

# Veiledning til oppgaver til hormonsystemet

Dette er en veiledning til løsning av oppgavene i boka om hormonsystemet. Noen av oppgavene kan besvares kort, mens andre krever mer utfyllende besvarelser, for eksempel mer omfattende beskrivelser av anatomi eller redegjørelser for fysiologiske prosesser. Mange av de større oppgavene kan løses på noe forskjellige måter, og løsningsforslagene som veiledningen beskriver, er å betrakte som eksempler og ikke som en fasit. I flere av disse oppgavene er det i veiledningen ikke skrevet en fullstendig tekstbesvarelse, men vist til momenter som bør være med i besvarelsen.

## Hormoner og endokrine kjertler

1. En eksokrin kjertel er en kjertel som utskiller stoffer gjennom en utførselsgang til en overflate.
2. En endokrin kjertel utskiller hormoner til blodet.
3. Når hormoner utskilles til vevsvæsken, kalles det parakrin sekresjon.

## Kroppens hormonproduserende kjertler

1. Beliggenheten til noen endokrine kjertler:
  - a. Epifysen ligger på undersiden av hjernen.
  - b. Hypotalamus ligger i mellomhjernen.
  - c. Hypofysen ligger rett under hypotalamus og er forbundet med hypotalamus gjennom hypofysestilken.
  - d. Skjoldkjertelen ligger foran på halsen, rett nedenfor skjoldbrusken.
  - e. Biskjoldkjertlene ligger på baksiden av skjoldkjertelen.
  - f. Binyrene ligger på toppen av nyrene.
  - g. Bukspyttkjertelen ligger i øvre del av abdomen (bukhulen).
  - h. Eggstokkene ligger i bekkenet på hver side av livmoren (uterus).
  - i. Testiklene ligger i pungen (skrotum).
2. Andre hormonproduserende organer er hjertet, nyrene, leveren, fordøyelseskanalen, morkaken.

## Hormonenes kjemiske struktur

1. En hormonreseptor er et mottakermolekyl som et hormon kan bindes til på de organene hormonet skal påvirke (målorganene for hormonet).
2. Et steroidhormon er et hormonmolekyl som er bygget opp med utgangspunkt i kolesterol.
3. Steroidhormoner er en type lipider (fettstoffer). Det gjør at de ikke kan løses i vann. Blodplasma består for en stor del av vann, og steroidhormoner kan derfor ikke løses i blodplasma. Steroidhormoner må transporteres i blodet ved hjelp av transportproteiner, oftest albumin, som er et protein som finnes i plasma.

4. Et peptidhormon er bygget opp av kjeder med aminosyrer. Peptider består av færre enn 50 aminosyrer. Et proteinhormon er også bygget opp av kjeder med aminosyrer. Proteiner består av minst 50 aminosyrer.
5. Peptid- og proteinhormoner er vannløselige og kan vanligvis transporteres i blodplasma uten å bindes til transportproteiner.

### Regulering av hormonsekresjonen

1. Negativ tilbakekoplingskontroll (negativ feedback) er en måte å regulere mengden i blodet av mange hormoner som utskilles fra organer som er påvirket av hypothalamus og hypofysen.

Et eksempel på dette er reguleringen av kortisolnivået i plasma. Kortisol produseres i binyrebarken, og sekresjonen av kortisol stimuleres av adrenokortikotropt hormon (ACTH) fra hypofysen. Sekresjonen av ACTH er igjen stimulert av ACTH-RH (et «releasing hormone») fra hypothalamus.

Negativ tilbakekoplingskontroll innebærer at dersom kortisolnivået i blodet stiger, vil det påvirke hypothalamus til å utskille mindre ACTH-RH. Dette medfører at det utskilles mindre ACTH fra hypofysen, noe som igjen gjør at utskillingen av kortisol fra binyrebarken reduseres. I tillegg vil økt kortisolnivå i blodet direkte hemme hypofysens sekresjon av ACTH, og også dette bidrar til at kortisolnivået i blodplasma reduseres. Begge disse reguleringsmåtene sikrer at nivået av kortisol i blodet ikke blir for høyt.

Hvis kortisolnivået i blodet blir for lavt, vil den hemmende virkningen kortisol har på utskillingen av ACTH-RH (fra hypothalamus) og ACTH (fra hypofysen), avta. Dermed stimuleres økt sekresjon av kortisol fra binyrebarken, og nivået av kortisol i blodet stiger igjen.

(Denne oppgaven kan også besvares ved å velge andre eksempler på hormoner som reguleres ved hjelp av negativ tilbakekoplingskontroll).

### **Hormoner som produseres i hypotalamus og i hypofysen**

- 1.** Hormonene som utskilles fra hypofysens baklapp, er:
  - Oksytocin
  - Antidiuretisk hormon (ADH)
- 2.** Hormonene som utskilles fra hypofysens forlapp, er:
  - Prolaktin
  - Veksthormon
  - Adrenokortikotropt hormon (ACTH)
  - Tyreoidestimulerende hormon (TSH)
  - Follikkelstimulerende hormon (FSH)
  - Luteiniserende hormon (LH)
- 3.** «Releasing hormones» er hormoner fra hypotalamus som stimulerer sekresjon av hormoner fra hypofysens forlapp.  
«Inhibiting hormones» er hormoner fra hypotalamus som hemmer sekresjon av hormoner fra hypofysens forlapp.
- 4.** Oksytocin stimulerer sammentrekning av glatte muskelceller i brystkjertlene, og dermed stimuleres sekresjonen av brystmelk.  
Oksytocin stimulerer også glatte muskelceller i myometri (muskellaget) i livmoren, dette er grunnlaget for rier. Oksytocin har derfor en viktig funksjon i forbindelse med fødsel.
- 5.** Her bør følgende momenter være med i forklaringen:
  - ADH er et viktig hormon i reguleringen av kroppens vannbalanse.

- Sekresjonen av ADH øker når osmolariteten i plasma er høy (det vil si når det er underskudd på væske i kroppen)
  - Antidiuretisk hormon (ADH) stimulerer åpning av vannkanaler i distale tubulus og samlerør i nyrene. Dermed reabsorberes mer vann fra tubulussystemet og tilbakeføres til blodet.
  - Som følge av dette reduseres urinproduksjonen, og mer vann holdes tilbake i kroppen.
- 6.** Prolaktin stimulerer produksjon av brystmelk i melkekjertlene.
- 7.** Veksthormon stimulerer:
- lengdevekst i skjelettet
  - proteinsyntese
  - nydanning av glukose i leveren (øker dermed blodglukose)
- 8.** Adrenokortikotrop hormonn (ACTH) stimulerer sekresjon av kortisol fra binyrebarken.
- 9.** Tyreoideastimulerende hormonn (TSH) stimulerer sekresjon av hormonene trijodtyronin (T3) og tyroksin (T4) fra skjoldkjertelen.
- 10.** Follikkelstimulerende hormonn (FSH) og luteiniserende hormonn (LH) påvirker kjønnskjertlene (eggstokkene hos kvinner og testiklene hos menn).

### **Binyrenes hormonproduksjon**

- 1.** I binyrebarken produseres kortisol, aldosteron og androgener.
- 2.** Aldosteron stimulerer reabsorpsjon av natrium og sekresjon av kalium i distale tubulus og samlerør i nyrene. Når natrium

reabsorberes, følger vann med ved osmose. Aldosteron bidrar derfor til å øke mengden av både natrium og vann i kroppen, mens mengden kalium reduseres.

3. Her bør følgende momenter være med i redegjørelsen:
  - Sekresjonen av aldosteron stimuleres av renin-angiotensin-aldosteronsystemet. Dette systemet aktiveres når blodstrømmen til nyrene er redusert (det skjer f.eks. når blodtrykket er lavt).
  - I renin-angiotensin-systemet er både leveren, nyrene, lungene og binyrene involvert:
    - Enzymet renin (som dannes i nyrene) omdanner plasmaproteinet angiotensinogen (som dannes i leveren) til angiotensin I.
    - Angiotensin I omdannes til angiotensin II ved hjelp av angiotensinkonverterende enzym (ACE) som finnes i veggene av lungekapillærer.
    - Angiotensin II stimulerer sekresjon av aldosteron fra binyrebarken.
4. Sekresjonen av kortisol stimuleres av adrenokortikotropt hormon (ACTH) fra hypofysens forlapp.
5. Her bør følgende momenter være med i redegjørelsen:
  - Øker blodglukose ved
    - å stimulere nedbryting av glykogen til glukose i leveren og musklene
    - å stimulere nydanning av glukose i leveren (glukoneogenese)
  - Stimulerer nedbryting av proteiner (øker dermed mengden aminosyrer i blodet).
  - Stimulerer nedbryting av fett (øker dermed fettsyrekonsentrasjonen i blodet).

- Hemmer DNA-syntese.
  - Hemmer immunsystemet på forskjellige måter.
- 6.** Androgener fra binyrebarken påvirker seksualatferd hos kvinner. Androgenene kan hos kvinner omdannes til østrogener i fettvev og er derfor en kilde til østrogen etter menopause.
- 7.** I binyremargen produseres hormonene adrenalin, noradrenalin og dopamin, som med en samlebetegnelse kalles katekolaminer.
- 8.** Følgende momenter bør være med i redegjørelsen:
- Sekresjonen av adrenalin stimuleres av det sympatiske nervesystemet.
  - Når det sympatiske nervesystemet stimuleres, stimuleres derfor også sekresjonen av adrenalin.
  - Adrenalin transporteres med blodet og bindes til alfa-reseptorer og betareseptorer på målorganene. Dette er samme reseptorer og samme målorganer som det sympatiske nervesystemet virker på. Det gjør at adrenalin forsterker virkningene av det sympatiske nervesystemet på en rekke forskjellige organer.
  - Sentrale virkninger:
    - Øker hjertets minuttvolum.
    - Blodårer i hud og indre organer trekkes sammen.
    - Blodtrykket stiger (en følge av at hjertets minuttvolum øker, og at blodårer i hud og indre organer trekkes sammen).
    - Øker blodstrømmen til hjertemuskulatur og til arbeidende muskler.
    - Øker blodglukosen ved å stimulere nedbryting av glycogen til glukose i leveren.

- Øker fettsyrekonsentrasjonen i blodet ved å stimulere nedbryting av fett.
- Bronkier og bronkioler utvides.
- Pupillene utvides.
- Spyttproduksjonen reduseres.
- Tarmbevegelser reduseres.

## Skjoldkirtelens hormonproduksjon

1. Skjoldkirtelen produserer trijodtyronin (T3) og tyroksin (T4). I tillegg produserer skjoldkirtelen kalsitonin.
2. Her bør følgende momenter være med i redegjørelsen:
  - Trijodtyronin (T3) og tyroksin (T4) bindes til reseptorer i de fleste organer og vev.
  - Virkninger:
    - Stimulerer basalmetabolismen i kroppens celler (stoffskiftet). Det innebærer at oksygenforbruket og energi-omsetningen øker. Dette gjør at også varmeproduksjonen øker, og dermed også svetteproduksjonen.
    - Øker respirasjonsfrekvensen.
    - Øker hjertefrekvensen (kan gjøre at blodtrykket stiger).
    - Stimulerer det sympatiske nervesystemet.
    - Øker nerveledningshastigheten.
    - Viktige for utviklingen av nervesystemet, og dermed hjernen (både i fosterlivet og seinere).
    - Har positiv innvirkning på hukommelse, våkenhet og oppmerksomhet.
    - Stimulerer lengdeveksten.
    - Viktige for normal funksjon i kjønnskirtlene.
    - Stimulerer opptak av LDL (low density lipoprotein) fra blodet til leveren.



## Bukspyttkjertelens hormonproduksjon

1. Det endokrine vevet i bukspyttkjertelen kalles langerhanske øyer.
2. Insulin produseres i betacellene i de langerhanske øyer i pankreas (bukspyttkjertelen).
3. Her bør følgende momenter være med i redegjørelsen:
  - Sekresjonen av insulin fra betacellene stimuleres når glukosekonsentrasjonen i blodet (blodglukosen) øker. Dette skjer når glukose er tatt opp i blodet etter et måltid.
  - Insulin bindes til insulinreseptorer i cellemembranene. Når insulin bindes til disse reseptorene, gjør det cellene i stand til å ta opp glukose fra blodet ved hjelp av transportproteinet GLUT4. Dermed reduseres blodglukosen.
  - Insulin er særlig viktig for opptak av glukose til muskelvev og fettvev, men genet som er nødvendig for at celler skal kunne lage insulinreseptorer, finnes i alle vev med unntak av hjernen. Hjernen påvirkes derfor ikke av insulin og kan ta opp glukose uten hjelp av insulin.
4. Insulin øker kroppens fettlagre ved å stimulere syntese av triglyserider i fettvev. Insulin stimulerer også syntese av fettstoffer (både triglyserider og kolesterol) i leveren.
5. Insulin stimulerer opptak av aminosyrer til cellene i flere typer vev, blant annet muskelvev, fettvev og levervev. Aminosyrer er byggesteiner i proteiner, og insulin stimulerer også proteinsyntese som innebærer at proteiner bygges opp av aminosyrer.
6. Et anabolt hormon er et hormon som bygger opp større organiske molekyler fra mindre.

7. Glukagon produseres i alfacellene i de langerhanske øyer i pankreas (bukspyttkjertelen).
8. Glukagon øker glukosenivået i blodet på følgende måter:
  - Stimulerer nedbryting av glykogen til glukose i leveren. Det gjør at mer glukose kan frisettes fra leveren til blodet.
  - Stimulerer glukoneogenese (nydanning av glukose) i leveren. Dette innebærer blant annet at aminosyrer omdannes til glukose. Også dette bidrar til at mer glukose kan frisettes til blodet.
9. Glukagon stimulerer nedbryting av fett i fettvev.

### Hormoner som regulerer kalsiumomsetningen

1. Kroppen kan få tilført vitamin D på to forskjellige måter:
  - Via kosten. Fisk og meieriprodukter er viktige kilder til vitamin D.
  - Ved omdanning av kolesterol til vitamin D i huden under påvirkning av sollys.
2. Kalsitriol produseres med utgangspunkt i vitamin D. Først må vitamin D omdannes i leveren ved at det festes en hydroksylgruppe til vitamin D-molekylet. Deretter må vitamin D omdannes en gang til i nyrene ved at det festes enda en hydroksylgruppe til molekylet. Omdanningen som skjer i nyrene, kalles aktivering og gjør vitamin D til det virksomme hormonet kalsitriol.
3. Paratyreoideahormon (PTH) produseres i biskjoldkjertlene (glandulae parathyroideae).
4. Kalsitonin produseres i skjoldkjertelen (glandula thyroidea).

- 5.** Kalsitriol øker mengden kalsium i blodplasma på forskjellige måter:
- Viktigst er at kalsitriol øker absorpsjonen av kalsium i tynntarmen. Dette skjer ved å øke produksjonen av transportproteiner som tar opp kalsium fra tarmen.
  - I tillegg reduserer kalsitriol sekresjonen av kalsium i urinen. Da holdes mer kalsium igjen i blodet.
- 6.** PTH påvirker kalsiummengden i blodplasma på forskjellige måter:
- Øker kalsiummengden i blodplasma ved å redusere utskilling av kalsium i nyrene.
  - Stimulerer enzymet som aktiverer vitamin D til kalsitriol i nyrene. Dermed stimuleres produksjonen av kalsitriol (og kalsitriol øker mengden av kalsium i blodet).
  - Stimulerer osteoklaster, som er celler som bryter ned beinvev. Dermed frigjøres kalsium fra beinvev til blodet. Virkningen av PTH på osteoklastene er viktigst når kalsiumnivået i blodet er lavt over lengre tid. Da skjer det en langvarig sekresjon av PTH.
  - En kortvarig sekresjon av PTH stimulerer osteoblastene, som er celler som bygger opp beinvev.
- 7.** Momenter til hvordan PTH, kalsitriol og kalsitonin påvirker kalsiumnivået i blodet når:
- kalsiumnivået i blodet er lavt:
    - Sekresjonen av PTH øker, dermed reduseres utskilling av kalsium i urinen. I tillegg øker frigjøringen av kalsium fra skjelettet til blodet. PTH stimulerer også aktivering av vitamin D til kalsitriol i nyrene. Kalsitriol stimulerer opptaket av kalsium fra tynntarmen til blodet og reduserer utskillingen av kalsium i nyrene.

- Kalsitonin er et hormon som reduserer kalsiumnivået i blodet, og når kalsiumnivået i blodet er lavt, reduseres derfor sekresjonen av kalsitonin.
- kalsiumnivået i blodet er høyt:
  - Sekresjonen av PTH reduseres. Også produksjonen av kalsitriol i nyrene reduseres. Begge disse endringene bidrar til å redusere kalsiummengden i blodet.
  - I tillegg øker sekresjonen av kalsitonin, som er et hormon som reduserer kalsiumnivået i blodet.

Både når kalsiumnivået i blodet er høyt og når det er lavt, er endringene i sekresjonen av kalsitonin langt mindre viktige for å regulere kalsiumnivået i blodet enn endringene i sekresjon av PTH og i aktivering av vitamin D til kalsitriol.

## Kjønnskjertlenes hormonproduksjon

1. Testosteron produseres i Leydig-celler i testiklene.
2. Virkninger av testosteron:
  - Stimulerer utvikling av mannlige kjønnsorganer (primære kjønnskarakteristika) i fosterlivet.
  - Stimulerer testiklenes vandring ned i pungen i fosterlivet.
  - Stimulerer utvikling av sekundære mannlige kjønnskarakteristika (som vekst av penis, mannlige kroppsbeholdning og stemmeskifte) i puberteten.
  - Stimulerer vekstspurt i puberteten, men gjør også at lengdeveksten stopper.
  - Stimulerer produksjon av spermier (sammen med FSH).
  - Stimulerer seksualdriften.
  - Stimulerer proteinsyntesen i muskulatur.
  - Øker beintettheten.
  - Påvirker utviklingen av hjernen.
  - Stimulerer dannning av røde blodceller.

3. Østrogener og progesteron produseres i celler i folliklene i eggstokkene. I svangerskapet produseres østrogener og progesteron også i morkaken (placenta).
4. Virkninger av østrogener:
  - Stimulerer utvikling av kvinnelige kjønnsorganer (primære kvinnelige kjønnskarakteristika) i fosterlivet.
  - Stimulerer utvikling av sekundære kvinnelige kjønnskarakteristika (som kvinnelig kroppsform og vekst av brystene) i puberteten.
  - Påvirker lengdeveksten i puberteten.
  - Stimulerer seksualdriften.
  - Viktige i menstruasjonssyklusen.
  - Viktige for å opprettholde slimhinnen i livmoren i svangerskapet.
5. Her bør følgende momenter være med i redegjørelsen:
  - Formålet med menstruasjonssyklus er
    - å modne eggceller i eggstokkene og framkalle egg-løsning
    - å klargjøre endometriet (slimhinnen i livmoren) i tilfelle befruktning
  - I hver menstruasjonssyklus skjer en rekke endringer i en bestemt rekkefølge:
    - Sekresjonen av FSH fra hypofysen øker.
    - FSH stimulerer utvikling av follikler i eggstokkene.
    - Folliklene produserer østrogener, og det gjør at østrogennivået i blodet øker.
    - Økt østrogennivå i blodet stimulerer vekst av endometriet i livmoren.
    - Økt østrogennivå stimulerer også til kraftig økt utskilling av LH fra hypofysen (dette er et unntak fra regelen om negativ tilbakekoplingskontroll).

- Økt nivå av LH i blodet stimulerer eggløsning fra follikkel i eggstokken, og eggcellen fraktes gjennom egglederen mot livmoren.
- De gjenværende cellene i follikkelen i eggstokken omdannes til corpus luteum.
- Corpus luteum produserer østrogen og progesteron. Østrogen stimulerer fortsatt vekst av endometriet, og progesteron stimulerer sekresjon fra kjertler i endometriet (klargjøring av endometriet i tilfelle eggcellen befruktes).
- Hvis eggcellen ikke befruktes, tilbakedannes corpus luteum, og da avtar produksjonen av østrogen og progesteron, og nivået av disse hormonene i blodet reduseres.
- Redusert nivå av østrogen og progesteron gjør at endometriet avstøtes og gir menstruasjonsblødning.
- Redusert nivå av østrogen og progesteron stimulerer også økt utskilling av FSH fra hypofysen, og dermed starter en ny menstrasjonssyklus.

### Andre hormoner

1. Atrialt natriuretisk peptid (ANP) reduserer reabsorpsjonen av natrium og vann i tubulussystemet i nyrene. Dermed blir mer natrium og vann utskilt i urinen, og kroppens innhold av natrium og vann reduseres.
2. Erytropoietin (EPO) stimulerer produksjonen av erytrocytter (røde blodceller) i rød beinmarg.
3. Sekresjonen av IGF-1 stimuleres av veksthormon fra hypofysen. IGF-1 bindes til reseptorer i flere forskjellige vev, og sammen med veksthormon bidrar IGF-1 både til lengdevekst og til andre virkninger av veksthormon.

4. Gastrin stimulerer utskilling av saltsyre (HCl) fra mageslimhinnen. I tillegg stimulerer gastrin kontraksjon av glatt muskulatur i magesekkens vegg.
5. Sekretin stimulerer utskilling av hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) fra bukspyttkjertelen. Hydrogenkarbonat har en nøytraliserende virkning på det sure mageinnholdet som kommer fra magesekken til tynntarmen. Kolecystokinin (CCK) stimulerer sekresjon av enzymene amylase, lipase og proteaser fra bukspyttkjertelen. Amylase bryter ned karbohydrater, lipase bryter ned fett, og proteaser bryter ned proteiner. Kolecystokinin stimulerer dermed indirekte nedbrytingen av alle disse næringsstoffene.
6. Humant choriongonadotropin (HCG) stimulerer produksjonen av østrogen og progesteron i corpus luteum.