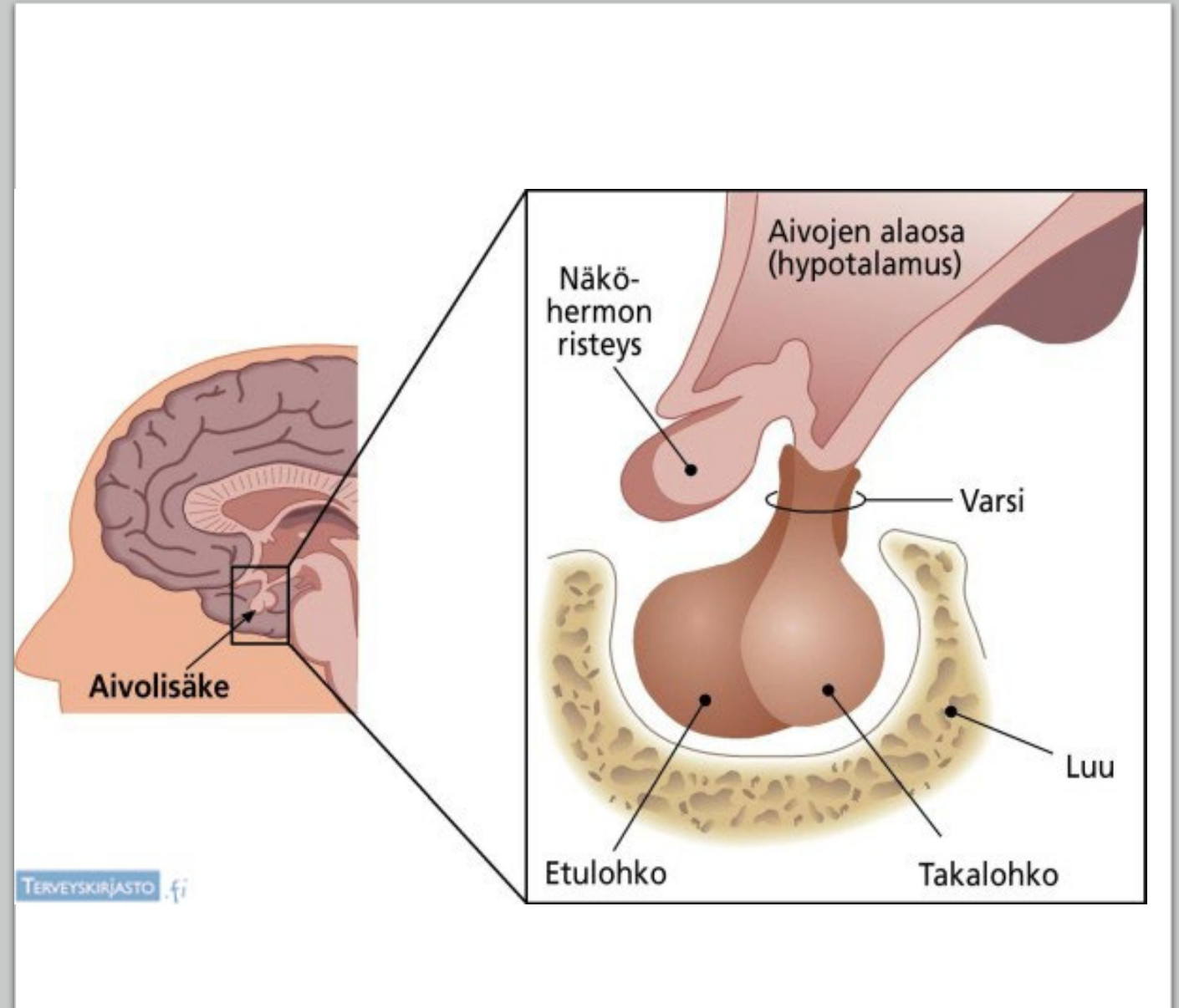
1. Otsalohko
2. Päälakilohko
3. Aivokurkiainen
4. Talamus
5. Takaraivolohko
6. Pikkuaiivot
7. Hypotalamus
8. Ohimolohko
9. Aivolisäke
10. Aivosilta
11. Ydinjatke
12. Selkäydin

- Hypotalamuksen toimintaan vaikuttavat negatiivinen ja positiivinen palauteperiaate, keskus- ja ääreishermosto, stressi
- Lämpötilaa, janoa, nälkää säätelevät keskukset
- Vihan, pelon, aggression tuntemukset yhdessä limbisen järjestelmän kanssa
- Vuorokausirytmii
- Seksuaalinen käyttäytyminen



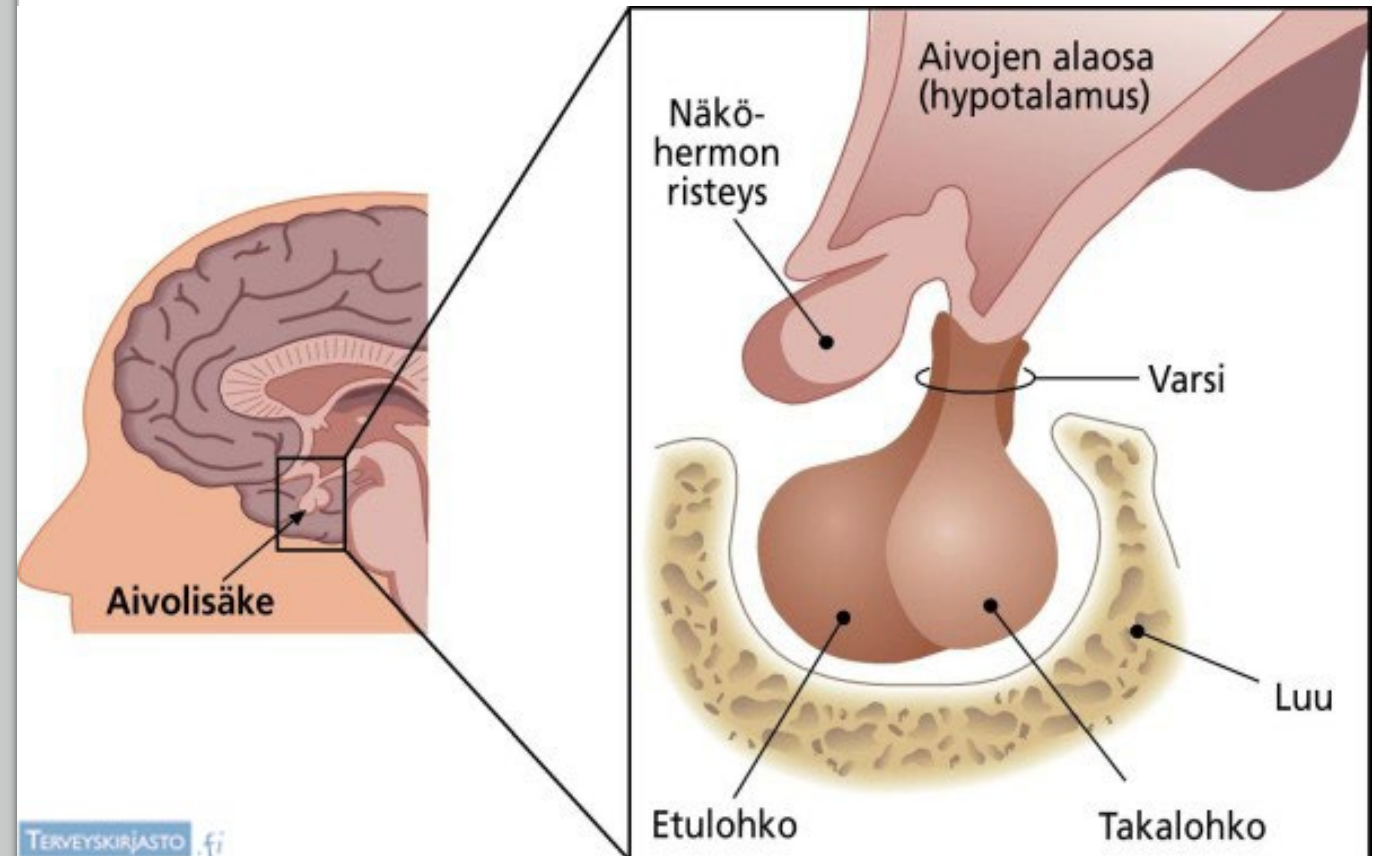
# Aivolisäke

- Herneenkokoinen, n. 0.5-1 g painoinen
- Etu- ja takalohko (adenohypofyysi, neurohypofyysi)
- Etulohko tuottaa 6 hormonia, joista kasvuhormoni vaikuttaa kaikkiin elimistön soluihin
  - Nostaa glukoosipitoisuutta
  - Proteiinisynteesi ja rasvojen käyttö kiihtyy
  - Vaikuttaa erityisesti luiden ja lihasten kasvuun



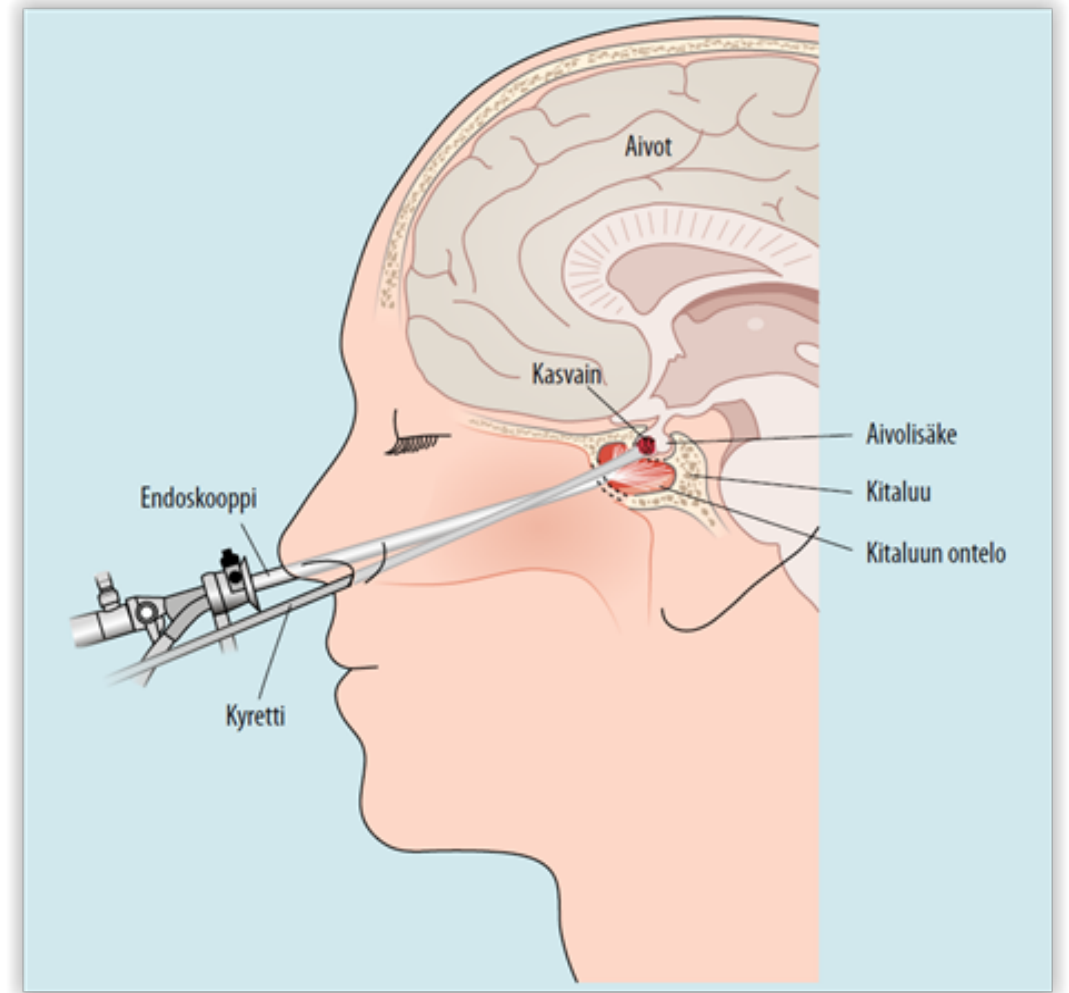
# Aivolisäke

- Osa hormoneista erittyy selkeää 24 h rytmiä noudattaen
- Takalohko varastoi ja erittää kahta hypotalamuksen valmistamaa hormonia (oksitosiini ja antidiureettinen hormoni)



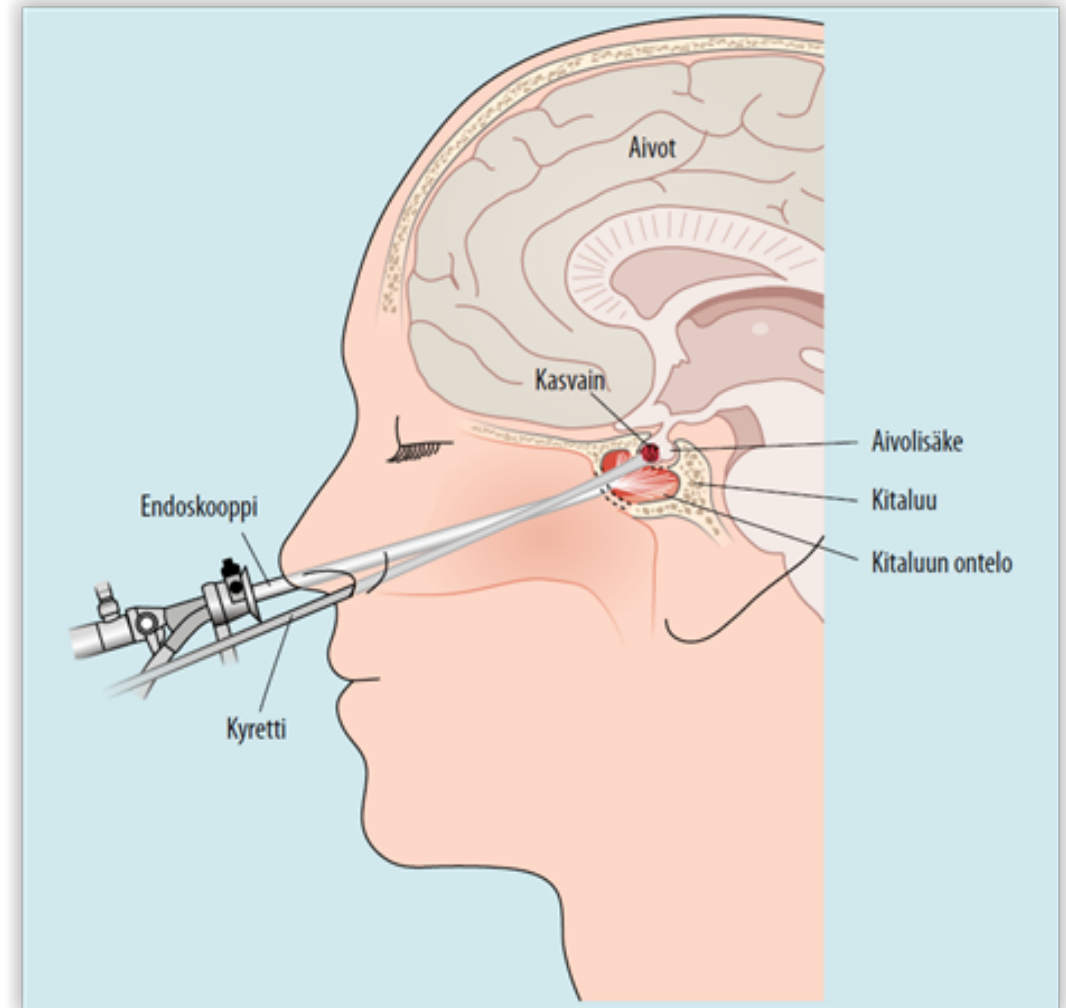
# Aivolisäkkeen vajaatoiminta

- Kasvuhormonin puute → Lapsella lyhytkasvuisuus, aikuisella aineenvaihdunnan häiriöitä
- TSH (tyreotropiini) säätelee kilpirauhasen toimintaa: puute → väsymys, painonnousu, hidas syke
- ACTH (kortikotropiini) säätelee lisämunuaisen toimintaa: puute → väsymys, laihtuminen, ruokahaluttomuus
- Maitohormoni (prolaktiini) säätelee maidoneritystä imetyksen aikana: puute → maidoneritys ei käynnisty



# Aivolisäkkeen vajaatoiminta

- LH (luteinisoiva hormoni) ja FSH (follikkeleita stimuloiva hormoni) säätelevät sukhormonien ja sukusolujen tuotantoa miehellä kiveksissä ja naisella munasarjoissa: puute → lapsettomuutta ja häiriöitä sukupuolitoiminnoissa
- Vesihormoni (ADH, antidiureettinen hormoni) säätelee veden erittymistä munuaisista: puute → veden menetys virtsaan lisääntyy
- Oksitosiini osallistuu synnytyksen käynnistymiseen ja imettämisen säätelyyn

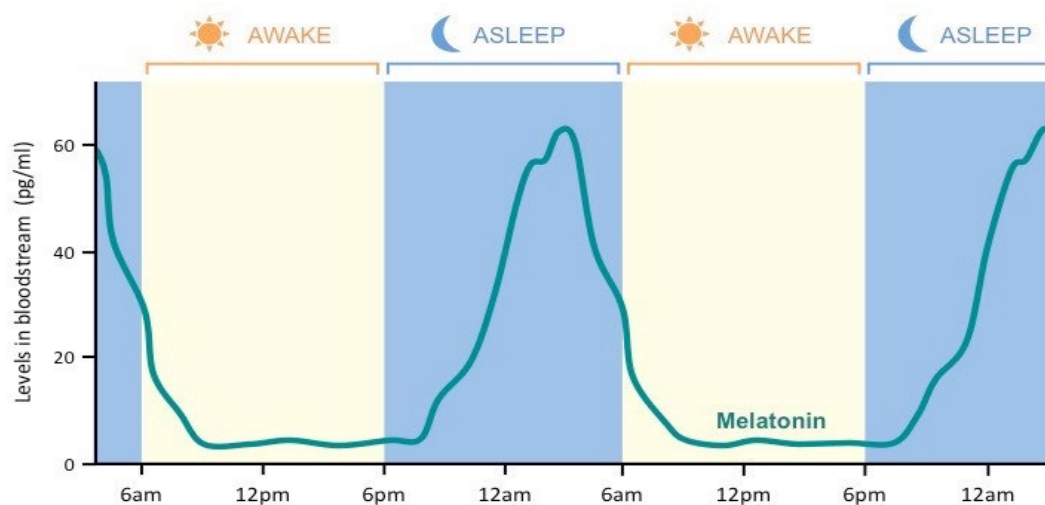
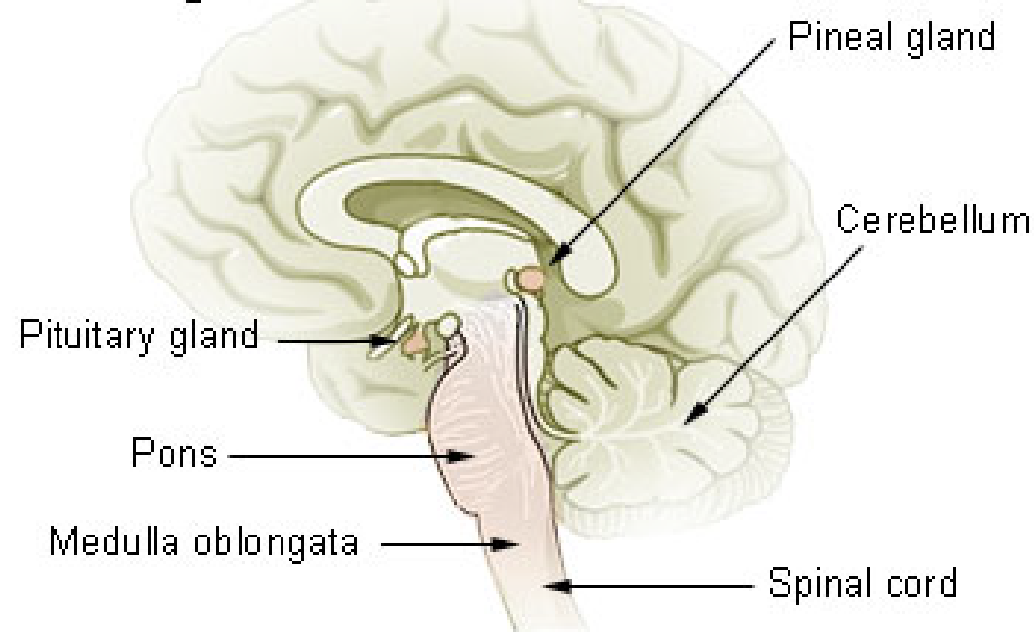




# Käpylisäke

- Latinaksi corpus pineale
- Tuottaa melatoniinia
- Tuotanto on runsasta yöllä, voimakas valo estää erittymistä
- Melatoniinia käytetään toipumaan aikaero-rasituksesta, näyttö kuitenkin epäselvää

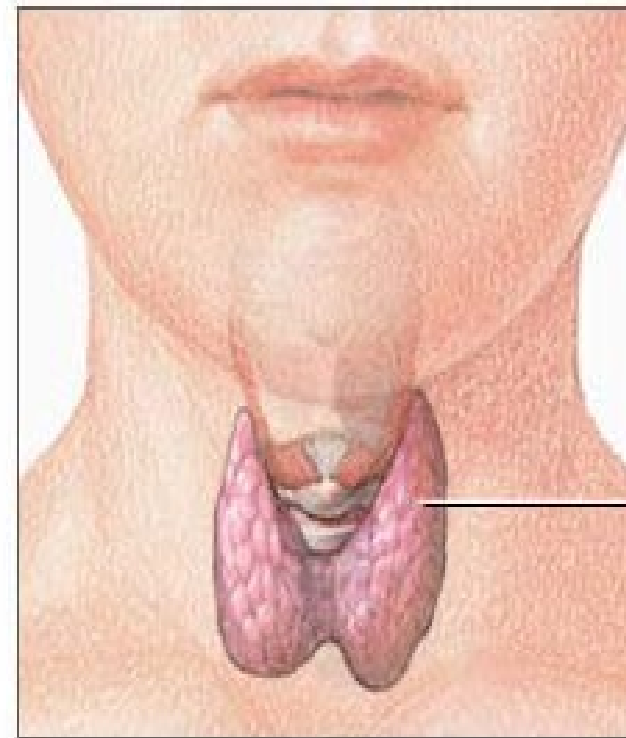
## Pituitary and Pineal Glands



RAUHANEN	HORMONI	VAIKUTUS
<b>HYPOTALAMUS</b>	vapauttajahormonit	Aivolisäkkeen etulohkon hormonitoiminnan lisääminen
	estäjähormonit	Aivolisäkkeen etulohkon hormonitoiminnan estäminen
<b>AIVOLISÄKE</b>	tyreotropiini (TSH)	Kilpirauhasen toiminnan aktivoituminen
<b>etulohko</b>	kortikotropiini (ACTH)	Lisämunuaisen toiminnan aktivoituminen
	prolaktiini (PRL)	Maidontuotto
	kasvuhormoni eli somatotropiini (GH)	Kasvunsäätely syntymän jälkeen Yleinen aineenvaihdunnan vilkastuminen
	follitropiini (FSH)	Munarakkulan kehittyminen ja estrogeenituotanto munasarjoissa Siittiöiden muodostuminen ja androgeenien tuotanto kiveksissä
	lutropiini (LH)	Ovulaatio ja keltarauhashormonien tuotanto munasarjoissa Sittiöiden kypsyminen ja testosteronin tuotanto kiveksissä
<b>takalohko</b>	oksitosiini	Kohdun sileän lihaksen supistuminen Maidontuotannon käynnistyminen
	antidiureettinen hormoni (ADH) eli vasopressiini	Veden talteenotto munuaisissa
<b>KÄPYLISÄKE</b>	melatoniini	Vuorokausirytmien säätely

# Kilpirauhanen

- Tuottaa kilpirauhashormoneja ja kalsitosiinia
- Sijaitsee kurkunpään alapuolella henkitorven edessä (ks. kuva)
- Yksinkertaista kuutioepiteeliä, joka tuottaa *tyroksiinia* (T4; 93%) ja *trijodityroniinia* (T3)
- T4 → biologisesti aktiiviseksi T3:ksi maksassa
- Hormonituotanto vaatii jodia n. 1 mg viikossa
- Tuotanto tärkeää kaikkien solujen toiminnalle ja keskushermoston kehitykselle
- *Kalsitoniini* lisää kalsiumin varastoitumista luustoon, ja estää sen ja fosfaatin vapautumista luustosta

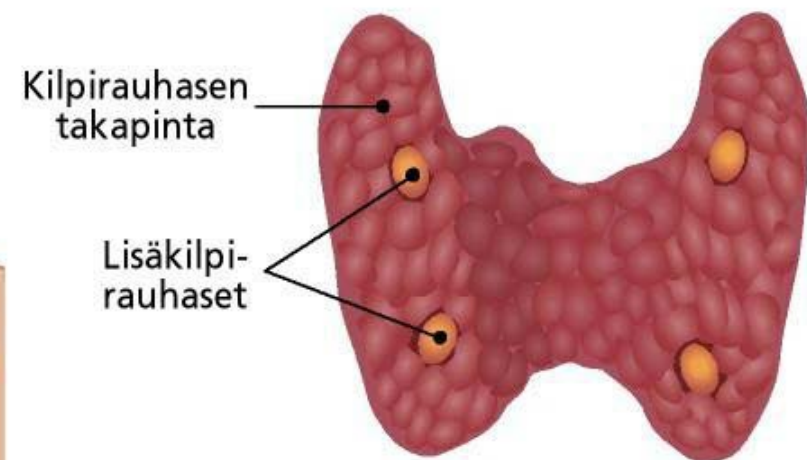
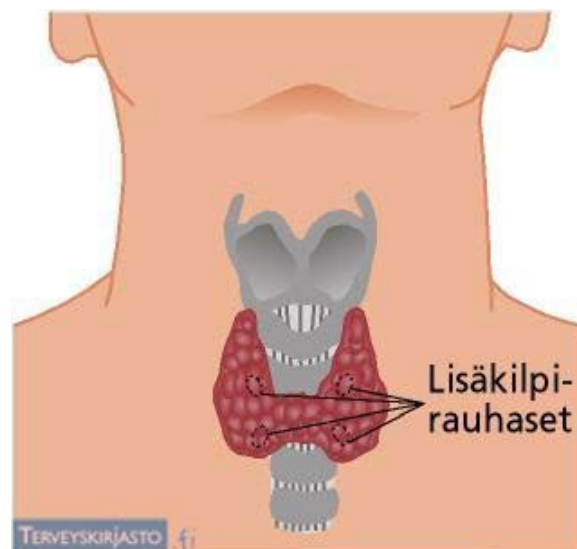


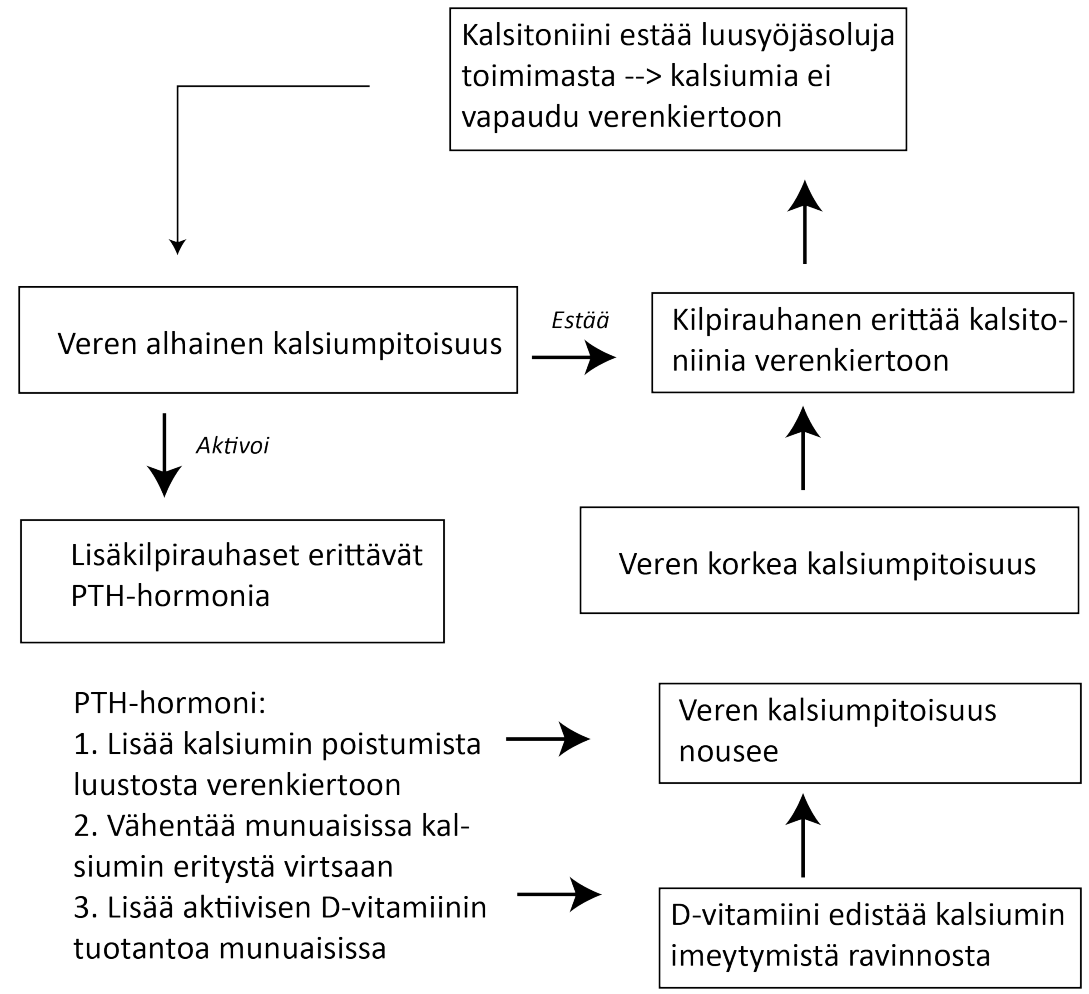
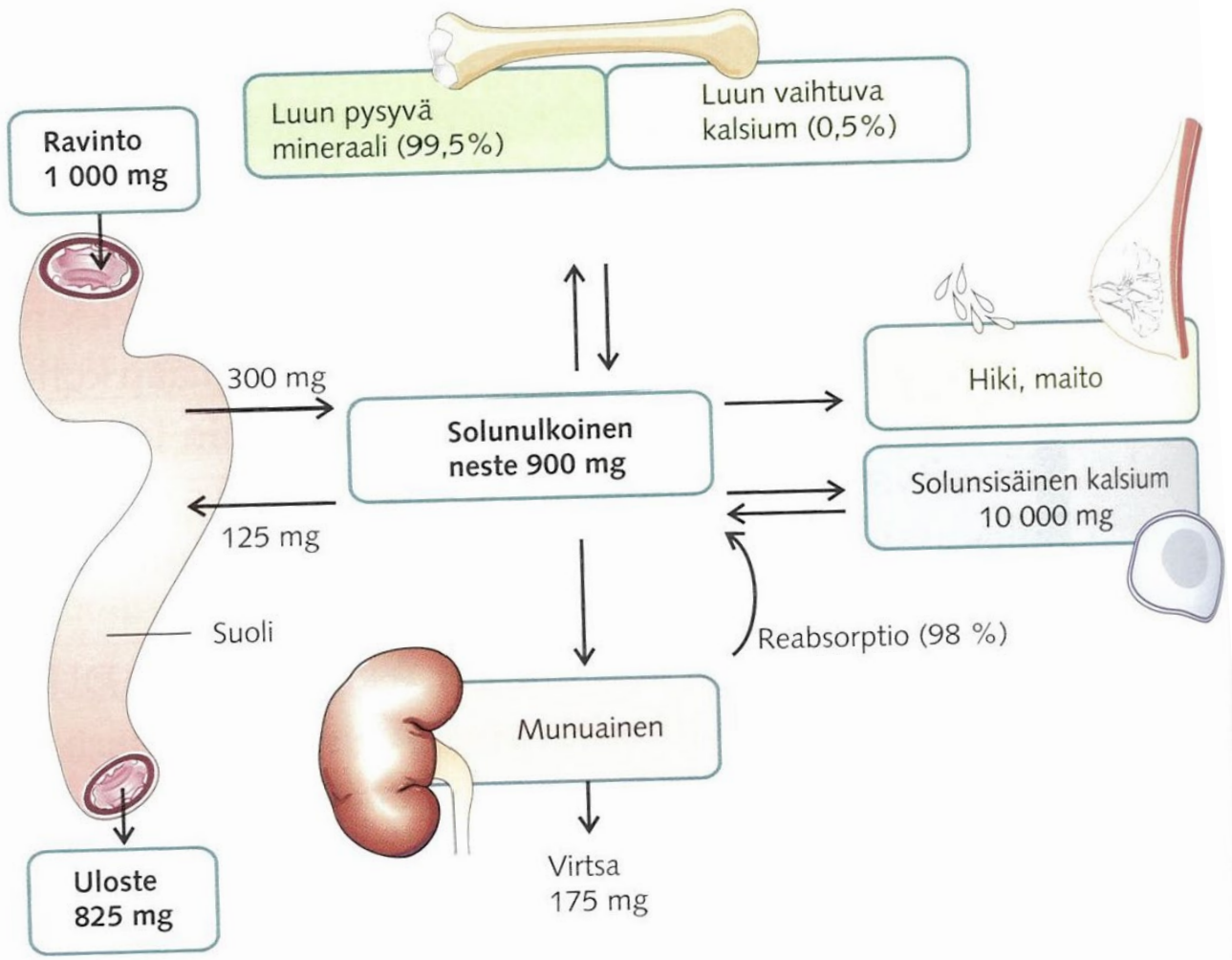
Thyroid gland

Wikipedia

# Lisäkilpirauhaset ja kalsiumaineenvaihdunta

- Sijaitsevat kilpirauhasen takapinnalla
- *Parathormoni*: oleellinen plasman kalsium-, fosfaatti- ja magnesiumaineenvaihdunnan säätelyssä
  - Luunsyöjäsolujen aktivoiminen
  - kalsitriolin eli aktiivisen D3-vitamiinin muodostuminen munuaisissa
  - Kalsiumin takaisinimeytyminen virtsasta
- Kalsium on tärkeä luuston muodostumiselle, hermosolujen ja lihasten toiminnalle, veren hyytymiselle ja entsyymien toiminnalle

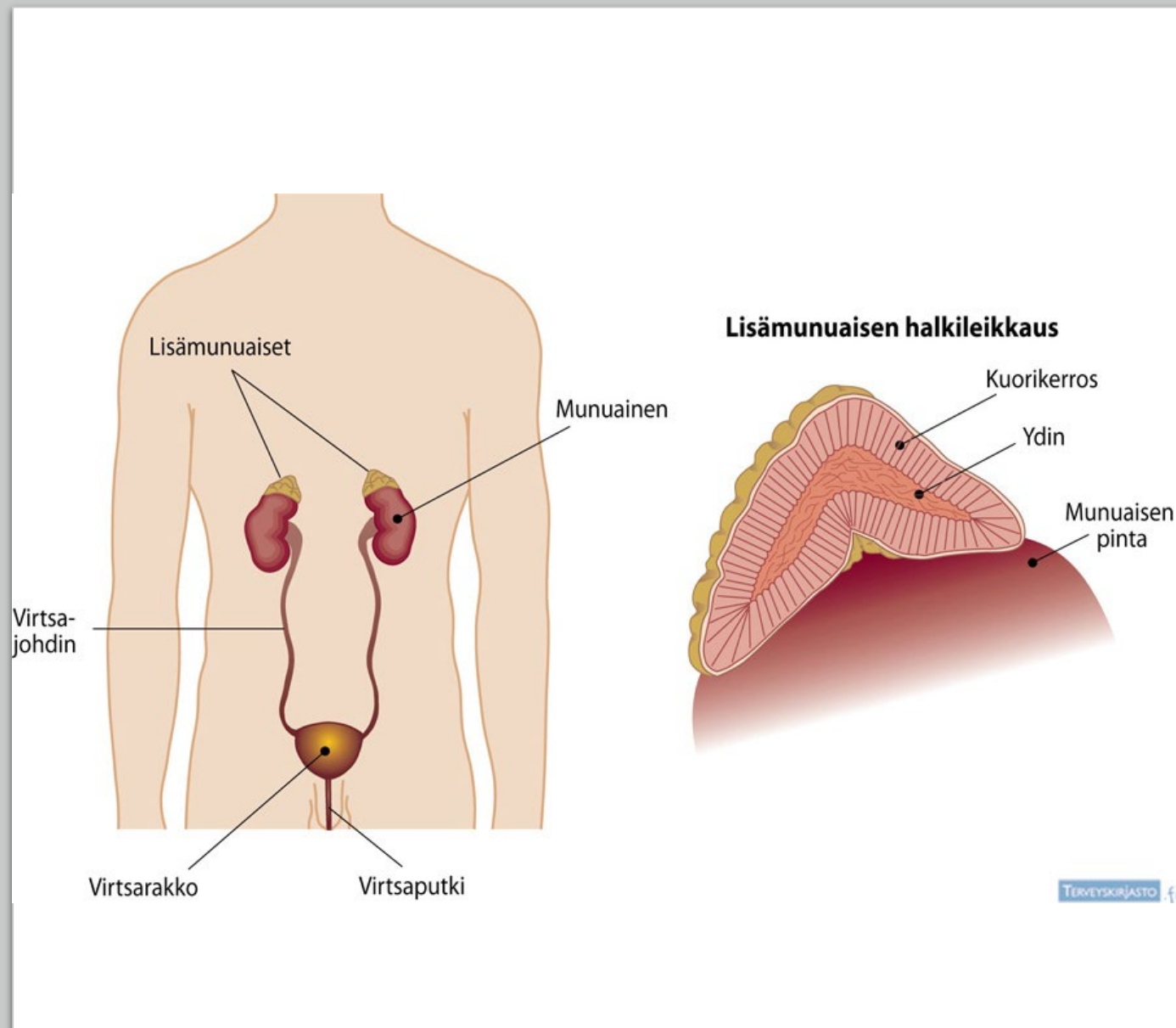




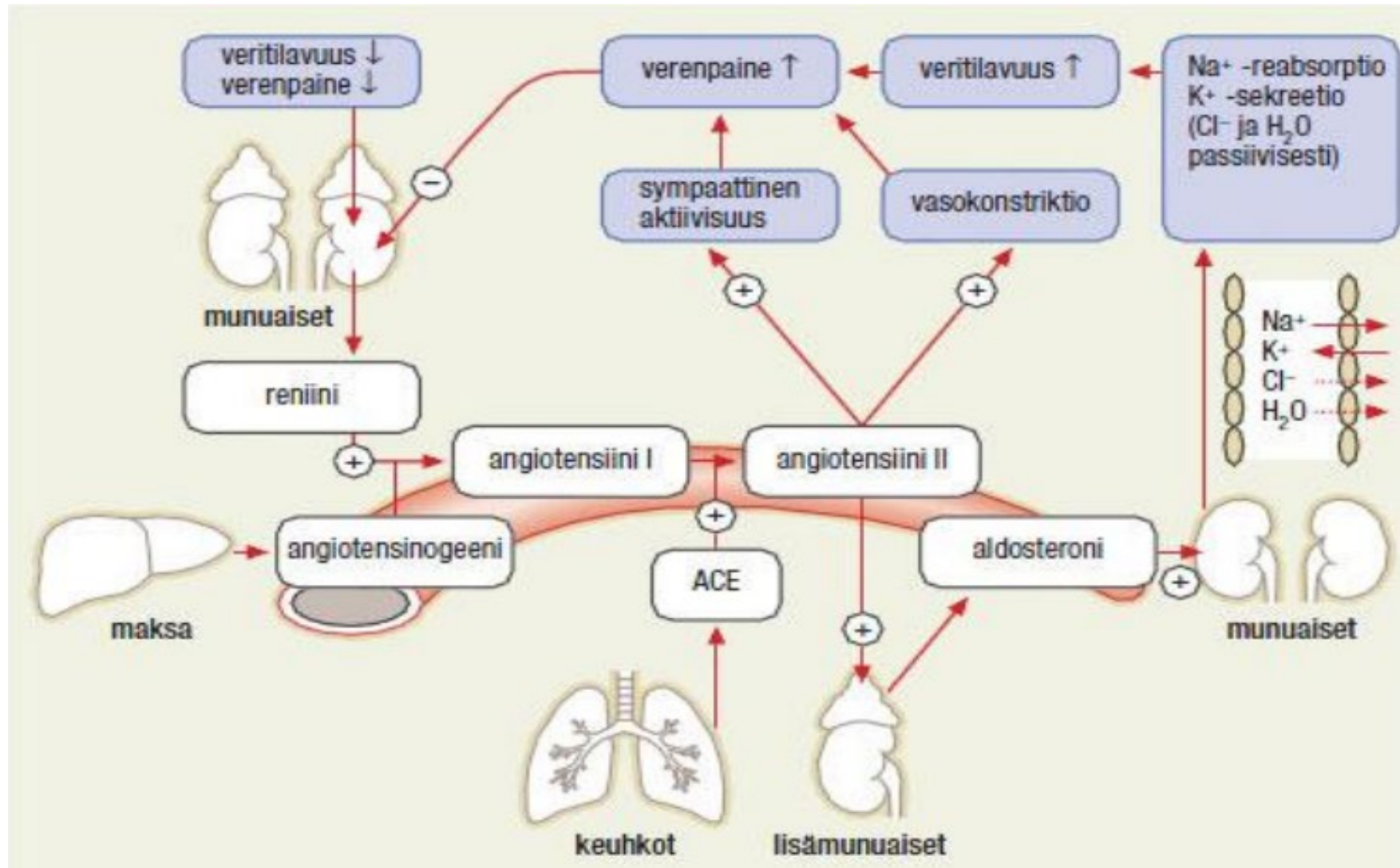
Karhumäki ym. 2017 Päästä varpaisiin

# Lisämunuaiset

- Munuaisten päällä, paino n. 10-14 g
- Suola- ja sokeritasapainon säätely
- Rakenteen ja toiminnan suhteen kaksiosainen (kuori ja ydinosa)
- **Kuori:** aldosteroni, kortisoli, miessukupuoli-hormonit



# Aldosteronin merkitys: $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ -eritys, verenpaineen säätely, veren tilavuuden säätely, happoemästasapaino

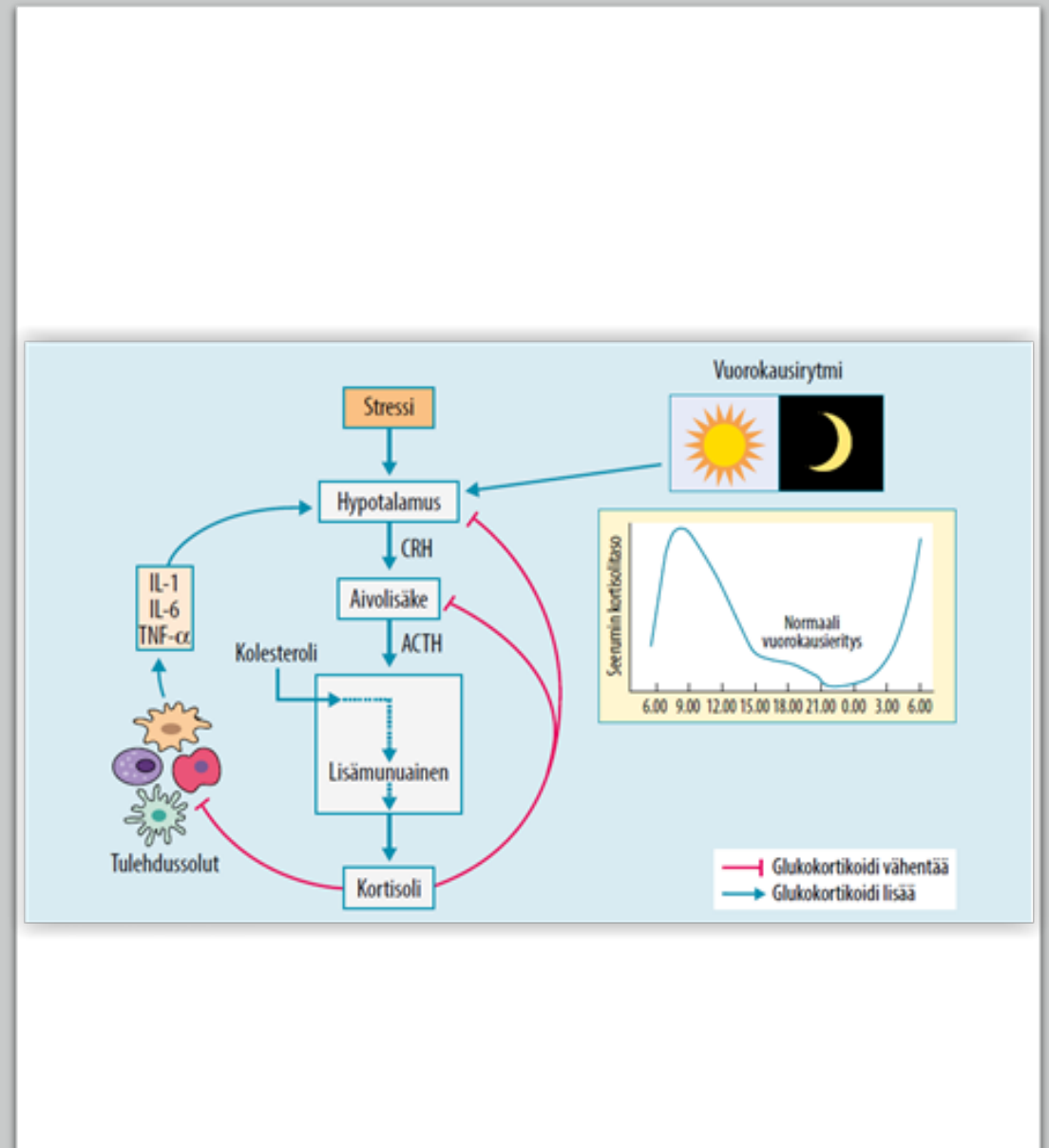


# Kortisoli ja muut glukokortikoidit

Sopeuttavat elimistöä stressiin:

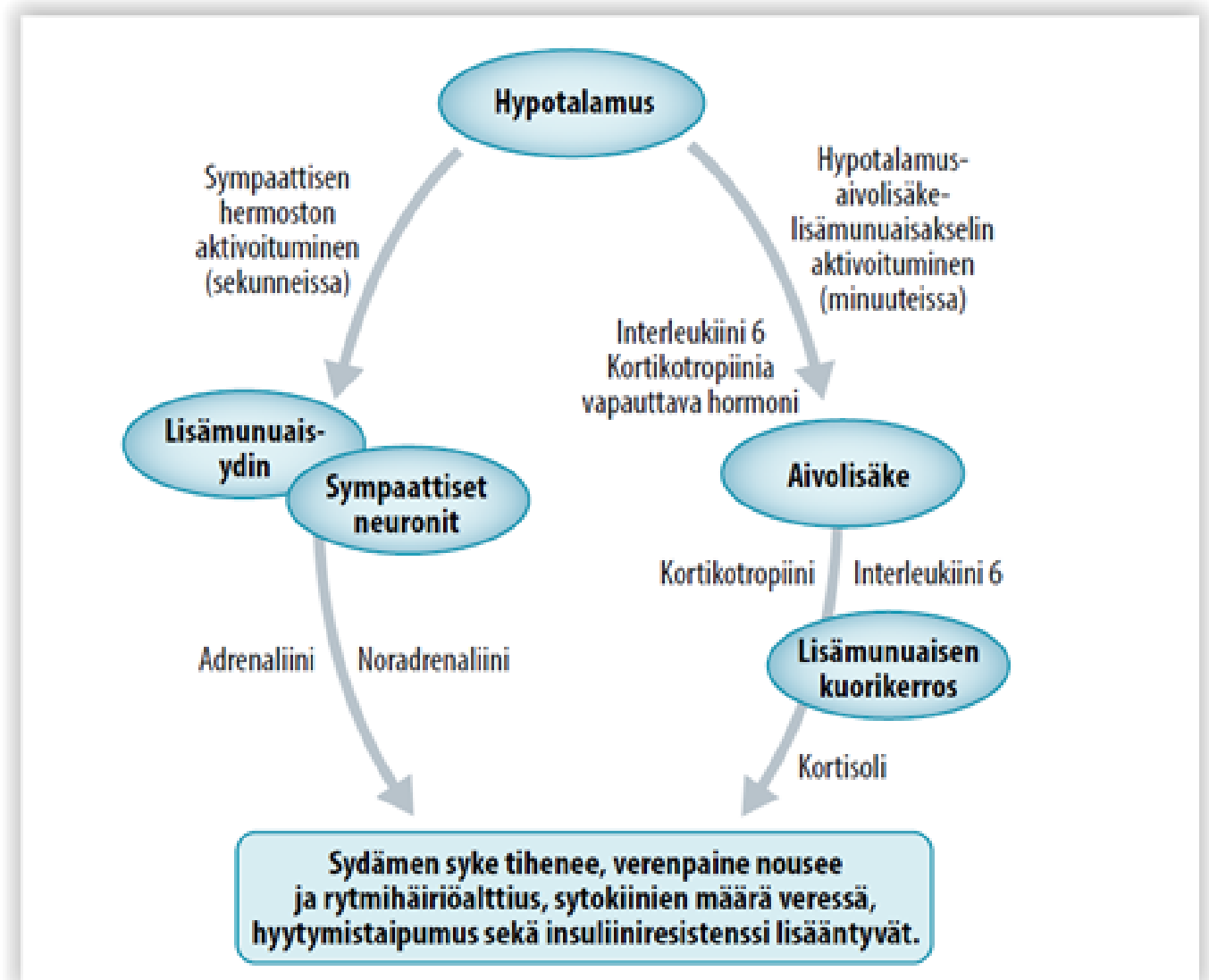
1) Glukoosiaineenvaihdunnan säätely: lisää glukoosin uudismuodostusta maksassa rasvasoluista vapautuvista rasvahapoista ja hajoavista proteiineista

2) Elimistön tulehdusreaktioiden vaimentaminen



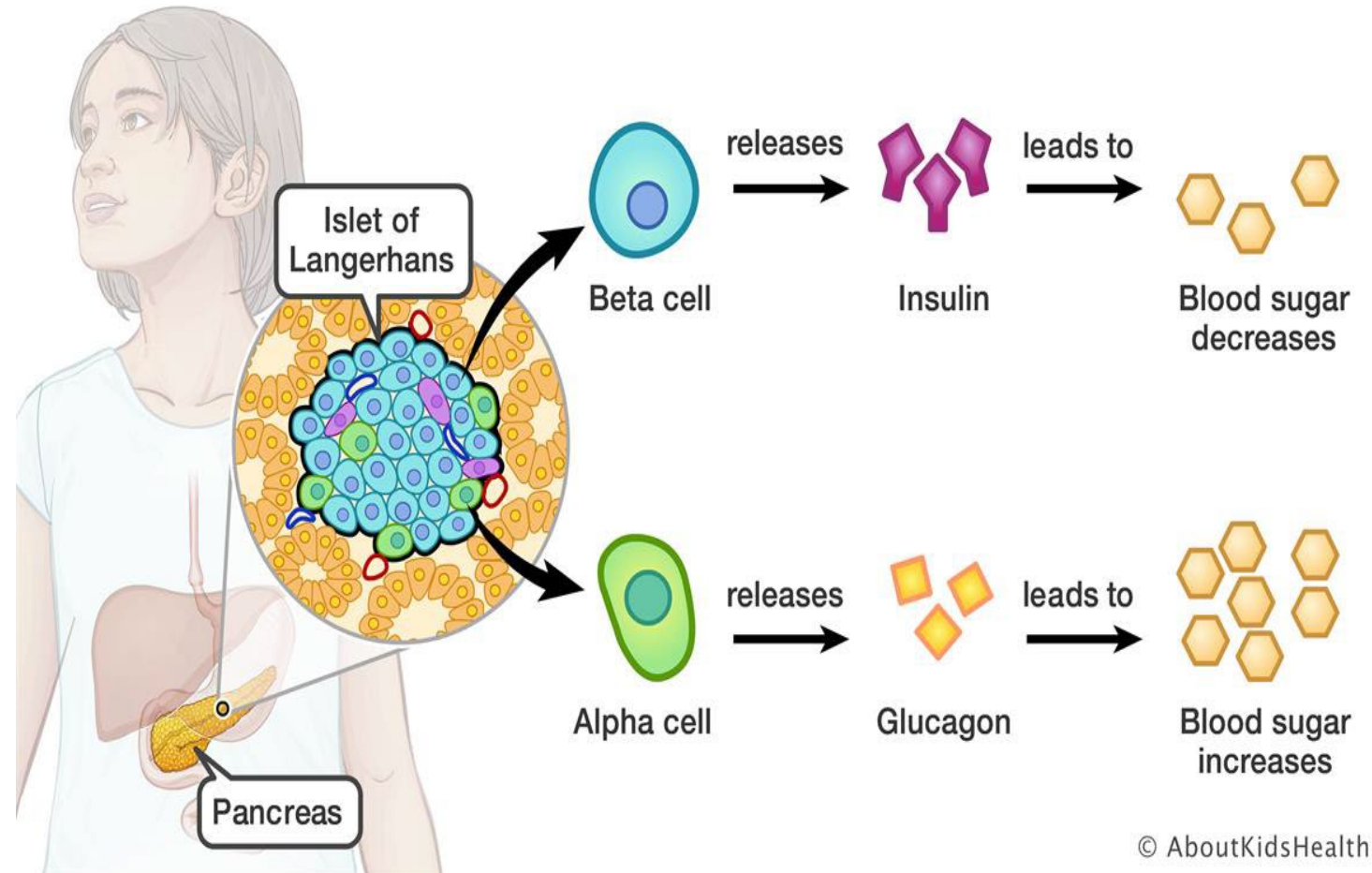


- **Lisämunuaisydin:** katekoliamiinit kuten noradrenaliini ja adrenaliini
- Kuuluu sympaattiseen hermostoon
- Adrenaliini: maksan glykogeeni pilkkoutuu glukoosiksi, sydämen syke nousee, keuhkoputket laajenevat (“fight or flight” -hormoni)
- Noradrenaliini: verisuonten sileiden lihasten supistuminen



# Haima & verensokeripitoisuuden säätely

- Haima toimii sekä umpi-että avoeritteisenä rauhasena
- Suurin osa on avoeritteistä rauhasta → haimanesteen ruuansulatusentsyymit
- Umpieritysosa = Langerhansin saarekkeet (1-2%)
- Glukagoni (alfasoluista) ja insuliini (betasoluista)



Alhainen veren  
glukoosipitoisuus

Korkea veren  
glukoosipitoisuus

Haiman  
Langerhansin saarekkeet

GLUKAGONI

INSULIINI

Maksan glykogeeni  
pilkkoutuu glukoosiksi  
  
Glukoosin uudelleenmuo-  
dostus mm. aminohapoista

Glukoosi pääsee verenkie-  
rosta soluihin  
  
Glukoosin varastoituu  
glykogeeninä ja rasvana  
  
Proteiinisynteesi maksasoluissa  
vilkastuu

Veren glukoosipitoi-  
suus kasvaa

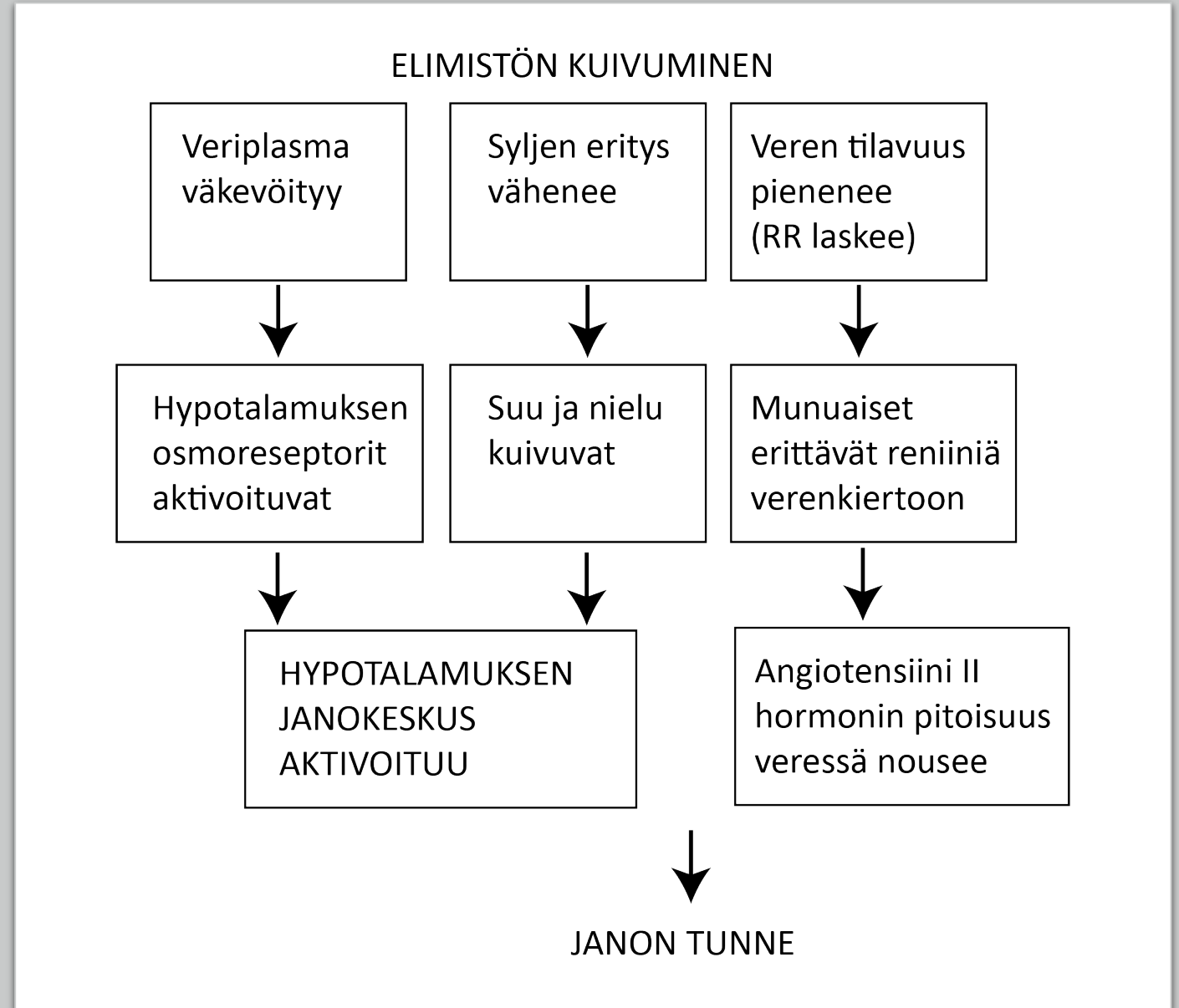
Veren glukoosipitoi-  
suus laskee

Taulukko 12.4 Umpirauhasten hormonieritys

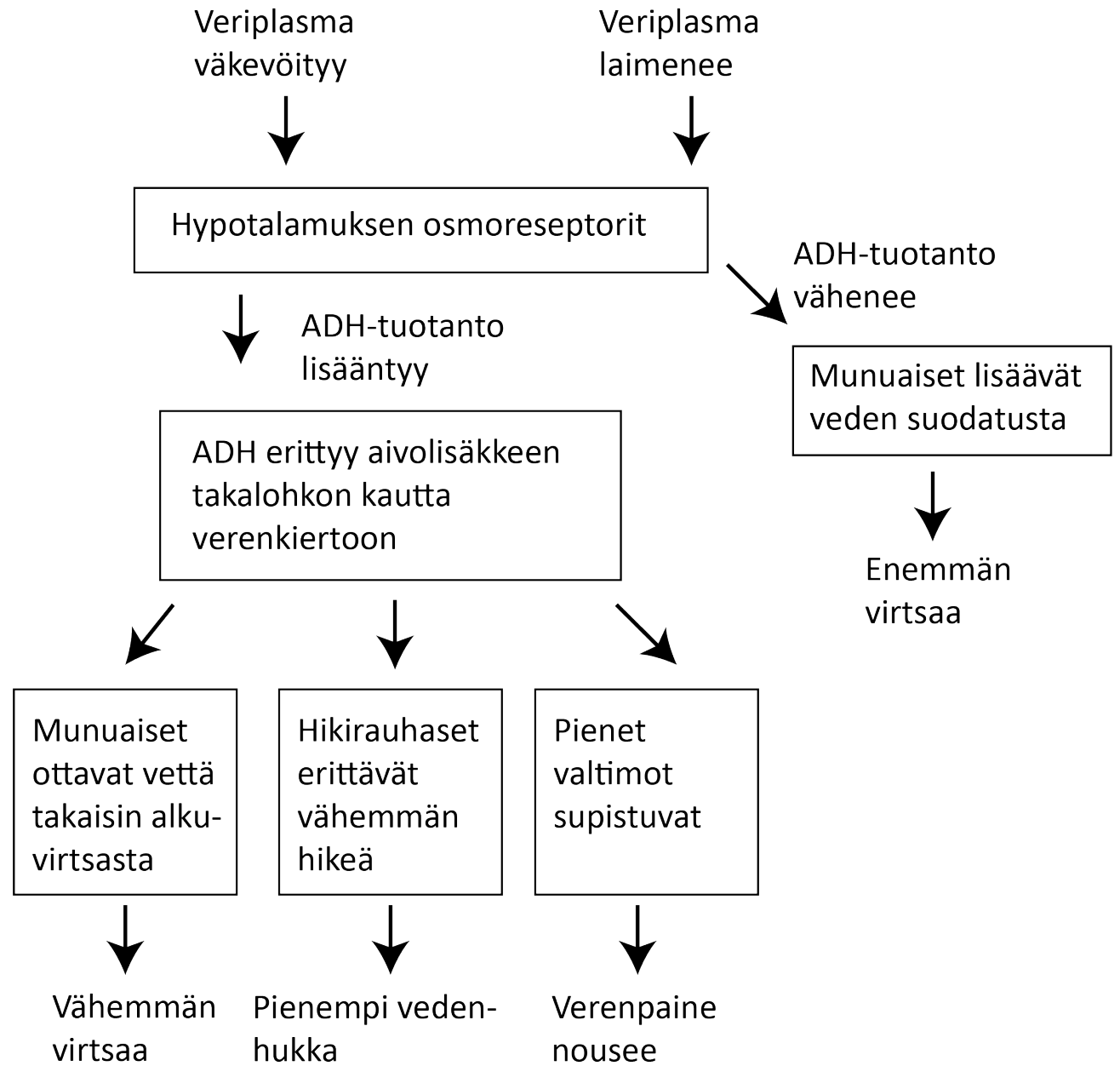
RAUHANEN/KUDOS	HORMONIT	VASTE
KILPIRAUHANEN	1. trijodityroniini (T3) 2. tyroksiini (T4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• yleinen aineenvaihdunnan vilkastuminen</li> <li>• välttämättömiä normaalille kasvulle ja kehitykselle</li> </ul>
	3. kalsitoniini	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kalsiumin siirto verenkierrosta luustoon</li> <li>• solunulkoisen nesteen kalsiumipitoisuuden lasku</li> </ul>
LISÄKILPIRAUHASET	1. parathormoni (PTH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kalsiumin vapautuminen luustosta verenkiertoon</li> <li>• kalsiumin takaisinotto munuaisissa</li> <li>• kalsiumin imeytyminen suolistosta verenkiertoon</li> <li>• fosfaattien erittyminen virtsaan</li> </ul>
LISÄMUNUAISKUORI	1. mineralokortikoidit esim. aldosteroni	<ul style="list-style-type: none"> <li>• natriumin takaisinotto munuaisissa</li> <li>• kaliumin ja vedyn erityminen virtsaan</li> </ul>
	2. glukokortikoidit esim. kortisoli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lisää glukoosin muodostumista rasvoista ja aminohapoista</li> <li>• heikentää immuunivastetta</li> </ul>
	3. androgeenit, estrogeenit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lisääntymisen ja sukupuoliominaisuuksien säätely</li> </ul>
LISÄMUNUAISYDIN	1. adrenaliini 2. noradrenaliini	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mm. fyysisen suorituskyvyn tehostuminen stressissä</li> </ul>
HAIMA Langerhansin saarekkeet	1. insuliini	<ul style="list-style-type: none"> <li>• veren glukoosipitoisuuden aleneminen</li> <li>• glukoosin varastointi glykokeeniksi</li> </ul>
	2. glukagoni	<ul style="list-style-type: none"> <li>• veren glukoosipitoisuuden nousu</li> <li>• glykokeenin pilkkoutuminen glukoosiksi</li> </ul>

# Nestetasapainon säätely

- Solunulkoista nestemäärää ja nesteen väkevyyttä (osmolaliteetti) säädellään jatkuvasti
- Munuaisilla merkittävä rooli: virtsantuotto 0.5-20 l/vrk
- Hypotalamuksen osmoreseptorit aistivat veriplasman väkevyyden

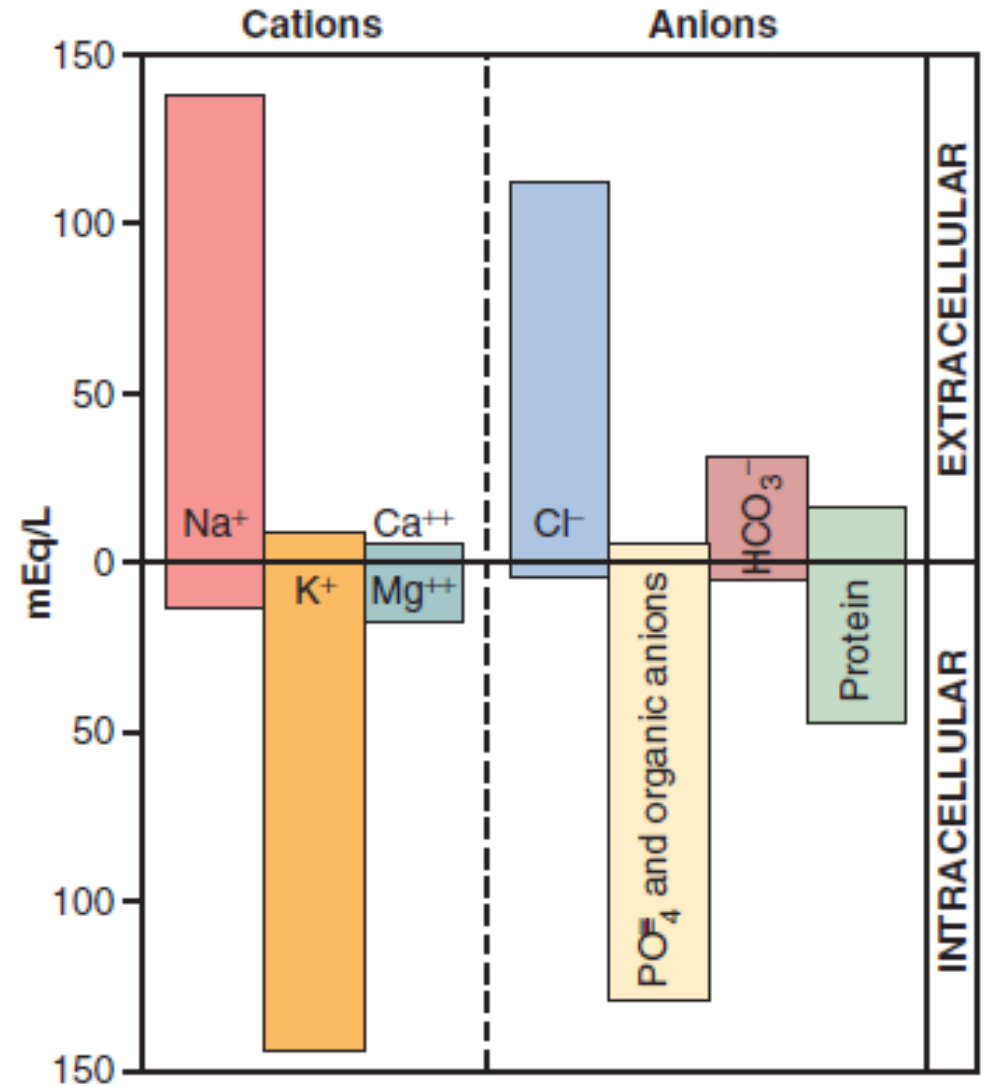


- Kun plasma väkevöityy liikaa, hypotalamus erittää antidiureettista hormonia (ADH)
- ADH muuttaa munuaisten tiehytjärjestelmän solujen läpäisykykyä



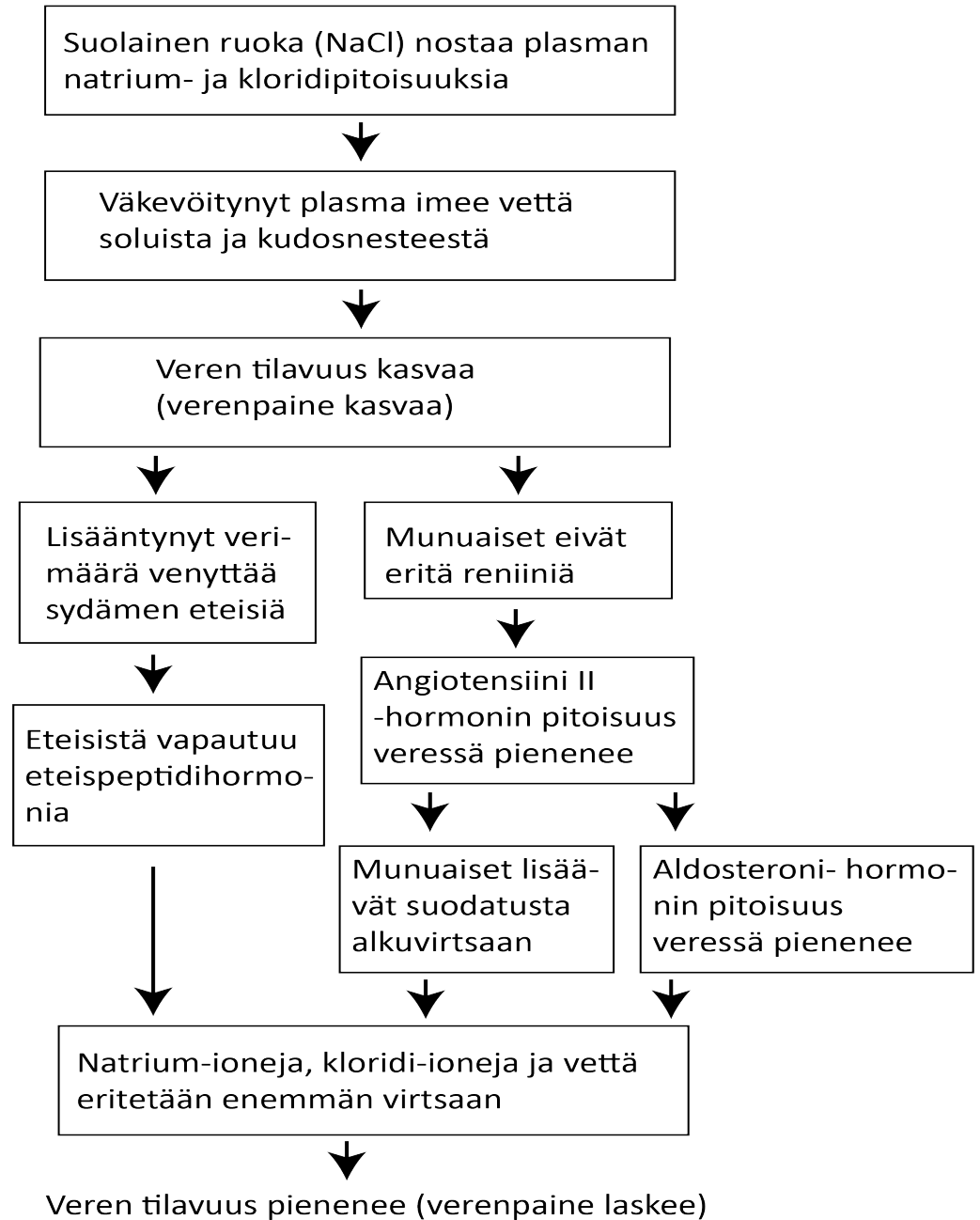
# Suolatasapaino

- Solunsisäisen ja ulkoisen nesteen elektrolyyttikoostumus lähes vakio
- $\text{Na}^+$  - ja  $\text{K}^+$  -ionit tärkeimmät
- $\text{Na}^+$  tärkein solunulkoisen nesteen suola, joka vaikuttaa nesteen väkevyyteen
- Suolatasapainon säätely on läheisessä yhteydessä nestetasapainon säätelyyn



# Natriumin poisto elimistöstä

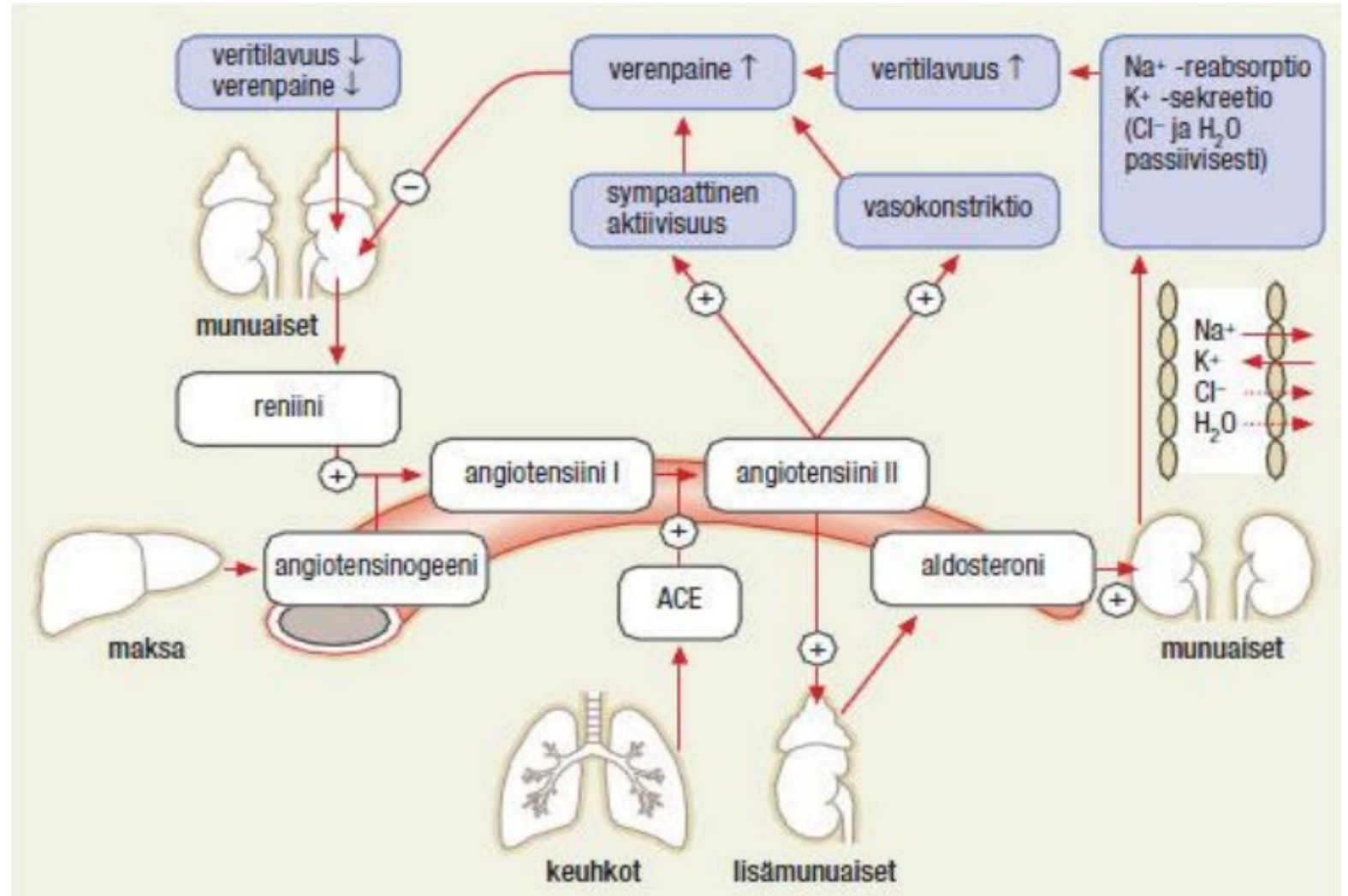
- Eteispeptidihormoni (atriopeptidi) erittyy sydämen eteisistä (ja jkv myös aivoista) → laajentaa verisuonia ja lisää natriumin ja veden eritystä virtsaan → plasman väkevyys laskee
- Liiallinen natriumin kertyminen elimistöön: syynä yleensä hypotalamuksen kasvain tai vamma, oksentaminen, voimakas hikoilu





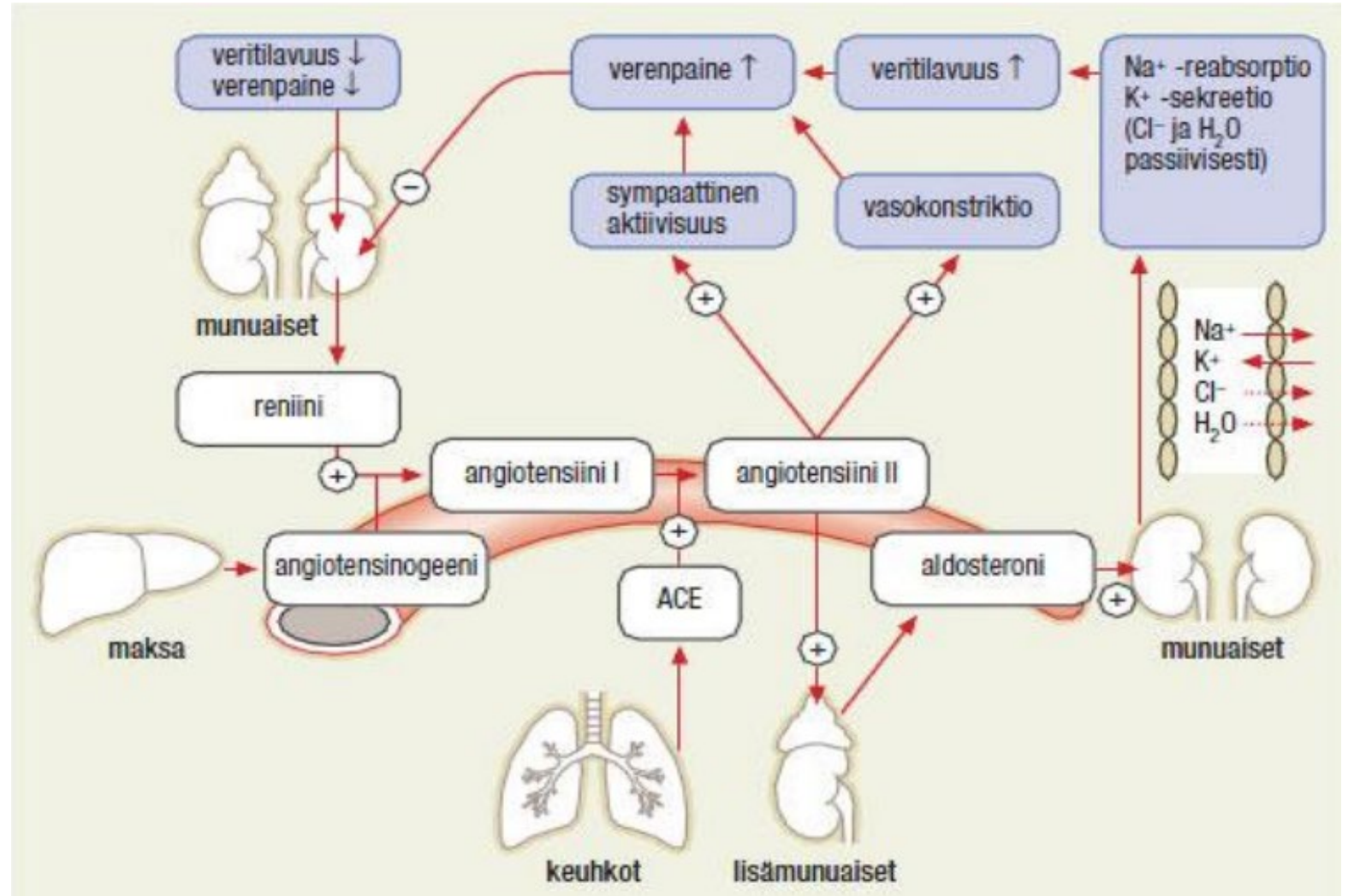
# Natriumin takaisinotto elimistöön

- Reniini-angiotensiinjärjestelmä (RAA)
- Reniini syntyy munuaisissa, ja muuttaa maksan tuottaman angiotensinogeenin angiotensiini I:ksi
- Tämä muuttuu keuhkoissa angiotensiini II:ksi, joka aktivoi aldosteronin erityksen lisämunuaisista

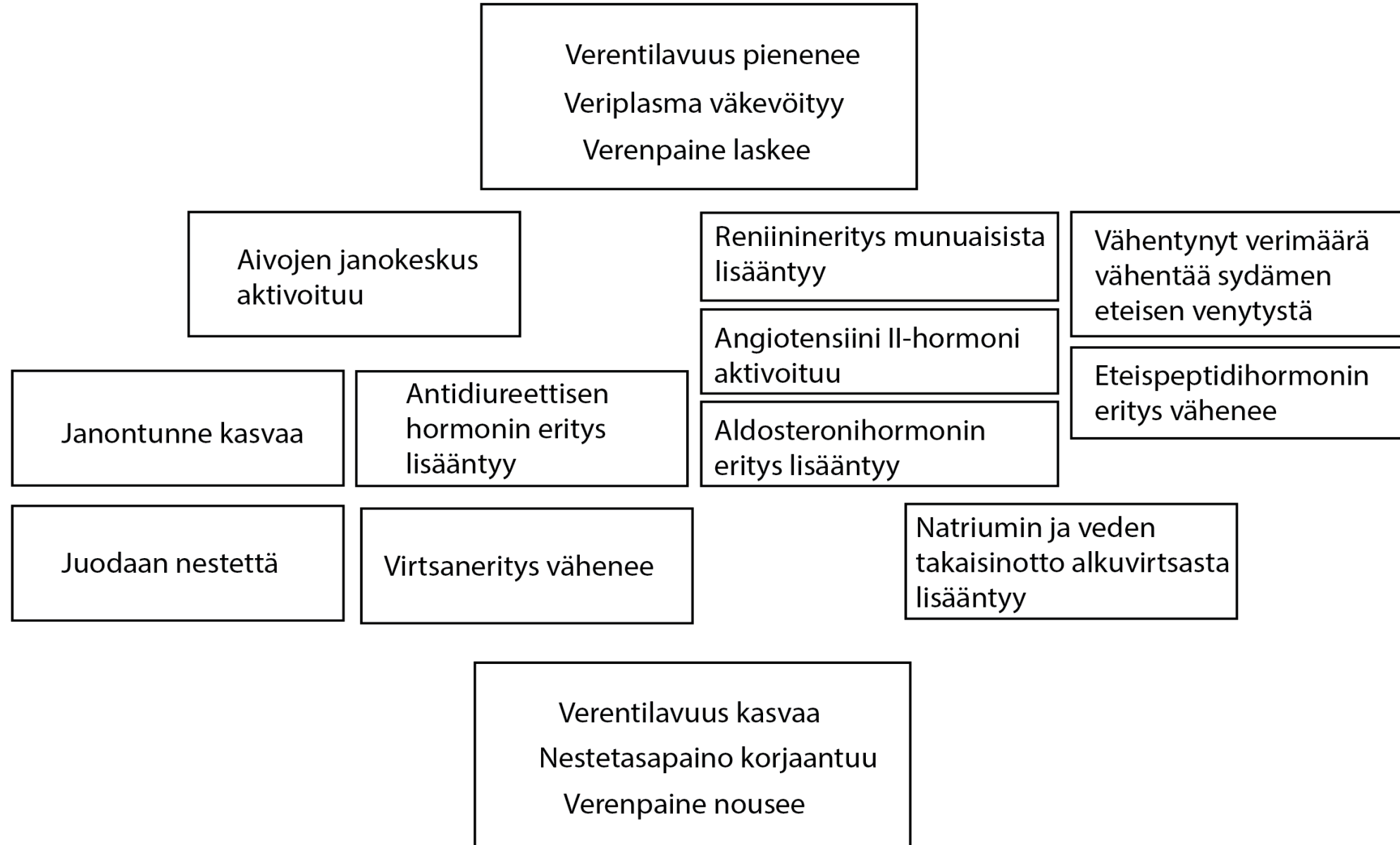


# Natriumin takaisinotto elimistöön

- RAA säätelee ensisij. natriumtasapainoa
- Kuivuminen pienentää Na-varastoja → RAA-systeemi aktivoituu

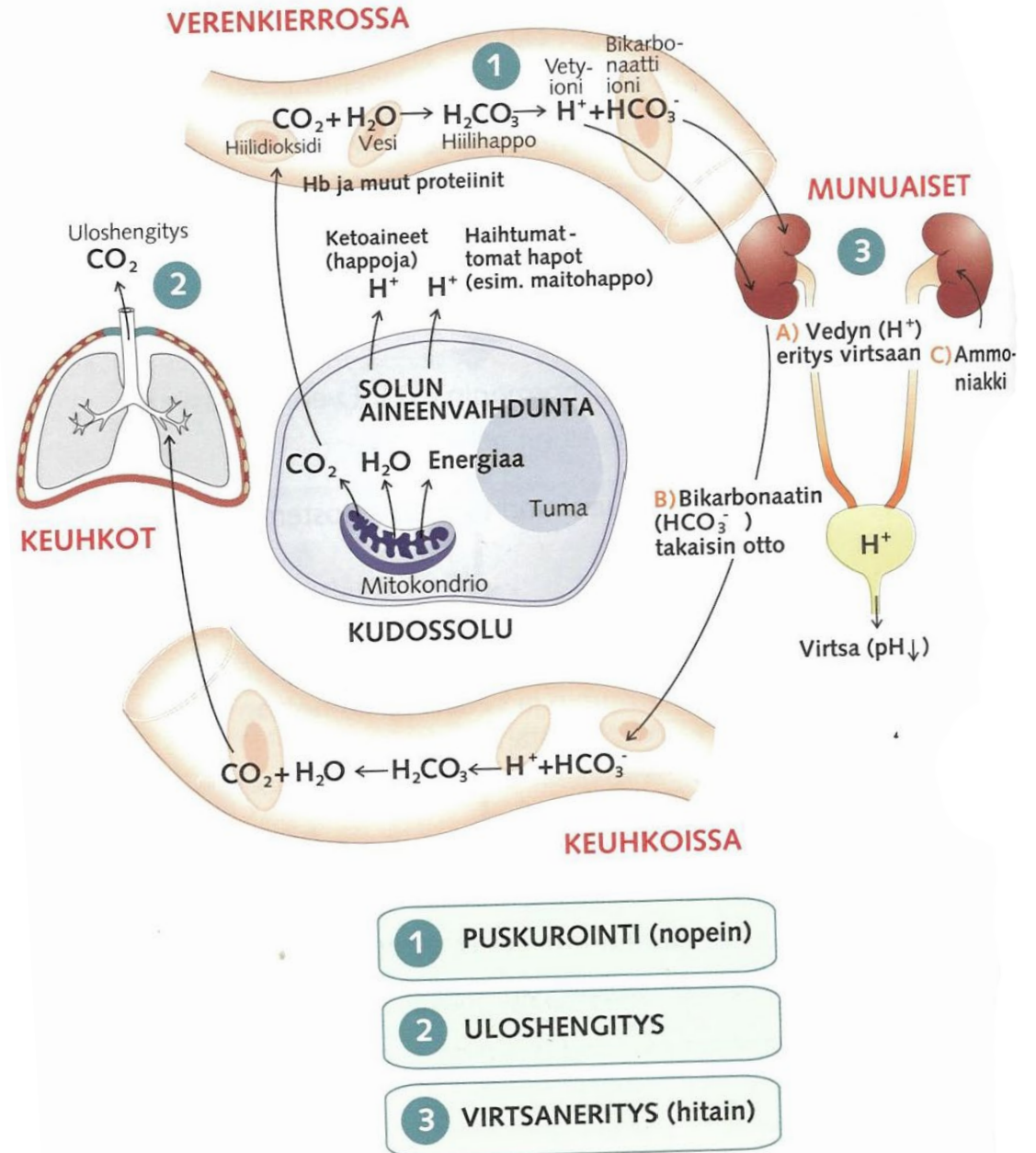


# Verenpaineen säätely

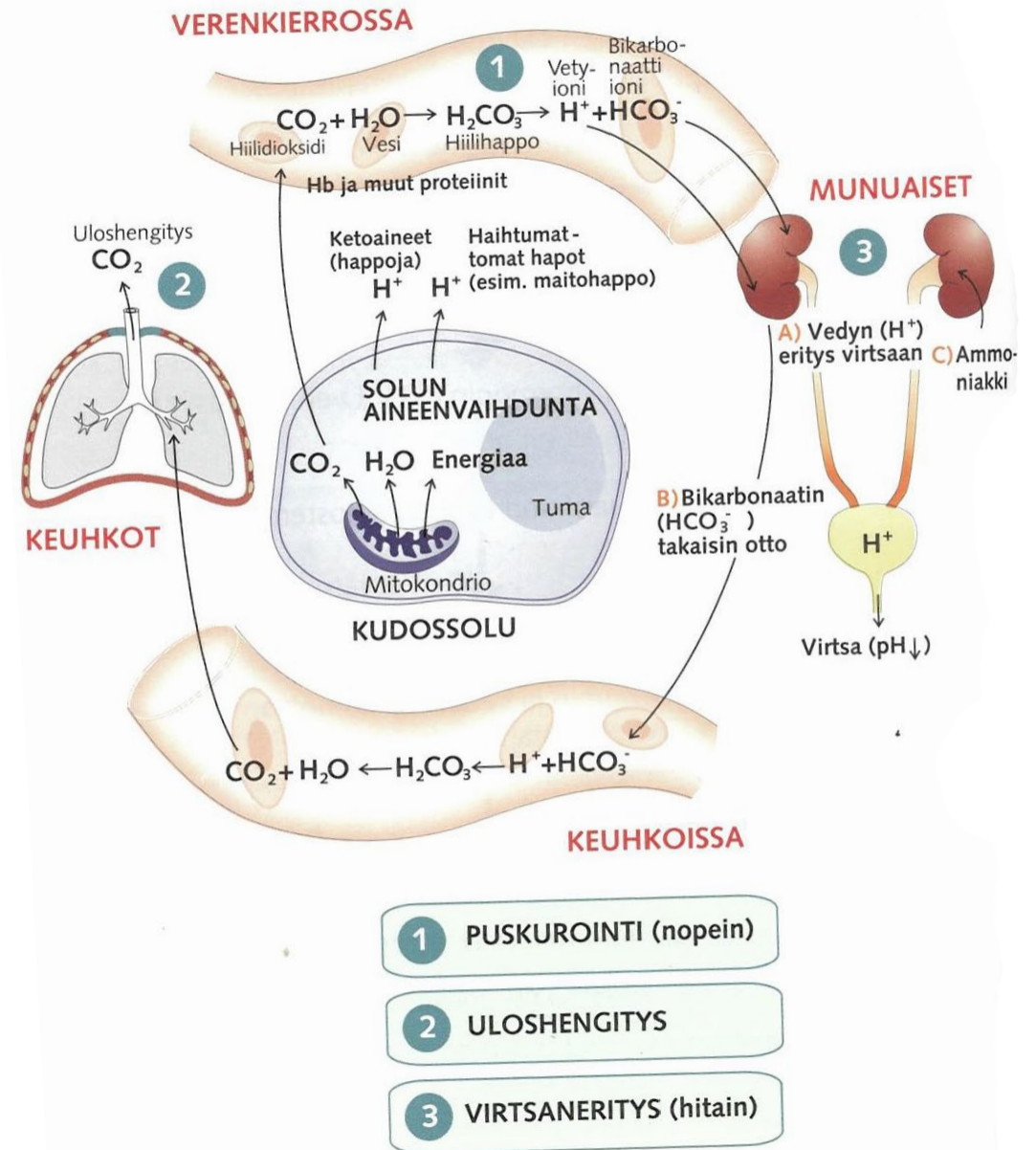


# Happo-emästasapaino

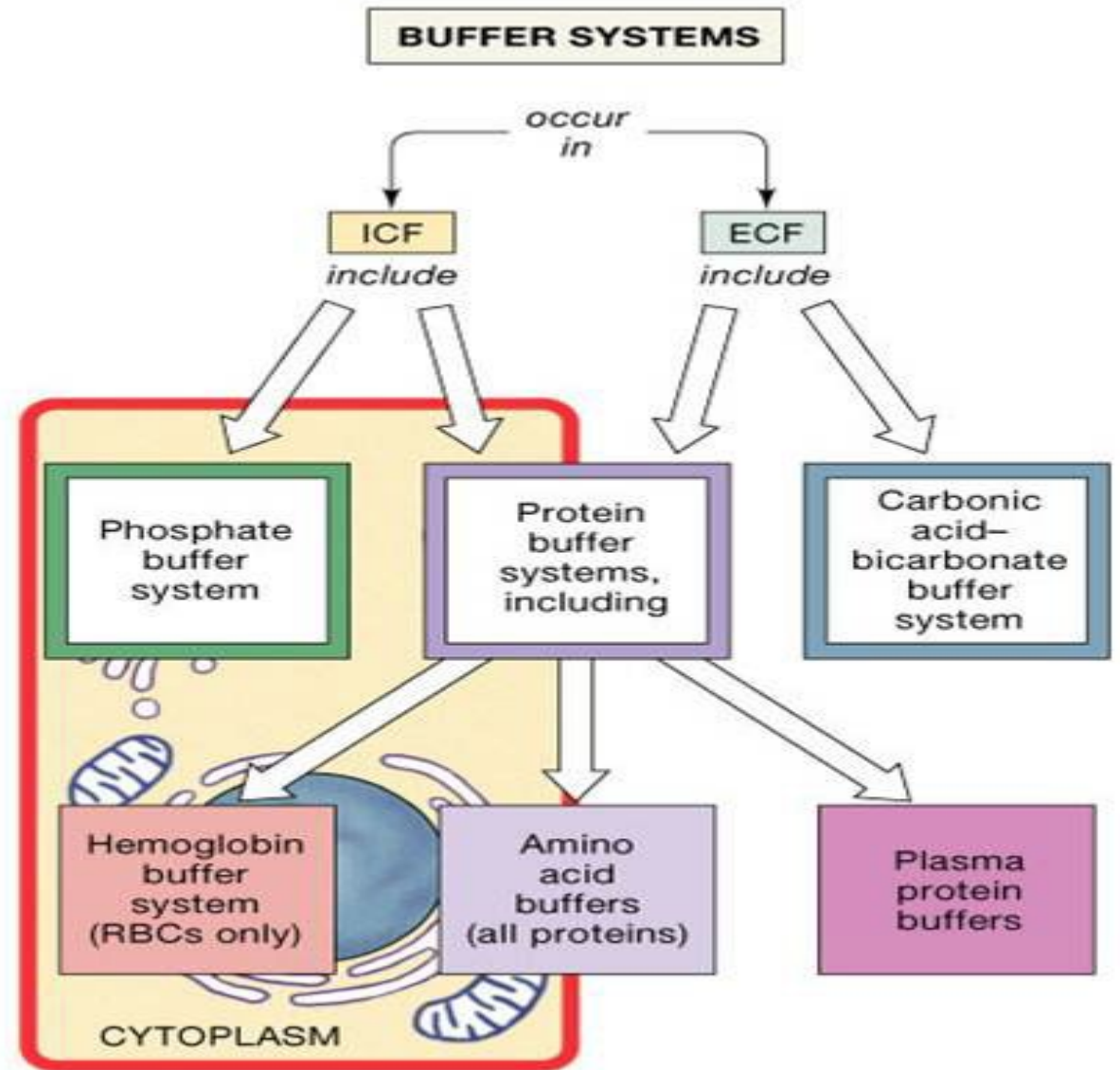
- Aineenvaihduntareaktiot vaativat sopivat happo-emäsolosuhteet
- Esimerkiksi useat entsyymit toimivat vain kapealla pH-alueella
- Elimistöä happamoittavat  $\text{CO}_2$  ja erilaiset aineenvaihdunnassa syntyvät epäorgaaniset hapot (fosfori-, rikki-, maito- ja rasvahapot)
- Esim. vatsahapon pH 1.0-2.0, veren 7.35-7.45



- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
- **pH pidetään vakaana:** Kemialliset puskurijärjestelmät (1), hengitys (2), ja munuaisten eritystoiminta (3)
- **Kemialliset puskurijärjestelmät** ovat nopeita, mutta rajallisia



- Hiilihappo-bikarbonaattijärjestelmä, fosfaatit ja proteiinit (mm. **hemoglobiini ja** plasman muut proteiinit kuten albumiini) puskuroivat vetyioneja
- CO<sub>2</sub> poistaminen **hengityksen** kautta
- **Munuaiset** pystyvät poistamaan suuria määriä H<sup>+</sup>-ioneja ja ottamaan takaisin alkuvirtsaan eritettyjä bikarbonaatteja



- *Respiratorinen asidoosi:*  
keuhkosairaudesta tai hengitysvajauksesta johtuva CO<sub>2</sub>:n kertyminen
- *Respiratorinen alkaloosi:*  
hyperventilaatio
- *Metabolinen asidoosi:*  
munuaisten vajaatoiminta, ketoaineiden kertyminen insuliinipuute-diabeteksessä
- *Metabolinen alkaloosi:*  
oksentelu

