

Nervesystemet

Fra nerveimpulsen til bevisstheden – hjernens elektriske arkitektur

KM21

Folkehelse og livsmestring

En galvanisk oppdagelse og en bitter strid

I 1780 oppdaget den italienske legen Luigi Galvani noe rart: da han berørte et avskåret frosk-leggben med to ulike metaller, sprellet beinet til liv. Han trodde han hadde funnet «dyrisk elektrisitet» – en mystisk livskraft i selve vevet. Kollegaen Alessandro Volta var uenig: det var metall-kontakten, ikke vevet, som genererte strømmen. Striden endte med at begge hadde delvis rett. Volta oppfant batteriet (1800) for å bevise poenget sitt, og Galvani ble posthumt rehabilitert: nerveceller er faktisk elektriske maskiner.

Hundre og femti år etter Galvani demonstrerte Alan Hodgkin og Andrew Huxley i Cambridge den eksakte mekanismen: de stikket inn en glassmikroelektrode i en kjempeaksonen til en blekksprut (10 ganger tykkere enn menneskelige nervefibre) og dokumenterte i matematisk detalj hvordan natrium- og kaliumioner krysser membranen i presise sekvenser. Nobelprisen kom i 1963. Deres Hodgkin-Huxley-ligninger er fremdeles grunnlaget for all nevrovitenskap.

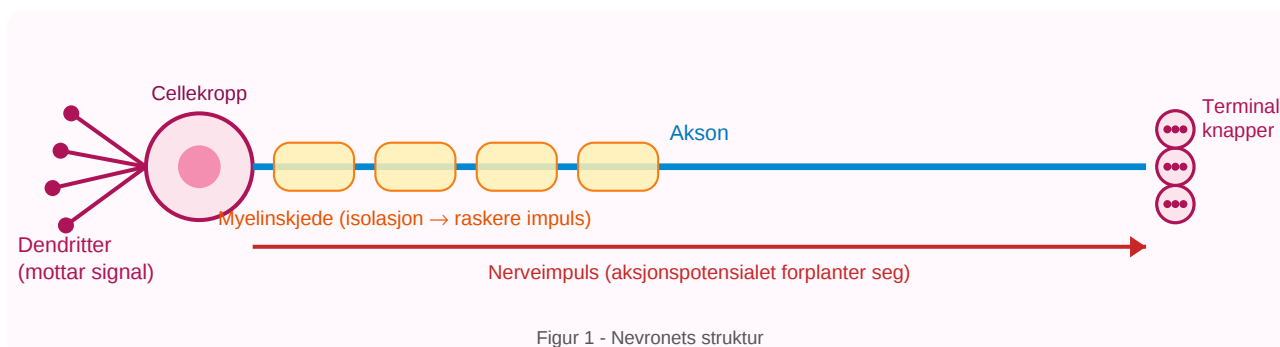


Ordet "galvanisere" – å vekke til action, å sjokke noen til aktivitet – stammer direkte fra Luigi Galvani. I overført betydning bruker vi det daglig uten å tenke på at det beskriver en lege som pirket i døde froskelegg med en metalltråd i et laboratorium i Bologna på slutten av 1700-tallet.

- Piccolino, M. (1998). Animal electricity and the birth of electrophysiology. Brain Res. Bull.

Nevronets struktur

Nervesystemets signalenhet er nevronen – en høyspesialisert celle med en arkitektur perfekt tilpasset rask, presis informasjonsoverføring over lange avstander. Et eneste motornevron kan strekke seg fra ryggmargen ned til foten – over én meter lang, en av de lengste cellene i naturen.



Figur 1 - Nevronets struktur

Myelinskjeden – produsert av Schwann-cellene i det perifere nervesystemet og oligodendrocytter i hjernen – er en av evolusjons mest geniale løsninger. I stedet for å lede impulsen kontinuerlig langs

hele aksonen, hopper aksjonpotensialet fra gap til gap (Ranviers innsnøringer) i såkalt **saltatorisk ledning**. Hastigheten øker fra ~0,5 m/s (umylinisert) til ~120 m/s (tykk myelinisert fiber). MS (multippel sklerose) er en autoimmun sykdom der myelinskjeden brytes ned – impulsledningen forstyrres, og pasienten opplever svakhet, lammelser og synsforstyrrelser avhengig av hvilke fibre som rammes.

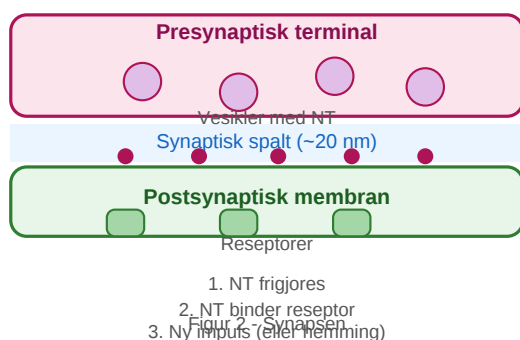
Aksjonspotensialet – nervecellens «skudd»

En nervecelle i hvile er polarisert: innsiden er negativ (–70 mV) i forhold til utsiden, opprettholdt av Na^+/K^+ -pumpen som aktivt pumper 3 Na^+ ut mot 2 K^+ inn. Stimulering over terskelverdien utløser en kaskade:

- **1. Depolarisering:** Spenningsstyrte Na^+ -kanaler åpner seg. Na^+ strømmer inn (høy konsentrasjon ute). Membranpotensialet stiger fra –70 til +30 mV på under én millisekund.
- **2. Repolarisering:** Na^+ -kanalene lukkes; K^+ -kanaler åpner seg. K^+ strømmer ut. Potensialet faller tilbake mot –70 mV.
- **3. Refraktærperiode:** Kort periode der nytt aksjonspotensialet ikke kan utløses. Dette sikrer at impulsen bare går én vei (fremover langs aksonen).
- **4. All-eller-intet:** Aksjonspotensialet er alltid like stort uansett stimulusstyrke. Styrken kodes i frekvens (antall impulser per sekund), ikke amplitude.

Synapsen – nervecellenes kommunikasjonspunkt

Nerveimpulser overføres mellom nevroner (og fra nevron til muskel) via synapsen – et gap på bare 20 nanometer. Her skifter signalet natur fra elektrisk til kjemisk og tilbake til elektrisk:



Synaptisk overføring – trinn for trinn:

1. Aksjonspotensial ankommer presynaptisk terminal.
2. Ca^{2+} -kanaler åpner seg; kalsium strømmer inn.
3. Vesikler smelter med membranen; nevrotransmitter (NT) frigjøres i spalten.
4. NT binder reseptorer på postsynaptisk membran → ionkanaler åpner.
5. NT gjenopptas (reopptak) eller brytes ned enzymatisk.



I 1921 utforde Otto Loewi et av biologiens mest elegante eksperimenter mens han sov. Han drømte om det, våknet klokken tre om natten og utferte det umiddelbart. Han tok to froskehjerter: det ene med vagusnerven intakt, det andre uten. Når han stimulerte vagusnerven på hjerte 1 (som slo saktere), tok han væsken fra hjerte 1 og dryppet den på hjerte 2 – som også slo saktere. Det måtte finnes en kjemisk budbringer. Det var acetylkolin. Loewi fikk Nobelprisen i 1936 for oppdagelsen av kjemisk synaptisk overføring.

- Loewi, O. (1921). Über humorale Übertragbarkeit der Herznervenwirkung. Pflügers Arch.

Viktige neurotransmittere

Nevrotransmitter	Funksjon	Relevans for rus/sykdom
Dopamin	Belønning, motivasjon, bevegelse	Kokain/amfetamin blokkerer reopptak. Lav dopamin: Parkinsons
Serotonin	Humør, søvn, matlyst	SSRI-antidepressiva hemmer reopptak. Lav serotonin: depresjon
Acetylcholin	Muskelkontraksjon, hukommelse	Alzheimers: tap av kolinerge nevroner
GABA	Hemmende – demper nevronaktivitet	Alkohol og benzodiazepiner forsterker GABA-effekten
Glutamat	Eksitatorisk – aktiverer nevroner	Ketamin blokkerer NMDA-reseptorer; brukes mot depresjon
Endorfiner	Smertelindring, velvære	Opioider (heroin, morfin) etterligner endorfiner på mu-reseptorer

Tabell 1 – Viktige neurotransmittere og klinisk relevans

Det autonome nervesystemet

Det autonome nervesystemet (ANS) styrer kroppens ufrivillige funksjoner – hjerterytme, fordøyelse, pustefrekvens, svette – uten at vi trenger å tenke over det. Det er delt i to antagonistiske divisjoner:

- **Sympatisk («kamp eller flukt»):** Aktiveres av stress og fare. Adrenalin fra binyrene + noradrenalin fra sympatiske nevroner: hjerterefrekvens opp, pupillene utvider seg, blod til muskler, fordøyelse hemmes, glukose frigjøres fra leveren. Klart for action.
- **Parasympatisk («hvil og fordøy»):** Dominerer i hvile. Acetylcholin fra vagusnerven: hjerterefrekvens ned, fordøyelse aktiv, pupillene trekker seg sammen, energi lagres. Vagusnerven er den lengste kranienerven og kobler hjerne direkte til hjerte, lunger og tarm.

■ Nøkkelsammendrag

Nevroner: dendritter (inn) → cellekropp → akson (ut) → terminaler
 Myelinskjede: saltatorisk ledning → opp til 120 m/s (MS ødelegger dette)
 Aksjonspotensial: Na⁺ inn (depol.) → K⁺ ut (repol.) → alt-eller-intet
 Synapse: elektrisk → kjemisk (NT) → elektrisk igjen. 20 nm spalte.
 NT: dopamin (belønn.), serotonin (humor), GABA (hem.), glutamat (eksit.)
 ANS: sympatisk (kamp/flukt, adrenalin) vs. parasympatisk (hvile, acetylcholin)

Tenk og drøft

- 1 Galvani og Volta var begge delvis riktige. Forklar hva hver av dem hadde rett i, og hvordan moderne nevrovitenskap forener de to standpunktene.
- 2 Forklar hva som skjer biokjemisk når noen tar en SSRI-antidepressant. Hvorfor tar det gjerne 2–4 uker før effekten merkes?

- 3 Myelinskjeden gjør impulsene mye raskere. Hva tror du er konsekvensene av MS for en persons hverdagsliv? Gi minst tre konkrete eksempler.

- 4 Forklar refraktærperioden. Hvorfor er det en fordel at nerveimpulsen ikke kan gå begge veier?

- 5 Kokain blokkerer dopaminreopptak i nucleus accumbens. Forklar trinn for trinn hvorfor dette gir rus, og hvorfor langvarig bruk fører til toleranse og avhengighet.

Praktiske forsøk

Forsøk 1: Nerveimpuls-simulering med dominobrikker

Simuler aksjonspotensial-propagasjon og refraktærperioden.

Utstyr

- 50-60 dominobrikker
- Linjal
- Stoppeklokke

Fremgangsmåte

1. Stilling A: enkel rekke med jevn avstand. Mål tid til siste faller.
2. Stilling B: dobbelt så tett avstand – sammenlign hastighet.
3. Stilling C: noen brikker med dobbel avstand – demyelinisering.
4. Mål impulshastighet i cm per sek for alle tre.
5. Forsøk å blokkere impulsen ved å fjerne én brikke.
6. Diskuter alt-eller-intet.

Refleksjonsspørsmål

1. Hva representerer hver brikke og det å falle?
2. Koble demyelinisering til MS.
3. Forklar refraktærperioden med dominoanalogi.

Forsøk 2: Sansefysiologi – to-punkt-diskriminasjon

Test sensorisk opplysning og koble til sensorisk korteks-representasjon.

Utstyr

- Bøyd binders med to spisse ender
- Linjal
- Bind for øynene
- Loggbok

Fremgangsmåte

1. Blindfold forsokspersonen.
2. Berør huden med én og to punkter. Forsokspersonen sier én eller to.
3. Finn minste avstand der personen kan skille to punkter.
4. Test: fingertupp, hndflate, underarm, rygg.
5. Mål terskelavstanden i mm for alle steder.
6. Plot og diskuter sammenhengen med reseptortetthet.

Refleksjonsspørsmål

1. Hva er receptive felt?
2. Forklar somatotopisk kartlegging og homunculus.
3. Hvorfor har fingertuppene mye større representasjon i hjernen enn ryggen?