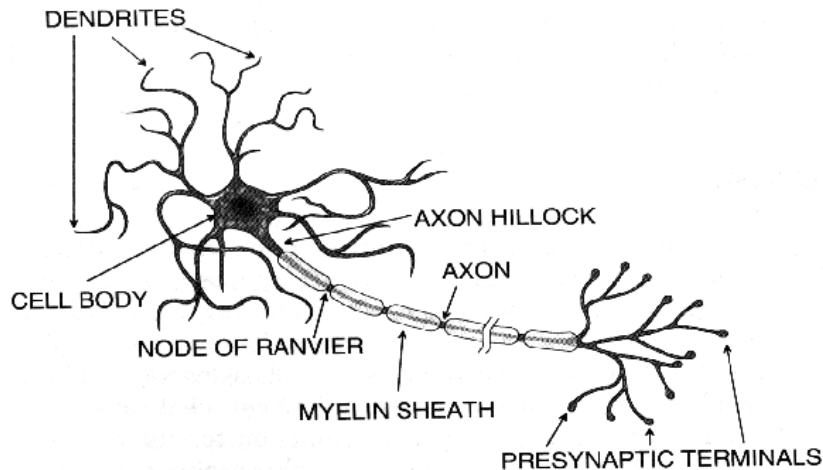


1. Introduktion

Kroppens nervsystem utgörs av ett högt specialiserat nätverk som består av en mängd nervceller kopplade till varandra. Nervcellen har den speciella egenskapen att den kan reagera på yttre retningar av olika slag, för att sedan avge elektriska impulser (s.k. *aktionspotentialer*) som fortplantar sig från nervcell till nervcell. Nervcellens dendriter, se figur 1, fungerar som nervcellens inputkanaler.



Figur 1: Här visas hur en nervcell (neuron) är uppbyggd med dess delar. Neuronets inputsignaler är dendriterna som samlar upp information från dess omgivning. Om den summerade aktiviteten är tillräckligt stor i axon hillock triggas en aktionspotential som fortleder längs axonet ända ut till synapserna. På sin väg till synapserna verkar det som om aktionspotentialen hoppar mellan Ranivers Noder.

Om den totala aktiviteten i nervcellen, summerad vid Axon Hillock, överstiger en viss nivå kommer en aktionspotential att genereras som "hoppar" mellan Ranivers noder ända till nervcellens ändterminal (*synapsen*). Synapsens funktion kan antingen vara inhiberande(*hämmande*) eller exiterande(*triggande*) för nästkommande nervcell. Figur 1 visar en modell av en nervcell samt dess ingående delar.

Anatomiskt brukar nervsystemet indelas i två delar, det centrala nervsystemet (CNS) samt det perifera nervsystemet (PNS). CNS består av nervceller i hjärna och ryggmärg, vilka ligger väl skyddade bakom skallbenet respektive ryggraden. PNS består av de nervceller som förbinder hjärna och ryggmärg med kroppens övriga organ. Man gör också en funktionell indelning av nervsystemet i ett *somatiskt* samt ett *autonomt* system. Det somatiska systemet består i sin tur av sensoriska (*afferenta*) samt motoriska (*efferenta*) nervceller. De sensoriska nervsystemet leder information till CNS, medan det motoriska systemet leder information från CNS. Det autonoma nervsystemet reglerar kroppens inre organ, t.ex. hjärtats slagfrekvens. Systemet består av två delar, det sympatiska och det parasympatiska nervsystemet, och som exempel kan nämnas att det sympatiska systemet ökar hjärtfrekvensen medan det parasympatiska minskar den.

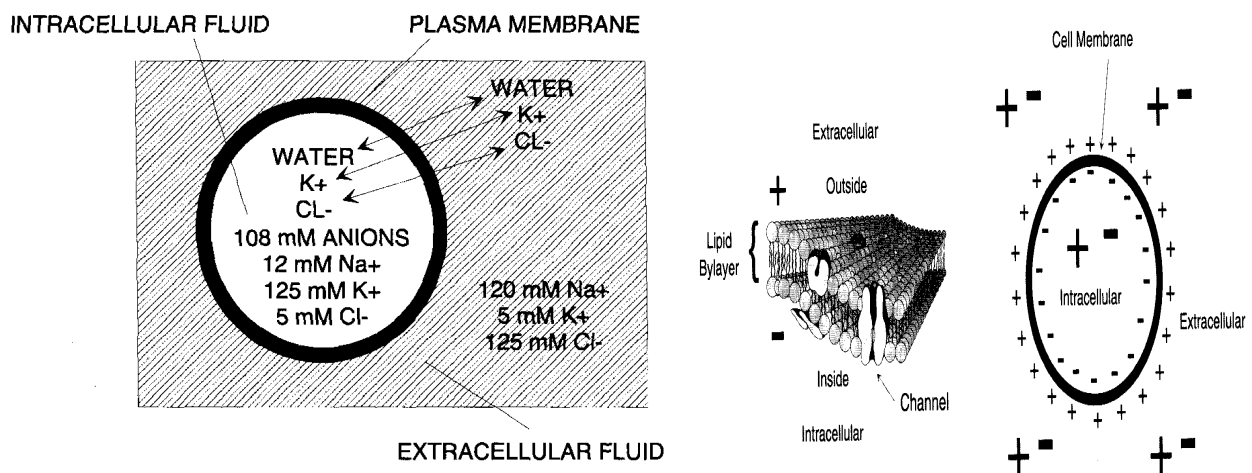
2. Membranpotentialen

Nervcellens cytoplasma innehåller joner (laddade partiklar) i andra koncentrationer än den omgivande vävnadsvätskan. De joner som är inblandade i cellens vilopotential är kaliumjoner (K^+) samt natriumjoner (Na^+). P.g.a. cellmembranets selektiva genomsläpplighet för partiklar av olika storlek kommer kaliumjoner att tillåtas vandra fritt över cellmembranet medan natriumjonerna hindras. Kaliumjoner vill vandra över cellmembranet p.g.a. en högre koncentration intracellulärt (innanför cellmembranet) jämfört med den extracellulära sidan (utanför cellen). Samtidigt hålls kaliumjonerna tillbaka av den elektriska kraft som uppstår mellan elektriskt laddade sidor. Jämvikt fås när dessa krafter är lika stora samt motriktad (inget nettoflöde av joner). Vid jämvikt kommer därför en potentialskillnad över cellmembranet, på ca 70 mV, att erhållas. Storleken på membranpotentialen kan estimeras, vid kroppstemperatur, utifrån Nernst ekvation nedan

$$V_m = (RT/nF) \ln [K^+]_e / [K^+]_i$$

$$V_m = 0.0615 \log_{10} [K^+]_e / [K^+]_i$$

där R är universella gaskonstanten, T är temperaturen i Kelvin, V_m är membranpotentialen i Volt, n är valenstalet för jonen (Kalium), F är Faradays konstant, $[K^+]_e$ är extracellulära kaliumkoncentrationen och $[K^+]_i$ är intracellulära. Cellens insida är negativt laddad och cellens utsida positivt laddad. Det finns även en aktiv transport av joner över cellmembranen, denna kallas Na-K pumpen. Pumpen har till uppgift att upprätthålla en konstant osmolalitet i cellen. Figur 2 visar en modell över hur cellmembranet är uppbyggt.



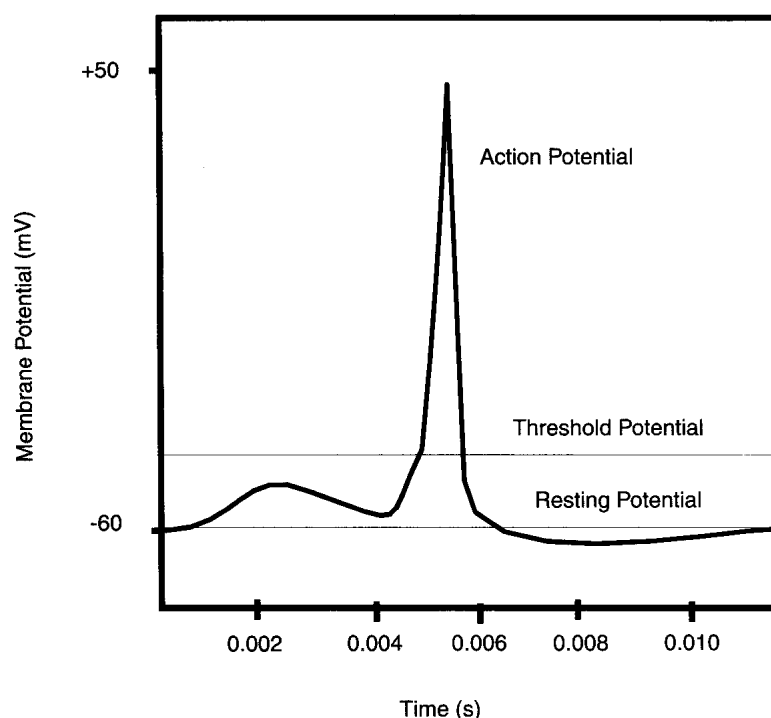
Figur 2: Här visas hur den interna samt externa koncentrationen av joner ser ut över nervcellmembranet. Koncentrationsskillnaden gör att en potentialskillnad finns över nervcellmembranet i vila. De joner som framförallt är inblandade är Natrium, Kalium och Klor. Det är Kalium som i stort sätt är ansvarig för vilopotentialen.

3. Aktionspotentialen

För att nervcellen ska kunna förmedla information måste någon sorts dynamik finnas inbäddat i systemet. Detta uppnås genom att nervcellen är retbar, d.v.s. den kan stimuleras så att dess membranpotential förändras. Den del av nervcellen som är retbar är dendriterna. Från nervcellens alla dendriter kommer sedan signalen att

summeras i den region som kallas Axon Hillock. Om spänningsnivån kommer över en viss nivå (triggernivå) kommer en aktionspotential att initieras för att sedan fortledas utesluter nervcellens axon, detta är illustrerat i figur 3. Det som händer när en aktionspotential löper längs ett axon är att närliggande kanaler i cellmembranet öppnas, av polarisationsändringen, för kalium och natrium. Aktionspotentialen kommer på det viset att löpa som en depolarisationsvåg längs axonet. I ett myeliniserat axon sker depolarisationen i noderna mellan myelinskidorna, man brukar då säga att aktionspotentialen hoppar från nod till nod. Beroende på om axonet är myeliniserat eller ej samt på storleken av axonets tvärsnittsarea, kommer aktionspotentialen att fortledas efter axonet med olika hastighet. Man kan likna axonet med en elektrisk ledare, vilket medför att man uppnår en hög ledningshastighet om axonet har en stor tvärsnittsarea samt om dess yta är myeliniserad.

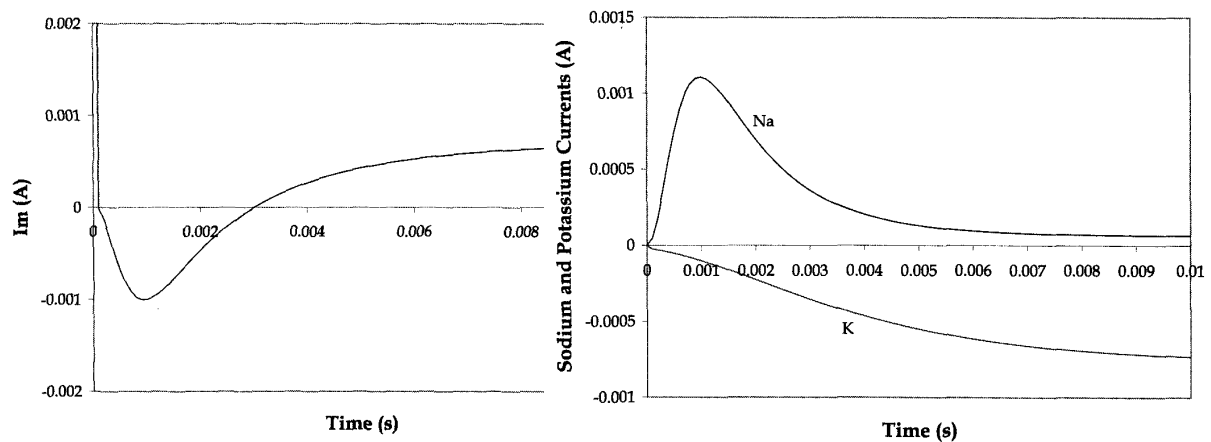
Nervcellen kan retas mekaniskt, elektriskt eller kemiskt, retningen gör att potentialskillnaden över cellmembranet minskar, s.k. *depolarisation*. Detta beror på att cellmembranet ändrar genomsläppligheten till att låta natriumjoner vandra in i cellen. Natriumjoner vandrar in i cellen pga en högre koncentration extracellulärt, se förklaring ovan. Kort därefter öppnas retrningsbara kaliumkanaler i membranet vilket gör att membranet polariseras igen. Under en kort tid efter repolariseringen kan ingen ny aktionspotential initieras. Denna tidsperiod brukar kallas *absolut refraktärperiod*. Tidsperioden efter den absoluta refraktärperioden kallas *relativ refraktärperiod*. Under den tidsperioden kan en aktionspotential initieras om nervcellen utsätts för ett starkare stimuli.



Figur 3: Här ses hur spänningen varierar över ett nervcellsmembran när en viss tröskelnivå, för spänningen, är nådd vid Axon-Hillock. I detta fall kommer en aktionspotential att initieras och fortledas längs axonet.

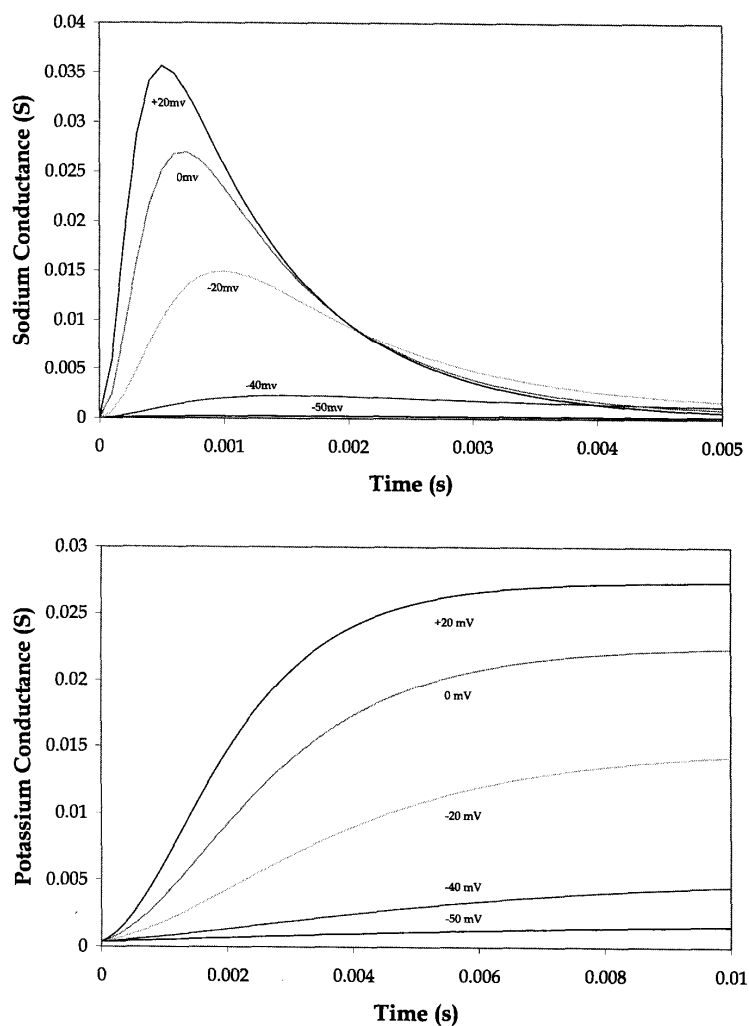
Man har även gjort mätningar av den ström som passerar nervcellsmembranet vid en aktionspotential och funnit att den totala strömmen samt natrium- och kaliumströmmen varierar enligt figur 4. Mätningarna är gjorda med Voltage Clamp

metoden, som är en metod för att mäta jonströmmar samtidigt som potentialskillnaden över nervcellmembranet hålls konstant.



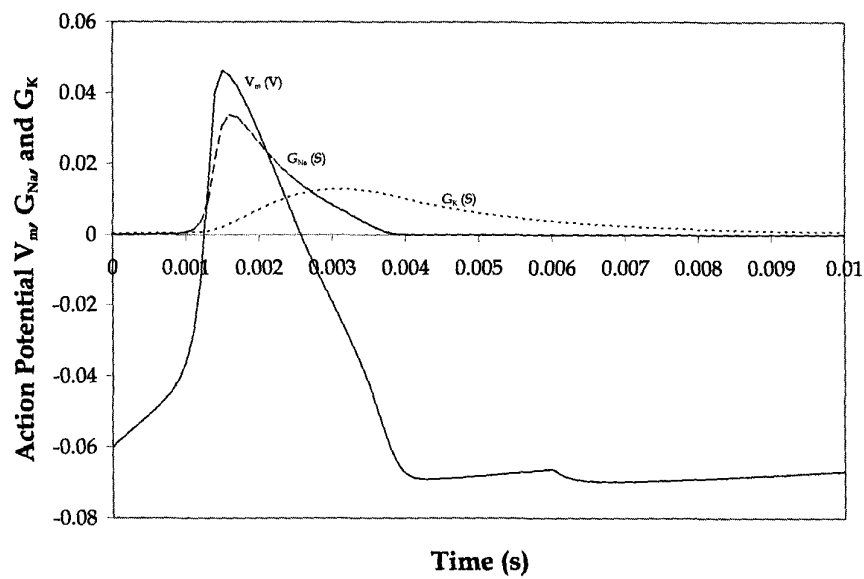
Figur 4: Den vänstra bilden visar hur den totala strömmen varierar över tiden när en viss spänning läggs över nervcellmembranet. Den högra bilden visar hur de enskilda jonernas (Na, K) strömmar över membranet. Värt att notera är att natrium har en kraftig strömtopp tidigt i sekvensen medan kalium har en långsammare och lägre strömkökning än natrium. Orsaken till att kalium är mycket senare är att vilopotentialen ska återställas.

Tittar man sedan på hur konduktansen varierar för kalium och natrium vid olika potentialskillnader över nervcellmembranet kommer man fram till resultatet i figur 5.



Figur 5: Diagram över hur konduktansen varierar för natrium och kalium vid olika spänningsnivåer över nervcellmembranet. Metoden som används för att bestämma detta är Voltage Clamp

Konduktansens variation över en aktionspotential ser slutligen ut som i figur 6 nedan.

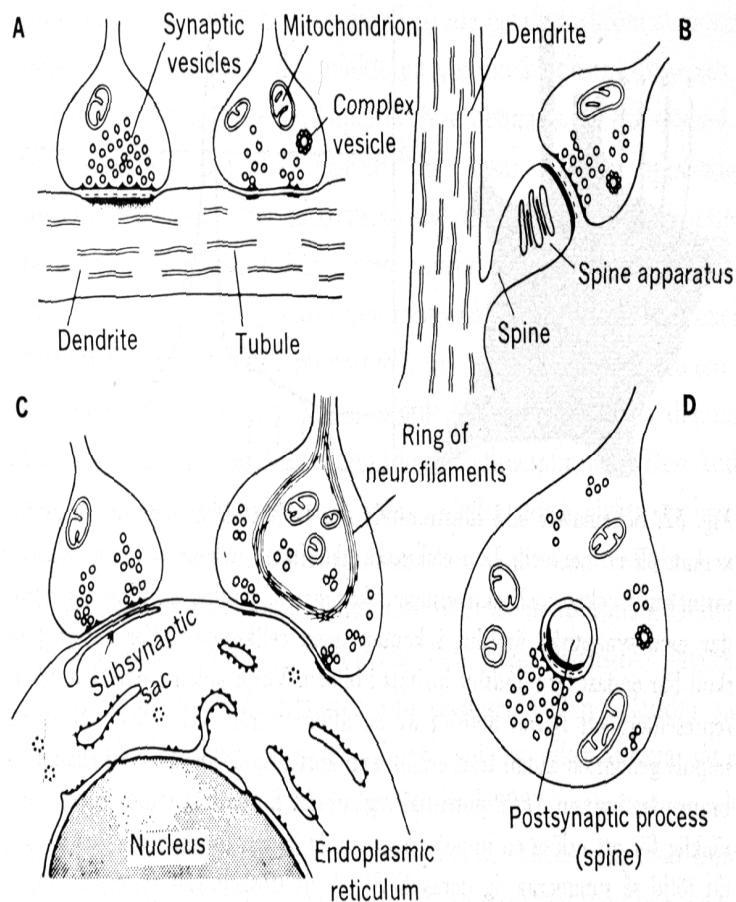


Figur 6: Bilden visar hur natriums och kaliums konduktans varierar över tiden vid en aktionspotential.

4. Synapsen

För att nervcellerna ska kunna kommunicera med varandra krävs det en kanal mellan nervcellerna. Den kanalen kallas synaps. Ett antal olika typer av synapser existerar och ett urval av dessa ses i figur 7. När en aktionspotential kommer fram till en synaps kommer det att utsöndras transmittorsubstans i synapsklyftan mellan nervcellerna. Aktionspotentialernas frekvens kommer att bestämma koncentrationen av transmittorsubstans i synapsklyftan. Hög koncentration av transmittorsubstans ger en starkt inhiberande eller exiterande effekt på nästa nervcell i kedjan. Transmittorsubstansen reagerar med receptorer i den efterföljande nervcellen som i sin tur gör att membranpotentialen ändras i denna nervcell.

På den motoriska sidan av nervsystemet (styr bl.a. muskulaturen) finns det en speciell sorts synapser som kallas för neuromuskulära synapser. Dess uppgift är att förmedla stimuli från nervcellen till muskeln för att få den att kontrahera. När en aktionspotential når den neuromuskulära synapsen kommer det att utsöndras en transmittorsubstans som får de innerverade muskelfibrerna (de muskelfibrer som har kontakt med en enskild nervcell) att depolariseras. När en muskelfiber depolariseras leder det till att en depolarisationsvåg initieras i muskelfibern och som kommer att propagera (i bägge riktningarna relaterat till innervationsstället) i muskelfibers längdriktning. På grund av denna depolarisationsvåg kommer också muskelfibern att kontrahera.



Figur 7: Här ser vi en schematisk bild över olika typer av synaptiska ändslut