

Elva Gümnaasium

Konstantin Kuzmitšov

11. klass

KÜLMA MÕJU PERIFEERSELE NÄRVISÜSTEEMILE

Uurimistöö

Juhendajad: Silver Aarna, Dr. Sandra Aarna

Elva 2024

SISUKORD

| | |
|---|-----------|
| SISSEJUHATUS | 3 |
| 1. TEOREETILINE OSA | 4 |
| 1.1 Üldiselt inimese närvisüsteemist..... | 4 |
| 1.1 Anatoomia..... | 7 |
| 1.1.1. Perifeerne närvisüsteem..... | 7 |
| 1.1.2 Tsentraalne närvisüsteem..... | 8 |
| 1.2 Füsioloogia..... | 8 |
| 1.3 Külma mõju inimese närvisüsteemile..... | 10 |
| 1.4 Praktilise töö põhjendus..... | 10 |
| 1.5 ENMG tööpõhimõte..... | 10 |
| 2. PRAKTILINE TÖÖ | 12 |
| 2.1 Praktilise osa ülesehitus ja tulemused..... | 12 |
| 3. ANALÜÜS | 18 |
| KOKKUVÕTE | 20 |
| KASUTATUD KIRJANDUS | 21 |
| Lisa 1. Neurograafia tulemused | 22 |
| SUMMARY | 24 |

SISSEJUHATUS

Käesolev gümnaasiumiastme uurimistöö uurib külma mõju inimese perifeersele närvisüsteemile. Töö teema valikul juhendus töö autor isiklikust huvist inimese anatoomia ja üldiselt meditsiini valdkonna vastu. Teemavaldkond kitsendati juhendajate abiga.

Uurimistöö eesmärk on teada saada külma mõju inimese perifeersele närvisüsteemile. Uurimistöö hüpotees on, et kudede temperatuuri langemine aeglustab perifeersete närvide tööd.

Hüpoteesi kontrollimiseks kasutati ENMG (elektroneuromüograafia) uuringut, mis teostati töö autori peal. Uuring teostati SA Tartu Ülikooli Kliinikumis.

Käesolev uurimistöö on jaotatud kolmeks suuremaks osaks. Esimeses, teoreetilise osa peatükis, antakse ülevaade teemakohasest kirjandusest ja kirjeldatakse meetodikat. Teises suuremas osas, praktilise töö peatükis, annab töö autor ülevaate praktilise osa sisust ning kirjeldab tulemusi. Kolmandas osas analüüsib autor tulemusi ning seob need teooriaga.

Töö autor soovib tänada oma juhendajat ja õpetajat Silver Aarnat, kelle abivalmidus viis töö valmimiseni. Veel soovib töö autor tänada juhendajat Dr. Sandra Aarnat, kes võimaldas teha praktilisi katseid ja oli suureks abiks töö sisuosa valmimisel.

1. TEOREETILINE OSA

1.1 Üldiselt inimese närvisüsteemist

Inimese närvisüsteemi saab jaotada kaheks suureks osaks, kesknärvisüsteemiks (KNS) ja perifeerseks närvisüsteemiks, viimast nimetatakse sageli ka piirde-närvisüsteemiks. KNS koosneb omakorda kahest osast: seljaaju ja peaju. Kõik ülejäänud närvisüsteemist kuulub perifeerse närvisüsteemi alla.

Närvisüsteem koosneb rakkudest ehk neuronitest. Neuronid spetsialiseeruvad informatsiooni vastu võtmisele ja selle edastamisele. Neuronite omavaheline info vahendamine toimub sünaptilise ülekande teel - saadetakse edasi keemilisi ja elektrilisi signaale. Sünapts esineb inimese kehas kahel viisil: elektriline ja keemiline. Keemilise sünapsi toimimiseks on vaja neurotransmittereid ehk virgatsaineid, mida võtab vastu aksonist teisel pool olev neuron (või näiteks lihas) ja selle tulemusena neuron ergastub. Elektriline sünapts on elektrilaengu ülekandumine ühelt neuronilt teisele. (Frotscher, Baehr, 9)

Inimese närvisüsteem on üles ehitatud nii, et igal ajahetkel saavad neuronid olla ainult kahes olekus: replitseerunud olekus või depolariseerunud olekus (Frotscher, Baehr, 10).

Kõige levinumad närvisüsteemi rakud ei ole tegelikult neuronid, vaid gliiarakud (nimetatakse ka gliiaks või neurogliiaks). Gliia rakud ei sobi informatsiooni vastu võtma, ega seda edastama, vaid nad mängivad neuronite funktsiooni toetavat rolli. Kesknärvisüsteemi gliiarakud jagunevad kolmeks: astrogliiarakud (astrotsüüdid), oligodendroglia (oligodendrotsüüdid) ja mikrogliaarakud. Astrotsüüdid jagunevad kahte tüüpi: protoplasmalised ja fibrillaarsed. Terves närvisüsteemis vastutavad astrotsüüdid sisekeskkonna (homöostaasi) säilitamise eest, eriti ionide kontsentratsioonide osas. Peened astrotsüütide jätked ümbritsevad igat sünapsi, et neurotransmitter ei saaks sünaptilisest pilust välja pääseda. Kesknärvisüsteemi vigastuse korral vastutavad astrotsüüdid armkoe ehk gliioosi moodustamise eest. Oligodendrotsüüdid moodustavad kesknärvisüsteemi müeliinkesta. Mikroglia rakud on fagotsüüdid, mis aktiveeruvad põletikuliste ja degeneratiivsed protsesside korral, mis mõjutavad närvisüsteemi. (Frotscher, Baehr, 13)

Enamus neuroneid on kaetud müeliini ümbrisega. Ümbris käitub kui insulaator. Müeliini ümbrisel on vahemikud, neid vahemikke nimetatakse Ranvieri sõlmedeks. Müeliini toodetakse kesknärvisüsteemis oligodendrotsüütide poolt. (Frotscher, Baehr, 3)

Perifeerses närvisüsteemis toodetakse müeliini Schwanni rakkude poolt CNSis toodetakse müeliini oligodendrotsüütidest, mõlemad rakkud toodavad müeliini. Müeliini insulaatori omaduse kaudu saab toimuda aktsioonipotentsiaal ainult Ranvieri soonistes, kus puudub müeliini kiht. (Duus' Topical Diagnosis in Neurology: 5)

Närvijuhtivus on aksonitel erinev, kõige suurem juhtivuse kiiruse mõjutaja on aksonil olev müeliinikiht ja selle paksus. Jämedates müeliini kihiga kaetud neuronites (3-20 μ m), juhtivuskiirus ulatub kuni 120 m/s ja neuronites, kus puudub müeliini kiht, juhtivuskiirus on seal kuni 2 m/s. (Frotscher, Baehr, 7)

Inimese närvisüsteemis leidub erinevaid liiki neuroneid: unipolaarsed-, bipolaarsed-, pseudounipolaarsed-, multipolaarsed neuronid. Unipolaarne ehk ainujätkeline neuron, mille kehast lähtub ainult üks akson. Neid leidub silma võrkkestas ehk reetinas. Bipolaarne ehk kahejätkeline neuron, millel on üks dendriit ja üks akson. Bipolaarseid neuroneid leidub silma võrkkestas. Pseudounipolaarne neuron, mille kehast algavad ühise tüvena kaks jätket. Neid rakke leidub spinaalganglionites. Multipolaarne neuron, millel on palju dendriite ja üks akson. Dendriitide puuvõra taoline hargnemine suurendab närviraku retseptoorset pinda. Multipolaarsed neuronid on inimesel kõige levinum neuronite vorm. (Roosalu 2020, 182)

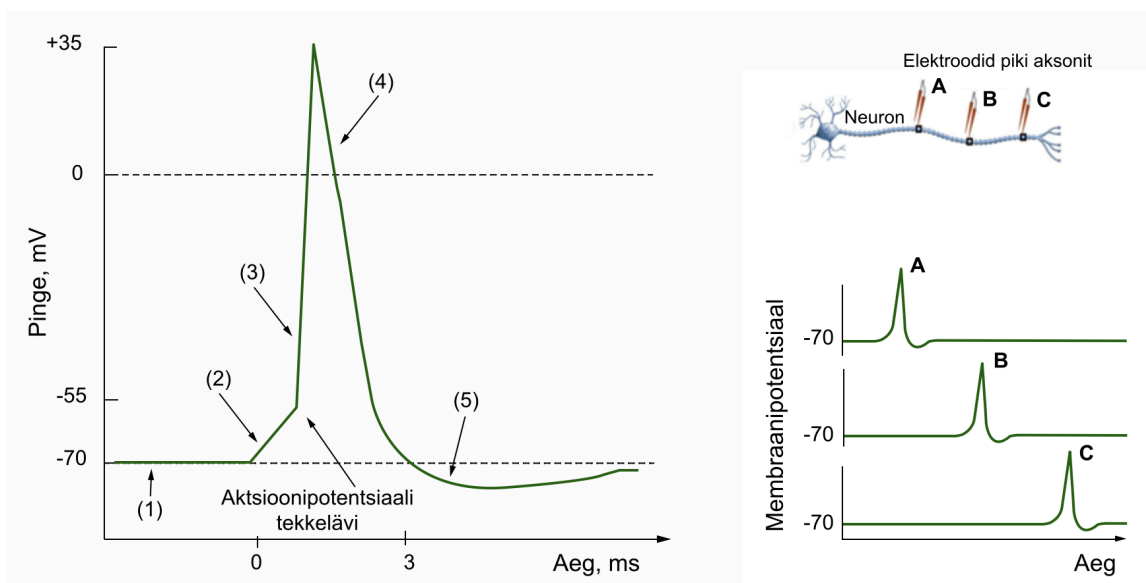
Neuronid võtavad informatsiooni sünapsi kaudu vastu teistelt neuronitelt ja edastavad enda rakku teise otsa, aksonile, kus toimub info liikumine teisele neuronile. Neuron ise koosneb kolmest tähtsast osast: Dendriitidest, rakukehast ja aksonist. Dendriidid, ehk närvisüsteemi retseptorid on info vastuvõtjad. Neuroni juhtimiskeskus on tema rakukeha, mis sisaldab rakutuuma ja erinevaid organelle. (Frotscher, Baehr, 8)

Presünaptiline neuron on neuron, millelt impulss kandub üle sünaptilise ülekande postsünaptilisele neuronile või lihasele (Frotscher, Baehr, 8). Sünaptiline ülekande toimub läbi kolme etapi: ergastav impulss (aktsioonipotentsiaal), mis saabub neuroni juhtimiskeskusesse; toimub depolariseerumine presünaptilises membraanis, mis toob kaasa pingest sõltuvate kaltsiumikanalite avamise, mille tulemusena satuvad kaltsiumi ioonid raku keskusesse (Frotscher, Baehr, 8). Neurotransmitteri molekulid vabastatakse sünapsisse, kust nad seonduvad postsünaptilise membraani spetsiifilistele retseptoritele (Frotscher, Baehr, 11). Glutamaat on kõige levinum neurotransmitter kesknärvisüsteemis, inhibeeriv neurotransmitter seljaajus on glütsiin (Frotscher, Baehr, 11).

Kõige olulisemad neurotransmitterid autonoomses närvisüsteemis on atsetüülkoliin ja norepinefriin, kuid neid leidub ka kesknärvisüsteemis. Neurotransmitteri seondumisel retseptoriga avaneb ioonkanal (st muudab selle läbilaskvaks) ühe või mitme konkreetsete iooniliigi jaoks. Glutamaadi retseptorid jagunevad kolmeks tüübiks: AMPA, NMDA ja kainaaadi retseptoriteks. Naatriumi ioonid voolavad raku, kui seal on aktiveeritud AMPS retseptor, mis omakorda depolariseerib rakumembraani. Naatriumi ioonide sissevool toob endaga kaasa NMDA retseptori aktiveerumise. (Frotscher, Baehr, 11)

Närviimpulss jaguneb neljaks etapiks: puhkeolek, depolarisatsioon, repolarisatsioon hüperpolarisatsioon (Frotscher, Baehr, 9). Etapid on selgitatud järgnevas loikes.

Puhkepotentsiaal on olek, kus neuroni membraani sisepind on kergelt negatiivse laenguga ja väline neuroni membraani pind on positiivse laenguga. Puhkepotentsiaali ajal on neuroni membraani laeng stabiilses olekus -70mV (joonis 1 punkti (1)).



Joonis 1. Membraanipotentsiaali muutus, mille punktide selgitused järgnevad joonisele. Joonisel kujutatud punktide selgused: 1. punkt tähistab neuroni puhkeolekut; 2. punkt tähistab lävendi piiri; 3. punkt tähistab membraani depolarisatsiooni; 4. punkt tähistab repolarisatsiooni; 5. punkt tähistab hüperpolarisatsiooni (E-koolikott, 2024)

Depolarisatsioon- ergutav impulss (aktsioonipotentsiaal), mis saabub aksoni terminali depolariseerib presünaptilise membraani, põhjustades pingest sõltuvate kaltsiumikanalite avanemist. Selle tulemusena voolavad kaltsiumiioonid terminali ja seejärel siduvad ennast erinevate valkudega, põhjustades sünaptiliste vesiikulite sulandumist presünaptilise

membraaniga. Vesiikulites olevad neurotransmitteri molekulid vabanevad seeläbi sünaptilisse pilusse. Neurotransmitteri molekulid hajuvad üle sünaptilise pilu ja seonduvad postsünaptilise membraani spetsiifilistele retseptoritele. (Frotscher, Baehr, 13)

Neurotransmitteri molekulide seondumine retseptoritega põhjustab ioonikanalite avanemist, indutseeridesioonivoo, mis põhjustavad postsünaptilise membraani depolarisatsiooni (joonis 1 punkti 3) (Frotscher, Baehr, 7).

Repolarisatsiooni ajal on aktsioonipotentsiaal saavutanud oma tippväärtuse. Seejärel avanemad kaaliumi kanalid, mis võimaldab kaaliumi ioonidel suubuda neuronisse ja repolariseerivad selle, muutes membraani laengu negatiivseks (joonis 1 punkti 4) (Frotscher, Baehr, 8). Hüperpolarisatsiooni ajal kaaliumi ioonid langetavad laengu alla -50 mV, kuid lühikese ajaperioodi jooksul töötavad naatriumi ja kaaliumi pumbad, nende eesmärk on neuronist välja toimetada piisav kogus naatriumi ja kaaliumi ioone, et taastuks laeng, mis oleks võrdne puhkepotentsiaaliga (joonis 1 punkti 5) (Frotscher, Baehr, 8). Lävend on elektriline piir, mida ärritus peab ületama, et aktsioonipotentsiaal vallanduks, mille tulemusel liigub impulss neuronist edasi (joonis 1 punkti 2) (Tenhunen jt, 2022, 101). Lävendi piiriks on ligikaudu -55 mV. Nõrkade signaalide puhul ärritus ei ületa lävendi piiri ja selle tulemusel ei teki hüperpolarisatsioon ja impulssi ei edastata järgnevale neuronile (Tenhunen jt, 2022, 101).

Närv lõpeb teiste närvirakkude närvilõpmetena või kindlas elundis, põhilised viisid kuidas närv lõpeb on järgnevad:

- 1) efektor - motoorsed närvilõpmed;
- 2) retseptorid - tundenärvilõpmed;
- 3) sünaptsid - neuronitevahelisi kontakte tagavad närvilõpmed.

Efektorid on lihastes ja näärmetes motoorsete närvirakkude aksonite lõpmed. Efektorite kaudu toimub impulsi ülekandumine närvilt näärmesse või lihasesse. (Roosalu, 2020, 184)

1.1 Anatoomia

1.1.1. Perifeerne närvisüsteem

Perifeerne närvisüsteem koosneb kõikidest närvidest, mis asuvad väljaspool peaju ja seljaaju. Perifeerne närvisüsteem jaguneb kolmeks: somaatiline, sensoorne ja autonoomne. Somaatilise närvisüsteemi ülesandeks on olla info vahendaja motoorsete neuronite ja KNS vahel. Somaatiline närvisüsteem on ühendatud sensoorse närvisüsteemiga, mis on omakorda

ühendatud retseptoritega. Lisaks somaatiline närvisüsteem vastutab ka tahteliste liigutuste ja väliskeskkonnalt saadud informatsiooni töötlemise eest (kuulmine, nägemine, puudutus). (Tenhunen jt 2022, 94 -95)

Retseptorid on spetsiaalsed sensoorsed organid, mis registreerivad välis- või sisekeskkonnas toimuvaid muutusi, näiteks: ärritus, puudutus, rõhu ja temperatuuri muutus. Ärritused kantakse edasi elektriimpulssi näol, mida töötleb kesknärvisüsteem. Proprioretseptorid, nagu näiteks sisekõrva labürint, edastavad palju teavet pea asukoha ja liikumise kohta ruumis, liigeste asendi kohta ning kui palju on vaja jõudu rakendada, et teha teatud liigutust. Iga närv reageerib sobivale spetsiifilisele stiimulile, eeldusel, et stiimuli pinge on üle läve. Sensorseid retseptoreid leidub nahas, siseelundites ja keha sügavamates kohtades. Enamik naha retseptoreid on eksterotseptorid. Need on jagatud kaheks klassiks: vabad närvilõpmed ja kapseldatud otsaorganid. Vabade närvilõpmetega närvid edastavad teavet valu ja temperatuuri muutuste kohta. Kapseldatud närvilõpmed edastavad teavet vibratsiooni ja surve kohta. Vabade närvilõpmetega retseptorid ei asu ainult nahas vaid ka peaaegu kõikides organites, kus nad edastavad ermilist ja organite kahjustuse teavet. (Frotscher, Baehr, 19)

Autonoomne närvisüsteem aga koosneb järgnevatest osadest: sümpaatiline ja parasümpaatiline närvisüsteem. Sümpaatiline närvisüsteem reageerib keskkonnale või ohu korral suurendades organismi jõudlust. Sageli nimetatakse sümpaatilise närvisüsteemi tegevust “põgene või võitle”. Parasümpaatiline närvisüsteem on sümpaatilise närvisüsteemiga võrreldes vastupidise toimega. Parasümpaatilise närvisüsteemi põhiline eesmärk on lasta organismil puhata, kontrollides siseelundite töötamise kiirust. Parasümpaatiline närvisüsteem töötab kõige aktiivsemalt, kui organism on puhkeolekus. (Tenhunen jt 2022, 94-95)

1.1.2 Tsentraalne närvisüsteem

Tsentraalse närvisüsteemi ehk KNSi ülesandeks on võtta vastu informatsiooni ja seda töödelda ning vastavalt informatsioonile käivitada vajalikud protsessid. KNS koosneb peaajust ja seljaajust. Seljaaju ühendab PNS-i peaaajuga, lisaks vastutab seljaaju reflekside eest. Peaaju on ümbritsetud ajuvedelikuga, mille eesmärk on kaitsta aju mehaaniliste vigastuste eest, näiteks põrutus. (Roosalu, Meeli 2020, 192)

1.2 Füsioloogia

Perifeerne närvisüsteem ehk PNS on jaotatud kolmeks osaks: autonoomseks-, sensoorseks- ja somaatiliseks närvisüsteemiks. Autonoomne närvisüsteem toimib inimese tahtest sõltumata. Autonoomne närvisüsteem vastutab kehasiste protsesside eest, näiteks südame töötamine. Somaatiline närvisüsteem allub inimese tahtele. Eelnimetatud sümpaatiline ja parasümpaatiline närvisüsteem toimivad vastakuti. (Tenhunen, Antero jt, 94)

Puhkeolekus organismil töötab parasümpaatiline närvisüsteem kõige aktiivsemalt, kiirendades siseelundite tööd, samal ajal kui sümpaatiline närvisüsteem on puhkeolekus. Ohu või füüsilise koormuse all olles parasümpaatiline närvisüsteem aeglustab siseelundite tööd ja sümpaatiline närvisüsteem kiirendab südamegevust, laiendab hingamisteid, mille abil suureneb lihastesse hapniku transport. Selle tulemusel organism valmistab ennast ette füüsiliseks tegevuseks. (Tenhunen, Antero jt, 95)

Kesknärvisüsteemis toimuvad keerulised protsessid, mis aitavad meil orienteeruda igapäevaelus ja on abiks ellujäämisel. KNS-i tööd saab kirjeldada mitmel järgneval viisil. Esimeseks on väline või sisemine stiimul, mis mõjutab meelt ning selle tulemusel organid kutsuvad esile närviimpulsside teket. Teiseks on impulsid, mis liiguvad KNS-i ja seal toimub info töötlemine. Kolmandaks vastavalt tõlgitud infole genereeritakse impulss, mis liigub mööda motoorseid närve kindlasse elundkonda (näiteks käe lihastesse) ning elundkond reageerib vastavalt väljundile, mida KNS genereeris ja tekib reaktsioon stiimulile. (Tenhunen jt 2022, 95)

KNS on välja arenenud kohanemisvõime ehk refleks. Refleks on kiire tahtest olenematu reaktsioon stiimulile. Refleksid saavad olla tingitud ja tingimatud. Tingitud refleksid on elu jooksul ja kogemuste põhjal välja arenenud, näiteks kui laps õpib kuuma pliiti vältima. Tingimatud refleksid on inimesele geneetiliselt kaasa antud, näiteks oksendamise. Mõned tingimatud refleksid ei pruugi inimese elu lõpuni säilida. Refleksi kulgemine algab sellest, et nahas olevad retseptorid võtavad ärrituse vastu. Vastuvõetud info edastatakse kesknärvisüsteemi sünapsi näol. Jõudes seljaajju, tõlgendatakse sünapsi ja leitakse sellele vastav refleks. Refleks liigub sünapsi näol mööda motoorseid närve reageerivasse organisse. (Tenhunen jt 2022, 104-106)

1.3 Külma mõju inimese närvisüsteemile

Külm on üks olulisemaid füsioloogilisi tegureid, mis võib mõjutada kõiki ENMG testi mõõdetavaid näitajaid, nagu aktsioonipotentsiaali kestvus ja amplituud, lisaks temperatuur võib mõjutada motoorse üksuse aktsioonipotentsiaali morfoloogiat nõela EMG testi ajal. Kui seda fakti ei arvestata, võib juhtivuse kiirus uuringute käigus aja jooksul suurenda ja närv soojeneb, hoolimata püsivast nahatemperatuurist. Varasemalt uuritud närvid viivad signaali läbi aeglasemalt kui hiljem uuritud närvid, pärast alusnärvi soojenemist, võib tekkida segadust tulemustes, mis on raskesti tõlgendatavad. Sageli jahutatakse närve uuringu käigus, mis põhjustab hiljem uuritud närvide läbiviimise aeglasemat kiirust võrreldes nendega, mis olid eelnevalt uuritud. (Electrodiagnostic Sources of Error, 78 - 80)

Müeliniseeritud kiudude puhul määrab juhtivuse kiiruse peamiselt Ranvieri sõlmedes toimuv depolarisatsiooni viivitus. Külm mõjutab nii perifeerset närvisüsteemi kui ka KNS-i. Varasemates uuringutes on näidatud, et keskmine inimese närvisüsteemi kiirus aeglustub lineaarselt 1,5-2,5 m/s iga 1°C kukumisega temperatuurivahemikus 21°C kuni 34°C. Närvisüsteemi aeglustumine tuleneb hilinevad naatriumkanalite inaktiveerimisest, mis omakorda pikendab depolarisatsiooni aega. Närvi jahutamisel pikeneb üksikute sensoorsete närvikiudude aktsioonipotentsiaal, mis viib faaside tühistamise vähenemisele ja liitnärvi aktsioonipotentsiaali suurenemisele. Seetõttu annab jahutamine väga ebatavalise mustri: aeglustunud kiirused, kuid suurenenud amplituudid. Äärmiselt jahedate jäsemete puhul võib olla vajalik 20–40 minutit, et närvi temperatuur tasakaalustuks. (Electrodiagnostic Sources of Error, 78 - 80)

1.4 Praktilise töö põhjendus

Praktiline osa aitab uurida normaalse kudede temperatuuri (34-36 Celsiuse kraadi) ja madala kudede temperatuuri korral närvide juhtivust ning aitab neid võrrelda. Lisaks annab praktiline katse visuaalse ülevaate graafikute näol.

1.5 ENMG tööpõhimõte

Elektroneuromüograafia (ENMG) on test, mille abil saame uurida perifeerse närvisüsteemi tööd ning diagnoosida seda kahjustavaid protsesse. ENMG abil saame uurida seljaaju, närvijuurte, perifeersetel närvidel, närvi-lihase ülekande ja lihase haiguslikke seisundeid. Uuringu saab jagada kaheks osaks: närviuuring ehk neurograafia ja lihase uuring ehk

müograafia. Neurograafia uuringu ajal saab hinnata eraldi närvi sensoorseid ja motoorseid kiude. Motoorsete närvide uurimisel kasutatakse distaalselt vastava närvi poolt innerveeritavat lihast, millele kleebitakse registreeriv elektrood. Stimuleeritakse elektri impulssidega võimalikult otse närvi kohalt, kasutades minimaalselt kahte stimulatsioonipunkti. Saadavat vastust nimetatakse CMAPiks ehk *compound muscle action potential*, mis sisuliselt on lihase aktsioonipotentsiaal. Sensoorsel närvil kasutatakse ühte stimulatsiooni punkti ning saadav vastus peegeldab närvikiudude aktsioonipotentsiaali (SNAP - sensory nerve action potential). (Primary Hospital. 2024)

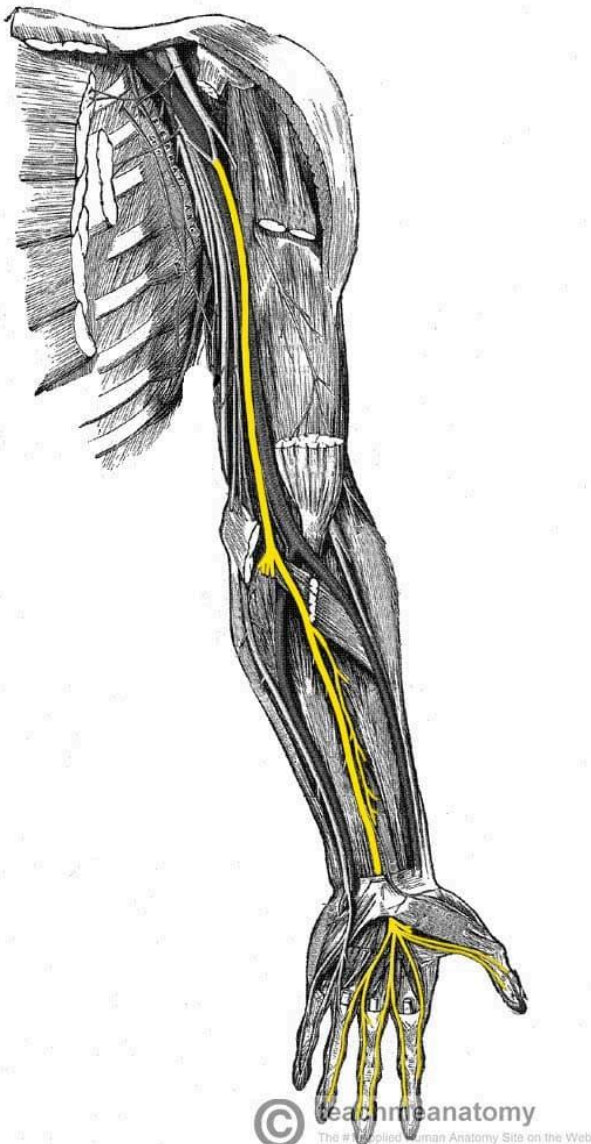
Müograafia uuringul uuritakse nõel-elektroodiga lihaseid. Selle testi osa kaudu saame hinnata otseselt lihase tööd ja kaudselt hinnata ka närvikahjustust, kas siis seljaaju, närvijuure või individuaalsete närvide tasemel. Samuti saab selle abil määrata kahjustuse ajalist kestvust (äge, alaäge või krooniline). (Primary Hospital. 2024)

ENMG uuring võib olla inimesele üsna ebameeldiv, kuna neurograafia uuringus kasutatakse korduvaid elektri impulsse ning müograafia uuringul tuleb läbi naha lihasesse sisestada nõel-elektrood. (Primary Hospital. 2024)

2. PRAKTILINE TÖÖ

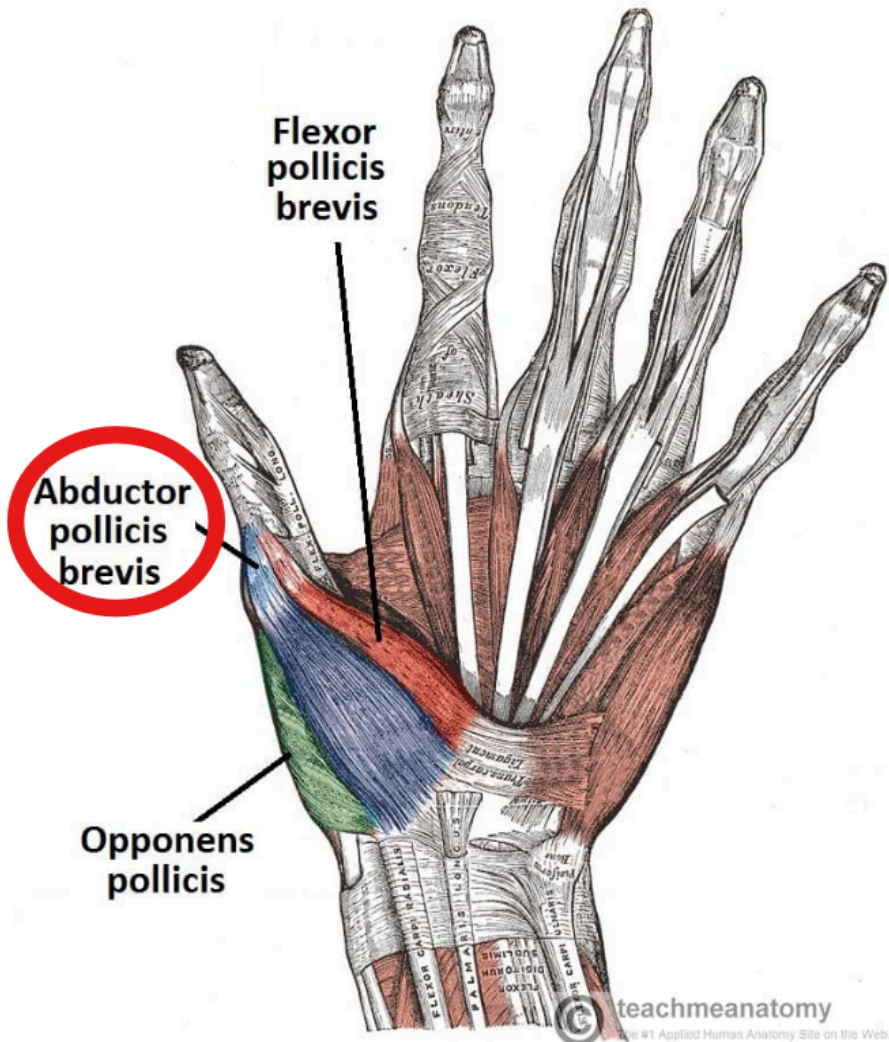
2.1 Praktilise osa ülesehitus ja tulemused

Praktiliseks osaks olid katsed, mis leidsid aset Tartu ülikooli kliinikumis ENMG kabinetis. Katse teostati töö autori paremal käel. Katse teostamiseks stimuleeriti elektri impulssidega *n.medianuse* (mediaannärv) (joonis 2) motoorset haru ning sensoorset haru kolmandal sõrmel (joonis 5). Kasutati rahvusvaheliselt kokkulepitud uuringuprotokolli *n.medianuse* uurimiseks. Stimulatsioon toimus nii sensoorse kui motoorse haru uurimiseks randmelt, kus närv asetseb pindmisemal.



Joonis 2. “n. medianus” (TeachMe Anatomy. 2024)

Motoorse närvi uurimiseks asetati registreeriv elektrood *musculus abductor pollicis brevis*-ele (joonis 3) ning referentselektrood põidla distaalsele liigesele. Stimulatsioonipunkt oli registreerivast elektroodist 8 cm kaugusel randmelt (joonis 4) ning teine stimulatsioon toimus küünarlohu piirkonnast (joonis 5). Katses mõõdeti distantssi kahe stimulatsiooni punkti vahelt.



Joonis 3. “lühike põidla eemaldaja lihas” (TechMe Anatomy.2024)



Joonis 4. “Motoorse n. medianuse vastuse uurimine” (Erakogu)



Joonis 5. “Sensoorse n.medianuse uurimine” (Erakogu)

Sensoorse haru uurimiseks asetati elektrodid kolmanda sõrme peopesa poolsele pinnale, stimulatsioon toimus randmelt. Seejärel mõõdeti distants stimulatsiooni koha ja registreeriva elektroodi vahel.

Katse toimus kahes etapis. Kõigepealt uuriti, kuidas labakäe kudede jahutamine (joonis 6) 19 Celsiuse kraadi juures mõjutab närvide juhitavust (tabel 7). Teises etapis soojendati labakäsi ja ranne 33 Celsiuse kraadini.



Joonis 6. “Labakäe kudede jahutamine külma-aplikatsiooniga” (Erakogu)

Tabel 7. Motoorsete närvide juhitavuse uuring tabel (SA Tartu Ülikooli Kliinikum, 2024)

| Nerve / Sites | Muscle | Latency ms | Amplitude mV | Segments | Dist. cm | Lat Diff ms | Velocity m/s | Comments |
|-----------------------|--------|---------------|-----------------|---------------|-------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| R Median - APB | | | | | | | | |
| Wrist | APB | 4,85 | 13,4 | Wrist - APB | 8 | | | katse 1, s1 temp 19, s25 |
| Elbow | APB | 8,81 | 13,6 | Elbow - Wrist | 23 | 3,96 | 58,1 | |
| R Median - APB | | | | | | | | |
| Wrist | APB | 3,15 | 12,3 | Wrist - APB | 8 | | | katse soe, temp 32 |
| Elbow | APB | 6,96 | 12,3 | Elbow - Wrist | 22,5 | 3,81 | 59,0 | |

Katsest saadud andmetest oli leitud, et 19 Celsiuse kraadi juures *n.medianuse* motoorse närvi vastuse distaalne juhteaeg oluliselt pikenes - 4,85 ms, füsioloogilise "normaalse" temperatuuri juures oli vastav väärtus 3,15 ms (tabel 7). Labakäe jahutamine ei mõjutanud närvi motorset juhtekiirust küünarvarrel, mis oli vastavalt 58,1 m/s ja 59,0 m/s (tabel 7), kuna küünarvarre kudede temperatuuri me katse käigus ei mõjutanud.

Sensoorse *n.medianuse* haru vastus kolmandal sõrmel kudede jahtumise tagajärjel oluliselt aeglustus ning amplituud oluliselt kasvas, vastavalt 46 m/s ning 47,9 μ V. Soojal jäsemel olid tulemused oluliselt paremad - juhitavuse kiirus oli 61 m/s ning vastuse amplituud vastav 22 μ V (tabel 8). Üksikute mõõtmistulemuste graafikud on välja toodud lisades (lisa 1).

Tabel 8. Sensorsete närvide juhitavuse uuring tabel (SA Tartu Ülikooli Kliinikum 2024)

| Nerve / Sites | Rec. Site | Onset Lat ms | Peak Lat ms | NP Amp μ V | PP Amp μ V | Segments | Distance cm | Velocity m/s | Comment |
|--|-----------|-----------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------|----------------|-----------------|------------------------|
| R Median - Dig III (Antidromic) | | | | | | | | | |
| Wrist | Index | 3,28 | 4,58 | 47,9 | 84,4 | Wrist - Index | 15 | 46 | katse 1, temp 19 |
| R Median - Dig III (Antidromic) | | | | | | | | | |
| Wrist | Index | 2,55 | 3,18 | 22,0 | 32,4 | Wrist - Index | 15,5 | 61 | katse 2, soe, temp 33. |

3. ANALÜÜS

Vastavalt teoreetilises osas välja toodud varasema uuringu ülevaatele, milles leiti, et inimese närvide juhtekiirus aeglustub lineaarselt 1,5-2,5 m/s iga 1 Celsiuse kraadi temperatuuri languse korral, sai uurimistöö autor sarnase tulemuse. Mõlemal katsel inimese närvide juhtekiirus aeglustus.

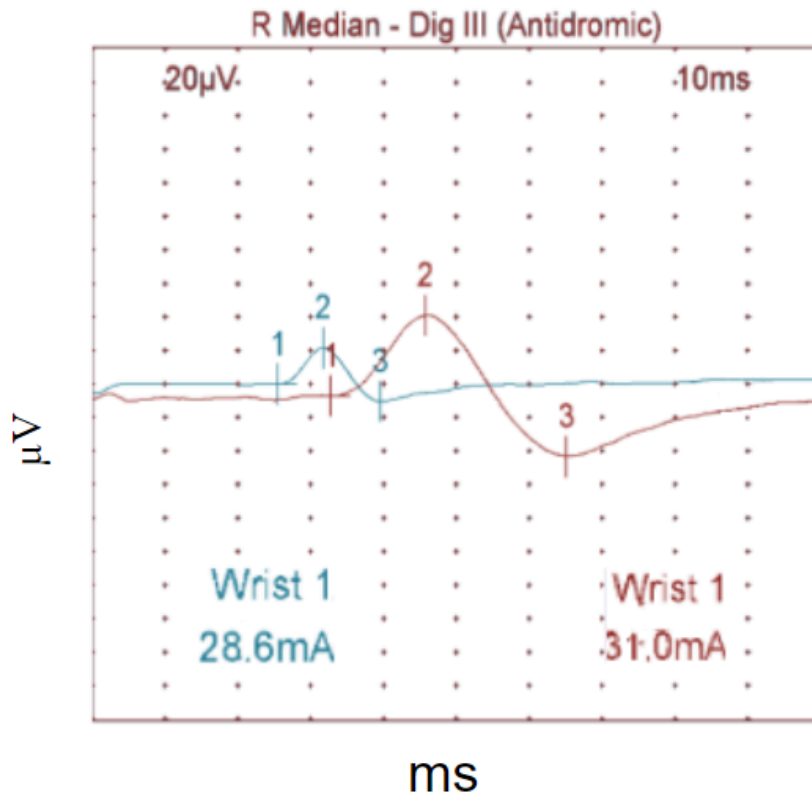
Teooriaosas on välja toodud, et närvide juhtekiiruse aeglustumine tuleneb hilinenud naatriumkanalite inaktiveerimisest, mis omakorda pikendab depolarisatsiooni aega. Neurograafilised tulemused näitavad, et närvi jahutamisel pikeneb üksikute sensoorsete närvikiudude aktsioonipotentsiaal, mis viib faaside tühistamise vähenemisele ja liitnärvi aktsioonipotentsiaali suurenemisele. Seetõttu annab jahutamine väga ebatavalise mustriga aeglustunud kiirused, kuid suurenenud amplituudid (joonise 9; joonis 10).

Sensoorse mediaannärvi juhtekiirus jahutamisel oluliselt aeglustus ning amplituud oluliselt kasvas, jäädes vastavalt 46 m/s ja 47,9 μV . Soojal jäsemel olid tulemused märkimisväärselt paremad - juhtivus oli kiirem (61 m/s) ning vastuse amplituud oli madalam, 22 μV (tabel 8)

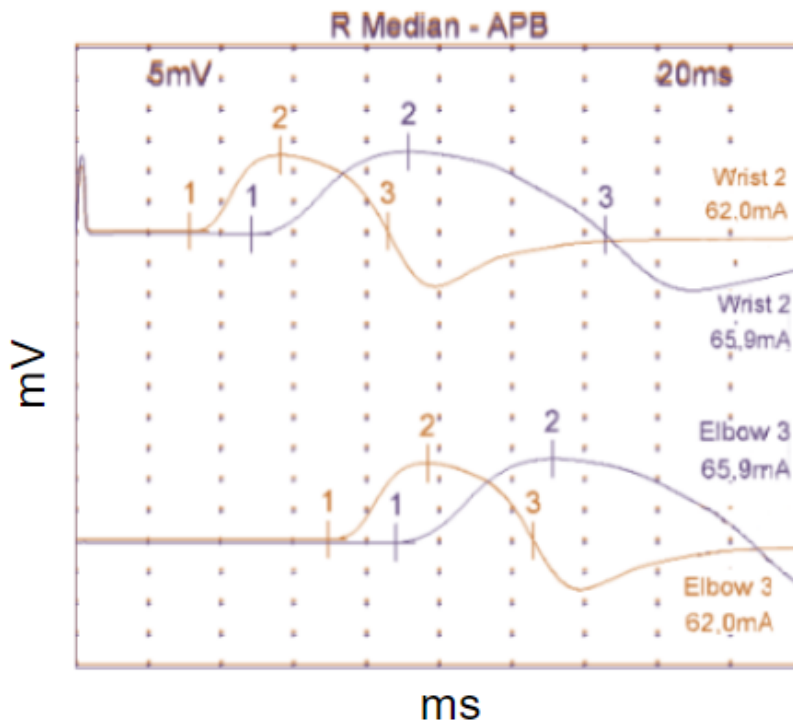
Sensoorsete närvide töö aeglustus 19 Celsiuse kraadi juures 15 m/s võrra (tabel 8) võrreldes sooja jäsemega (33 °C).

Kokkuvõtteks, katsest saadud tulemust põhjal saab järeldada, et külmaga kokkupuutel aeglustub närvide juhtekiirus. Autor sai uurimisküsimusele vastatud ning hüpotees leidis kinnitust.

Joonis 9. Sensorsete närvide juhitavuse alusel koostatud ühine graafik (andmed pärinevad Dr. Sandra Aarnalt, graafikud koostas Konstantin Kuzmitšov (joonis 7 ja 8), 11.01.2024)



Joonis 10. Motoorsete närvide juhitavuse uuring (andmed pärinevad Dr. Sandra Aarna poolt, kuid graafiku autor on Konstantin Kuzmitšov (joonis 9 ja 10), 11.01.2024).



Jätku-uuringus võiks olla uurimisobjektiks rotid, kuna rottidel on sarnane närvisüsteemi ülesehitus inimesega. Rottide peal on teinud palju neuroteaduslikke uuringuid Jaak Panksepp. Jaak Panksepp on avastanud, et mängimine on samasugune primaarne instinkt (TEDx talks, 2014), nagu näiteks vibreerimine külma korral. Jätku-uuringutes on võimalik uurida lähemalt külma ja naeru sarnaseid mõjusid närvisüsteemile. Näiteks võiks uurida, kas mõlemad stimuleerivad samu neurotransmittereid.

KOKKUVÕTE

Varasemate uuringute põhjal on leitud, et juhtekiirus aeglustub 1,5-2,5 m/s iga 1 Celsiuse kraadi temperatuuri languse korral. See põhimõte kehtib temperatuurivahemikus 21 Celsiuse kraadi kuni 34 Celsiuse kraadini. Juhtekiiruse aeglustumine on tingitud hilinevad naatriumkanalite inaktiveerimisest, mis omakorda pikendab depolarisatsiooni aega. Läbiviidust katsest ennemainitud põhimõtte ei kehtinud.

Hüpoteesi kontrollimiseks kasutati elektroneuromüograafiat (ENMG), mida teostati SA Tartu Ülikooli Kliinikumis autori enda peal. Katses selgus, et 19 Celsiuse kraadi juures pikenes keskmise närvi motoorse närvi vastuse juhteaeg oluliselt, ulatudes 4,85 m/s-ni, füsioloogilise "normaalse" temperatuuri juures oli vastav väärtus 3,15 m/s. Labakäe jahutamine ei mõjutanud närvi motoorset juhtekiirust küünarvarrel, mis oli vastavalt 58,1 m/s ja 59,0 m/s. Madalal temperatuuril on sensorsete närvide juhteaeg 46 m/s, mis on 15 m/s võrra aeglasem.

Katsetulemuste põhjal võib järeldada, et madal temperatuur mõjutab perifeersete närvide juhtekiirust, põhjustades selle aeglustumist. Lisaks suurendab madalam temperatuur aktsioonipotentsiaali amplituudid.

Jätku-uuringus võiks olla uurimisobjektiks rotid, Jätku-uuringutes on võimalik uurida lähemalt külma ja naeru sarnaseid mõjusid närvisüsteemile. Näiteks võiks uurida, kas mõlemad stimuleerivad samu neurotransmittereid.

KASUTATUD KIRJANDUS

Aarna, S. (11.01.2024) Sensorsete närvide juhitavuse uuringu alusel koostatud ühine graafik. [graafik]. Tartu Ülikooli Kliinikumis tehtud (2024) graafikute põhjal koostatud ühtne graafik.

Aarna, S. (11.01.2024) Motoorsete närvide juhitavuse uuringu alusel koostatud ühine graafik. [graafik]. Tartu Ülikooli Kliinikumis tehtud (2024) graafikute põhjal koostatud ühtne graafik.

Digiõppevaramu. Vara E-koolikott (14.04.2024)

<https://vara.e-koolikott.ee/taxonomy/term/3575>

Electromyography and Neuromuscular Disorders. 2021. Electrodiagnostic Sources of Error: Anomalies, Artifacts, Technical Factors, and Statistics (2021). Kättesaadav: <https://guides.lib.umich.edu/c.php?g=282847&p=9400454> (15.04.2024)

Frotscher, M., Baehr, M. 2005. Duus' Topical Diagnosis in Neurology. Stuttgart: New York.

Jones, Oliver 2024. The Median Nerve. - Teach Me Anatomy. Kättesaadav: <https://teachmeanatomy.info/upper-limb/nerves/median-nerve/> (13.04.2024)

Jones, Oliver 2024. The Abductor Pollicis Brevis. - Teach Me Anatomy. Kättesaadav: <https://teachmeanatomy.info/encyclopaedia/a/abductor-pollicis-brevis/>

Mari, L [@mari, L].2018, veebruar, 24. Närviimpulsi moodustumine ja levik. [kuvatõmmis]. E-koolikott.

Primary Hospital. Elektroneuromüograafia (ENMG) 2024.

<https://primayahospital.com/en/teknologi/electromyography/>

Roosalu, M. 2020. Inimese anatoomia. Tallinn: Koolibri.

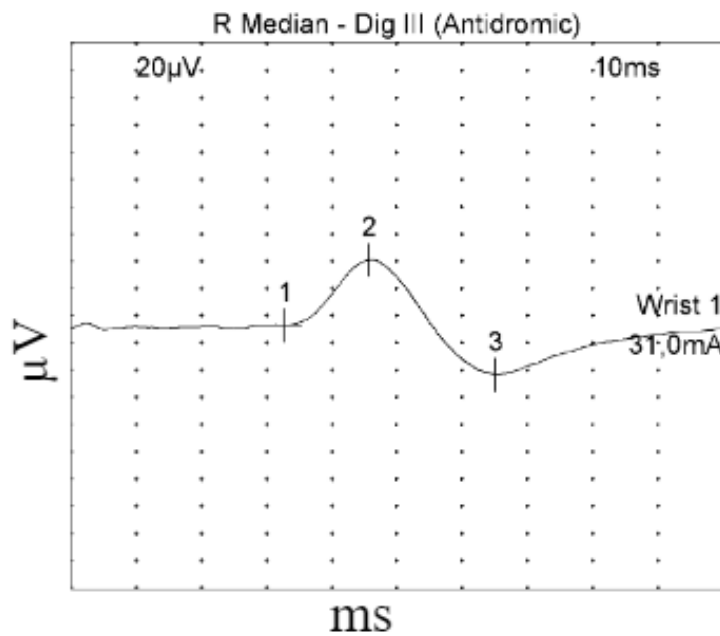
Tenhunen, A., Hain, E., Venäläinen, J , Tihtarinen-Ulmanen, M. , Holopainen, M., Sotkas, P., Happonen, P., Haldre, K., Tsaro, K. (2022). Bioloogia õpik gümnaasiumile, II kursus. Organismide energiavajadus, areng ja regulatsioon. Tallinn: Avita

Youtube, TEDx Talks 2014. The science of emotions: Jaak Panksepp at TEDxRainier.

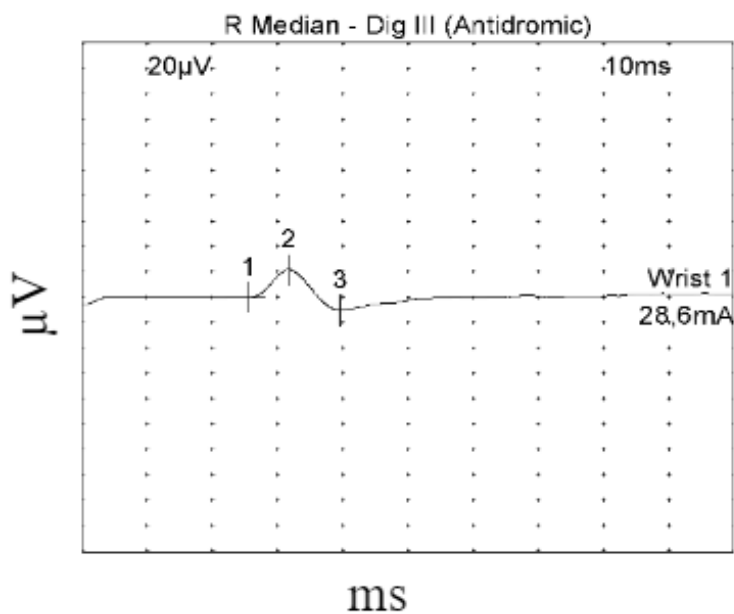
Kättesaadav: https://youtu.be/65e2qScV_K8?si=IRyDZo7lNB8tHwrX (18.04.2024)

Lisa 1. Neurograafia tulemused

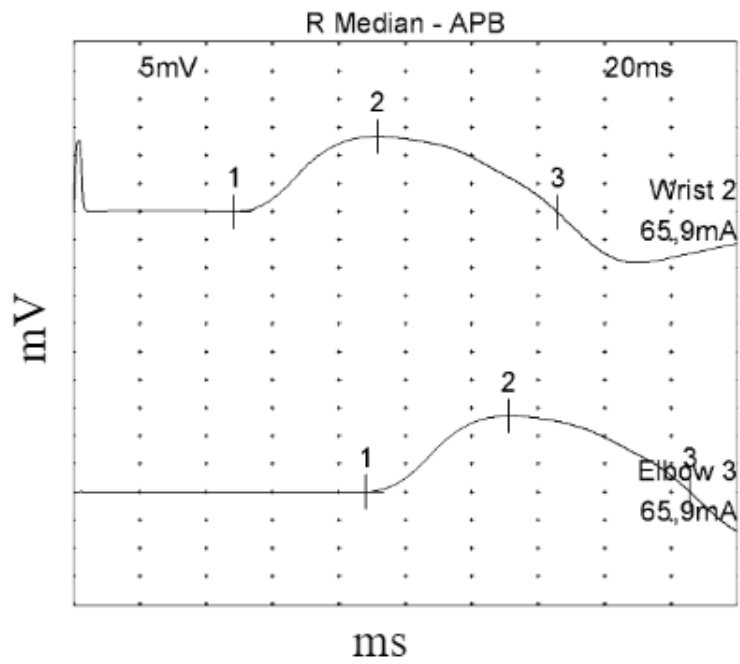
Joonis 11. Sensorsete närvide neurograafia tulemused. Graafikud on koostatud Dr. Sandra Aarna poolt (11.01.2024)



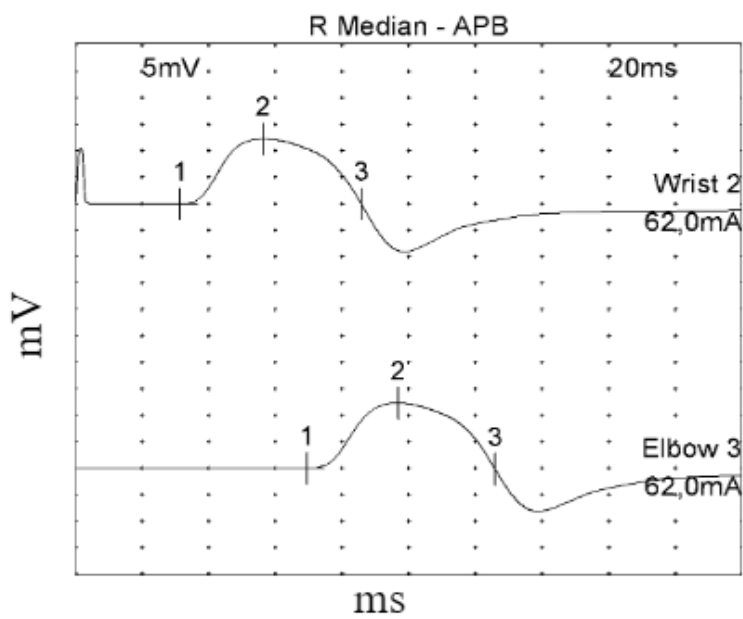
Joonis 12. Sensorsete närvide neurograafia tulemused. Graafikud on koostatud Dr. Sandra Aarna poolt (11.01.2024)



Joonis 13. Motoorse närvide neurograafia tulemused. Graafikud on koostatud Dr. Sandra Aarna poolt (11.01.2024)



Joonis 14. Motoorse närvide neurograafia tulemused. Graafikud on koostatud Dr. Sandra Aarna poolt (11.01.2024)



SUMMARY

The title of the current research paper is "Effects of Cold on the Peripheral Nervous System." The motivation behind the chosen work is to study the nerves and the ongoing processes within them when subjected to low temperatures. The author's hypothesis was that nerve processes slows down when exposed to low temperatures.

The paper is divided into two parts: the theoretical part and the practical part. The theoretical section discusses neurons, the nervous system, and how it functions. The ENMG apparatus was used to conduct a practical experiment. An analysis and comparison were performed on the data from the ENMG apparatus, based on which a conclusion was drawn.

A practical test at Tartu Ülikooli Kliinikum was conducted to verify the hypothesis. The practical test also provides a visual representation of the differences between "normal" and low temperatures. The author created a single graph from the graphs obtained during the practical experiment for a visual overview.

Based on experiments conducted in previous studies, it was found that on average, the human nervous system slows down 1.5-2.5 m/s with every 1°C drop. However, this principle only applies in the temperature range of 21°C to 34°C. The slowing of the nervous system results from the inactivation of delayed sodium channels, leading to a longer depolarization time.

The test was successful, and the author's hypothesis was proven correct. Upon analyzing the gathered data, it became evident that there is a difference in nerve reaction time when exposed to low temperatures.

From the results obtained from the experiment, it was found that at 19 degrees Celsius, the control time of the n. medianus motor nerve response was significantly increased to 4.85 ms, whereas at the physiological "normal" temperature, the corresponding value was 3.15 ms. Cooling of the palm did not affect the motor conduction velocity of the nerve on the forearm, which was 58.1 m/s and 59.0 m/s, respectively.

In longitudinal studies, rats could be investigated as research subjects. Such studies offer the opportunity to explore similarities between the effects of cold exposure and laughter on the nervous system. For example, one could examine whether both stimuli trigger the same neurotransmitters.

AUTORIDEKLARATSIOON

Käesolevaga kinnitan, et olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Käesolevat tööd ei ole varem esitatud kusagil mujal.

Annan töö positiivsele hindele kaitsmise korral Elva Gümnaasiumile tasuta loa (lihtlitsents) enda koostatud uurimistöö või praktilise töö kirjaliku osa reprodutseerimiseks, säilitamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni, juhul kui sellega ei riivata kolmandate tööga seotud osapoolte õigusi.

Ülaltoodust tulenevalt kinnitan, et viitan oma töö kasutamisel või esitamisel edaspidi alati Elva Gümnaasiumile kui töö kaasautorile.

.....

/kuupäev, töö autori nimi ja allkiri/

Juhendaja(te) otsus kaitsmisele lubamise kohta

.....

/kuupäev, juhendaja nimi ja allkiri/