



**LATVIJAS
UNIVERSITĀTE**

Latvijas Universitātes Medicīnas fakultāte

Alekseja Miščuka

Promocijas darbs

**JAUNS REĢIONĀLĀS ANESTĒZIJAS
PROBLĒMU RISINĀJUMS.**

Medicīnas zinātņu doktora grāda iegūšanai

Rīga, 2011



Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Universitātes Medicīnas fakultātē, Latvijas Universitātes Atomfizikas un spektroskopijas institūtā, VSIA Traumatoloģijas un ortopēdijas slimnīcā ar ESF fonda atbalstu.

Promocijas darba vadītājs:

Profesors Dr. hab. med. Māris Mihelsons (Latvijas Universitāte)

Promocijas padomes priekšsēdētājs:

Profesore Dr. hab. med. Aija Žilēvica (Latvijas Universitāte)

Oficiālie recenzenti:

Assoc. profesors Dr. med. Dainis Krieviņš (Latvijas Universitāte)

Assoc. professore Dr. med. Biruta Mamaja (Rīgas Stradiņa Universitāte)

Assoc. profesors Dr. med. Andres Sell (Tartu Universitāte, Igaunija)

Aizstāvēšana notiks 2012. gada 27. janvārī Latvijas Universitātes medicīnas, bioloģijas un farmācijas nozaru promocijas padomes sēdē LU Vēstures muzejā, Rīgā, Raiņa bulvārī 19.

Darbā izmantotie saīsinājumi

ASA - *American Society of Anesthesiologists* (Amerikas anesteziologu asociācija)

ANOVA - dispersijas analīze

CNS – centrālā nervu sistēma

EA - epidurāla anestēzija

EEG – elektroencefalogramma

ITN – intensīvās terapijas nodaļa

KSEA - kombinēta spināli-epidurāla anestēzija

ĶMI - ķermeņa masas indekss

LA - lokālie anestētiķi

LARA – biedrība “Latvijas anesteziologu un reanimatologu asociācija”

MAC - minimālā alveolārā koncentrācija

PNB - perifēro nervu bloks

PNS - perifērā nerva stimulācija

PPG - fotopletismogramma

PPGI - vizualizācijas fotopletismogramma

PSA - prolongēta spināla anestēzija

PRA – perifēra reģionāla anestēzija

RA - reģionāla anestēzija

SĀAR - simpātiskā ādas atbildes reakcija

SA - spināla anestēzija

TOS – VSIA “Traumatoloģijas un ortopēdijas slimnīca”

US – ultrasonoskopijas atbalstīta reģionāla anestēzija

USA - unilaterāla spināla anestēzija

VA - vispārēja anestēzija

Anotācija.

Promocijas darbs ir izstrādāts kā praktiskais risinājums vienai no reģionālās anestēzijas problēmām - pirms operācijas izvērtēt perifēras RA efektivitāti. Ne tikai Latvijā, bet arī citur pasaulē aktuāla problēma reģionālās anestēzijas laikā ir brīdis, kad nepieciešams pārbaudīt pacienta gatavību paredzētajai operācijai, īpaši respektējot faktu, ka vidēji perifēra reģionāla anestēzija veiksmīga ir 85-100% gadījumu, atkarībā no operācijas lokalizācijas, apjoma, personāla pieredzes utt. Pēc reģionālās anestēzijas veikšanas ārstam anesteziologam jāpārliciecinās par izpildītā reģionālā bloka kvalitāti un jāļauj sākt operāciju. Lai izvairītos no sāpēm, ko var izraisīt ķirurģiskais grieziens, anestēzijas – analgēzijas līmeni pagaidām nosaka, izmantojot klīniskās metodes. Šīs metodes nav kvantitatīvas, tās ir subjektīvas un pamatā balstās uz ārsta un pacienta kontaktu. Respektējot atšķirīgo pacientu apziņas līmeni, kas atkarīgs no pacienta vecuma, sedācijas pakāpes un vispārējā somatiskā stāvokļa, šāda noteikšana mēdz izrādīties neproduktīva un kļūdaina.

Promocijas darba laikā tika izpētīta esošā situācija vienā no Latvijas slimnīcām, kur, iespējams, visbiežāk izmanto reģionālo anestēziju. Tika statistiski apkopoti dati par perifēras reģionālās anestēzijas veiksmīgumu pacientiem, kurus operēja sakarā ar roku un plaukstu kaulu lūzumiem, kā arī citām šī anatomiskā rajona patoloģijām.

Izanalizēta pasaules pieredze subjektīvo un kvantitatīvo metožu izmantošanā RA noteikšanai. Sākumā tika izpētītas jau zināmas metodes RA noteikšanai, novērtēti to trūkumi un ierobežojumi. Lai paaugstinātu pacienta drošību, tiek meklēti risinājumi, kurus izmantojot, būtu iespējams kvantitatīvi noteikt reģionālās anestēzijas iestāšanās brīdi. Promocijas darba izstrādes laikā ar loģisku secību realizēti pieci pētījumi: viens retrospektīvs (pētījums Nr.1) un četri prospektīvie klīniskie novērojumi (pētījums Nr.2-5). Klīniskie novērošanas pētījumi (*angl.: clinic prospective observational study*) veikti laika posmā no 2006. gada novembra līdz 2010. gada augustam. Par prototipu izvēlēta metode, kuras pamatā ir organisma simpātiskās sistēmas atbildes kvantitatīvā novērtēšana pēc lokālo anestētiķu (LA) adekvātas ievadīšanas perifēras RA laikā.

Sadarbībā ar Latvijas Universitātes Atomfizikas un spektroskopijas institūtu (LU ASI) un ar ESF atbalstu ir izstrādāta jauna kvantitatīva, viegli lietojama, neinvazīva un bezkontakta metode, ar kuru iespējams kvantitatīvi noteikt „veiksmīgas” un „neveiksmīgas” RA, izslēgt subjektīvo komponentu RA noteikšanā, tādējādi paaugstinot anestēzijas drošību un kvalitāti. Statistiski un klīniski ir pierādīta bezkontakta fotopletismogrāfijas vizualizācijas metodes efektivitāte, ievērojami paaugstināta anestezējamā pacienta drošība. Pēc paveiktiem pētījumiem 2011.gadā 17. jūnijā tika iesniegts patenta pieteikums.

Annotation.

The doctoral thesis is designed as a practical solution to one of the problems of regional anaesthesia (RA). Both in Latvia and outside its borders the important problem during the RA is considered to be the time when it is necessary to verify the readiness of the patient for the operation, keeping in mind the fact that, on average, the peripheral RA is successful in 85-100% cases, depending on the location and size of the operation, staff experience etc. After the RA the anaesthesiologist verifies the quality of the regional block performed and gives the permission to start the operation. To avoid the pain caused by surgical cut, the level of anaesthesia-analgesia is estimated through clinical methods. These methods are not quantitative, they are subjective and basically based on the doctor-patient contact. Respecting the level of patient's consciousness, that depends on patient's age, degree of sedation and general somatic status, clinical estimation methods tend to be counterproductive and incorrect.

This doctoral thesis is based on the research in one of the hospitals in Latvia, which is thought to be the hospital, where RA is used the most. The statistical data of successful peripheral RA for patients with arm and hand fractures and other pathologies was aggregated.

Also, the global experience of using quantitative methods for RA estimation was analysed. To increase the safety of a patient, other solution methods are considered, which would allow to estimate the exact time of accession of the RA. First, the old methods were observed and limitations and weaknesses analysed. Then, five main researches were carried out in logical sequence: one retrospective (Research No.1) and four prospective clinic observational studies (Research No.2-5). Prospective clinic observational studies were conducted between November 2008 and August 2010. The method presented is based on the quantitative evaluation of the response of sympathetic system to an adequate injection of local anaesthetics (LA) during the peripheral RA.

In cooperation with the Latvian University Institute of Atomic Physics and Spectroscopy (LU ASI) and supported by European Social Funds, was developed a new quantitative, easily accessible, non-invasive and no-contact method. It allows to determine whether the RA turned out to be successful or unsuccessful, and also to exclude the subjective components of RA evaluation, thus increasing the quality and mainly safety of anaesthesia. The efficiency of non-contact photoplethysmographic imaging method (PPGI) was proven to be a success both statistically and clinically, and safety level of the anaesthetized patient was proven to have been raised significantly. After the researches carried out in 2011, an application for a patent was submitted.

SATURA RĀDĪTĀJS

Darbā izmantotie saīsinājumi	3
Anotācija (latv.val.)	4
Annotation (angļu val.)	5
Problēmas aktualitāte. Ievads	8
Darba mērķis, hipotēze un uzdevumi	10
I. LITERATŪRAS APSKATS	11
1. Sajūtu modalitāte	
1.1. Veidi un atbildīgie receptori	11
1.2. Nociceptori	13
2. Sāpes	
2.1. Sāpju definīcija	15
2.2. Sāpju anatomija un patoģenētiskie ceļi	15
2.3. Sāpju mērīšana	18
3. Anestēzija un analģēzija	
3.1. Definīcijas un veidi	20
3.2. Intraoperatīvā analģēzija	22
3.2.1. Vispārēja anestēzija	22
3.2.2. Reģionālā un lokālā anestēzija	23
3.3. Anestēzijas un analģēzijas līmeņa noteikšana	24
3.3.1. Vispārējās anestēzijas analģēzijas noteikšana	24
3.3.2. Reģionālās anestēzijas analģēzijas noteikšana	26
4. Monitorings	
4.1. Vitālo funkciju monitorings	27
4.1.1. EKG, NIBP, SpO ₂ , CO ₂ , termometrija, BIS	27
4.1.2. Neirofizioloģiskās izmeklēšanas metodes	29
4.1.3. Pulsa oksimetrija	32
4.2. Āda kā monitoringa objekts	36
4.2.1. Ādas struktūra	36
4.2.2. Ādas vaskularizācija	38
4.2.3. Neirālā un metaboliskā cirkulācijas regulācija	39
5. Fotopletismogrāfija	
5.1. Definīcija un vēsture	41
5.2. PPG pamatprincipi	41
5.3. Remisijas un absorbcijas metodes	43

5.4. Optiskā starojuma viļņa garums un tā iespiešanās audos	44
5.5. PPG pielietošana	46
6. Bezkontakta fotopletizmogrāfijas metode, tās izstrāde un klīniskā izmantošana	47
II. MATERIĀLS un METODEDES	
1. Pētījumu kopējais modelis	54
1.1. Pētījumu pacienti	54
1.2. Kritēriji pacientu iekļaušanai pētījumā un pacientu izslēgšanai no pētījuma	55
2. Dizains	
2.1. Pētījumu kopējais dizains	55
2.2. Atsevišķu pētījumu dizains	58
2.3. Anestēzijas metodes apraksts	66
3. Datu statistiskā analīze	70
III. DARBA REZULTĀTI	
1. Demogrāfijas dati	72
2. Perifēro reģionālo anestēziju datu raksturojums	72
3. Darba rezultātu kopsavilkums	95
IV. DISKUSIJA	99
V. SECINĀJUMI	107
VI. VĒRES	108
VII. PIELIKUMI	120

Problēmas aktualitāte. Ievads.

Klasiski RA pozitīvais efekts ir *motorais*, *sensorais* un *simpātiskais* bloks. Atskatoties uz kopējo pieredzi, nosakot RA, izveidojas loģiska secība, kurai sekojot, anestēzijas iestāšanos var konstatēt ar vairākām metodēm. Plaši izmanto tikai klasiskās klīniskās metodes, jo citas praktiski nav pieejamas. Patlaban nav zināmas tiešas, ideālas metodes, ar kurām varētu noteikt reģionālās anestēzijas iestāšanos vai tās pakāpi pacientiem ar dažādu apziņas līmeni, jo tieši sāpes noteikt nevar.

Sensoru robežu un reģionālās anestēzijas efektu (proti – jutīguma izzušanu) tradicionāli nosaka saspiežot ādu, ar minimāliem adatas dūrieniem vai, pēc kontakta ar aukstumu, piemēram, ar ledus gabaliņu, zūdot aukstuma sajūtai (neirologu standarta klīniskās metodes sensorā stāvokļa novērtēšanai). Šīs *sensorās* RA noteikšanas metodes nenoliedzami ir vienkāršas, bet pārsvarā subjektīvas un balstās uz ārsta-pacienta kontaktu. Diemžēl, šis kontakts mēdz būt apgrūtināts vairāku objektīvu iemeslu dēļ. Pirmkārt, jāatzīmē pacienta mainīgais apziņas līmenis. To ietekmē ļoti daudzi faktori - stress, trauma un tās smagums, nepierastie apstākļi, vecuma mentālās īpatnības, blakus slimība, medikamentozais fons, premedikācijas līmenis, sedācijas pakāpe utt. (Bernards CM et al, 2008). Līdz ar to ļoti bieži vienkārši fiziski nav iespējams saņemt no pacienta adekvātu atbildi par viņa sensorajām izjūtām, vēl vairāk - šādi iegūta atbilde var būt ne tikai neprecīza un neskaidra, bet viltus pozitīva. Tas, savukārt, var radīt situāciju, kad sagatavotais un pozicionētais pacients pirms operācijas faktiski nav pilnībā anestezēts, bet nav iespējas pāriet uz citu anestēzijas veidu esošā pozīcijā, vai tā ir grūti realizējama. Situācija bīstama ne tikai no ētikas viedokļa, bet arī no medicīniskā, jo negaidītas stipras sāpes, ko rada ķirurģisks ādas grieziens, var izraisīt, piemēram, bīstamas koronāras sāpes vai hipertensīvo krīzi, īpaši pacientiem ar iepriekšēju nelabvēlīgu fonu.

Otrkārt, reģionālo anestēziju (RA) dažreiz izmanto uz vispārējās anestēzijas (VA) fona (Bernards CM et al, 2008). Protams, šādas kombinācijas iespēja vienmēr ir ļoti diskutabla no pacienta drošības viedokļa. Kā zināms, veicot perifēro reģionālo bloku, pacients ir samaņā un ar savām izjūtām (sāpes, nemiers, diskomforts, metāla garša mutē, nāves baiļu sajūta) agrīni var signalizēt ārstam par bīstamām komplikācijām (intraneirāla injekcija, intravazāla injekcija, sistēmisks toksiskums, tiešs nerva bojājums). Ja pacientam iepriekš veikta VA, tiek izslēgta visa negatīvo emociju gamma, kas asociējas ar RA veikšanu (morālais diskomforts un bailes, ar dūrienu izraisītās sāpes, PNS inducētas muskuļu kontrakcijas un kustību sāpes lauztai ekstremitātei u.c.). Pacientam tiek nodrošināts absolūts miers, bet trūkst papildu brīdinošā mehānisma. Anestēzijas drošība arī šajā gadījumā ir ārsta dilemma un prioritātes jautājums.

Izmērīt sāpes tiešā veidā mums pieejamās tehnoloģijas pagaidām neļauj, bet ļoti daudz faktoru palīdz spriest par esošo sāpju līmeni netiešā veidā. *Motorā* bloka iestāšanās sekundāri liecina par anestēzijas iestāšanos, bet nav adekvātas korelācijas ar sensoro bloku. Respektīvi, *motorais* bloks varētu nebūt, bet analģēzija iestājas. Otrkārt, atkal nepieciešams kontakts ar pacientu, lai viņš varētu veikt apzinātas aktīvas kustības. Turpretī grūtāk nosakāma, bet neatkarīga no pacienta izjūtām ir *simpātiskā* bloka rašanās, piemēram, fizioloģiskas un hormonālas pārmaiņas organismā kā atbildes reakcija uz stresu, operāciju, anestēziju. Daļu no tām nosaka laboratorijās (virsnieru hormona kortizola līmenis plazmā, IL6, prolaktīns, CRP-iekaisuma otrajā fāzē, ar kalcitonīna gēnu saistītais peptīds (*CGRP*), transkripcijas aktivējošais faktors-3 (*ATF-3*), mitogēnaktivētās (*Map*) kināzes (*p-p38*), utt.) (*Armario A et al, 1996; Kazuotshi H et al, 2010*). Laboratorās metodes ierobežo laiks un izmaksas, kas padara nepraktisku pārmaiņu noteikšanu laboratorijā attiecībā tieši uz rutīnas anestēziju. Otra daļa saistīta ar tiešiem mērījumiem, kas atspoguļotu galvas smadzeņu neirofizioloģiskās pārmaiņas, kas saistītas ar stresu un sāpēm, (EEG, BIS utt.) (*Litscher G et al, 2001*). Trešā daļa ir fizioloģiskās pārmaiņas, kā atbildes reakcija uz LA ievadīšanu. Pēc LA ievadīšanas, iestājoties adekvātai anestēzijai, ir sagaidāms *sensorais*, *motorais* un *simpātiskais* bloks, atbilstoši kompromitētās inervācijas zonai. Ja nevar tieši izmērīt *sensoro* bloku, var mēģināt novērtēt *simpātisko* efektu, tad pēc tā netieši spriest par gaidāmo *sensoro* efektu. *Simpātiskais* efekts asociējas ar nepārprotamu perifēru vazodilatāciju, perifērās asins plūsmas palielināšanos, tā rezultātā ādas perifērās temperatūras paaugstināšanos. Temperatūras pastāvīga monitorēšana ir ļoti efektīva, bet aprobežojas ar ļoti nelielu ādas virsmu, respektīvi, temperatūra ir nosakāma tikai termosensora fiksācijas vietā. Kā viena no modernākajām metodēm, kas ļauj novērtēt lielāku apvidu, ir termogrāfijas kamera, kas rāda netiešu RA iestāšanās procesa grafisku vizualizāciju dinamikā. Galvenie ierobežojumi termogrāfijas kameras izmantošanai ir augstās izmaksas un tās ierobežotā pieejamība.

Jāatceras, kā ādas perifērās temperatūras paaugstināšanās ir tikai sekundārs process. Ādas temperatūras pārmaiņas notiek, pateicoties izmainītai perifērai asins plūsmai.

Rezumējot problēmas aktualitāti, loģiski izkristalizējas darba plāns. Promocijas darba izstrādes laikā realizēti pieci, loģiski viens no otra izrietoši, secīgi pētījumi. Par prototipu izvēlēta metode, kuras pamatā ir organisma simpātiskās sistēmas atbildes kvantitatīvā novērtēšana uz LA adekvātu ievadīšanu perifērās RA laikā.

Darba mērķis, hipotēze un uzdevumi.

Darba mērķis

Novērtēt esošās RA efektivitātes noteikšanas metodes. Izstrādāt jaunu metodi reģionālās anestēzijas efektivitātes novērtēšanai, ar kuru būtu iespējams pirms ķirurģiskas iejaukšanās preventīvi noteikt „veiksmīgas” un „neveiksmīgas” perifērās RA, izslēgt subjektīvo komponentu RA efektivitātes noteikšanā, paaugstinot pacienta drošību un anestēzijas kvalitāti.

Darba hipotēze

Pēc lokālā anestētiķa ievadīšanas blakus perifēram nervam perifērās reģionālās anestēzijas laikā notiek pārmaiņas veģetatīvajā nervu sistēmā, kas saistītas ar simpātiskās nervu sistēmas darbības atgriezenisko blokādi. Simpātiskās nervu sistēmas blokādē rodas perifēra vazodilatācija atbilstoši bloķētā nerva inervācijas zonai. Sakarā ar vazodilatāciju šajā rajonā pastiprinās perifērās asinsrites plūsma. Pieaugot perifērai asins plūsmai, mainās temperatūra attiecīgajās ķermeņa daļās. Pieļāvām, ka ir iespējams šo procesu kvantitatīvi izmērīt, to izmantot „veiksmīgas” un „neveiksmīgas” RA noteikšanai.

Darba uzdevumi

1. Analizēt esošo stāvokli, izvērtējot perifērās reģionālās anestēzijas efektivitāti, nosakot perifērās RA efektu TOS.
2. Pārbaudīt darba hipotēzes teorētiskos pieļāvumus praksē.
3. Izpētīt cilvēka perifērās asinsplūsmas pārmaiņas pēc RA, izmantojot esošās kvantitatīvās metodes RA efekta noteikšanai. Izvērtēt šo metožu pozitīvos rezuktātus un trūkumus.
4. Izstrādāt jaunu metodi reģionālās anestēzijas efektivitātes novērtēšanai.

I. LITERATŪRAS APSKATS.

1. Sajūtu modalitāte.

Dzīvot būtībā nozīmē just vai domāt (*Aristotelis, 384–322*);

Kaurekļa apzināšanās ir sajūta (*J.A. Students J., Psiholoģija, Rīga, 1936*). Sajūtas varētu definēt kā visvienkāršāko psihisko parādību, jo sajūtas ir pamatā cilvēka eksistencei, tajā pašā laikā jau pieminētais filozofs Students atzīmē, ka sajūtas slēpj sevī psihisko un fizisko daļu (*J.Siliņš, 1936*). Viņš uzskatīja, ka, atkarībā no kairinājuma izcelšanās vietas, sajūtas var sadalīt divās lielās grupās: "iekšējās" un "ārējās". Ja kairinājumi sākas ārpus mūsu organisma, tad mēdz runāt par ārējām sajūtām. Ārējās sajūtas mūs informē par ārpasauli un sadalās: redzes, dzirdes, garšas, ožas un taustes sajūtās. Taustes sajūtas savukārt sadalās: spiediena, siltuma, aukstuma un sāpju sajūtās. Pārējās sajūtas rodas no kairinājumiem mūsu organismā. Tās vēstī par mūsu organisma stāvokļiem un tālab tiek sauktas par iekšējām sajūtām. Iekšējām sajūtām pieskaitāmas: kinestētiskās jeb muskuļu sajūtas, ar kurām mēs apzinām mūsu locekļu kustības un stāvokli telpā, statiskās jeb galvas līdzsvara sajūtas un organiskās sajūtas, kas rodas sakarā ar miesas iekšējo orgānu darbību (*J.A. Students J., 1936*).

Mūsdienās no anestezioloģijas viedokļa ir svarīgi droši un atgriezeniski nomākt nepatīkamu un bīstamu sāpju sajūtu, tādējādi nodrošinot iespēju veikt ķirurģiskas manipulācijas un pasargāt pacientu no hronisko postoperatīvo sāpju rašanās. Ķirurģiska iejaukšanās ir viens no stiprākiem sāpju stimuliem (latin.: *stimulus*), jo aptuveni 60% pacientu vēl sešus mēnešus pēc operācijas jūt dažādas intensitātes sāpes. Zīmīgi, ka 10% no viņiem ir stipras sāpes (*Kehlet H et al, 2006*).

Interesanti, ka senie romieši ar „stimulu” - spicu rīksti, mietu vai koka zaru ganīja lopus. Alegoriski: ļoti stiprs pamudinošs, stimulējošs moments, iekšējs vai ārējs faktors, kas izraisa reakciju, darbību. Fizioloģijā stimulējošs ir pārmaiņas iekšējā vai ārējā vidē, kas iedarbojas uz nervu šūnām vai receptoriem un izraisa refleksu, reakciju.

Katru specifisko sajūtu tipu, ko mēs jūtam un pazīstam – sāpes, pieskāriens, redze utt., saprotam kā sajūtu modalitāti. Sensibilitātes (jutīguma) īpašība jeb stāvoklis ir organisma vai maņu orgāna spēja atbildēt uz stimulāciju.

1.1. Veidi un atbildīgie receptori

Sajūtu modalitāti nosaka mūsu ķermenī organiski izveidota receptoru virkne, kas ar savu dažādību un specifisko funkcionalitāti arī novada līdz apziņai atbilstošu informāciju. Ir zināmas piecas lielas sensoru receptoru grupas: mehanoreceptori, termoreceptori, nociceptori, elektromagnētiskie receptori un hemoreceptori (*Guyton AC, 11 th ed., 2006*).

Savā fundamentālajā fizioloģijas darbā jau 11. izdevumā slavenais Amerikāņu fiziologs *Guyton* (*Arthur Guyton, 1919-2003*) piedāvā šādu sensoru receptoru klasifikāciju :

1. Mehanoreceptori:

- Ādas taktilie sensori
 - brīvie nervu gali
 - izvērstie receptori (*Merkeļ* diski un citi varianti)
 - „*spray*” receptori
 - *Ruffini* ķermenīši
 - iekapsulētie receptori (*Meissner* un *Krause*)
 - matu receptorais orgāns
- Dziļo audu sensori
 - brīvie nervu gali
 - izvērstie receptori
 - „*spray*” receptori
 - *Ruffini* ķermenīši
 - iekapsulētie receptori (*Pacinian* ķermenīši un citi varianti)
 - muskuļu receptori (muskuļu vārpstiņas un cīpslu *Goldgi* receptori)
- Dzirde (*Cochlea* skaņas receptori)
- Līdzsvars (vestibulārie receptori)
- Arteriāls spiediens (baroreceptori aortā un *sinus carotis*)

2. Termoreceptori (aukstums un karstums)

3. Nociceptori (sāpes - brīvie nervu gali)

4. Elektromagnētiskie (redzes – nūjiņas un kolbiņas)

5. Hemoreceptori

- Garšas
- Ožas (receptori uz *epitelium olfactorium*)
- Arteriālo asiņu skābekļa receptori (aortā un *sinus carotis*)
- Osmolaritātes (neirons pie *nucleus supraopticus*)
- Asins CO₂ receptori (uz *medulla* virsmas, aortas un karotidu ķermenīšiem)
- Asins glikozes, aminoskābju, taukskābes receptori (*hipotalāmus*)

No preventīviem pretsāpju pasākumiem (kas būtībā arī ir anestēzija) padziļinātu uzmanību piesaista mehanoreceptori, termoreceptori un nociceptori, kā arī to inervācijas veidi un spējas vadīt impulsus pa sāpju ceļiem.

Sensora modalitāti klasificē pēc vairākiem principiem - sensoru receptoru adekvāta stimula, lokalizācijas, morfoloģijas, adaptācijas ātruma un inervācijas.

Adekvātus stimulus izmanto, lai atšķirtu specifisko sensoru receptorus. Lai aktivizētu sensoru receptorus un izraisītu sensoru *transdukciju*, ir nepieciešams adekvāts stimuls. Šo sensoru receptoru klasifikācija ir šāda:

- *Ampullae Lorenzini* - atbildīgas par elektrisko lauku, sāļumu un temperatūru, bet primārā funkcija ir electroreceptcija
- Baroreceptori – atbildīgi par spiedienu asinsvados
- Hemoreceptori – atbild uz ķīmiskiem stimuliem
- Hidroreceptori - mitruma pārmaiņām
- Mehanoreceptori - mehānisko uzsvāru un mehānisko izstiepšanu
- Nociceptori - atbild par ādu bojājumiem, sāpju perceptiju
- Osmoreceptori - reaģē uz šķidrums osmolaritātes pārmaiņām (piemēram, hipotalamusā)
- Fotoreceptori - reaģē uz gaismu
- Proprioceptori – nodrošina pozīcijas izjūtu
- Termoreceptori - reaģē uz temperatūru, karstumu vai aukstumu
- Elektromagnētiskie receptori - uztver elektromagnētiskos viļņus.

Pēc lokalizācijas sensoru receptorus iedala: ādas un muskuļu vārpstiņu sensoros. Ādas sensorie receptori atrodas dermā un epidermā. Muskuļu sensorie receptori reaģē uz muskuļu izstiepšanu.

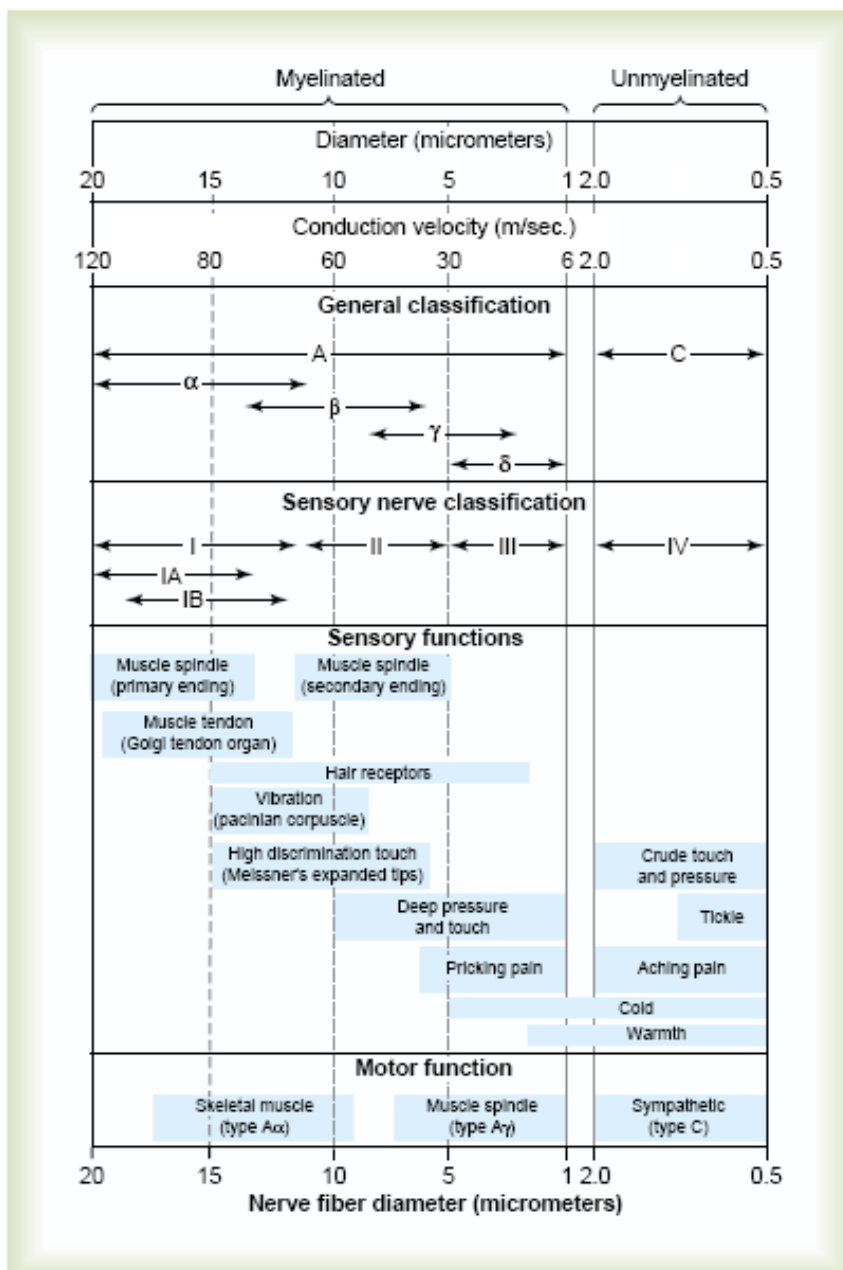
Morfoloģiski ādas somatiskie sensorie receptori parasti dalās divās grupās: brīvie nervu gali un iekapsulētie receptori. Brīvie nervu gali parasti ir nociceptori un termoreceptori, jo tie neironu terminālie zari, kas caurdur dermu un epidermu, tie ir demielinizēti. Iekapsulētie receptori satur atlikušos, reziduālos ādas receptoru tipus, tie paredzēti speciālajām funkcijām.

1.2. Nociceptori ir zināmi no 1906. gada, kad pirmo reizi tos aprakstīja *Charles Scott Sherrington* (1857-1952). Nociceptori ir sensorie receptori, kas uztver signālus par iespējamiem bojājumiem un novada tos pa aferentajiem nerviem līdz muguras un galvas smadzenēm. Nocicepcija – ir sāpju uztvere brīvajās nervšķiedrās. Brīvie nervu gali ir nespecializētie, afferentie informācijas nesēji no perifērijas līdz galvas smadzenēm. Dendrīta demielinizētais gala zars veido difūzu tīklu. Brīvajiem nervu galiem nepiemīt īpaša komplicēta sensora struktūra, bet tos var atrast *Meissner* un *Pacinian* ķermenīšos. Tas ir visbiežākais nervu nobeiguma veids. Brīvie nervu gali penetre epidermu un beidzas epidermas gaudainajā slānī.

Brīvie nervu gali novietoti gan virspusēji – ādas virspusējos slāņos, gan dziļajās struktūrās – kaulplēvē, arteriju sienīņās, locītavu virsmās, *falx* un *tentorium* kraniālajā slānī.

Vairums citi dziļi audi arī satur brīvos nervu galus, bet ļoti maz un reti. Tomēr tādu audu plašs bojājums summāri var radīt vājas, hroniskas sāpes. Brīvie nervu gali atšķiras pēc adaptācijas ātruma, stimula modalitātes, dažādiem šķiedru tipiem. Aδ šķiedrām novērots liels adaptācijas ātrums, C šķiedrām raksturīgs mazs adaptācijas ātrums.

Ļoti uzskatāmi saikni starp nervu impulsa pārvadīšanas ātrumu un nervu šķiedru biezumu un kvalitāti var redzēt *Guyton* fizioloģijas pamatgrāmatas tabulās attēlā 1-1-1:



Attēls 1-1-1. Nervu šķiedru raksturojums

Brīvie nervu gali var atšķirt temperatūru, mehāniskus stimulus (pieskārienu, spiedienu, izstiepumu) vai sāpes (nocicepcija). Tādējādi, brīvie nervu gali darbojas kā termorecepti, ādas mehanoreceptori un nociceptori, tiem ir polimodalitāte.

2. Sāpes.

2.1. Sāpju definīcijas.

Aprakstot sāpes kā vienu no cilvēces senākajām problēmām, jau Avicenna (*Abu Ali Husein Abdallah Ibn Sina, 980.-1037.gg.*) savā klasiskajā traktātā „Medicīnas zinātnes kanons” 1593. gadā ir teicis – „Jebkuras sāpes, ja tās pastiprinās, nogalina”.

Kas ir sāpes? Runājot par sāpēm, laikā gaitā izkristalizējās izpratne, atbilstoši katram laikmetam. *Epicurus (342/341p.m.e.)* teica: „Sāpes ir prieka trūkums”. Mūsdienās *Starptautiskā Sāpju Izpētes Asociācija* no 1994. gada piedāvā šādu sāpju definīciju: „Sāpes ir nepatīkamas sajūtas un emocijas, kas saistītas ar reālu vai potenciālu audu bojājumu vai arī tiek aprakstīts kā šāds bojājums. Tās vienmēr ir subjektīvas sajūtas.

Akūtas sāpes ir aizsargmehānisms, kas ļauj pasargāt sevi no draudošām briesmām. Tās ir sāpes pēc audu bojājuma, traumas vai ķirurģiskas manipulācijas. Tās ir arī signāls smadzenēm par audu bojājumu un/vai kairinošiem stimuliem.

Hroniskas sāpes ir tādas, kas turpinās pēc akūtas slimības ilgāk nekā fizioloģiski nepieciešams. Par hroniskām sauc sāpes, ja tās ilgst vismaz 4-6 nedēļas, bet tās var turpināties nenoteiktu laiku.” (no *Latvijas sāpju izpētes biedrības* materiāliem)

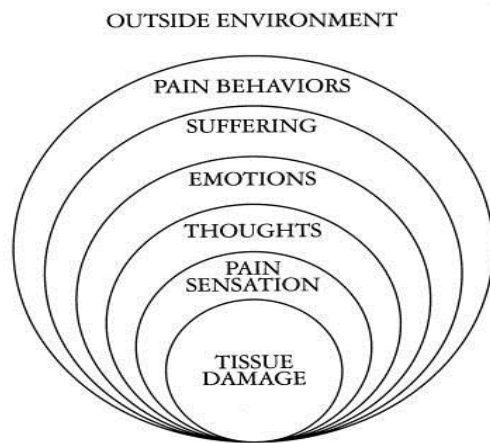
Šī definīcija šodien ļauj uzskatīt sāpes par unikālu biopsihosociālu fenomenu kompleksu, izdalot divus galvenos sāpju veidus - akūtas un hroniskas (*Logina I, 2007*).

2.2. Sāpju anatomija un patoģenētiskie ceļi.

Jāatzīmē, ka sāpēm piemīt multidimensionāla daba. Tiek izdalīti sāpju sensorie, emocionālie un kognitīvie komponenti, respektīvi, atšķir fizisko, emocionālo un garīgo dimensiju, kas katram cilvēkam izpaužas ļoti individuāli (*Logina I, 2007*).

Tradicionāli sāpju daudzslāņu uzbūvi vizualizē shematiski attēlā 1-2-1:

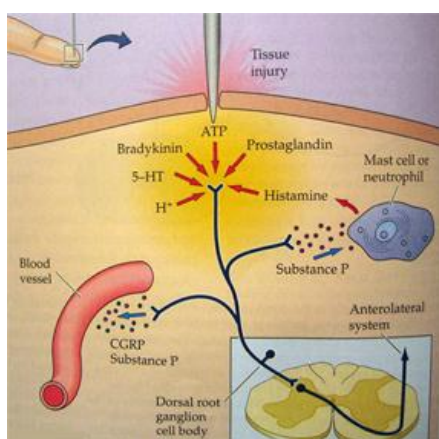
- Apkārtējā vide
- Sāpju uzvedība
- Ciešanas
- Emocijas
- Domas
- Sāpju sajūta
- Audu bojājums



Attēls 1-2-1. Sāpju daudzslāņu uzbūve

Kvalitātes sāpes būtu jādala divās lielās daļās: ātrās sāpes un lēnās sāpes. Ātrās sāpes var sajūst jau 0.1 sekundes laikā pēc nociceptīva stimula, bet lēnās tikai pēc 1 sekundes vai vēlāk. Lēnas sāpes pastiprinās pakāpeniski, dažu sekunžu vai pat minūšu laikā. Ātrās sāpes bieži apraksta kā asas, durošas, akūtas un elektriskas. Lēnās sāpes ir lēnas, dedzinošas, smeldošas, pulsējošas un hroniskas (Guyton AC, 11 th ed., 2006).

Sāpes var izraisīt trīs dažāda veida stimuli – mehāniskie, termiskie un ķīmiskie. Ātrās sāpes rada mehāniski un termiski, bet lēnas visi trīs stimulu veidi. Ķīmiskie kairinātāji, kas var izraisīt sāpes, ir bradikinīns, serotonīns, histamīns, kālija joni, skābes, acetilholīns un proteolītiskie fermenti (attēls 1-2-2). Jūtības pakāpi maina prostaglandīna un P substances klātesamība.

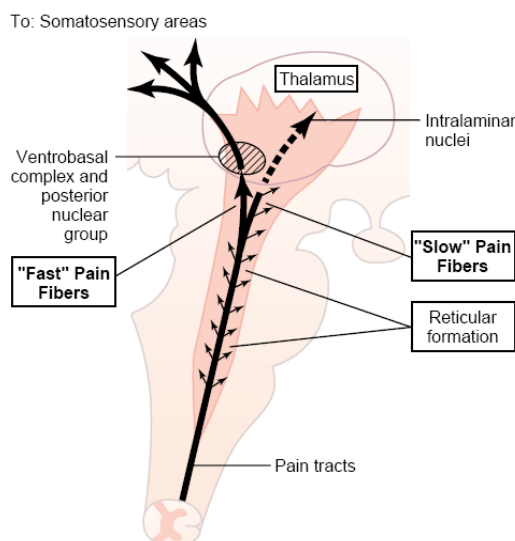


Attēls 1-2-2. Sāpju ķīmiskie kairinātāji

Visiem sāpju veidiem sāpju receptori ir brīvie nervu gali, kas detalizēti aprakstīti I daļas 1.2. punktā.

Sāpju impulsu pārvadei ir zināmi divi izolēti sāpju kājceļi: ātro-akūto sāpju ceļš un lēno-hronisko sāpju ceļš. Ātro-akūto sāpju signālu pārvada līdz muguras smadzenēm Aδ perifēras

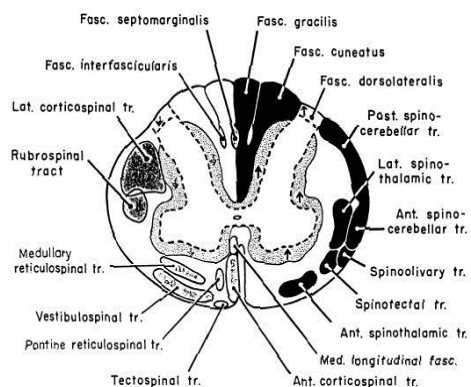
nervu šķiedras ar ātrumu 6-30 m/sekundē. Lēno-hronisko sāpju impulsi sasniedz muguras smadzenes ar ātrumu 0.5-2 m/sekundē pa smalkajām C šķiedrām. Tātad, galvas smadzenes sakarā ar diviem sāpju ceļiem, saņem šo informāciju divreiz. Līdzīgi kā perifērijā, muguras smadzenēs arī pastāv divi sāpju patoloģiskie ceļi: *tractus neospinothalamicus* un *tractus paleospinothalamicus* (Guyton AC, 11 th ed., 2006). Guyton piedāvā shēmu attēlā 1-2-3:



Attēls 1-2-3. Divi sāpju ceļi muguras smadzenēs

Tractus neospinothalamicus ir ātro impulsu ceļš. Ātrā tipa Aδ šķiedras ieiet dorsāli un sasniedz *lamina marginalis* mugurējos ragos muguras smadzenēs. Tad paceļas pa garajām šķiedrām, iepriekš sakrustojoties *commisura anterior*, pa pretējo pusi līdz galvas smadzenēm *area reticularis* (nedaudz) un *thalamus* (galvenokārt), ieejot tur caur *columna anterolateralis*. No šīm talamiskajām zonām signāls paceļas līdz garozas somatosensorajai zonai. *Glutamats* ir pazīstams, ka neurotransmiters ātrajos Aδ ceļos (Guyton AC, 11 th ed., 2006).

Tractus paleospinothalamicus ir senāka sistēma, kas pārsvarā vada lēno-hronisko sāpju signālus no C šķiedrām, bet arī nedaudz no Aδ šķiedrām. Perifērās šķiedras, ieejot pa muguras smadzeņu *dorsal horn*, beidzas *substantia gelatinosa (lamina I un II)*. Lielākā signālu daļa pa vienu vai vairākiem papildu neironiem ieiet taisni pirms *lamina V*. Pēdējais neirons veido garo aksonu un pievienojas ātrajam ceļam. P substanci uzskata par C šķiedru neurotransmiteru (Guyton AC, 11 th ed., 2006). Detalizētas anatomiskās struktūras no 2003. gadā izdotās grāmatas „*Spinal cord medicine, Principles and Practice*” redzams attēlā 1-2-4:



Attēls 1-2-4. Muguras smadzeņu anatomiskā uzbūve

Citās sāpju klasifikācijās izdala somatiskās, viscerālās un neiropātiskās sāpes. Somatiskos, proti, sensoros sāpju ceļus jāatdala no viscerālajiem.

Viscerālās sāpes izraisa bojājums iekšējos orgānos, tās rodas, piemēram, no pārāk liela iestiepuma, spazmām vai iekaisuma. Bez iepriekšējas pieredzes viscerālās sāpes ļoti grūti lokalizēt organismā. Viscerālās sāpes parasti pārvada C šķiedras. Pastāv īstās viscerālās sāpes un parietālās sāpes, kam savukārt ir atsevišķs patoģenētiskais ceļš. Īstās viscerālās sāpes pārvada sensoro sāpju šķiedras autonomās nervu sistēmas sastāvā, parasti izstarojuma zona atrodas ļoti tālu no sāpošā orgāna. Turpretī, parietālo sāpju gadījumā pārvade notiek tieši lokālajos spinālajos nervos. Parietālo sāpju izstarojuma zona atrodas tieši virs sāpošā orgāna (Guyton AC, 11 th ed., 2006).

Neiropātiskās sāpes rodas, ja ir pārkairinātas vai bojātas nervu šūnas. Tās ir specifiskas sāpes, ko apraksta kā durstīgas adatiņas, pulsējošas, dedzonošas, notirpuma sajūtas, šaujošas vai elektriskam šokam līdzīgas sajūtas. Neiropātiskas sāpes mēdz būt lokalizētas jeb asimetriskas, difūzas jeb simetriskas vai centrālās.

Runājot par sāpēm, noteikti jāpiemin hiperalgēzijas fenomens, kas nozīmē hipersensitivitāti, jeb paaugstinātu jutību. Pastāv primāra un sekundāra hipersensitivitāte. Primāras hiperalgēzijas gadījumā ekscesīva sāpju receptoru uztveršana atkarīga no lokāliem iekaisuma aģentiem, piemēram, histamīna vai prostaglandīna. Sekundāras hipersensitivitātes hiperalgēzija rodas sakarā ar bojājumu rezultātā smadzeņu vai *talamus* rajonā (Guyton AC, 11 th ed., 2006).

2.3. Sāpju mērīšana.

Runājot par sāpēm, parasti iedomājamies cilvēku ar skaidru saprātu, kuram ir apzināta subjektīvā sajūta un spēja individuāli atbildēt uz nociceptīvajiem (esošiem vai draudošiem) signāliem. Novērtēt sāpju līmeni šajā gadījumā palīdz skalas, anketas un specializētie testi.

Sastādot skalu, pamatā ir pašnovērtēšana, novērošana un fizioloģiskie dati. Jaundzimušiem, bērniem un gados veciem cilvēkiem ar ierobežotām komunikācijas spējām pieejamas citas skalas.

Dažas no starptautiskā mērogā lietotām sāpju vērtēšanas skalām ir šādas (*angl.*):

1. *Alder Hey Triage Pain Score*
2. *Brief Pain Inventory (BPI)*
3. *Dallas Pain Questionnaire*
4. *Dolorimeter Pain Index (DPI)*
5. *Faces Pain Scale - Revised (FPS-R)*
6. *Face Legs Arms Cry Consolability scale*
7. *Lequesne: pain and disability*
8. *McGill Pain Questionnaire (MPQ)*
9. *Descriptor differential scale (DDS)*
10. *Neck Pain and Disability Scale –NPAD*
11. *Numerical 11 point box (BS-11)*
12. *Numeric Rating Scale (NRS-11)*
13. *Roland-Morris Back Pain Questionnaire*
14. *Wong-Baker FACES Pain Rating Scale*
15. *Visual analog scale (VAS)*

Specializētu sāpju testu saraksts (*angl.*) ir šāds:

1. *Disease-Specific Pain Scale*
2. *Pediatric Pain Questionnaire (PPQ)*
3. *Premature Infant Pain Profile (PIPP)*
4. *Colorado Behavioral Numerical Pain Scale*
5. *AUSCAN*
6. *WOMAC*
7. *OARSI-OMERACT*

3. Anestēzija un analgēzija.

3.1. Definīcijas un veidi.

Anestēzija (*anesthesia* vai *anaesthesia* - nejutīgums) ir speciāls, medikamentozī izraisīts, atgriezenisks stāvoklis, ko raksturo amnēzija, analgēzija, apziņas un skeleta muskuļu refleksu zudums, kā arī pazemināta atbildes reakcija uz stresu (*Fishbein M., 1976*).

Terminu *anestēzija* ierosināja ieviest *Oliver Wendell Holmes Sr*, lai aprakstītu īpašu ētera narkozes izraisītu miega stāvokli, ko pirmo reizi publiski un veiksmīgi demonstrēja Viljams Mortons Masačūsetsas hospitālī Bostonā, ASV 1846. gada 16. oktobrī. Termins *anestēzija* cēlies no grieķu valodas: anestēzija ir *anaesthesia*, kur *av-*, *an-* nozīmē „bez”, un *esthesia*, vai *αἴσθησις*, *aisthēsis* nozīmē „sajūta”. *Oliver Wendell Holmes* ir arī autors vārdam *anestēzijas līdzeklis* (angl.: *anaesthetic agents*) (*Yentis SM et al., 2009*). Termins analgēzija (*analgesia* jeb atsāpināšana) arī cēlies no grieķu valodas, kur *an-* nozīmē „bez”, bet *algesia* nozīmē „sāpes”. Sedācija (*sedatio*, no *sedare*) nozīme nomierināt.

Neskatoties uz to, ka jau sirmā senatnē, Platona (*Aristokls „Platons” 427.-348. gads p.m.ē.*) darbos var sastapt nejutīguma aprakstus, mūsdienās anestēzijā izdalām trīs sastāvdaļas: analgēziju (atbrīvošana no sāpēm), amnēziju (atmiņas zudumu) un imobilizāciju. Visas šīs trīs daļas ir nepieciešamas, lai padarītu iespējamu jebkuru sāpīgu ķirurģisku iejaukšanos, manipulācijas vai procedūras.

Anestēzijas mērķis ir atbrīvot cilvēku no jebkurām morālām vai fiziskām ciešanām, nodrošināt dzīvībai svarīgo funkciju uzturēšanu un to monitorēšanu sāpīgas medicīniskas manipulācijas vai operācijas laikā, kā arī pēc tām.

Humāno mērķu īstenošanai anestēzijai ir savi „instrumenti”, jeb anestēzijas veidi: vispārēja anestēzija jeb narkoze, reģionāla anestēzija un lokāla (vietēja) anestēzija. Anestēzijas veidus atšķir atkarībā no anestēzijas līdzekļu, mērķa orgānu, lietošanas vietas un darbības principu dažādības.

Vispārēja anestēzija jeb narkoze. Anestēzijas līdzeklis (anestētiķis, narkotiskā viela) iedarbojas uz galvas smadzenēm, izraisot miegam līdzīgu, atgriezenisku bezsamaņas stāvokli, tur nonākot ar asinsriti, šķērsojot hematoencefālisko barjeru, tādējādi veicinot atsāpināšanu. Pēc anestēzijas līdzekļu formas un ievades veida izšķir inhalācijas un venozas (piemēram, TIVA, TCIVA) anestēzijas vai abu kombināciju. Gaistošam anestētiķim, inhalācijas anestēzijas laikā, ievades vieta ir elpceļi. Anestētiķis nonākot plaušās, šķērso alveolāru-kapilāru membrānu, un nokļūst asinsritē. Inhalācijas anestēzijas dziļumu regulē ar speciāliem iztvaikotājiem, tie ir atšķirīgi katram gaistošam anestētiķim. Intravenozas anestēzijas laikā anestētiķus tiek ievada pacienta vēnā. Intravenozo anestētiķu ievades daudzumu parasti nodrošina fracionēti vai perfuzorā, iepriekš aprēķinot nepieciešamo efektīvo koncentrāciju atbilstoši pacienta ķermeņa

masai un konkrēta anestētiķa farmakodinamiskām īpašībām. Kombinējot inhalācijas un intravenozos medikamentus, parasti panāk augstu pielāgošanas pakāpi konkrētam uzdevumam un pacienta stāvoklim.

Lokālā anestēzija (vietējā anestēzija). To iedala virsmas un infiltrācijas anestēzijā. Lokālās anestēzijas darbības pamatā ir nociceptīvo sāpju impulsu pārtraukšana muskuļu savilkumu uzturošā refleksa loka distālajā aferentajā daļā. Tas arī dod pretsāpju efektu. Lokālā iedarbība, piem. kompresija no antīkiem laikiem turpinājās Jaunajā Ērā (*Esmarch, 1873*). Vēl 17 gadsimtā aukstumu mēģināja lietot *Severenus*, bet ētera smidzinātāju (angl.: *atomizer*) 1866. gadā reāli ieviesa *B. Richardson*. Savukārt, *Ethyl chloride* atsāpināšanai izmanto kopš 1882. gada līdz pat mūsdienām. *Cocaine* ieviesās pēc 1884. gada, kad Austrijas oftalmologs *Karl Koller* uzsāka ceļu virsmas anestēziju. Infiltrācijas anestēzijas pionieris ir *K. Schleich* (1892), bet *A. Wood* kā pirmais veica zemādas injekcijas 1855. gadā. Lokālos anestēzijas līdzekļus ievada ādā, zemādā vai gļotādā, lai panāktu nociceptīvo receptoru nejutību uztvert sāpju signālus.

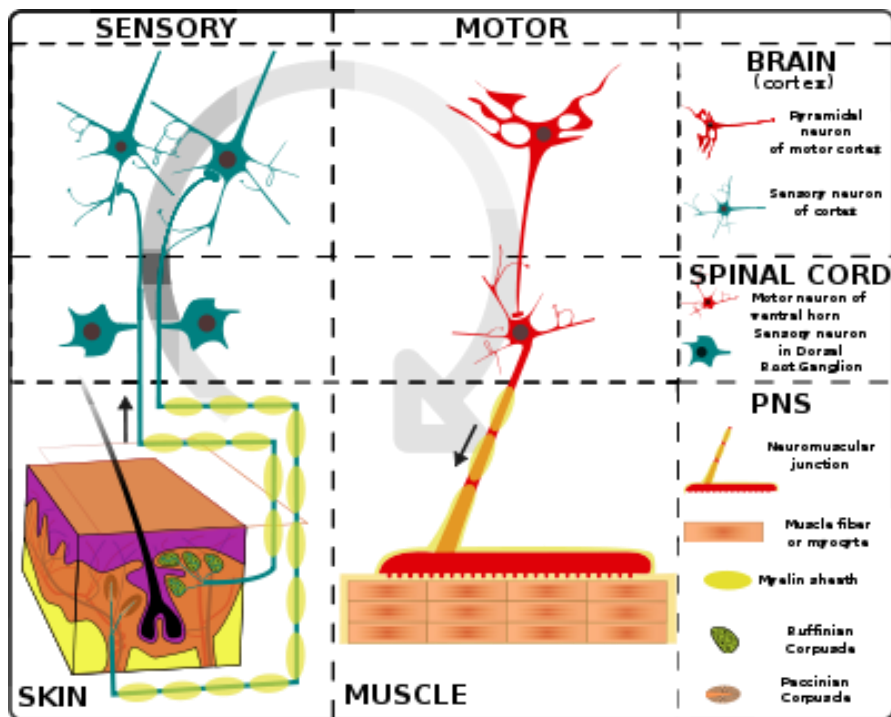
Reģionālā anestēzija ir centrālā un perifērā. Centrālās, neuroaksiālās blokādes ir spinālas, epidurālās, kā arī abu kombinācija. Spinālas anestēzijas (SA) laikā, ko klīniskajā praksē ieviesa Vācijas ķirurgs *August Bier* (1861–1949) 1899. gadā, anestētiķi ievada subarahnoidālajā telpā, bet epidurālas anestēzijas laikā – epidurālajā. Atkarībā no izpildīšanas tehnikas, anestetētā rajona un medikamenta ievadīšanas veida spināla anestēzija var būt unilaterāla, kaudāla vai prolongēta. Perifērās reģionālās anestēzijas laikā lokālos anestētiķus ievada nervu un nervu pinumu tiešā tuvumā, pārtraucot elektrisko nociceptīvo impulsu pārvadīšanu. Visbiežāk šādas anestēzijas izmanto plašākiem rajoniem – parasti ekstremitātēm, piem. rokas anestēzijai, kur bieži izmanto tā sauktos *plexus brachialis* blokus. Anatomiski tos iedala: *interscalenus*, *supraclavicularis*, *infraclavicularis*, *coracobrachialis*, *axillaris*, *cubitalis*. Pirmais aksilārā *plexus brachialis* apraksts pieder *Halstead*, tas tika veikts Ņujorkas St. Luke's-Roosevelt hospitālī ASV 1884. gadā. Pēc tehnikas, piemēram, *interscalenus* blokus klasiski dalām: *anterior* pēc *Meier* un *posterior* pēc *Pippa*. Pēdējo aptuveni piecpadsmit-dīvdesmit gadu laikā ir radušās un tiek plaši izmantotas dažādas jaunas tehnikas, piem., elektrostimulācija - perifēro nervu stimulācija un vizualizācijas tehnikas – ultrasonogrāfiski kontrolēta reģionālā anestēzija. Vēl jāatceras intravenozā reģionālā anestēzija (Bira bloks), kuras nosaukums pats norāda lokālā anestētiķa ievades veidu. Reģionālā anestēzija daļēji ir ļoti līdzīga vietējai, sevišķi ja abos gadījumos parasti izmanto vienas grupas medikamentus. Jēdzieni vietējā un reģionālā anestēzija ir tik ļoti tuvi, ka kādreiz pat runā par loko-reģionālo anestēziju.

3.2. Intraoperatīvā analgēzija.

3.2.1. Vispārēja anestēzija.

Viens no galvenajiem anestēzijas uzdevumiem, atbilstoši anestezioloģijas zinātnei, ir nodrošināt pacientam nesāpīgumu jeb analgēziju. Šā uzdevuma risināšanai operācija laikā izmanto dažādas anestēzijas tehnikas. Vispārējās anestēzijas laikā analgēzijas mehānisma rezultātus teorētiski sadala pēc makroefektiem, efektiem šūnu līmenī u.c. Runājot par makro līmeņa efektiem, atzīmē: ascendējošās daļas retikulāras formācijas aktivāciju (ar *cerebral cortex*, *olfactory cortex*, *hippocampus* un limbiskās sistēmas iesaistīšanu); ietekmi uz muguras smadzenēm (ietekme uz *spinal cord* izplatās caur sinaptiskām saitēm vairāk nekā aksonālām saitēm; modificē neurotransmittera presinaptisko atbrīvošanu un/vai postsinaptisko savienojanos). Šūnu līmenī aktivācijai raksturīga membrānas gatavība darbībai, kā arī anestētiķa iedarbība uz mikrotubuliem un citām citoplazmatiskām struktūrām. Tradicionāli tiek pieminēts *Meyer-Overton* noteikums - gaistošo anestētiķu potences (*MAC*- minimāla alveolāra koncentrācija) atkarība no šķīdības taukos (*Pocock G, 1991*). Šo hipotēzi ieviesa *Hans Horst Meyer* un *Charles Ernest Overton* 1899.–1901. gadā. Pastāv arī citas teorijas, piemēram, receptoru teorija, kad runā par specifiskiem „anestētiķu receptoriem” vai arī citiem, piemēram, μ^1 - opioīdu receptoriem, $GABA_A$ - barbiturātu vai benzodiazepīnu receptoriem. Jāatzīmē *Mullin* kritiskā tilpuma hipotēze. Citas teorijas - *Bernard, Fergusons* - vairs nav tik populāras (*Pocock G, 1991*).

Principiālo analgēzijas līmeņu topogrāfisko sadali var uzskatāmi redzēt attēlā 1-3-1:

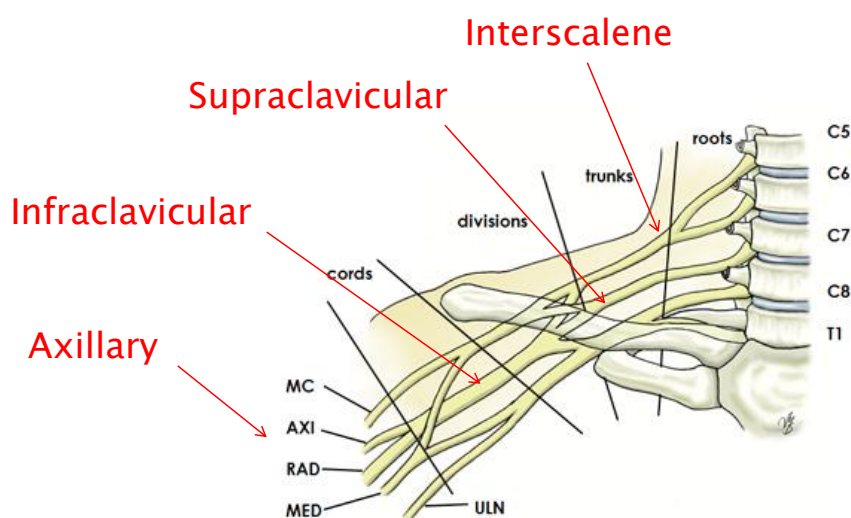


Attēls 1-3-1. Analgēzijas līmeņu shēma

3.2.2. Reģionālā un lokālā anestēzija.

Reģionālās un lokālās anestēzijas laikā atsāpināšanu panāk ar lokālo anestētiķu (LA) iedarbību uz receptoriem un nerviem dažādos līmeņos (Attēls 1-3-2).

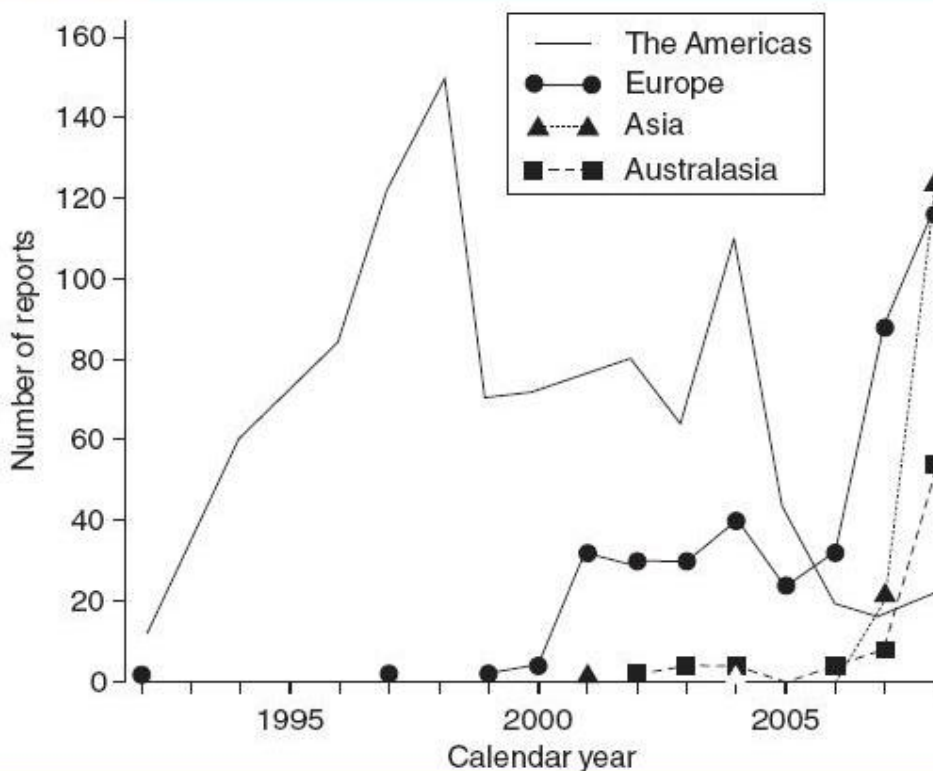
Brachial plexus blocks



Attēls 1-3-2. Plexus brachialis. Modificēts no „Regional anesthesia: peripheral nerve blocks”, Thomas Drye, MD, Madison Anesthesiology Consultants, LLP.

Reģionālās anestēzijas efektivitāte aksilāriem blokiem ir ļoti labila un atkarīga no uzskaites metodes. Neizdošanas skaits svārstās pēc dažu autoru atzinumiem 5-30% robežās (Patrick Narchi, 2006). Atkarībā no anestēzijas tehnikas, piemēram, vienas vai divu transkutānu injekciju efekts ir 52% - 92% gadījumu (Per Inberg et al, 2004). Citi eksperti, izmantojot transarteriālo tehniku, ziņo par 99% efektivitāti (Cockings, 2006).

Par spinālas anestēzijas efektivitātes trūkumiem lietojot *bupivacaine* ražotais AstraZeneca 2008 gadā sagatavojusi apkopošo tabulu, kurā redzams neizdevušos spinālo anestēziju skaits lietojot *bupivacaine* laikā no 1993. līdz 2008. gadam.



Source: Br J Anaesth © 2009 Oxford University Press

Attēls 1-3-3. Neizdevušos spinālo anestēziju skaits. Avots: AstraZeneca.

3.3. Anestēzijas un analgēzijas līmeņa noteikšana.

3.3.1. Vispārējās anestēzijas analgēzijas noteikšana.

Vispārējās anestēzijas laikā intraoperatīva analgēzija vienmēr saistīta ar anestēzijas dziļumu. Analgēziju un anestēzijas dziļumu nevar izmērīt tiešā veidā. Pastāv daži principi kvantitatīvai anestēzijas dziļuma noteikšanai - farmakoloģiskie u. c. Anestēzijas dziļuma farmakoloģiskā noteikšana būtībā ir farmakodinamiska mērīšana, kuru nosaka šādi faktori: ievadītā anestēzijas līdzekļa koncentrācija; balance starp anestēzijas līdzekļa koncentrāciju plazmā un medikamentozo efektu; ietekme uz nocieptīvajiem stimuliem (*Kaul HL, 2002*). Anestēzijas un analgēzijas farmakoloģiskā noteikšana notiek modificēta standarta sigmoidā vienādojumā *Emax Hill (Archibald Vivian Hill, 1886-1977)*:

$$E = E_{max} \times C^s / (C^s + EC_{50}^s)$$

Citas metodes anestēzijas dziļuma noteikšanai varētu iedalīt šādi (*Kaul HL, 2002*):

A. Subjektīvās metodes

1. Autonomās nervu sistēmas reakcijas

- hemodinamiskas pārmaiņas
- asarošanās

- sviedrēšanās
 - zīlītes dilatācija
2. „Izolētas rokas” tehnika

B. Objektīvās metodes

1. Spontāna virsmas elektromiogrāfija (*SEMG*)
2. Zema ezofageālā kontraktilitāte (*LOC*)
3. Sirds frekvences variabilitāte (*HRV*)
4. Elektroencefalografija un papildu metodes
 - bispektrāls indekss (*BIS*)
 - mediāna frekvence (*MLAEP*)
 - spektrālā robežas frekvence (*SEF-spectral edge frequency*)
5. Izraisītais potenciāls
 - dzirdes izraisītais potenciāls
 - vizuāli izraisītais potenciāls
 - somatosensori izraisītais potenciāls
 - dzirdes izraisītā potenciāla indekss.

Citi autori objektīvām metodēm pievieno arī lāzera Doplera plūsmas mērīšanu (*laser Doppler flowmetry*), no pletismogrāfijas atvasinātus rādītājus un zīlītes dilatācijas mērīšanas ierīces (*Guignard B et al, 2006*).

Mūsdienās izmanto arī citas modernas metodes anestēzijas dziļuma noteikšanai, piemēram, pozīcijas emisijas tomogrāfiju (*position emission tomography*), ultrajūtīgo augstas vadītspējas interferometriju (*ultrasensitive super conducting quantum interference device*), entropijas monitorēšanu, pacienta stāvokļa monitorēšanu (*PSI*), cerebrālā stāvokļa monitorēšanu (*cerebral state monitoring, CSI*), *Snap* indekss utt. (*Grover VK et al, 2008*).

3.3.2. Reģionālās anestēzijas analģēzijas noteikšana.

Reģionālās anestēzijas līmeņa noteikšana būtībā ietver sensoro funkciju pārbaudi un fizioloģisko reakciju noteikšanu. Sensoru funkciju pārbaude iespējama, ja pacients ir samaņā un pietiekami līdzestīgs. Ievērojot to, ka sāpju impulsu pārvade notiek pa A δ un C šķiedrām, pārbauda atbilstošos jušanas veidus. Saskaņā ar Latvijas Sāpju izpētes biedrības rekomendācijām un Eiropas Neirologu Asociāciju Federācijas (EFNS) 2004. gada vadlīnijām. Latvijā 2008. gadā pieņemtas un oficiāli reģistrētas ir šādas metodes (Logina I, 2007) (Attēls 1-3-4):

Pārbaudāmo šķiedru tips	Jušanas veidi (pacienta sajūtas)	Klīniskās izmeklēšanas veidi	Kvantitatīvie sensorie testi	Iespējamie elektrofizioloģiskie izmeklējumi
A β	Pieskāriens jeb taktilā sajūta (estēzija) Spiediena sajūta Vibrācijas sajūta (vibroestēzija)	Vate – tampons, kociņš; otiņa, matiņš (filaments) Atsvari, noteikta svara filaments Kamertonis-128 Hz	<i>von Frey</i> vai <i>Semmes-Weustein</i> monofilaments Vibrometrs*	Neirogrāfija Sensorie izraisītie potenciāli
A δ	Dūriens, asas sāpes Aukstums (termoestēzija)	Asa adatiņa vai ass irbulītis Vēss priekšmets (<15 °), termopāris	Adatas ar atsvariem (<i>Chan et al.</i> ,1992) Termotests*	Nociceptīvo refleksu pārbaude Lāzera izraisītie potenciāli
C	Siltums (termoestēzija) Dziļās, dedzinošās sāpes	Silts, karsts priekšmets (>40 °), termopāris	Termotests*	Lāzera izraisītie potenciāli

Attēls 1-3-4. Jušanas veidu pārbaude

Kvantitatīvie testi gūst arvien lielāku popularitāti anesteziologu vidū. Zināmi klasiskie kvantitatīvie testi, piemēram, *Semmes-Weinstein* (1960) monofilamenta „viegla pieskāriena-dziļa

spiediena” tests ar maināmo pieejamo svaru no 4.5mg līdz 447g (*Boscheinen-Morrin J, 2002*). Jāatzīmē *A. W. Chan* piedāvāto vienkāršo kvantitatīvo testu sensora - slietkšņa noteikšanai, izmantojot speciālas 23G adatas ar iespēju variēt svaru no 0.2g līdz 5.2 g (*Chan AW et al, 1992*). Citās metodēs tiek mērīta temperatūras uztvere, izmantojot dažus termoelektriskus sensorus, kuru darbība balstās uz *Peltier (1834)* principa (*Hilz MJ, 1999*). Zināmas arī vizualizācijas metodes, piemēram, nosakot termogrāfiski.

Fizioloģisko reakciju klīniska noteikšana norāda ne tikai uz pacienta vispārējo stāvokli, bet arī uz anestēzijas iestāšanos un tās līmeni. Fizioloģisko reakciju esamību nosaka lokālo anestētiķu (LA) lietošana, respektīvi, to lokāla un centrāla iedarbība (*Weinberg GL, 2010*). Šo reakciju klīniskā novērtēšana ir būtiska gan pirms operācijas, gan operācijas laikā. Pirmkārt, drošības apsvērumu dēļ (*Neal JM, 2010*). Izmantojot lokālos anestētiķus vienmēr jāatceras par to kardiotoxicitāti un citām blaknēm, kas ierobežo LA lietošanu (obligāti jālieto standarta monitorings) (*Neal JM, 2010*). Otrkārt, jaunas, klīniskas kvantitatīvas metodes dod iespēju monitorēt anestēzijas iestāšanos un līmeni ne tikai samaņā esošiem pacientiem. Šīs metodes vērtē asinsspiediena, sirds frekvences, asins plūsmas, temperatūras, ādas konduktivitātes pārmaiņas u.c. To pārbauda klīniski.

Pastāv arī laboratoras metodes, bet to lietošana ir ierobežota laikā un izmaksu dēļ.

4. Monitorings.

4.1. Vitālo funkciju monitorings.

4.1.1. EKG, NIBP, SpO₂, CO₂, termometrija, BIS.

20.01.2009. MK noteikumi Nr.60 "Noteikumi par obligātajām prasībām ārstniecības iestādēm un to struktūrvienībām" ("LV", 23 (4009), 11.02.2009.) (stājās spēkā 12.02.2009.) ar grozījumiem nosaka prasības anestezioloģijas dienestam:

„138. Daudzprofilu slimnīcas, specializētās slimnīcas un universitātes slimnīcas operāciju zālē vispārējās un vietējās anestēzijas laikā anestezioloģijas dienests nodrošina šādu parametru novērošanu;

138.1. pacienta sirdsdarbība un asins cirkulācija (elektrokardiogrāfija; arteriālais asinsspiediens, izmantojot neinvazīvas metodes; arteriālais asinsspiediens, izmantojot invazīvas metodes);

138.2. elpošanas funkcijas un ventilācija (elpošanas tilpums, minūtes ventilācijas tilpums, spiediens elpceļos, ogļskābās gāzes koncentrācija izelpojamā gaisā);

138.3. hemoglobīna skābekļa saturācija (pulsa oksimetrija);

138.4. ķermeņa temperatūra;

138.5. neiromuskulārās pārvades kontrole, lietojot muskuļu relaksantus.”

Līdz ar to absolūti stingri ir nodefinēts, kādam monitoringa aprīkojumam jābūt obligāti - „standartā” un ko drīkst izmantot „pēc iespējas”, ja esošais monitorings ir pieejams, un personāls ir apmācīts ar to rīkoties.

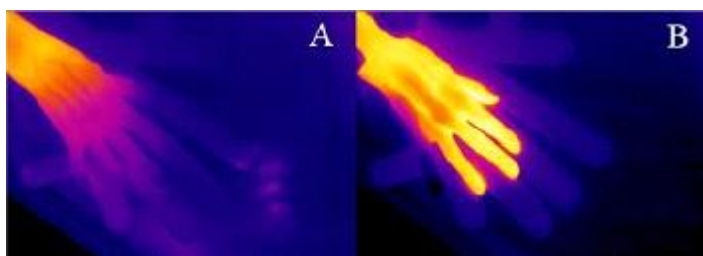
Temperatūras monitorings ir obligāts. Tas nozīmē brīvu pieejamību un iespēju termometriju izmantot arī reģionālās anestēzijas efekta noteikšanai. Termogrāfijas izmantošana ir ierobežota nepārprotami augsto izmaksu un aparatūras pieejamības dēļ. Nosacīti neobligāts varētu būt, piemēram, BIS monitorings, ar kuru var noteikt vispārējās anestēzijas dziļumu. Jāatzīmē, kā šīs funkcijas ir pieejamas visur standartizēti, apvienojot pamata un papildu funkcijas jaunās paaudzes monitoriem (piem. *Philips P9000* utt.).

Termometrija un termogrāfija.

„Termogrāfija ir infrasarkanā starojuma vizualizācija - elektromagnētiskā spektra infrasarkanajā zonā nosaka starojumu, ko pārvērš attēlos. Visi objekti izdala infrasarkano starojumu atkarībā no temperatūras – paaugstinoties objekta temperatūrai, pastiprinās tā infrasarkanais starojums. Termogrāfijas veikšanai izmanto termokameru, kas vizualizē infrasarkano starojumu. Siltākie objekti attēlos izceļas uz aukstāku objektu fona, piemēram, cilvēks gan dienā, gan naktī „izceļas” uz apkārtējās vides fona” (*A. Blumberga, 2008*).

Savukārt, medicīniska DITI vai digitāla infrasarkana termo vizualizācija (angl.: *digital infrared thermal imaging*) ir neinvazīva diagnostiska tehnoloģija, kas ļauj vizualizēt kvantitatīvas pārmaiņas ādas temperatūrā ar precizitāti 0.01°C. Šo vizualizācijas attēlu sauc par termogrammu.

Pēdējos gados termogrāfiju aktīvi izmanto pētījumos medicīnā, arī anestezioloģijā. Piemēram, unikālas iespējas grafiski attēlot pacienta ādas zonas ar paaugstinātu temperatūru pēc reģionālās anestēzijas simpātiskā efekta iestāšanās.



Attēls 1-4-1. Pacienta ādas temperatūra pirms (A) un pēc (B) reģionālās anestēzijas simpātiskā efekta iestāšanās

Bispektrālais indekss (BIS) ieviests praksē 1994. gadā, lai noteiktu samaņas līmeni, analizējot pacienta elektroencefalogrammu vispārējās anestēzijas laikā (*Sigl JC, Chamoun NG, 1994*). Parasti to izmanto kopā ar citiem fizioloģiskiem monitoringa veidiem, tādiem kā elektromiogrāfija. Pacienta samaņas līmeņa konstatācija (*Guedel, 1937*) pasargā no

komplīkācijām (piemēram, no informētības). Dažās valstīs anesteziologu asociācijas, piemēram, *Sociedad de Anestesiología Reanimación y Terapéutica del Dolor de Madrid*, rekomendē lietot BIS kā rutīnas metodi. Citas, piemēram, *American Society of Anesthesiologists* piedāvā izmantot BIS vadoties pēc nepieciešamības. No praktiskā viedokļa: monitorā redzami parasti absolūti skaitļi no 0 līdz 100, kur 40-60 ir rekomendējama pacienta samaņas līmenis ķirurģiskai operācijai. Tā ir pārveidota informācija ar *Furje* teorijas palīdzību, kad no encefalogrammas ar augstas frekvences viļņiem nomodā signāls pariet uz zemas frekvences līmeni medikamentozā miegā. Analīze ir bispektrāla, jo tiek analizēti laika un frekvenču domēni.

Daži autori uzskata, ka organisma reakciju uz *nokses* (latin. *nocere* – kaitēt) stimulu noteikšanai ķirurģiskas operācijas laikā varētu informatīvi izmantot autonomās nervu sistēmas monitorēšanu (piemēram, *ANSiscope*). Tomēr centrālās nervu sistēmas monitorēšana labāk piemērota samaņas līmeņa noteikšanai. Pēc tam, kad 2004.gadā tika publicēts *B-Aware Trial* (P. Myles; K. Leslie et al.; *Lancet*, 2004), BIS ir pieņemta kā metode, kura samazina anestēzijas informētības (angl.: *anaesthesia awareness*) risku operācijas laikā augsta riska pacientiem.

4.1.2. Neurofizioloģiskās izmeklēšanas metodes.

Neurofizioloģiskās izmeklēšanas metodes arī nav obligāto monitoringu sarakstā, tā kā šo metožu ir ļoti daudz. No anestezioloģijas viedokļa lielāku interesi rada iespēja izpētīt nervu impulsa pārvadi pa nerva motoriskajām un sensoriskajām šķiedrām.

Ir zināmas vairākas kvantitatīvās sensoriskās testēšanas metodes, lai noteiktu sensorisko nervu vadīšanas sliekšni. Klīniskajā praksē biežāk lietojamā ir *neirometrija*, kuras laikā kā kairinātāju izmanto elektriskās strāvas impulsu. Tiek lietotas arī termostimulācija un vibrostimulācija.

Neirometrija ir neuroselektīva sensorisko nervu vadīšanas sliekšņa (SNVS) novērtēšanas metode. Izmeklēšanas laikā nosaka nesāpīgu strāvas uztveres sliekšni (SUS). SNVS noteikšana ļauj novērtēt funkcionalitāti katrai no trīs lielākajām sensorisko nervu šķiedru subpopulācijām. (*Kravale, Eniņa, 2007*)

Pirmā, skaitliski vismazākā sensorisko nervu šķiedru subpopulācija ir A β šķiedras. Tās ir lielās, mielinizētās šķiedras, kas atbild par pieskārienu un spiedienu. Pārvades ātrums A β šķiedrās ir 50 m/s (*Attēls 1-3-4*). Otrā, skaitliski nedaudz lielāka ir A δ sensorisko šķiedru subpopulācija. Tās ir mazās, mielinizētās šķiedras, kas atbild par ātrām sāpēm, vibrāciju un temperatūru. A δ šķiedras pārvades ātrums ir 20 m/s. Trešā, skaitliski vislielākā sensorisko nervu šķiedru subpopulācija ir C šķiedras. Tās ir sīkās, nemielinizētās nervu šķiedras, kas atbild par polimodālām nociceptīvām sajūtām, temperatūru un lēnām sāpēm. Šī subpopulācija atbild arī par postganglionāro simpātisko inervāciju. Pārvades ātrums C šķiedrās ir ļoti lēns- 3-1 m/s. (*Kravale, Eniņa, 2007*)

Neirometriskā izmeklēšanā izmanto standartizētas shēmas virsmas elektrodu novietošanai uz rokas 2. vai 5. pirksta un kājas 1. pirksta. Testa laikā izmanto trīs dažādas sinusoīdas elektriskās strāvas frekvencēs – 200Hz, 250 Hz un 5 Hz. Katra frekvence stimulē tikai atbilstošas šķiedras: attiecīgi A β , A δ un C šķiedras. Strāvas stiprumu var mainīt izmeklēšanas laikā no 0.01 līdz 9.99 mA. Ar katru frekvenci cenšas noteikt zemāko strāvas stipruma intensitāti, ko pacients jūt. Jāatzīmē, ka izmeklēšana praktiski ir „dubultakls” tests, jo gan pacients, gan medicīnas darbinieks, kas veic izmeklējumu, nezin izmantoto strāvas stiprumu un orientējas tikai uz skaņas signālu (*Kravale, Eniņa, 2007*).

Par vienīgo testa nosacījumu jārunā atsevišķi. Tā ir adekvāta saskarsme ar pacientu, kam ir pietiekami skaidra apziņa, lai spētu saprast testa uzdevumu un koncentrētos 20 minūšu laikā. Izmeklējamai ekstremitātei jābūt brīvi pieejamai, proti, tā nevar būt iegipsēta vai apsaitēta. (*Kravale, Eniņa, 2007*).

Neirogrāfija ir impulsa pārvades ātruma noteikšana pa nervu motoriskām vai sensoriskām šķiedrām pēc maksimālas perkutānas bipolāras nerva stimulācijas. Maksimāla stimulācija aktīvē visas lielās, ātri pārvadošās motoriskās un liela diametra mielinizētās sensoriskās A β šķiedras (*Kravale, Eniņa, 2007*).

1. Impulsa pārvades ātruma noteikšana pa nervu motoriskām šķiedrām. Pēc elektriskās stimulācijas ar bipolāriem virsmas elektrodziem reģistrē muskuļu darbības potenciālu – M-atbildi. Nosaka M-latenci, kas ir laika intervāls starp stimulācijas sākumu un tās radīto artefaktu. M-latenci mēra milisekundēs (ms). Katrai M-atbildei nepieciešams noteikt darbības potenciāla amplitūdu, ko mēra milivoltos (mV), un arī laukumu (*Kravale, Eniņa, 2007*).

2. Impulsa pārvades ātruma noteikšana pa nervu sensoriskām šķiedrām. Parasti izmanto divus ceļus sensorisku nervu darbības potenciāla (DP) iegūšanai. Tās ir ortodromiskā un antidromiskā metodes. Pirmā, veicot stimulāciju nerva inervācijas zonā (pozicionē stimulācijas gredzenveida elektrodu uz trešā pirksta), reģistrāciju veic proksimāli pa nerva gaitu (reģistrējošo elektrodu novieto pa *n. medianus* gaitu apakšdelmā). Izmantojot otro, antidromisko metodi, stimulējošo un reģistrējošo elektrodus samaina vietām, resp., stimulējošais elektrods atrodas proksimāli no reģistrējošā. Tā kā stimulācija pārsvarā notiek tā sauktiem jauktiem nerviem, tad stimulējošās strāvas stiprumam noteikti vajadzētu būt zemākām nekā motorisko šķiedru kairinājuma sliekšnis. Vispirms nosaka sensorisko darbības potenciālu, pēc tam - S-latenci, kas ir laika intervāls starp sensoriskā darbības potenciāla sākumu un stimulācijas radīto artefaktu. Izejot no S-latences, aprēķina impulsa pārvades ātrumu pa nervu sensoriskajām šķiedrām. Iegūtās S-latences un pārvades ātrumi ir identiski, neatkarīgi no lietotas antidromiskas vai ortodromiskas metodes (*Kravale, Eniņa, 2007*).

Atkarībā no izmeklēšanas zonas reģistrācijai izmanto vai nu bipolārus virsmas elektrodus, vai gredzenveida elektrodus (piemēram, *n. medianus*, *n. ulnaris* vai *n. tibialis* izmeklēšanai). Adatu elektrodus izmanto speciālajām zonām (tādai lokalizācijai, kā *n. cutaneus femoris anterior lateralis* - gan stimulācijai, gan reģistrācijai). Sensoriskajiem darbības potenciāliem novērtē amplitūdu, kas ir aptuveni 5-50 μV . Nosaka arī laukumu (*Ilze Kravale, Gertrūda Eniņa, 2007*).

Novēroti daži faktori, kas nepārprotami ietekmē impulsa pārvadi pa nervu motoriskām un sensoriskām šķiedrām, piemēram pazemināta temperatūra, kas palēnina impulsa pārvadi pa nerva gan motoriskajām, gan sensoriskajām šķiedrām par 0.3 ms uz katru grādu. Pazemināta temperatūra palielina sensorisko darbības potenciālu amplitūdu. Turpretī, paaugstināta temperatūra ievērojami paātrina impulsa pārvadi pa nervu motoriskajām un sensoriskajām šķiedrām. Pacienta vecums ir vēl viens faktors, no kā ir atkarīgs impulsa pārvades ātrums. Novērots, ka jaundzimušiem impulsa pārvade ir lēna - līdz 30 m/s un izlīdzinās tikai 3-5 gadu vecumā. Līdz ar gadiem, aptuveni pēc 60 gadu vecuma, motorisko un sensorisko darbības potenciālu amplitūda pakāpeniski samazinās, bet pārvades ātrums palēninās (*Kravale, Eniņa, 2007*).

Autonomās nervu sistēmas izmeklēšanā nosaka simpātiskās ādas atbildes reakcijas un reģistrē R-R intervāla svārstības, tā ietver arī R-R intervāla svārstību noteikšanu, dziļi elpojot, pieceļoties un arī Valsavas testu.

Simpātiskā ādas atbildes reakcija (SĀAR) uz negaidīto stimulāciju reģistrējas kā pārmaiņas ādas potenciāls. Stimulācija var būt jebkuras etioloģijas: elektriska, akustiska, pieskāriens utt. Būtībā tas ir polisinaptisks reflekss. Šo refleksu aktivē dažādi aferentie impulsi, bet eferentā daļa aktivē sviedru dziedzerus caur pre- un postganglionāram sudomotoriskām šķiedrām. Šo refleksu koordinē smadzenēs hipotalāmus, stumbra retikulārā formācija un muguras smadzenes. Izmeklēšanas laikā reģistrējošos virsmas elektrodus novieto uz pacienta abām plaukstām un pēdām. Tad negaidīti pacientam veic stimulāciju. Tas varētu būt jebkura elektriska stimulācija, skaņas signāls, vai var pēkšņi pieskarties pacientam.

Pieņemts, ka vidējais pārvades ātrums sudomotoriskajās šķiedrās ir 1-2 m/s. SĀAR latence ir apmēram 1.5 s rokās un 2 s kājās. Lielāko laiku aizņem sviedru dziedzeru aktivācija un vadīšana pa postganglionārajām C šķiedrām, kas ir 95% no SĀAR latences. (*Kravale, Eniņa, 2007*).

4.1.3. Pulsa oksimetrija.

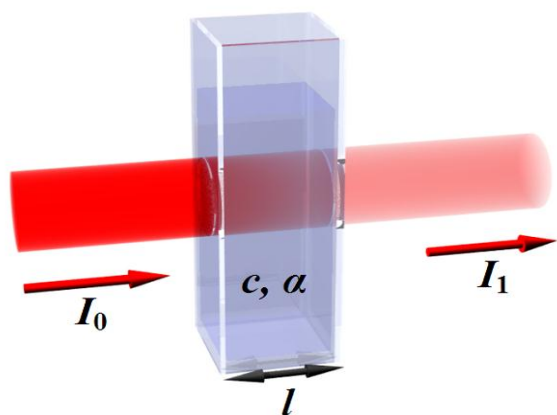
Pulsa oksimetrija ir viens no būtiskajiem anesteziologa drošības rīkiem, mūsdienās bez tā nav iedomājams standarta intraoperatīvais monitorings. Ideja izmantot pulsējošo arteriālo asins plūsmu oksimētrijai pieder *Takuo Aoyagi* no Japānas (*Severinghaus, 1987*). Pulsoksimetrija ieviesta praksē 1983. gadā, un tās obligāta lietošana anestezioloģijā un intensīvajā terapijā ir rekomendēta kopš 90-tiem gadiem (*Webster JG, 1997*).

Kontrindikāciju pulsa oksimētrijai nav, mēdz būt tikai daži ierobežojumi (piem., hiperoksigenācija, perifēra vazokonstrikcija) un interpretācijas kļūdas ($SpO_2 < 70\%$, HbCO, augstums).

Pulsa oksimētrijas pamatā ir oksimētrijas un pletismogrāfijas principi. Pulsa oksimētrija (SpO_2) ir neinvazīva metode (*Morgan G, 2005*). Pulsa oksimētrijas sensors sastāv no divām daļām. Pirmā ir gaismas avots – divas gaismas emisijas diodes (LED ar 30Hz), kas izstaro sarkano (660 nm) un infrasarkano (940 nm) gaismu. Otrā ir gaismas uztveršanas sensors - fotodiode. Monitorēšana notiek pateicoties caurejošai pulsējošai kapilāru gultnei gaismas signāla apstrādei. Sakarā ar to, ka nepieciešams nosdrošināt transluminācijas principu, pulsoksimētrijas sensoru novieto rokas vai kājas pirksta galā, uz auss līpiņas. Monitorā redz transformēto pulsa vilni un arteriālo skābekļa saturāciju. Dati atspoguļo oksigenācijas, ventilācijas un perfūzijas stāvokli. (*Morgan G, 2005; Yentis SM, 2009; Wu T et al, 2000*).

Šāda izmeklējuma teorētiska bāze radusies vēl aizpagājušā gadsimtā, šodien tā pazīstama kā *Lambert-Beer* likums (1852). Likumā aprakstītas gaismas absorbcijas īpašības atkarībā no materiāla, kuru gaismas signāls caurdur. Piemēram, šķidrumiem likums izskatās šādi:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\alpha \ell} = 10^{-\epsilon \ell c}$$



Attēls 1-4-2. Gaismas absorbcijas shēma šķidrumiem

Absorbēcija šķidrumā ir aprakstāma, kā

$$A = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Absorbēcijas koeficients šķidrumiem ir :

$$\alpha' = \frac{4\pi\kappa}{\lambda_0}.$$

Šo likumu pirmais atklāja *Pierre Bouguer* (*Essai d'Optique sur la Gradation de la Lumiere*) 1729. gadā, pārstrādāja *Johann Heinrich Lambert* 1760. gadā un papildināja *August Beer* 1852. gadā.

Izmantojot šo likumu var noteikt skābekļa saturāciju hemoglobīnu saturošā šķidrumā, bet nevar vērtēt visu asins daudzumu izkliedes dēļ. Tomēr tas dod priekšstatu par gaismas absorbēciju audos un oksigenācijas mērīšanas procesu. Pateicoties tehnoloģiju attīstībai un lietojot modernus skaitļotājus, mūsdienās ir iespējams realizēt neinvazīvu oksigenācijas noteikšanu. Modernos pulsa oksimētrus SpO₂ mērīšanai var izmantot gan refleksijas, gan transmisijas gaismas uztveršanas principus (*Mendelson and Och, 1988*).

Oksimetrija ir skābekļa piesātinājuma noteikšana hemoglobīnā arteriālās asinīs ar gaismas absorbēcijas mērīšanas metodi. Zināms, ka oksihemoglobīns (HbO₂) un dezoksihemoglobīns ļoti atšķirīgi spēj absorbēt sarkano un infrasarkanā gaismu.

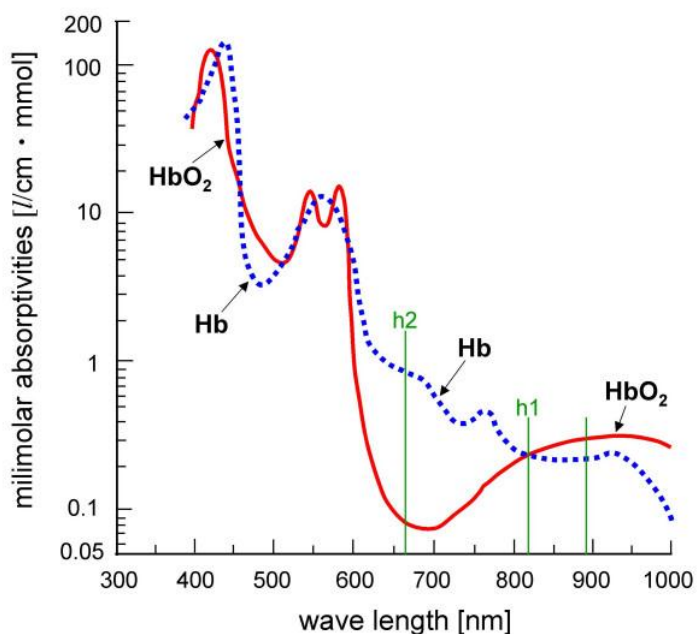
Pirmais, oksihemoglobīns, labāk absorbē gaismas infrasarkanā spektra daļu :

$$\mu_a^{\lambda_1} = \ln 10 * \left\{ \epsilon_{HbO_2}^{\lambda_1} [HbO_2] + \epsilon_{Hb}^{\lambda_1} [Hb] \right\}$$

Otrais, dezoksihemoglobīns, labāk absorbē gaismas sarkano spektra daļu :

$$\mu_a^{\lambda_2} = \ln 10 * \left\{ \epsilon_{HbO_2}^{\lambda_2} [HbO_2] + \epsilon_{Hb}^{\lambda_2} [Hb] \right\}$$

Tā rezultātā, var izveidot divas līknes, atbilstošas Hb un HbO₂ absorbcijai dažādu viļņa garumu starojumiem (Attēls 1-4-3).

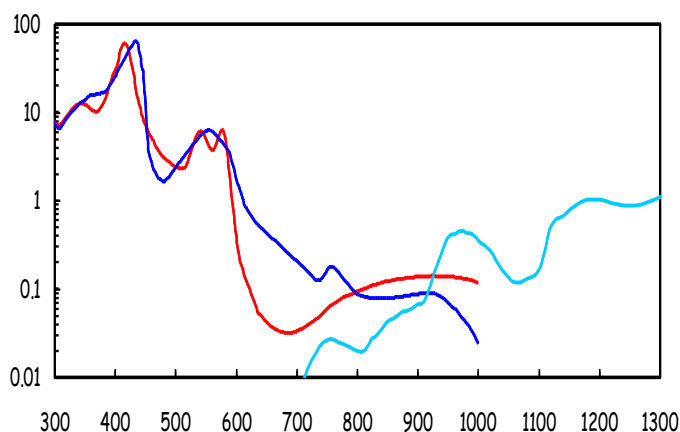


Attēls 1-4-3. Hb un HbO₂ gaismas absorbcija

Šajā grafikā var atrast abu līkņu krustošanās vietas (t. s. *isobestic point*, angl.). Mūsu gadījumā, sarkanai un infrasarkanai transzonālai gaismai atbilst punkti ar 650 nm un 805 nm. Lai izrēķinātu oksihemoglobīna līmeni, nepieciešams noteikt caur pirkstu staroto signālu, izolēt un izslēgt signāla variabilitāti pulsējošas asins plūsmas dēļ. Gala rezultātā jāpieņem noteiktais signāls proporcionāli absorbcijas koeficientam. Tādēļ arī nosaukums SpO₂: kur S nozīmē *saturācija*, p - *pulss*). Artēriju pulsāciju identificē pletismogrāfijā. Tās ļauj mērīt gaismas absorbciju ar nepulsējošo venozo plūsmu, ar ādu un citiem audiem un veikt atbilstošas korekcijas (*Yentis SM et al, 2009*).

Ja pastāv problēmas ar perifēro asins plūsmu noteikšanu speciālos gadījumos (piemēram, dzesēšana operācijas laikā) izmanto *transeosophgeal* pulsa oksimetrus (*Kyriacou et al, 2002, 2006*). Venozo oksigenāciju noteikšanai pastāv *VENOX Technology*, kas līdzīga *PPG*. (*Chan et al, 2003*). Vienkāršāk tomēr aprēķināt arteriālās asins skābekļa saturāciju:

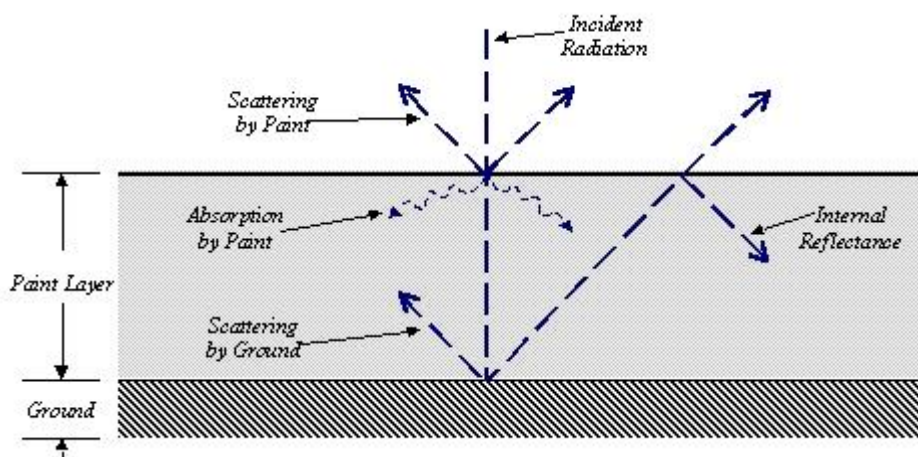
$$\text{Arterial O}_2 \text{ saturation} = \frac{[HbO_2]}{[HbO_2 + Hb]} * 100\%$$



Attēls 1-4-4. Hb, HbO₂ un ūdens gaismas absorbcija

Kubelka – Munk teorija

Optiskās Kubelka-Munk teorijas izpratne ir nepieciešama lai noteiktu gaismas un virsmas mijiedarbības īpatnības, konkrētā gadījumā redzamas spektra daļas vai infrasarkanās spektra daļas.



Attēls 1-4-5. Gaismas un virsmas mijiedarbības shēma

Starp absorbcijas koeficientu un izkliedes koeficientu starpību var atrast ar vienādojumu:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_o)^2}{2 \cdot R_o}$$

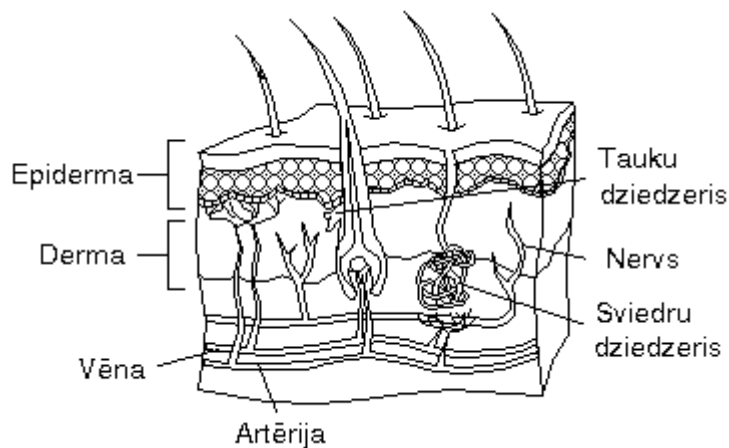
Ja krāsas slānis ir melnā fonā, to var uzskatīt par pilnīgi absorbēto. Tādēļ šī slānī krāsas atstarošanas ar ierobežotu biezumu ir konstatēts, ka funkcijas izkliedes koeficientu:

$$S \cdot K = b^{-1} \cdot \coth \left(\frac{1 - a \cdot R_o}{b \cdot R_o} \right)$$

4.2. Āda kā monitoringa objekts.

4.2.1. Ādas struktūra.

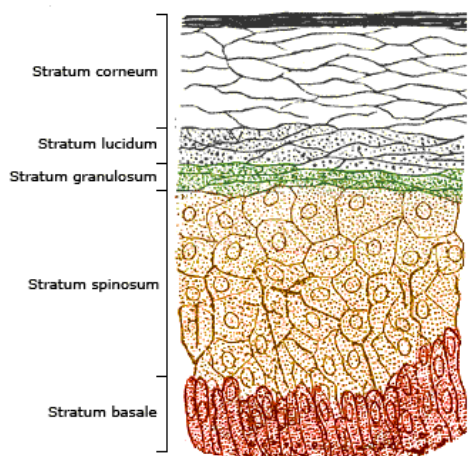
Āda ir cilvēka vislielākais un polifunkcionālais orgāns. Tās kopējais virsmas laukums pieaugušam cilvēkam ir vidēji 1.5 – 2 m². Ādas kopējā masa, neskaitot zemādu, ir aptuveni 6% no ķermeņa masas, bet kopā jau līdz 16%. Cilvēka ādas uzbūve dažādās ķermeņa daļās ir atšķirīga. Biezums atkarīgs no lokalizācijas, tas var mainīties no 4 mm uz pēdām un roku delnām līdz 0.1 mm auss dzirdes kanālā. Tomēr visur cilvēka āda sastāv no trim galvenajām daļām: virsādas jeb epidermas, pamatādas jeb dermas un zemādas tauku slāņa jeb hipodermas.



Attēls 1-4-6. Cilvēka ādas uzbūve

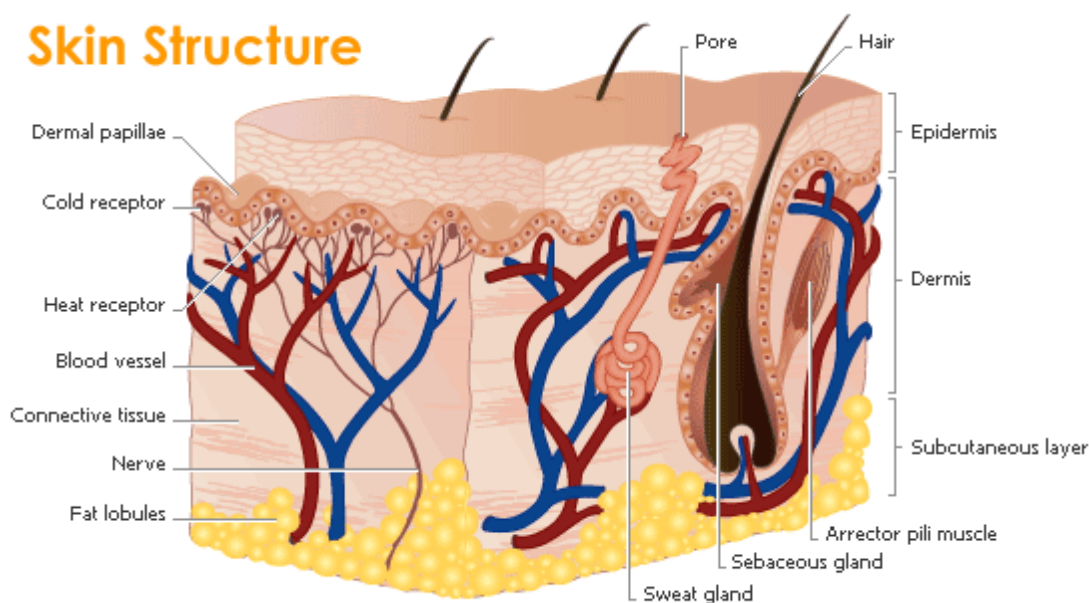
Viršāda, jeb epiderma ir ādas virsējā epiteliālā kārtā, kas embrioloģiski attīstījusies no ektodermas. Epidermas biezums ir apmēram 0.1 mm. Epiderma ir avaskulāra struktūra, kas pēc difūzijas principa saņem barošanu no dermas un ietver sevī keratinocitus, melanocitus, Langerhansa šūnas, Merkel šūnas un inflamatoras šūnas (James, William; Berger, Timothy; Elston, Dirk, 2005). Lielāko daļu virsādas veido keratinociti - aptuveni 95% no epidermālajām šūnām (McGrath et al, 2004).

Atkarībā no ķermeņa rajona epiderma citoloģiski sastāv no četriem-pieciem slāņiem (latin.val.: *stratum*). Lejupejošā kārtībā, sākot no virspusējās, tie ir *stratum corneum*, *stratum lucidum*, *stratum granulosum*, *stratum spinosum*, *stratum basale/germinativum* (Marks, 2006). No *stratum basale* un *stratum spinosum* veidojas *stratum malpighi* (McGrath et al, 2004).



Attēls 1-4-7. Cilvēka ādas uzbūve pa slāņiem

Pamatāda, jeb derma, ir ādas vidējais slānis, 2–3 mm biezs, atrodas uzreiz zem epidermas. Derma ir cieši pievienota epidermai ar bazālo membrānu. Šīs ādas slānis veidojas no kolagēna un elastīgajām šķiedrām, kā arī no nedaudz īsās gludo muskuļu šķiedras, kopā nodrošinot ādas mehānisko izturību. Tas pilda amortizācijas funkciju epidermai un, savukārt, sastāv no diviem slāņiem – papilārā un tīklainā. Papilāro slāni veido irdenie šķiedrainie saistaudi, kas ir bagāti ar mehanoreceptoriem un nervu galiem, ļaujot uztvert spiedienu, pieskārienu, siltumu un aukstumu. Tīklaino slāni veido blīvi saistaudi. Derma ietver arī matu folikulus, tauku un sviedru dziedzerus, limfvadus un asinsvadus. Sviedru dziedzeri un dermas asinsrite piedalās ķermeņa temperatūras regulēšanā. Tauku dziedzeri, kas izkaisīti gandrīz pa visu ādu, izdala ādas taukus, kas palīdz ādai uzturēt nepieciešamo mitruma līmeni (Attēls 1-4-8).

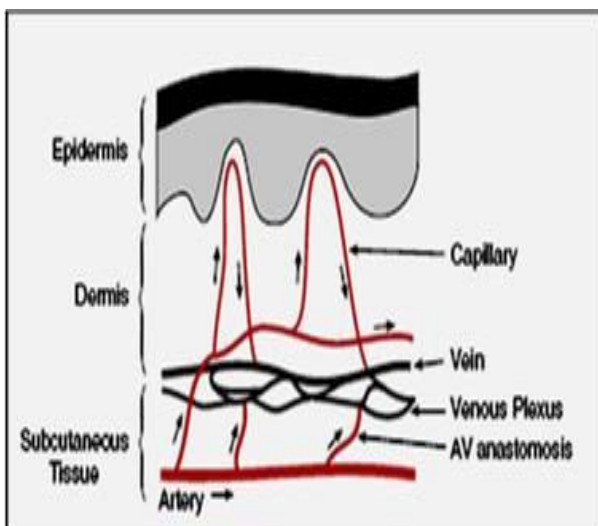


Attēls 1-4-8. Cilvēka ādas uzbūve

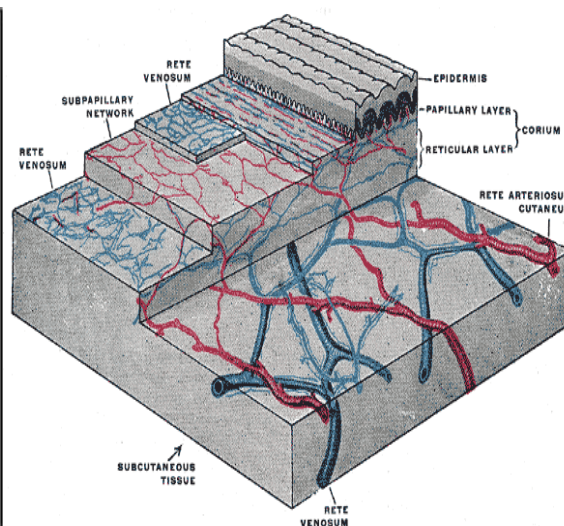
Zemādas tauku slānis jeb hipoderma ir pats dziļākais ādas slānis. Derma un hipoderma ir attīstījušās no mezodermas, tapēc starp tām nav spilgtu robežu. Visu slāni caurauž blīvi saistaudu šķiedru kūlīši. Pamatā zemādas audus veido zemādas tauku kārtā, kas domāta kā siltumizolācijas slānis, kā arī rezerves barības vielu krātuve. Zemādā atrodas artērijas un vēnas, kas nodrošina asinsapgādi ādas augšējiem slāņiem.

4.2.2. Ādas vaskularizācija.

Zemādas artērijas nodrošina ādas asins apgādi. Tās atrodas uz dermas un zemādas robežas un veido dziļo ādas arteriālo asinsvadu tīklu. Šo artēriju diametrs ir mazs, aptuveni 100 μm . To zariņi baro mata folikulus un taukšūnas, sviedru un tauku dziedzerus. Ieejot apakšējā dermas slānī, artērijas vienu vai divas reizes sadalās, izveidojot zarus, kas izvietojas slīpi vai gareniski aptuveni līdz vidējam slānim. Pēc tam notiek artēriju zaru multipla dališanas jau vidējā dermas slānī, tā rezultātā izveidojas arteriolas ar diametru līdz 50 μm . Pārejot no vidējā uz augšējo dermas slāni, dališanās turpinās, un asinsvadu izmērs atbilstoši mazinās līdz terminālajām arteriolām un kapilāriem - sakumā 15 μm diametrā pēc tam no 10 līdz 4 μm . Šo aferento kapilāru cilpas izvietojas vertikāli, cilpu sienīgas ir tik plānas, ka sastāv tikai no viena endoteliocītu slāņa. (H. Golster, 2001). Kapilāro tīklu veido 60 līdz 70 cilpas uz vienu kvadrātmilimetru augšējā dermālajā slānī ar aferentām un eferentām daļām. Postkapilārās vēnulas veido savu dziļo un virspusējo tīklu. Asinis no kapilāriem tiek virzītas venozajā pinumā zemādā un tālāk asinsritē. Vēnulu diametrs mainās līdzīgi kā arteriolu, tikai jau pretējā virzienā – no 40-60 μm augšējā un vidējā dermālajā slānī līdz 100-400 μm dziļākajā.



Attēls 1-4-8. Cilvēka ādas asinsrites uzbūve



Attēls 1-4-9. Cilvēka ādas asinsrites uzbūve

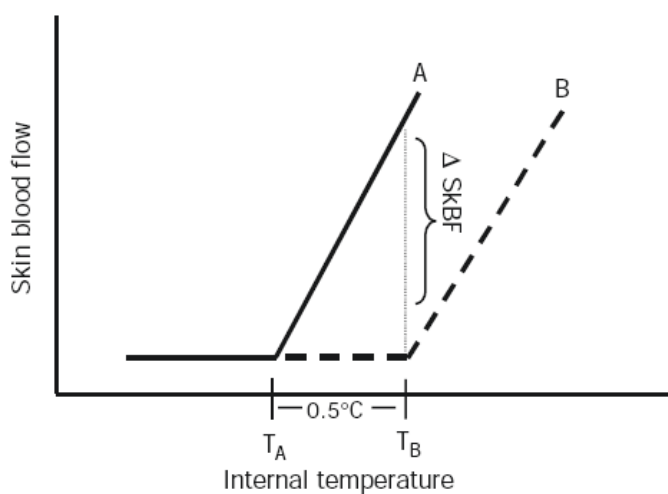
Avots: "Elsevier: Gray's

Anatomy, 40th Edition: Standring"

Arteriolu un vēnulu savienotājkanāli pilda šuntēšanas funkciju, pārdaļot asins plūsmu virspusējā asinsvadu tīklā [3att.]. Arteriovenozās anastomozes atrodas ādā vienā līmenī ar sviedru un tauku dziedzeriem (Lindberg L. G. un Oberg P. A., 1991). Tam ir būtiska nozīme termoregulācijas mehānismā. Ādas limfvadi arī veido gan virspusējo, gan dziļo tīklu.

4.2.3. Neirālā un metaboliskā cirkulācijas regulācija.

Ādā atrodas bagātīgs asinsvadu tīkls, kurā ietilpst aptuveni trešdaļa no cilvēka visa asins daudzuma, tā spēj savos asinsvados uzņemt vairāk par vienu litru asiņu. Pateicoties tam, ādas asinsvadus uzskata par asins depo veidojumiem. Svarīgi, ka ievērojamu asins tilpuma pieplūdi ādai nosaka faktori, kas nodrošina konstantu ķermeņa temperatūru. Savas specifiskās struktūras un funkcijas dēļ ādas asinsvadiem ir īpaša nozīme ķermeņa termoregulācijas mehānismā (Attēls 1-4-8; 1-4-9). Aukstumā, pastiprinoties nervu simpātiskai stimulācijai, ādas asinsvadi sašaurinās. Asins pieplūde cilvēka ādai var palēnināties līdz pat 20-250 ml/min. Turpretī maksimālā siltuma un stresa laikā asins plūsma ādā var paātrināties un sasniegt 3 l/min. Daži autori no Mayo klīnikas pat norāda 6-8 l/min (Nisha Charkoudian, 2003). To var redzēt shēmā (Nisha Charkoudian, 2003):



Attēls 1-4-10. Ādas asins plūsma atkarība no T°

Ādas asins perfūzijas intensitātes variabilitāti nosaka katra asinsvada šķērsriezuma jeb lūmena pārmaiņas. Galvenokārt tās saistītas ar asinsvadu sienas gludās muskulatūras spraiguma jeb tonusa pārmaiņām.

Gan diametrs, gan asinsvadu sieniņu tonuss mainās neirāla, metaboliska vai miogēna faktora ietekmē (Lindberg L. G. un Oberg P. A., 1991).

Ievērots, ka vaskulārajai gludajai muskulatūrai piemīt iekšējā autonomija, kas rada tādu fenomenu kā bazālo tonusu. Ir zināms, ka simpātisko šķiedru impulsi asinsvadus sašaurina, bet,

ja šo impulsu plūsmu pārtrauc – asinsvadi paplašinās. Līdz ar to visi asinsvadu eferentie nervi funkcionāli tiek sadalīti divās daļās - tie, kas sašaurina, jeb vazokonstriktori un tie, kas paplašina, jeb vazodilatatori. Vazokonstriktori, galvenie asinsvadu šķērsriezuma regulētāji, pieder simpātiskai nervu sistēmai. Savus impulsus pa simpātiskām šķiedrām vazokonstriktori saņem nepārtraukti, un tieši tāpēc tie vienmēr ir mazliet sašaurināti. Turpretī vazodilatatoriem tādas īpašības nepiemīt. Vazodilatatoru šķiedras ādai nav raksturīgas. Simpātiskie vazodilatatori inervē, piemēram, skeleta muskuļu asinsvadus. Parasimpātiskie vazodilatatori ir holīnērgiskās šķiedras un, piemēram, *n. pelvicius* sastāvā inervē dzimumorgānu asinsvadus. Ir jāsaprot, ka vazodilatācija pamatā rodas, samazinoties simpātisko impulsu intensitātei vazokonstriktoru šķiedrās.

Konkrēti ādas asins plūsmas simpātiskā neirālā kontrole ietver noradrenerģisku vazokonstriktoru sistēmu un simpātiski aktīvu vazodilatācijas sistēmu, kasa atbild par 80-90% substanciālo ādas vazodilatāciju, atbildot uz termisko stresu. Ādas simpātiskās vazokonstrikcijas un vazodilatācijas sistēmas piedalās arī barorefleksā asinsspiediena kontrolē, kad liela sirds izviedes daļa virzīta tieši ādas plūsmā (*Nisha Charkoudian, 2003*).

Tad, kad simpātiskā nervu sistēma stimulē visas ķermeņa daļas stresa vai fiziskas aktivitātes laikā, simpātisko postganglionāro šķiedru galos izdalās visspēcīgākā asinsvadu sašaurinātājiela - hormons norepinefrīns (noradrenālīns). Nedaudz mazāk aktīva viela ir epinefrīns (adrenālīns). Arī adrenālīns lielās devās saistās ar α adrenoreceptoriem un izraisa asinsvadu sašaurināšanos. Notiek reakcija starp mediatoru un gludo muskuļu asinsvadu α adrenoreceptoriem, tā rezultāta sašaurinās visi asinsvadi, izņemot koronāros, kur epinefrīns izraisa vazodilatāciju. Tādējādi, simpātiskā stimulācija ieslēdz divus regulācijas mehānismus: tiešo - nervu stimulāciju un netiešo - efektu no norepinefrīna un/vai epinefrīna cirkulācijas asinīs.

Cits spēcīgs vazokonstriktors ir angiotensīns II, kas izraisa mazo arteriolu konstrikciju. Sašaurinoties visā ķermenī, mazās arteriolas nosaka perifērās vaskulāras rezistences līmeni (*Guyton AC, 11 th ed., 2006*). Vazopresīns (antidiurētiskais hormons) ir vēl viens vazokonstriktors, stiprāks nekā angiotensīns II. Tas veidojas hipotalamusā, pa nervu aksonu tiek novadīts uz *posterior pituitary gland*, kur finālā kā sekrēts izdalās asinīs. Bez tam pastāv pavadošais ķermeņa aizsargmehānisms, kad galvenokārt darbojas ļoti īpaša vazokonstrikcijas substance – endotelīns (*21-amino acid vasoconstricting peptide*). Šī substance atrodama visu asinsvadu endoteliālajās šūnās. Pēc jebkura asinsvada fiziska bojājuma vazokonstrikcija pasargā organismu no ekstensīvas asiņošanas (*Guyton AC, 11 th ed., 2006*).

Daži joni un ķīmiskie faktori arī var izraisīt vazokonstrikciju vai dilatāciju. Piemēram, palielinoties koncentrācijai, kalcija joni sekmē asinsvadu gludo muskuļu kontrakcijas, bet kālija un magnija joni rada vazodilatāciju. Samazinoties pH, proti, palielinoties H⁺ jonu koncentrācijai,

arteriolas dilatējas, bet pie nelielām koncentrācijām vērojam arteriolu konstrikciju. Vidēji stipru vazodilatāciju rada anjoni (acetāti un citrāti). Mēreni palielinoties ogļskābās gāzes daudzumam asinīs, konstatē vazodilatāciju. Vēl vairāk palielinoties ogļskābās gāzes koncentrācijai un iedarbojoties uz galvas smadzeņu vazomotoro centru, rodas stipri izteikta, netieša atbilde – vazokonstrikcija, nu jau caur simpātisko nervu sistēmu (*Guyton AC, 11 th ed., 2006*).

5. Fotopletismogrāfija.

5.1. Definīcija un vēsture.

Definīcija: Fotopletismogrāfija (PPG) mēra asins tilpumu audos ar optiskām metodēm. Audos iestaro gaismu, kura izkliedējas un pēc tam to registrē ar speciāliem sensoriem.

Fotopletismogrāfiju pirmo reizi aprakstīja 1936. gadā divas neatkarīgas zinātnieku grupas *Moliter un Kniazuk, New Jersey* un *Hanzlik at al, Stanford*. Tika aprakstīti līdzīgi instrumenti asins tilpuma pārmaiņu mērīšanai eksperimentos ar truša auss venu oklūziju un sekojošu vazoaktīvu medikāciju. Tomēr par pionieri šajā jomā uzskata *Arlick Herztman (St.Luis,MO)*, kas savus darbus publicēja 1937. gadā. Viņš arī bija pirmais, kas atklāja, ka PPG signāls sastāv no divām komponentēm 1940. gadā.

Sākotnēji pastāvēja, galvenokārt, tehnoloģijas problēmas - izmērs un sensitivitāte, pārvades ātrums un datu apstrāde. Tas atrisināja līdz ar pusvadītāju tehnoloģiju ieviešanu un skaitļošanas sistēmu attīstību.

Astoņdesmitajos gados izveidotais un praksē ieviestais pulsa oksimetrs bija liels tehnoloģiju panākums.

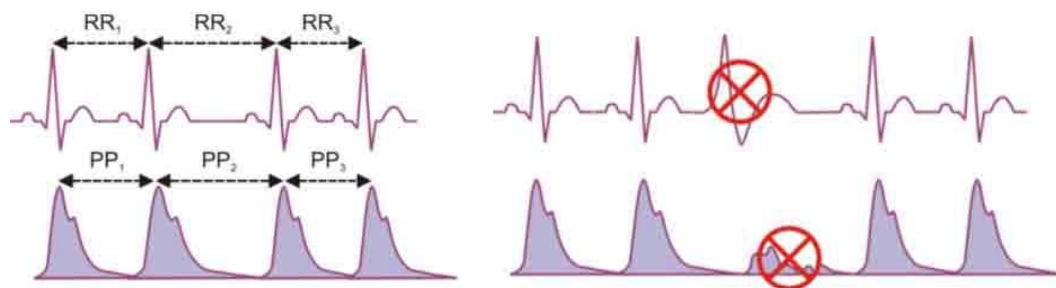
Deviņdesmitajos gados atklāja, ka PPG signāla izcelsme atkarīga no iestartotās gaismas viļņa garuma. Izrādās, ka 560 nm viļņa garumu nosaka asins tilpums. Savukārt viļņu garums 940 nm izraisa eritrocītu reorganizāciju (*L. G. Lindber, 1991*). Konstatēts, ka PPG signāla maiņkomponentes maksimums ir 510 - 590 nm (*A.Johansson, 2000*), to ietekmē arī attālums starp gaismas avotu un uztvērēju - jo lielāks ir attālums, jo dziļāku iespiešanos var reģistrēt (*Allen J, 2007*).

5.2. Fotopletismogrāfijas (PPG) pamatprincipi.

Fotopletismogrāfija (*PPG*) ir salīdzinoši vienkārša, portatīva, lēta, neinvazīva optiska metode, kas palīdz noteikt asins tilpuma pārmaiņas mikrovaskulārajā gultnē. Specifiskais PPG vilnis sastāv no divām komponentēm: „AC” un „DC”. „AC” pulsējošā fizioloģiskā komponente veidojas, pateicoties asins apjoma pārmaiņu sinhronizācijai ar sirds ritmu, kas uzlikta uz lēni mainīgo „DC” bāzes līniju. „DC” bāzes līnija mainās lēni, atbilstoši elpošanas pārmaiņām un

pārmaiņām, kas saistītas ar simpātiskās nervu sistēmas aktivitāti un termoregulācijas pakāpi (Allen J, 2007).

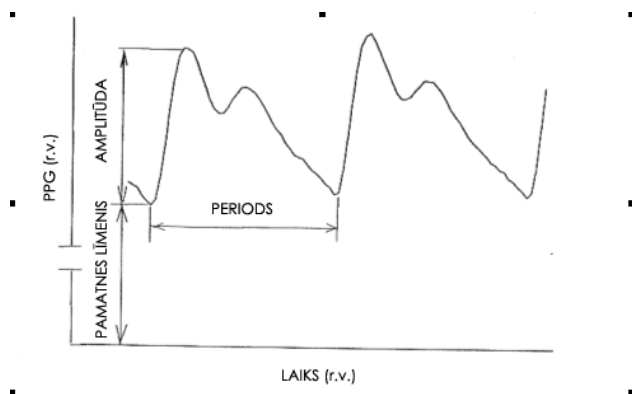
PPG vilnis un EKG [Attēlsno *Heart Rate Variability analysis; Biocom Technologies*]



Attēls 1-5-1. PPG vilnis un EKG

Aprakstot PPG viļņus novēro un izdala trīs pamata parametrus:

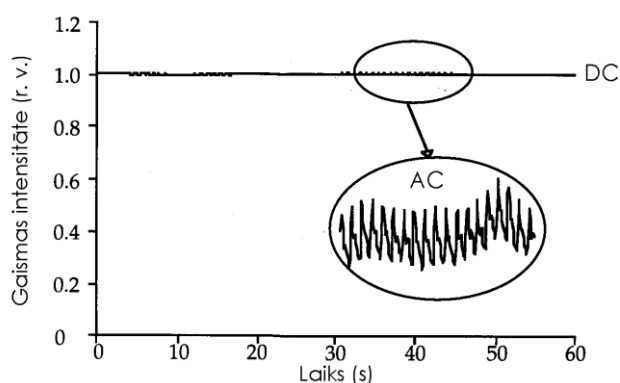
- pamatlīmenis
- amplitūda
- periods.



Attēls. 1-5-2. Parametri PPG signālam

PPG signāla forma ir atkarīga no audiem un vidējā asins tilpuma audos. Tā mainās vairāku faktoru dēļ. Pulsējoša, mainīga komponente „AC” jeb maiņkomponente sastāv no vairākām mainīgām svārstībām. Fizioloģiski mainās atbilstoši sirds ritma pārmaiņām, tās frekvence parasti variējas ap 1 Hz. Iespējamais diapazons ir 0.67 – 3.33 Hz, kas atbilst sirds ritmam no 40 līdz 200 reizēm minūtē. Bāzes līnijas „DC” jeb līdzkomponentes pārmaiņas ir lēnas, un ir atkarīgas no elpošanas, no vazomotorās aktivitātes, vazokonstrikcijas, Traube Hering Mayer (THM) viļņiem un termoregulācijas funkcijas radītās fluktuācijas (Shusterman V et al,

1997; Soderstorm T et al, 2003; Mathura KR et al, 2001). Elpošanas frekvence ir 0.08 – 0.67Hz, kas atbilst 5 – 40 reizēm minūtē. THM frekvence ir 6 reizes minūtē (Ungell H, 1995).

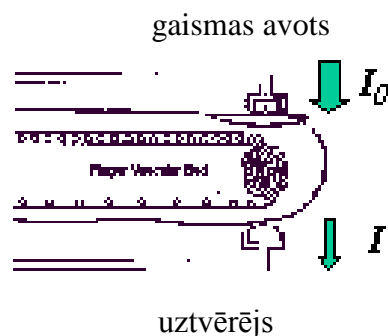


Attēls 1-5-3. PPG signāls. AC un DC komponentes.

Signāla forma atkarīga arī no pieraksta vietas uz ķermeņa (Allen J et al, 2000) un, piemēram, no pacienta vecuma, respektīvi, no asinsvadu sienas elasticitātes un arteriālā asinsspiediena līmeņa un tā variabilitātes. Atsevišķi būtu jāizdala optiskie faktori. Gaisma un bioloģiskie audi savstarpēji mijiedarbojas: izkliedējas, atspoguļojas, absorbējas, transmisējas, fluorescējas (Anderson RR et al, 1981). Ir ļoti daudz pētījumu, kas atspoguļo šos efektus. PPG signālu neinvazīvi var pierakstīt 52 (!) anatomiskās vietās (Tur E et al, 1983), bet parasti izmanto vietu, kur to vieglāk izdarīt- ausu ļipiņas, pirksta galu vai pieri. Eksperimentos tika pierakstīti PPG signāli no ļoti dažādiem, pat negaidītiem, audiem, piemēram, no zobu pulpas vai no kauliem (Naslund J et al, 2006). Pašas gaismas īpašības, iestartotā viļņa garums arī ir noteicošie faktori. Cui at all 1990. gadā izdala trīs faktoros: 1) ūdens optiskais logs, 2) viļņa garums (*isobestic wavelength*) un 3) penetrācijas dziļums (Cui WJ et al, 1990).

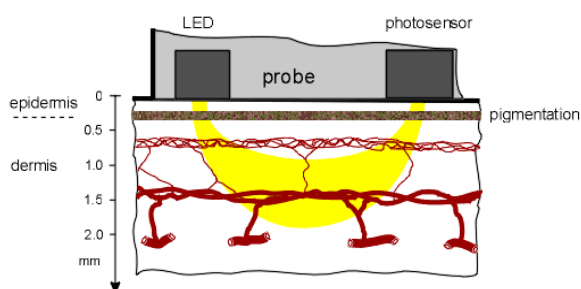
5.3. Remisijas un absorbcijas metodes

Runājot par PPG, atšķir to divas metodes: absorbcijas un remisijas. Absorbcijas jeb transmisijas PPG laikā gaismas avots novietots pētāmā objekta vienā pusē, bet sensors otrā pusē, izmanto audus caurstarojošu gaismas signālu. Transmisijas PPG ietekmē mikrocirkulācija, kas atkarīga no visu asiņu tilpuma audos starp gaismas avotu un uztvērēju. Absorbcijas PPG mērīšanu izdara tādās vietās kā, piemēram, pirkstu gali un ausu ļipiņas.



Attēls 1-5-4. Absorbcijas PPG darbības princips

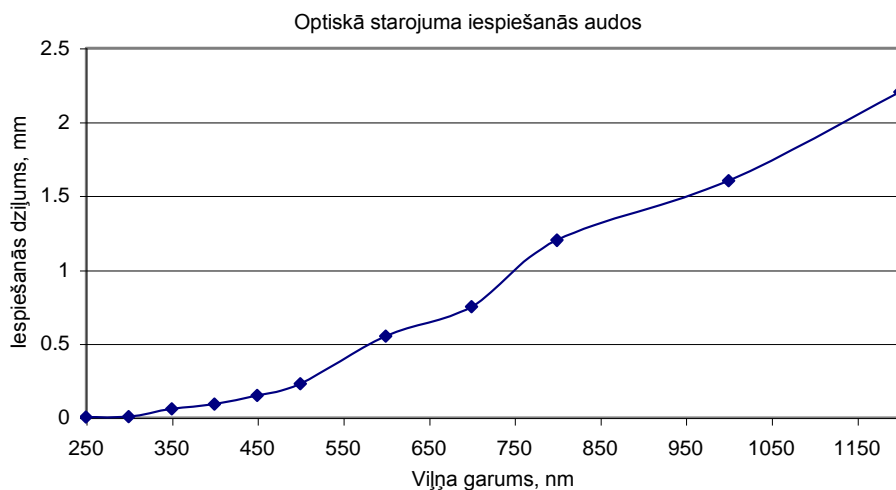
Remisijas jeb atstarojošās PPG laikā gaismas avots un uztvērējs izvietoti pētāmajam objektam vienā pusē, izmanto atstarotās gaismas signālu. Remisijas PPG izdara mērījumus apakšdelmā un citās vietās, kur nav iespējams novietot uztvērēju pretī gaismas avotam. Pieļauj, ka remisija ir modulēta ar ādas augšējā slāņa vaskularizāciju un ir atkarīga no asinsvadu sienīņu kustībām un eritrocītu orientācijas.



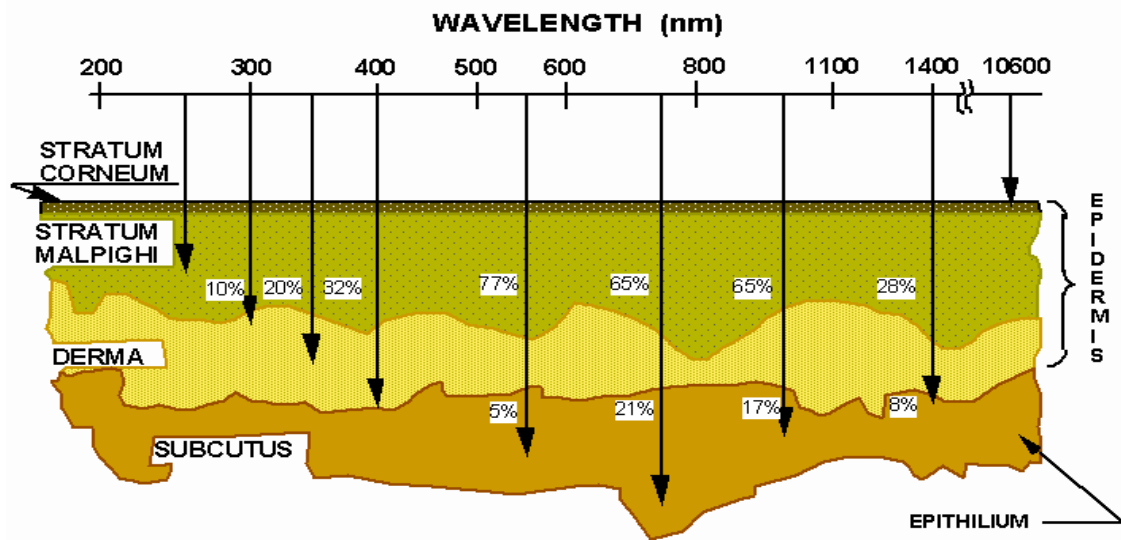
Attēls 1-5-5. Remisijas PPG darbības princips.

5.4. Optiskā starojuma viļņa garums un tā iespiešanās audos.

Izmantojamās gaismas viļņu garums ir viens no faktoriem, kas nosaka gaismas iespiešanos audos. To vislabāk parāda daži attēli:

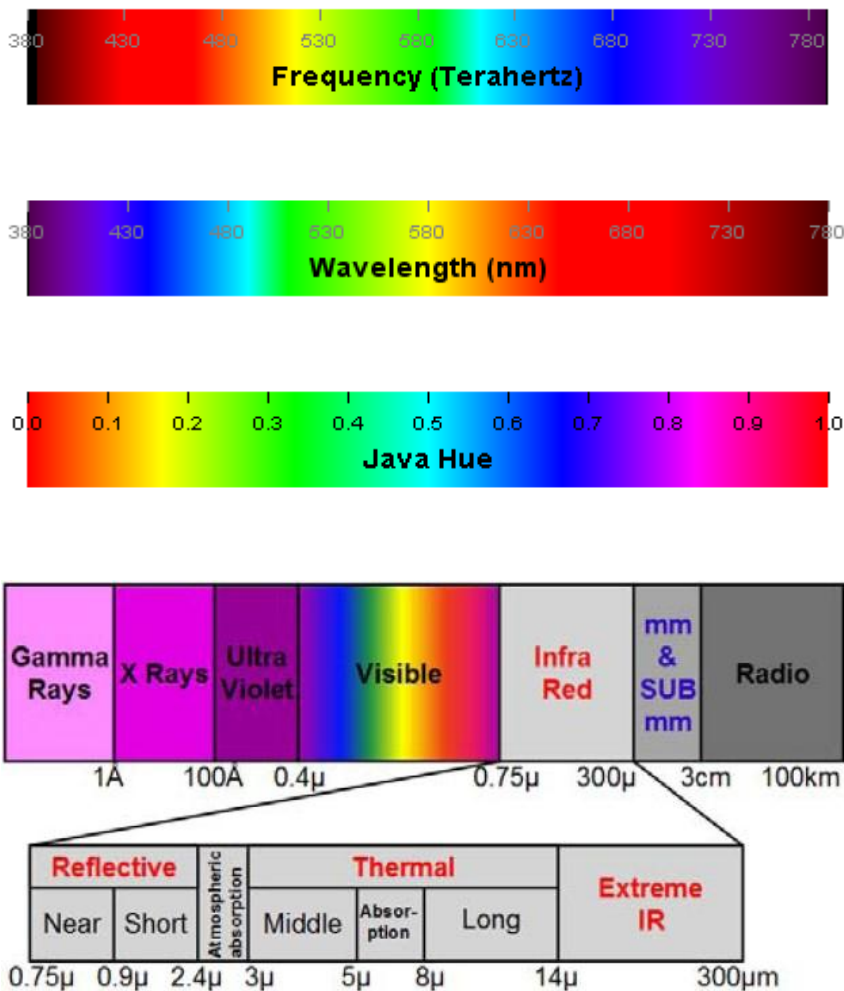


Attēls 1-5-6. Optiskā starojuma iespiešanās audos



Attēls 1-5-7. Optiskā starojuma iespiešanās audos

Redzamā spektra daļa svārstās 400 - 700 nanometru (nm) diapazonā. Zaļās gaismas redzamās spektra daļas garums ir aptuveni 510-532 nm, bet sarkanās - garums ir aptuveni 650 nm (Chekmenev SY et al, 2006).



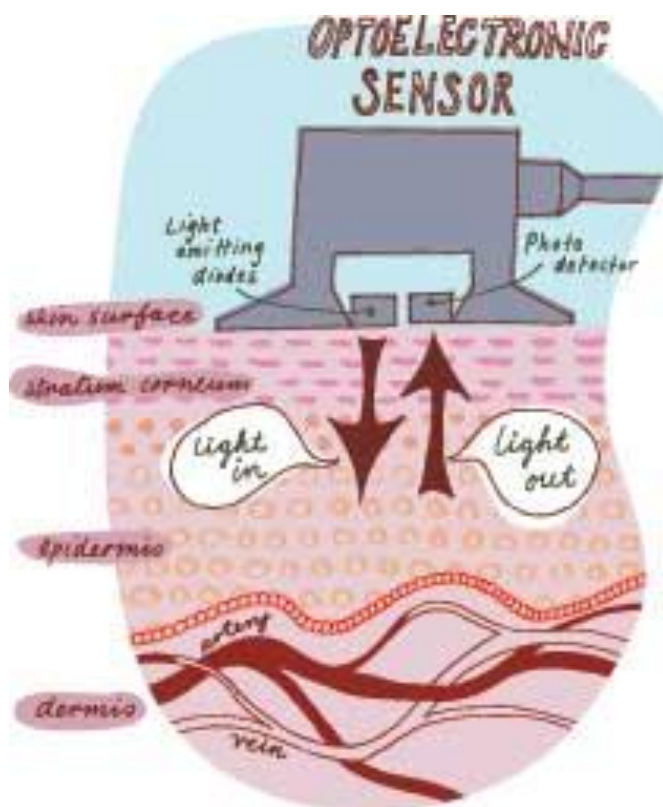
Attēls 1-5-8. Optiskā un cita starojuma viļņu garums

5.5. PPG pielietošana.

Klīniskajā praksē PPG lieto visai plaši. Šo metodi izmanto fizioloģiskajam monitoringam – asins skābekļa saturācijas, sirds frekvences, asinsspiediena un sirds izsviedes, kā arī elpošanas frekvences noteikšanai. To izmanto asinsvadu stāvokļa konstatēšanai – novērtē asinsvadu slimības, arteriālo elasticitāti, novecošanu, endoteliālo funkciju, vēnu stāvoklī, vazospastiskus stāvokļus, piem., *Raynaud's* fenomenu, mikrovaskulāro asins plūsmu un audu permeabilitāti. Var izvērtēt autonomās funkcijas - vazomotoro funkciju un termoregulāciju, asinsspiediena pārmaiņas un regulāciju, sirds frekvenci, ortostatisko intoleranci un neiroloģisko variabilitāti. (*Verkuyesse W et al, 2008; Allen J, 2007*).

Ar fotopletizismogrāfijas metodi ir iespējams reģistrēt raksturīgas asins plūsmas pārmaiņas, kādas novēro pie jebkuras vaskulāras dilatācijas vai vazokompresijas, piemēram, pie pārmaiņām, kas saistītas ar vazoaktīvo medikamentu lietošanu (*Takazawa K et al, 1998*). Starp citu, *Mowafi HA 2005.* gadā izvērtēja iespēju izmantot fotopletizismogrāfiju ne tikai kā anestēzijas iestāšanās indikatoru, bet arī drošības nolūkos - kā LA intravazālas injekcijas rādītāju (*Mowafi HA, 2005*). Nav izņēmums arī vazodilatācija pēc perifērā simpātiskā bloka. Piemēram, *Galvin 2006.* gadā izskatīja iespēju izmantot standarta PFI (*periferal flow index*) kā indikatoru perifērās RA iestāšanās konstatēšanai (*Galvin EM et al, 2006*), bet *Ginosar* un citi 2009. gadā salīdzināja simpatektomijas pakāpi pēc atšķirīgām epidurālām bupivakaīna dēvām (*Ginosar Y et al, 2009*).

Fotopletizismogrāfija (PPG) ir neinvazīva optiska metode asins tilpuma pulsāciju mērīšanai. Metodes pamatā ir optiskā starojuma spēja iespieties audos vairāku mm dziļumā. Starojums tiek daļēji absorbēts un izkliedēts mīkstajos audos un asinīs. Asinīs esošais hemoglobīns un oksihemoglobīns starojumu lielā mērā absorbē ultravioletajā (~400nm) spektra daļā un redzamās gaismas zaļā diapazona spektrā (Attēls 1-5-8). Sirds darbības un elpošanas rezultātā, kā arī vazomotoro reakciju darbības rezultātā periodiski mainās intravazālais asins apjoms. Līdzīgi mainās starojuma intensitāte zemādas audos, uz tā pamata tiek modulēta mainīgā komponente.



Attēls 1-5-9. Kontakta remisijas PPG princips

6. Bezkontakta fotopletismogrāfijas metode, tās izstrāde un klīniskā izmantošana

Promocijas darbs ir izstrādāts kopā ar LU ASI un ar ESF projekta atbalstu. Promocijas darba izstrādes laikā ir izmantota oriģināla speciāla jaunizstrādāta datorprogramma un speciālie sensori, ka arī citi resursi jaunu metožu izstrādei – bezkontakta PPGI izmantošanai klīniskajā praksē. Nepieciešamības gadījumā izstrādes procesā tika veikta mehāniska un teorētiska korekcija atbilstoši atradnēm.

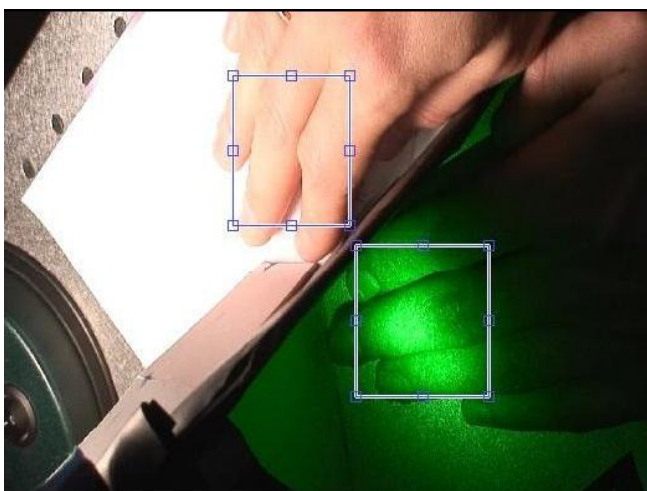
Bezkontakta PPGI ierīce sastāv no staru avota un videokameras (Attēls 3-5-2). Staru avots var būt jebkurš baltās vai zaļās gaismas avots, vai infrasarkanā starojuma avots (Fehrenbach et al, 2007; Larsson J et al, 2009; Litsher G et al, 2001, 2005; Lang T et al, 2006; Bernards CM et al, 2008). Izklidētais starojums pulsē līdz ar asins apjoma pārmaiņām, to uztver videokamera, kas fokusēta uz ādas virsmu. Videokamera uztver starojuma pulsācijas katrā attēla pikselī. Jo jutīgāka ir videokameras matrica un jo lielāka ir tās izšķirtspēja, jo precīzāk iespējams „saskatīt” pulsāciju sadalījumu ādas virsmā. Parasti starojuma pulsāciju amplitūda ir niecīga salīdzinājumā ar pašu apgaismojumu. Lai pastiprinātu uztverto signālu, izmanto dažādas specifiskas metodes, piemēram, attēlu pludināšanu, izmantojot digitālo filtrēšanu (Fehrenbach et al, 2007; Larsson J et al, 2009; Litsher G et al, 2005). Videokamera reģistrē attēlus ar kadrēšanas frekvenci 25 kadri/s, kas ir pietiekama PPG signāla reģistrēšanai. Katrā video kadrā iegūst ādas virsmas intensitātes sadalījumu. Katrā attēla pikselī uztvertās gaismas intensitāte

mainās, un šī maiņa parādās laikā kā PPG signāls, kas principā var atšķirties dažādās ādas zonās. Metodi, kas pēta PPG signāla amplitūdas, fāzes, Furjē spektra uc. parametru sadalījumu ādas virsmā, sauc par fotoplethysmogrāfisko kartēšanu (angl.: *photoplethysmographic imaging, PPGI*).

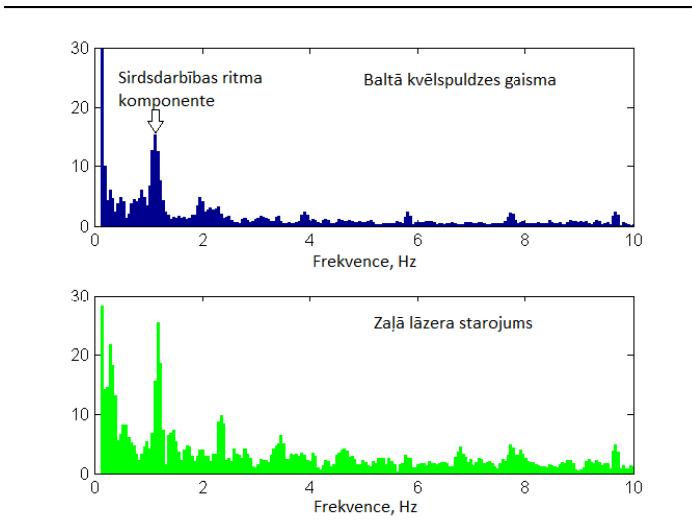
PPGI algoritmi var būt ļoti sarežģīti (*Neal JM et al, 2010*), atkarībā no tā, kādus asinsrites parametrus ir nepieciešams iegūt. Dotajā darbā tika realizēts algoritms PPGI vizualizācijai uz ādas virsmas, kā arī asins apjoma pulsāciju amplitūdas dinamikas grafiska attēlošana ilgākā (10-30 min) laika periodā.

Tika izpētīti dažādi gaismas starojuma avoti, kuri piemēroti bezkontakta PPG mērījumiem. Lai uzskatāmi parādītu atšķirību starp baltās un zaļās gaismas dažādiem starojuma avotiem, LU ASI veica šādu eksperimentu sēriju: PPG signālu vienlaicīgi mērīja abu roku pirkstos, izmantojot divus savstarpēji atdalītus starojuma avotus: 1) baltās kvēlspuldzes gaismu un 2) zaļā lāzera 532nm starojumu (*Attēls 1-6-1*). PPG signālu reģistrēja videokamera. Mērījumu veica divas minūtes. Reģistrētā PPG signāla Furjē spektrs abos gadījumos bija ļoti līdzīgs, un saturēja stipri izteiktu sirdsdarbības komponenti. Rezultāti parādīja, ka bezkontakta PPG mērījumos nav nepieciešams izmantot dārgus lāzera starojuma avotus, var izmantot parastu, pietiekami jaudīgu kvēlspuldzi. Dziļāki pētījumi parādīja, ka starojumu avotam noteicošais ir stabilitāte un pietiekama jauda, kā arī pētāmās ādas virsmas vienmērīgs apgaismojums (*Kazutoshi H. et al, 2010*). Bezkontakta PPG mērījumiem klīnikas apstākļos ļoti piemērota un ērti lietojama ir ķirurģisko operāciju lampa (*James W et al, 2005*).

Šajā darbā izmantoja speciāli ASI izveidotu bezkontakta PPG kartēšanas (PPGI) algoritmu, ko realizēja datorprogrammā (*James W et al, 2005*). Algoritma ideja ir “padarīt redzamas” asins apjoma pulsācijas uz ādas virsmas, izmantojot uzfilmēto videomateriālu. Šeit video klips tiek pārvērstas skaitļu masīva formā. Izmantojot speciālus algoritmus, PPG signāls tiek atdalīts un pastiprināts. Tā rezultātā PPG kartējums tiek vizualizēts video attēlā (*Attēli no 1-6-1 līdz 1-6-7*).



Attēls 1-6-1. Interesējošā rajona izvēle 1. kadrā



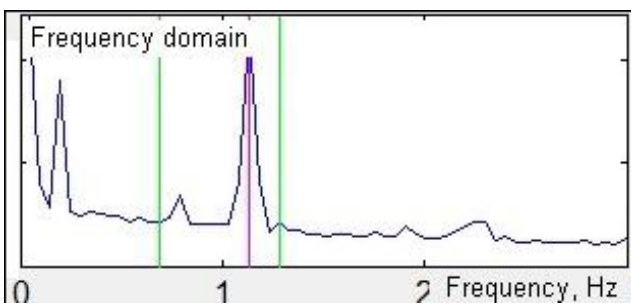
Attēls 1-6-2. Filtrēšana: krāsas, frekvence



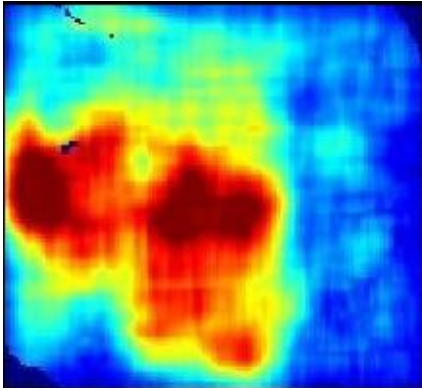
Attēls 1-6-3. Video dališana pa kadriem un ielāde attēlu kubā



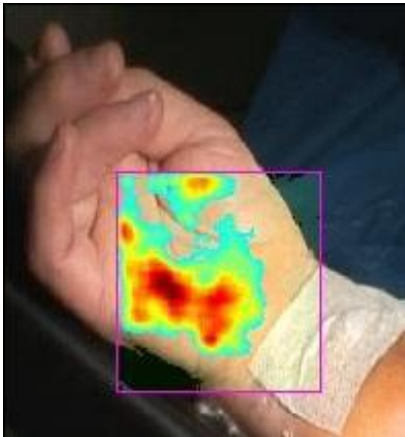
Attēls 1-6-4. Filtrēšana: zaļais filtrs un attēla pludināšana



Attēls 1-6-5. Furjē spektrs 0.7-1.5 Hz katrā attēla pikselī. Sirdsdarbības komponente.



Attēls 1-6-6. PPG attēla grafiska reprezentācija



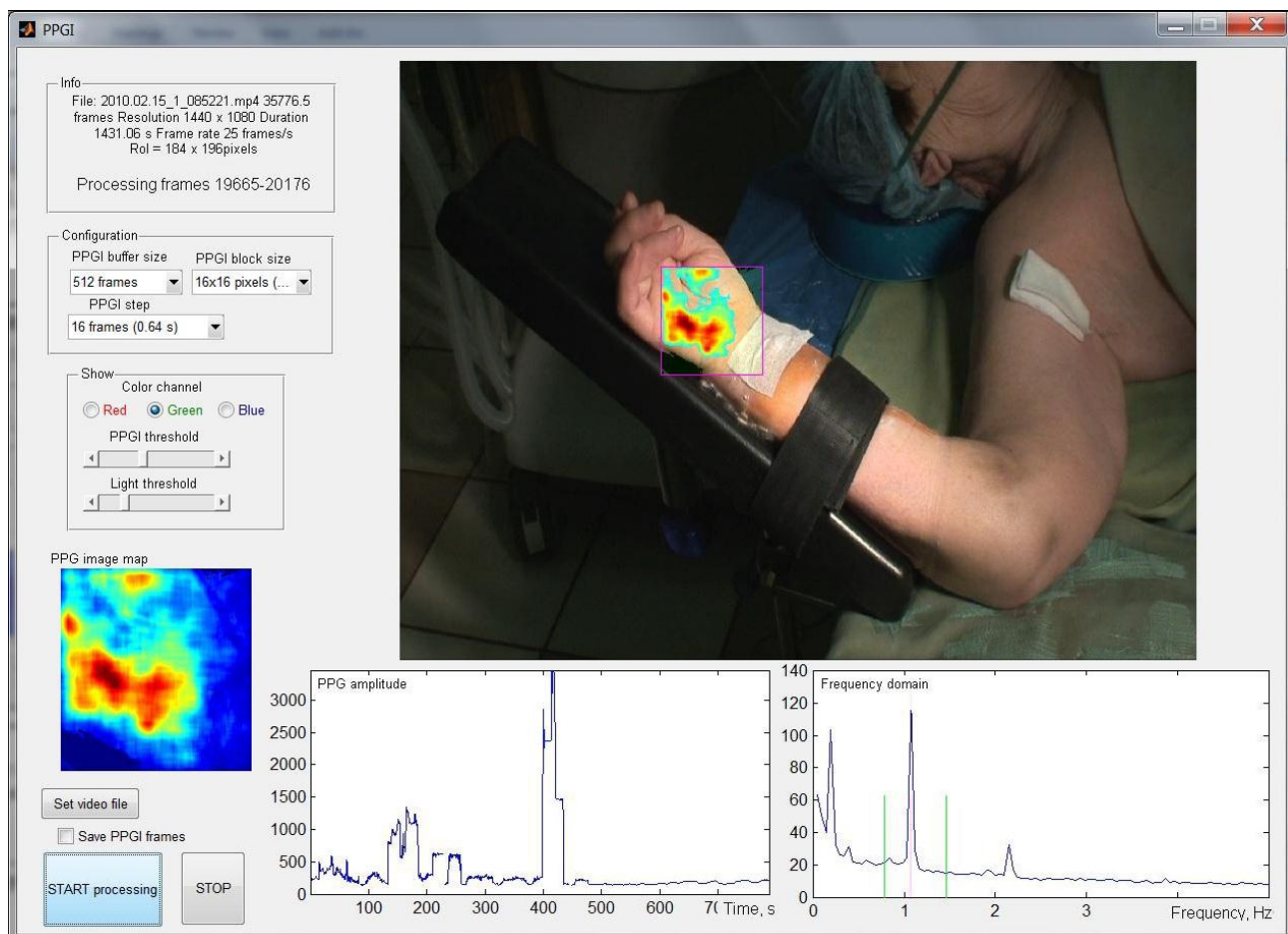
Attēls 1-6-7. PPG kartējuma grafiska attēlošana

PPG kartēšanas algoritma shēma:

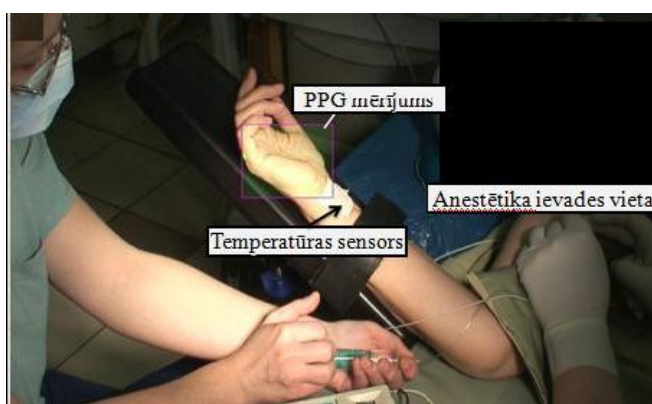
1. Video ieraksts
2. Interesējošā rajona izvēle 1. kadrā
3. Video dalīšana pa kadriem un ielāde attēlu kubā
4. Filtrēšana: zaļais filtrs un attēla pludināšana
5. Filtrēšana: sliekšņa vērtību atlase
6. PPG kartējuma grafisks
7. Furjē spektrs 0.7-1.5 Hz katrā attēla pikselī
8. Spektrālā maksimuma aprēķins katrā pikselī
9. Normēšana: min=0, max=255
10. PPG kartējuma grafiska attēlošana

Darba tapšanas gaitā izveidoja datorprogrammu bezkontakta PPG kartēšanas (PPGI) attēlojumam MATLAB vidē. Izmantojot iepriekš uzfilmēto videomateriālu, tā aprēķināja PPGI noteikto attēlu izpētes rajonā (angl.: *ROI – region of interest*), kā arī attēloja PPG amplitūdas dinamiku. Datorprogrammu izveidoja lietošanai klīniskā diagnostikā – lokālās anestēzijas

kontrolei augšdelmā-apakšdelmā (*James W et al, 2005*). Datorprogrammas interfeiss ir redzams attēlā 1-6-8. Tajā ietilpst video monitorēšanas logs (centrā), statusa informācija, parametru iestatījumu rīki (pa kreisi, augšā), PPG kartēšanas logs, PPG amplitūdas dinamikas un spektrālā blīvuma grafiki (apakšā), kā arī procesa kontroles rīki.



Attēls 1-6-8. PPGI interfeiss

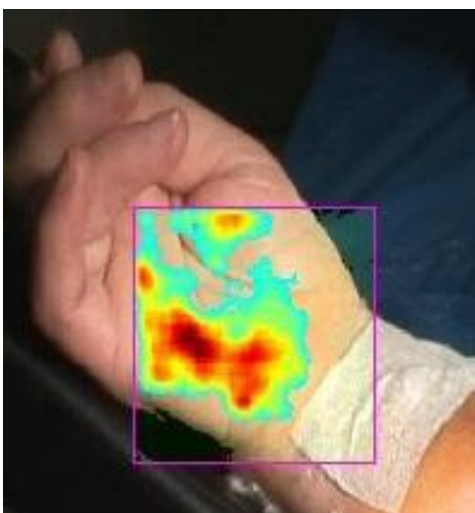


Attēls 1-6-9. PPGI monitorēšanas logs: LA ievadīšanas manipulācija



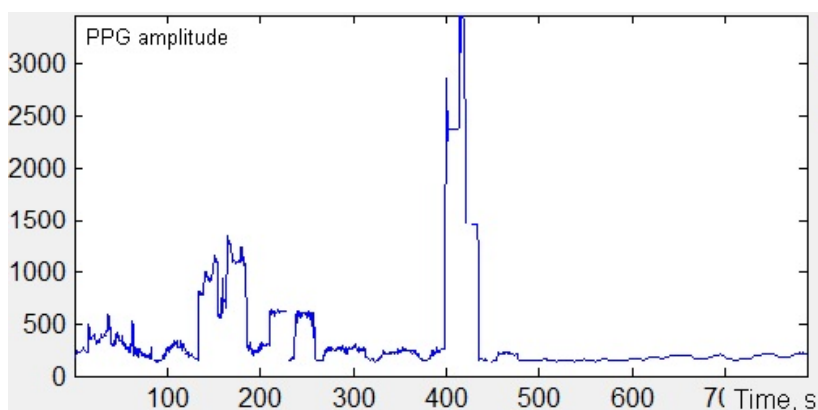
Attēls 1-6-10. PPGI monitorēšanas logs

PPG kartējums tiek „uzklāts” uz filmētās objekta virsmas attēla, aizvietojojt objekta pikseļus ar kartējuma pikseļiem vietās, kur to vērtība pārsniedz iepriekš iestādīto sliekšņa vērtību. Tas padara kartējumu caurspīdīgu un vizuāli uzskatāmu.



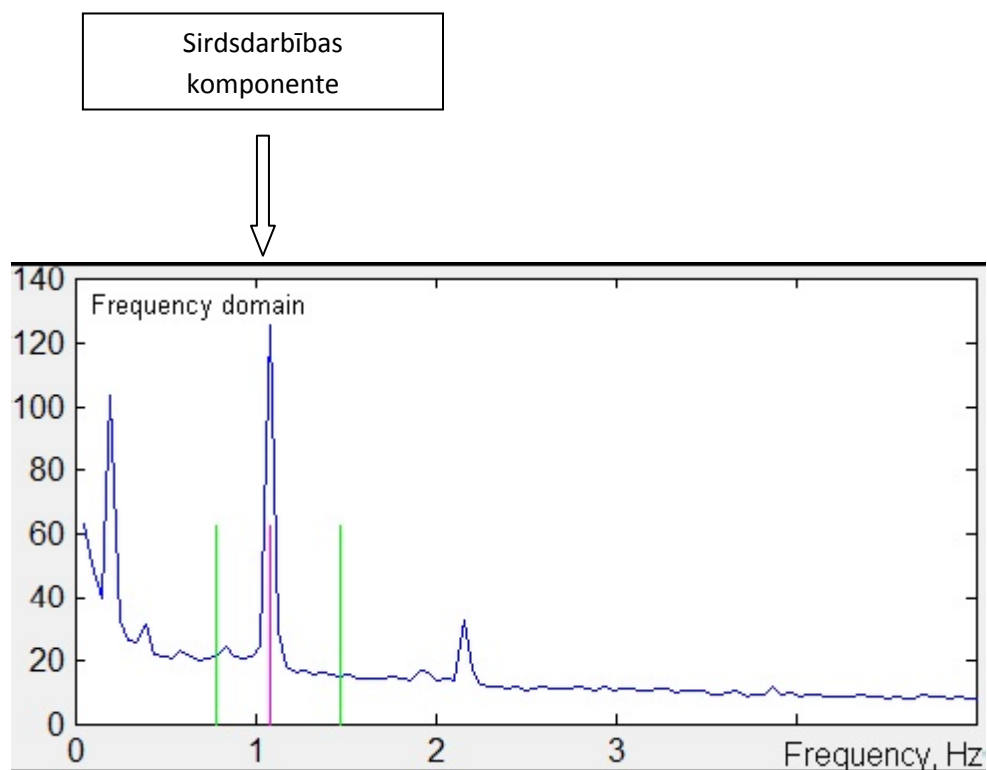
Attēls 1-6-11. PPG kartējuma attēlojums uz plauksta ādas virsmas.

Datorprogramma aprēķina ROI vidējotu PPG amplitūdas dinamiku laikā, grafiski to attēlojot reālā laika skalā.



Attēls 1-6-12. PPG amplitūda

Furjē spektra grafiks parāda ROI vidējo PPG frekvenču komponentu amplitūdas sadalījumu katrā video blokā. Tā pīķa vērtība ir proporcionāla sirdsdarbības komponentes PPG amplitūdas vērtībai.



Attēls 1-6-13. Sirdsdarbības komponentes izdalīšana

II. MATERIĀLS UN METODES

Promocijas darbu izstrādāja Traumatoloģijas un Ortopēdijas slimnīcas Anestezioloģijas nodaļā un operācijas zālēs sadarbībā ar Latvijas Universitātes Atomfizikas un Spektrometrijas institūtu ar ESF atbalstu.

Promocijas darba izstrādes laikā ar loģisku secību realizēti viens retrospektīvs (pētījums Nr.1) un četri prospektīvie klīniskie novērojumi (Pētījums Nr. 2-5), kopā pieci pētījumi. Paredzamie klīniskie novērošanas pētījumi (*angl.: clinic prospective observational study*) veikti lakā posmā no 2008. gada novembra līdz 2010. gada augustam. Pēc paveiktiem pētījumiem 2011. gada 17. jūnijā tika iesniegta dokumentācija patenta pieteikuma sagatavošanai izgudrojumam „Paņēmiens un ierīce perifērās reģionālās anestēzijas iedarbības noteikšanai izmantojot bezkontakta fotopletizmogrāfiju”. Patenta pieteikums iesniegts LR Patentu valdē 2011.gada 30. septembrī. Pieteikumam ir piešķirts numurs P-11-129, 30.09.2011.

Promocijas darbā ietvertie pētījumi atbilst Helsinku deklarācijas standartiem, tie izdarīti ar *Latvijas Universitātes Eksperimentālās un Klīniskās Medicīnas Institūta Zinātniskās Ētikas Komisijas* apstiprinātu atļauju. Pacienti detalizēti izskaidroja pētījuma būtību, darba metodes un mērķi. Visi projektā iekļautie dalībnieki piekrita piedalīties pētījumā, parakstot informatīvo piekrišanu.

1. Pētījumu kopējais modelis.

1.1. Pētījumu pacienti.

Kopā iekļauti 399 (242+157) pacienti. Iekļauto pacientu vecums 18 līdz 85 gadi. Pēc ASA (*American Society of Anesthesiologists* - Amerikas Anesteziologu Biedrība) starptautiskās veselības novērtēšanas skalas (*angl.: Physical status classification system*) iedalīti klasēs I-III. ASA sistēma jeb klasifikācija ir pazīstama no 1963. gada, tā rekomendēta visā pasaulē. ASA skalu lieto pacientu vispārēja stāvokļa novērtēšanai pirms ķirurģiskām operācijām. Ir piecas veselības stāvokļa kategorijas (pēc *American Society of Anesthesiologists* mājas lapas, 2009):

- I klase: vesels pacients
- II klase: vidēji smaga sistēmas saslimšana
- III klase: smaga sistēmas saslimšana
- IV klase: smaga sistēmas saslimšana, kura būtiski ietekmē pacienta dzīves kvalitāti
- V klase: mirstošs pacients, operāciju izdara tikai pēc vitālām indikācijām.

Pirms operācijas vizītes laikā pacientus vērtē pēc šādiem kritērijiem: demogrāfiskie dati, iekļaušanas un izslēgšanas kritēriji, slimību vēsture, objektīvais stāvoklis, saņemtā

medikamentozā terāpija, izmeklēšanas dati un analīžu rezultāti, objektīvie mērījumi. Pacienti ir izskaidrota paredzētā anestēzija un tās iespējamo komplikāciju būtība, kā arī novērojuma detaļas. Saņemta pacienta piekrišana.

1.2. Kritēriji pacientu iekļaušanai pētījumā un pacientu izslēgšanai no pētījuma.

Kritēriji pacientu iekļaušanai pētījumā:

- Pacientam ir paredzēta traumatoloģiska- ortopēdiska plānveida ķirurģiska manipulācija vai operācija rokai elkoņa līmenī un zemāk
- Atsāpināšanai operācijas laikā ir paredzēta reģionālā anestēzija
- Pacients atbilst ASA klasei I - III
- Pacientam iespējams veikt *plexus brachialis* reģionālo anestēziju paduses līmenī

Kritēriji pacientu izslēgšanai no pētījuma:

- Pacienti jaunāki par 18 gadiem
- Grūtnieces
- Anamnēzē ir alerģiskas reakcijas uz LA
- Pacientam konstatēta lokāla infekcija paredzētās punkcijas vietā
- Pacientam konstatēta sepse
- Pacientam konstatēts nekompensēts cukura diabēts
- Pacientam konstatēta jebkura specifiska asinsvadu patoloģija (piem., Reino sindroms vai arteriovenoza fistula utt.)
- Pacienta rokai konstatēti lielo artēriju vai citu perifēro asinsvadu bojājumi
- Pacientam konstatēti jebkuri perifēri nerva bojājumi rokā
- Pacientam konstatēti koagulācijas traucējumi
- Pacienta atteikšanās no RA vai no piedalīšanas pētījumā

2. Dizains.

2.1. Pētījumu kopējais dizains.

Darba laikā reģistrē un analizē pacientu ādas temperatūras pārmaiņas, perifērās asins plūsmas pārmaiņas un to savstarpējo korelāciju pēc reģionālās anestēzijas. Rezultāti iegūti, izmantojot dažādas metodes: ādas temperatūras mērīšanu, pletismogrāfijas signāla amplitūdas pārmaiņu reģistrēšanu infrasarkanajā, sarkanajā un zaļajā gaismas spektra daļā kontakta un bezkontakta veidā, atbilstoši katram atsevišķa pētījuma modelim (skat. *Tabula 2-1*).

Tabula 2-1. Izskaidrojoša piecu pētījumu modeļu salīdzināšanas tabula

Pētījumi	Pētījuma Veids	Pacientu skaits	T°	Sensora un ādas kontakta veids	Reģistrējamā PPG signāla gaismas spektra daļa	Gaismas signāla uztveršanas veids	Izdevušās RA
Pētījums Nr. 1	retrospektīvs <i>PILOT</i>	242	–	–	–	–	69.8%
Pētījums Nr. 2	prospektīva novērošana	55	jā	1 kontakts	–	–	85.45%
Pētījums Nr. 3	prospektīva novērošana	37	jā	2 kontakti	sarkana un tuvu infrasarkanai	adsorbējošs (caurejošs)	83.78%
Pētījums Nr. 4	prospektīva novērošana	27	jā	2 kontakti	zaļš	remisijas (atstarotais)	85.18%
Pētījums Nr. 5	prospektīva novērošana	38	jā	<u>bez kontakta</u>	zaļš	remisijas (atstarotais)	86.84%

Pētījums Nr.1. Retrospektīvs PILOT pētījums, lai apzinātu esošo situāciju TOS perifērās reģionālās anestēzijas izmantošanā.

Pētījums Nr.2. Prospektīvais novērošanas pētījums (*angl.: prospective observational study*) - ādas temperatūras pārmaiņu konstatēšana un temperatūras pārmaiņu „sliekšņa” noteikšana veiksmīgu un neveiksmīgu RA gadījumā.

Pētījums Nr.3. Pētītas perifērās asinsrites pārmaiņas pēc RA ar perifēro pletismogrāfiju (PPG) - signāla (sarkana, adsorbējoša) amplitūdas pārmaiņas un tā korelācija ar ādas temperatūras pārmaiņām veiksmīgu un neveiksmīgu RA gadījumos. 2 PPG (sark.) 2 signāli (*left+right*) un T° mērīšana.

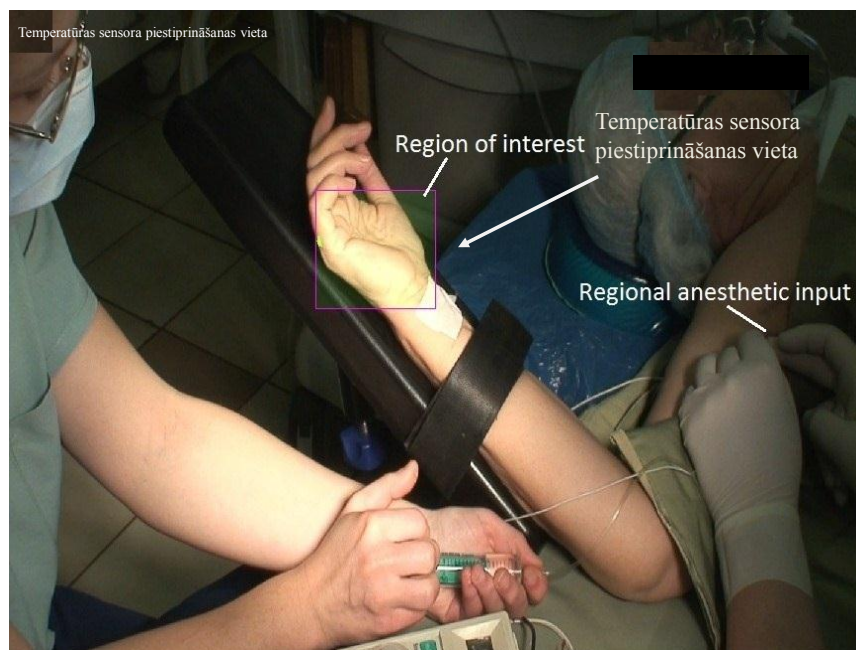
Pētījums Nr.4. Pētītas perifērās asinsrites pārmaiņas pēc RA ar perifēro pletismogrāfiju (PPG) – signāla (zaļš, atstarojošs) amplitūdas pārmaiņas un tā korelācija ar ādas temperatūras pārmaiņām veiksmīgu un neveiksmīgu RA gadījumā. 2 PPG (2 zaļi kontakta signāli) un T° mērīšana.

Pētījums Nr.5. Pētītas perifērās asinsrites pārmaiņas pēc RA ar bezkontakta vizualizāciju - perifērās pletismogrāfijas (PPGI) signāla (zaļš, atstarojošs) amplitūdas pārmaiņas, iegūts no HD video ieraksta, un tā korelāciju ar ādas temperatūras pārmaiņām veiksmīgu un neveiksmīgu RA gadījumā. PPGI (zaļš, bezkontakta!!! signāls un T° mērīšana).

Pētījumu Nr. 2 - 5 norises vieta: pēc ISO 2000 standarta sertificētā TOS operāciju zālē ar kontrolējamu gaisa temperatūru 23,2±0,8 °C. Visus mērījumus veica vienā telpā.

Pacientu pozīcija: pacienti uz operācijas galdā gulēja uz muguras, operējamās rokas pleca locītava 90° abdukcijā un elkoņa locītava 90° fleksijā, roka ievietota operācijas galdā pozicionēšanas iekārtā 30° leņķī pret horizontālo asi, atsegta un fiksēta.

Pacientu rokas pozīcija manipulācijas laikā izvēlēta atbilstoši iepriekšējiem novērojumiem par iespējamiem nervu bojājumiem, kuri asociējas ar pārmērīgu *adductio* un *flexio* vairāk par 90° (Vasilevskis E. et al, 2007). Protams, ievērots arī ārsta-anesteziologa un māsas-anestēzistes komforts manipulācijas laikā.



Attēls 2-2-1. Pacientu rokas pozīcija manipulācijas laikā

Temperatūras mērīšana: temperatūras mērierīce ir standarta pacienta monitors MP 50 (Philips, Vācija) ar standarta termosensoru. Temperatūras sensors pirms manipulācijas sākuma fiksēts pie pacienta ādas. Termosensors fiksēts uz pacienta apakšdelma distālās daļas palmārās virsmas vietā, kas simpātisko inervāciju saņem no *n.medianus* inervācijas zonas.

Filmēšana notika ar videokameru *Sony HDR-SR1 Handycam*, kura uzstādīta uz statīva viena metra attālumā no pacienta plauksts tā, lai manipulācijas laikā personāls netraucētu ierakstam. Video ieraksta ieslēgšana un izslēgšana notika distancēti, lai samazinātu kustību kļūdas.

Gaismas avots filmēšanas laikā ir operācijas lampa ALM *Prismalix PRX800*. Gaismas avots uzstādīts trīs metru attālumā, ieslēgts uz minimālo režīmu (lai samazinātu ietekmi uz temperatūras mērīšanu) un fokusēts uz plaukstu.

Anestēzija: visiem pacientiem pirms operācijas veica *plexus brachialis* reģionālo anestēziju paduses līmenī US kontrolē un/vai izmantojot PNS metodi (detalizēts apraksts II daļas

2.3. punktā). Ar divām transkutānajām punkcijām anestezēja četrus perifēros nervus (*n.medianus*, *n.musculocutaneus*, *n.ulnaris*, *n.radialis*). Ievadīti LA: *S. Lidocaini* 2 % – 10,0ml un *S. Marcaini* 0,5 % – 10,0 ml.

Visi ievadītie medikamenti reģistrēti Latvijas Republikas Zāļu reģistrā:

- Fentanils – reģistrācijas numurs 95-0083 (*Kalceks*)
- Dormicum - reģistrācijas numurs 95-0271 (*Hoffmann-La Roche*)
- Marcaine® - reģistrācijas numurs 00-0359 (*Astra Zeneka*)
- Lidokaīns - reģistrācijas numurs 00-0405 (*Grindex*)

Veic pacientu ādas temperatūras nepārtrauktus mērījumus ik pēc 1 minūtes un vienlaicīgi, atbilstoši katra atsevišķa pētījuma modelim, kontrolē *PPG* signāla pārmaiņas. Rezultātus fiksē un analizē, vērtējot korelāciju starp *PPGI* signāla pārmaiņām un ādas temperatūras pārmaiņām.

Mērījumu atskaites punkts ir divas minūtes pirms manipulācijas sākuma (pēc temperatūras stabilizācijas). Mērījumu beigas nosaka ķirurga pieprasījums sākt operāciju. Katra mērījuma ilgums nepārsniedz 30 minūtes. Temperatūras mērījumu automātiskais intervāls – 1 minūte. *PPG* signālu pierakstīja nepārtraukti. Pēc tam datus sakārtoja tabulās, apstrādāja un analizēja.

Pēc rezultāta visas anestēzijas sadalījās divās grupās: izdevušās un neizdevušās.

Kā adekvātas (izdevušās vai daļēji izdevušās) tika vērtētas anestēzijas, kad nebija nepieciešams atkārtoti pievienot papildu pretsāpju medikamentus vai pilnībā pāriet uz citu anestēzijas veidu, vērtēja arī tradicionālos klīniskos kritērijus: *motoro* bloku, *sensoro* bloku, pacienta subjektīvās sāpju sajūtas pēc ķirurģiskas manipulācijas uzsākšanas (ja pacients pietiekami līdzestīgs).

Neadekvātas (neizdevušās) bija anestēzijas, kad adekvātas atsāpināšanas nodrošināšanai bija nepieciešams atkārtoti pievienot papildus pretsāpju medikamentus vai pilnībā pāriet uz citu anestēzijas veidu, jo neproporcionāli pastiprinājās (noteicošais) pacienta subjektīvais diskomforts.

2.2. Atsevišķu pētījumu dizains

Pētījums Nr. 1. Retrospektīvā *PILOT* pētījumā analizēta pacientu medicīnas dokumentācija: anestēzijas kartes pacientu vēsturēs (n=242).

Mērķis: Apzināt esošo situāciju Latvijā, kad pacientiem lietota perifērā RA rokas operācijā. Analizēt RA rezultātu un atsevišķu metožu savstarpējo efektivitātes atšķirību.

Uzdevums: Izskaitļot „veiksmīgo” un „neveiksmīgo” reģionālo anestēziju skaitu pēc *Plexus brachialis* reģionāla bloka paduses pieejā pie elektīvam ķirurģiskām operācijām uz rokas

pēc manipulācijām, kuras veica dažādi neatkarīgi anesteziologijas speciālisti. Salīdzināt arī PNS un US kontrolētās RA metodes veiksmīgumu un lietošanas biežumu. Salīdzināt datus, kas iegūti TOS, ar publikācijām pieejamā literatūrā.

Efektivitātes kritēriji: Pēc medicīniskās dokumentācijas datiem par adekvātām (izdevušās vai daļēji izdevušās) uzskatīja anestēzijas, kad nebija nepieciešams pāriet uz citu anestēzijas veidu vai atkārtoti pievienot papildu pretsāpju medikamentus. Par neadekvātām (neizdevušās) uzskatīja anestēzijas, kad anestēzijas kartē atkārtoti reģistrēti papildu pretsāpju medikamenti vai pilnībā mainīts anestēzijas veids, kas arī atspoguļots anestēzijas kartēs. Iegūtos datus analizēja, izmantojot statistiskas metodes.

Pētījums Nr. 2. Paredzamā novērošanas pētījumā (*angl.: prospective observational study*) analizēja ādas virsmas temperatūras pārmaiņas pacientiem pēc LA ievadīšanas pirms elektīvas ķirurģiskas ārstēšanas (n=55).



Attēls 2-2-2. Temperatūras amplitūdas dinamikā

Mērķis: Izpētīt pacienta ādas virsmas temperatūras pārmaiņas pēc simpātiskā bloka, kas tika sasniegts RA rezultātā uz rokas.

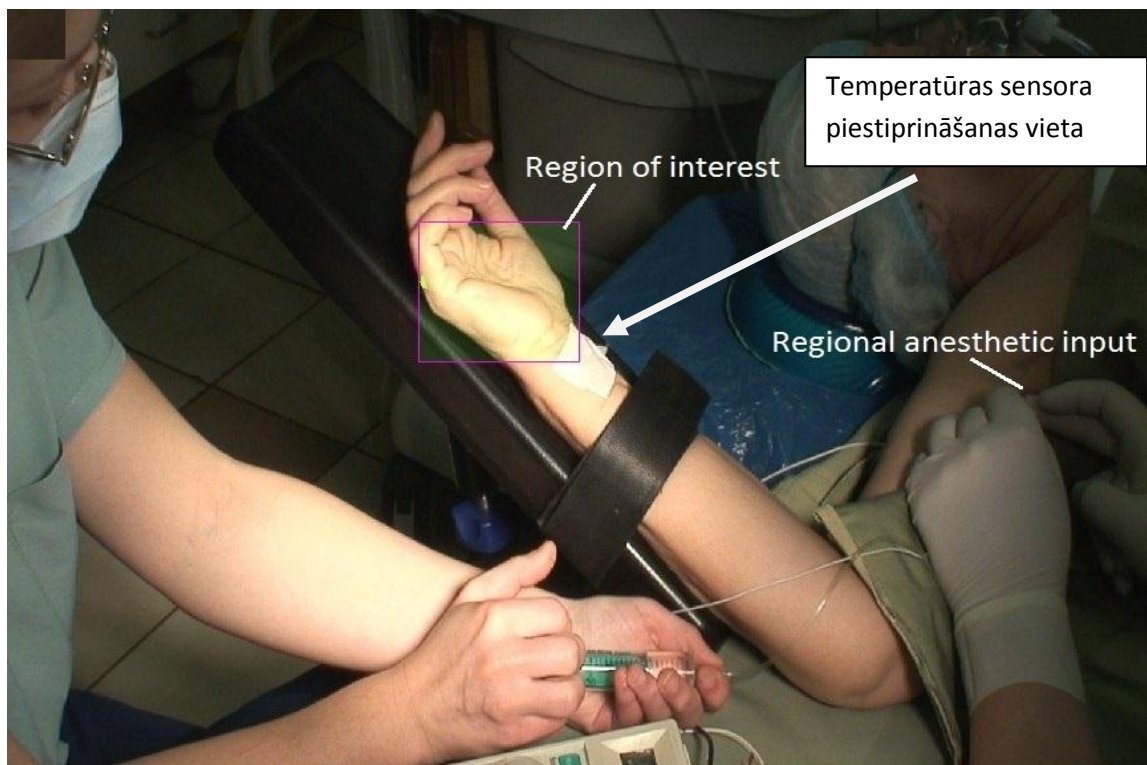
Pētījuma plāns:

- Praktiski pārbaudīt teorētisko pieļāvumu, ka pēc RA ādas temperatūras pārmaiņas tiešām notiek, ir ievērojamas, statistiski ticamas, tās ir atkarīgas no perifēra bloka esamības un efektivitātes;
- pārbaudīt, vai ir korelācija starp analģēzijas iestāšanos/pakāpi un temperatūras pārmaiņām; atrast sliekšni, kas raksturotu adekvātas anestēzijas un analģēzijas iestāšanos brīdi.

Pētījuma vieta, pacientu atlase, to sagatavošana, pozīcija un medikamentozā terapija atbilst kopējam dizainam, kas detalizēti ir aprakstīts II daļas 2.1. punktā.

Termometrija: Temperatūras mērīšanai izmantoja „standarta” pacienta monitoru MP 50 (*Philips*, Vācija) ar komplektācijā paredzēto termosensoru. Ražotāja deklarētās temperatūras mērīšanas robežas nodrošinātas no -1 līdz $+45^{\circ}\text{C}$ ar rezolūciju $0,1^{\circ}\text{C}$ un precizitāti $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, izmantojot komplektācijā paredzēto termosensoru.

Temperatūras sensors fiksēts uz pacienta apakšdelma distālās daļas palmārās virsmas vietā, kas simpātisko inervāciju saņem no *nervus medialis antebrachiae cutaneus – medial cord - plexus brachialis - T1*. Temperatūras sensora fiksēšanas vieta ir zonā, kuras inervācija sakrīt ar paredzēto operācijas lauka inervāciju. Temperatūras sensors pirms manipulācijas sākuma fiksēts pie pacienta ādas tā, lai novērstu iztvaikošanas vai citu faktoru ietekmi. Rūpīgi pārbaudīts, lai citi faktori, piemēram, operācijas lampas gaisma, tiešie saules stari, kondicionēšana utt. neietekmētu temperatūras pārmaiņas.



Attēls 2-2-3. Pacienta ādas temperatūras kontrole

Temperatūru mēra automātiski, datus ar 1 minūtes intervālu atspoguļo monitorā un pēc tam tos manuāli pārnes uz kopējo tabulu. Temperatūras mērījumu atskaites punkts ir divas minūtes pirms manipulācijas sākuma. Mērījumu atskaites punktu ņem pēc temperatūras stabilizācijas vismaz 5 minūšu laikā. Mērījumu beigas faktiski nosaka anestēzijas iestāšanās konstatācija ar konvencionālām metodēm. Ņemts vērā arī ķirurga pieprasījums sākt operāciju. Tādēļ katra mērījuma ilgums nepārsniedz 30 minūtes. Temperatūras mērījumu intervāls ir 1 min.

Pētījumā izmantotā aparātūra redzama attēlos 2-2-4; 2-2-5; 2-2-6.



Attēls 2-2-4. Pacienta monitors MP50 (*Philips*, Vācija; temperatūras mērīšanas robežas no -1 līdz +45°C, rezolūcija 0,1°C, precizitāte $\pm 0,1^\circ\text{C}$)



Attēls 2-2-5. PNS aparāts *Stimuplex* (*B. Braun*, Vācija)



Attēls 2-2-6. Ultrasonoskopijas aparāts *MicroMax Turbo* (*SonoSite*, ASV)

Pacienta pozicionēšanai izmantota operācijas galda iekārta.

Par adekvātām (izdevušās vai daļēji izdevušās) uzskatīja anestēzijas, kad nebija nepieciešams pāriet uz citu anestēzijas veidu vai atkārtoti pievienot papildu pretsāpju

medikamentus. Par neadekvātām (neizdevušās) uzskatīja anestēzijas, kad atkārtoti bija nepieciešams papildu pretsāpju medikamentu ievade vai pilnībā mainīts anestēzijas veids, kas arī atspoguļots anestēzijas kartēs.

Iegūto rezultātu statistiskai analīzei izmantoja t-testu (angl.: *t-test for differences in two means*).

Pētījums Nr. 3. Paredzamais novērošanas pētījums konstatē perifērās asinsrites pārmaiņas, perifēras pletismogrāfijas (PPG) signāla (sarkanais, adsorbējošais, caurejošais) amplitūdas pārmaiņas un to korelāciju ar ādas temperatūras pārmaiņām veiksmīgu un neveiksmīgu reģionālo anestēziju gadījumos. PPG sensori izvietoti uz labās un kreisās rokas trešā pirksta, temperatūras sensors – uz operējamās rokas atbilstoši pētījumu kopējam dizainam.

Mērķis: Izpētīt pacienta perifērās asinsrites pārmaiņas pēc RA, izmantojot fotopletismogrāfijas metodi un termometriju.

Pētījuma plāns:

- praktiski pārbaudīt teorētisko pieņēmumu, ka pēc RA tiešām notiek perifērās asinsrites pārmaiņas, kuras iespējams konstatēt fotopletismogrāfijā
- par fotopletismogrāfijas darba signālu izmantot caurejošo sarkano un tuvu infrasarkanajai gaismu to reģistrējot adsorbējošā kontakta metodē
- izmantojot pētījuma Nr. 2 pieredzi, paralēli PPG mērīt ādas temperatūru
- ja iespējams, atrast korelāciju starp temperatūras un PPG signāla pārmaiņām
- pārbaudīt, vai ir korelācija starp analģijas iestāšanos un pakāpi un PPG pārmaiņām.

Šajā paredzamajā novērošanas pētījumā bija iesaistīti 37 pacienti. Pētījuma vieta, pacientu atlase, to sagatavošana, ķermeņa (rokas) pozīcija un medikamentozā terapija atbilst kopējam dizainam, kas detalizēti ir aprakstīts II daļas 2.1. punktā. Pacienti veica reģionālo anestēziju, tā aprakstīta II daļas 2.3. punktā.

Temperatūra. Ādas virsmas temperatūru mērīja pacienta operējamai rokai. Mērīšanas metodika un izmantojamā aparatūra ir identiska pētījumam Nr.2.

Fotopletismogrāfija. Paralēli mērīja un pierakstīja perifēros fotopletismogrāfijas (PPG) signālus, vienlaicīgi no abu plaukstu vidējo pirkstu galiem ar speciālo divu kanālu ierīci, kura ir izstrādāta un patentēta LU ASI. PPG signālus reģistrēja no kontakta gan uz rokas, kur pēc tam veikta RA, gan uz rokas, kur papildu ietekmes nebija. PPG signāla amplitūdas pārmaiņas reģistrēja ar speciālu multikanālu ierīci un analizēja.

Fotopletismogrāfijas (PPG) signāla iegūšanai izmantota sarkanā un tuva infrasarkanajai gaismas spektra daļa, reģistrācija pēc adsorbējoša principa ar speciālo LU ASI ierīci un

programmu. Mērīšanas būtība un tehnika bija ļoti līdzīga, standarta sensoriem SpO₂ mērīšanai, tomēr bija iespējams PPG signāla amplitūdas pārmaiņas reģistrēt un izdalīt, pēc tam arī analizēt. Iegūtos rezultātus temperatūras un PPG signāla pārmaiņu datus apvieno vienā tabulā un statistiski analizē.

Pētījums Nr. 4. Pētījums deva iespēju analizēt perifērās asinsrites pārmaiņas pēc RA, konstatēja perifērās pletismogrāfijas (PPG) signāla (zaļš, atstarojošs) amplitūdas pārmaiņas un to korelāciju ar ādas temperatūras pārmaiņām veiksmīgu un neveiksmīgu RA gadījumos.

Mērķis: Izpētīt pacienta perifērās asinsrites pārmaiņas pēc RA, izmantojot fotopletismogrāfijas metodi un termometriju.

Pētījuma plāns:

- praktiski pārbaudīt teorētisko iespēju, ka pēc RA notiek perifērās asinsrites pārmaiņas, kuras iespējams konstatēt fotopletismogrāfijā, izmantojot gaismu no dažādām gaismas spektra daļām (par fotopletismogrāfijas darba signālu izmanto atstaroto zaļo gaismu un reģistrē remisijas kontaktā);
- izmantojot pētījuma Nr.2 un Nr.3 pieredzi, paralēli PPG mēra ādas temperatūru;
- ja iespējams, atrast korelāciju starp temperatūras un PPG signāla pārmaiņām;
- pārbaudīt, vai ir korelācija starp analģēzijas iestāšanos, tās pakāpi un PPG pārmaiņām;
- salīdzināt iegūtos rezultātus no sensoriem, kas izvietoti divās atšķirīgās vietās (pirmais uz anestezējamās rokas trešā pirksta, kuru inervē n.medianus; otrais uz anestezējamās rokas plaukstas palmārās virsmas un apakšdelma robežas).

Šajā pētījumā bija iesaistīti 27 pacienti. Pētījuma vieta, pacientu atlase, to sagatavošana, pozīcija un medikamentozā terapija atbilst kopējam dizainam, kas detalizēti aprakstīts II daļas 2.1. punktā. Pacientiem pielietoja reģionālo anestēziju, kura detalizēti aprakstīta II daļas 2.3. punktā.

Vienlaicīgi un paralēli temperatūras mērīšanai kontakta veidā tika reģistrēti arī divi atstaroti PPG signāli zaļajā spektra daļā remisijas metodē, tos mērīja un programēja ar speciālas LU ASI izstrādātas aparatūras un programmatūras palīdzību.

Temperatūra. Tika mērīta pacientu ādas virsmas temperatūra operējamai rokai. Mērīšanas metodika un izmantojamā aparatūra ir identiska pētījumam Nr.2.

Fotopletismogrāfija. Izmantoti divi speciālie PPG sensori, zaļās gaismas avots izvietots blakus uztverošam fotosensoram un atrodas uz vienas virsmas. Speciālie sensori ir veidoti tā, ka teorētiski tos var novietot uz jebkuras ķermeņa daļas.

Speciālo PPG sensoru izvietošana uz operējamās rokas ir šāda: pirmais ir novietots trešā pirksta gala palmārajā virsmā, otrais uz plaukstas palmārās virsmas un apakšdelma volārās

virsmas robežas. Iegūto rezultātu statistiskai analīzei izmanto t-testu starpības aprēķināšanai (angl.: *t-test for 2 difference*).

Pētījums Nr. 5. Pētījums palīdz noskaidrot jaunas, neinvazīvas un bezkontakta iespējas, lai vērtētu perifērās asinsrites pārmaiņas pēc *plexus brachialis* reģionāla bloka, kuras var konstatēt, vizualizējot remisijas PPGI signāla (zaļš, atstarojošs) amplitūdas pārmaiņas perifērā pletismogrāfijā. PPG signāla fluktuāciju iegūst no HD video ieraksta. Lai noteiktu veiksmīgas un neveiksmīgas RA, vērtē PPG signāla korelāciju ar ādas temperatūras pārmaiņām.

Mērķis: Izstrādāt jaunu metodi perifēras RA efektivitātes noteikšanai.

Pētījuma plāns:

- Izpētīt pacienta perifērās asinsrites pārmaiņas pēc RA, izmantojot PPGI un termometriju;
- praktiski pārbaudīt teorētisko iespēju, ka pēc RA notiek perifērās asinsrites pārmaiņas, kuras iespējams konstatēt PPGI metodē;
- fotopletismogrāfijas darba signāla vizualizācijai izmantot atstaroto zaļo gaismu un reģistrēt ar bezkontakta remisijas metodi;
- izmantojot pētījumu Nr.2, 3 un 4 pieredzi, paralēli PPGI mērīt ādas temperatūru mērīšanu;
- izmantojot pētījuma Nr.2 pieredzi, rast iespēju izvērtēt paralēli noteikto temperatūras sliekšni, lai interpretētu anestēzijas adekvātu iedarbību;
- ja iespējams, atrast korelāciju starp temperatūras un PPGI signāla pārmaiņām;
- pārbaudīt, vai ir korelācija starp anestēzijas iestāšanos, tās pakāpi un PPGI pārmaiņām.

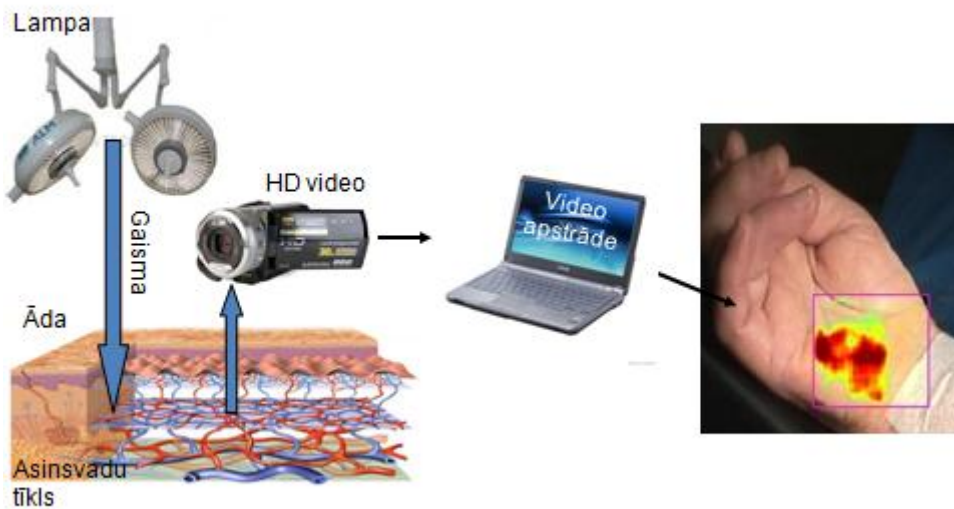
Pētījumā piedalījās 38 pacienti, kas piekrita arī sava ķermeņa daļas un anestēzijas procesa filmēšanai projekta ietvaros. Pētījuma vieta, pacientu atlase, to sagatavošana, pozīcija un medikamentozā terapija atbilst kopējam dizainam, kas detalizēti aprakstīts II daļas 2.1. punktā. Pacienti veica reģionālo anestēziju, kura detalizēti aprakstīta II daļas 2.3. punktā.

Temperatūra. Pacientu ādas virsmas temperatūru mērīja operējamai rokai. Mērīšanas metodika un izmantojamā aparatūra ir identiska pētījumam Nr.2.

Fotopletismogrāfija. Pacienta PPG signāla iegūšanai izmantota vizualizācijas tehnika (PPGI, kur I – angl.: *imaging*). Pacienta āda (mūsu gadījumā operējamā roka) tiek apgaismota ar balto gaismu. To pierakstīta HD video. Katrā video attēlā ir pārstāvēti sarkanas, zaļas un zilas (RGB) krāsas pikseli. No visa šī spektra HD video attēlā elektroniski tiek izdalīta zaļā gaisma ar viļņa garumu 532nm. Ādas asins plūsmas pulsācijas tiek izdalītas, reģistrējot atstarotās gaismas intensitātes pārmaiņas. Izmantojot speciālo programmu, *Fourier* spektra amplitūdas, kas ir lineāri proporcionālas sirdsdarbībai, tiek izfiltrētas atbilstoši sirds frekvencei. Šo izfiltrēto

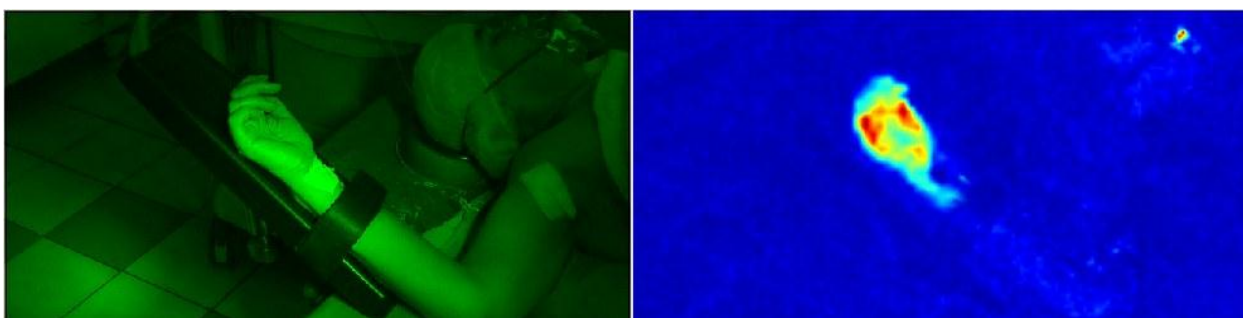
vērtību sadale katrā video attēlā dod specifisku 2-D attēlu, kur atspoguļotas ādas asins plūsmas pulsācijas.

Photoplethysmographic imaging (PPGI)



Attēls 2-2-7. Fotopletismogrāfijas signāla (PPGI) iegūšanas principiālā shēma

Uzskatījām, ka, lai iegūtu kvalitatīvu video attēlu, ko pēc tam analizē ar speciāli izstrādāto LU ASI programmu, nepieciešami šādi nosacījumi: visus video ierakstus jāveic vienādā attālumā (mūsu gadījumā - viens metrs); pacienta roku nekustīgi jāfiksē operācijas galda iekārtā; jābūt adekvātam apgaismojumam; jābūt atbilstoši aparatūrai. Veic filmēšanu un saņemto attēlu elektroniski pārveido, kā parādīts attēlā 2-2-8. Pētījumā iegūtos rezultātus analizē un izmanto RA efektivitātes novērtēšanai.



Attēls 2-2-8. Attēla pārveidošana un „aktīvās” zonas izdalīšana

Izmantotā aparatūra: pacienta monitors MP50 (*Philips*, Vācija; temperatūras mērīšanas robežas no -1 līdz $+45^{\circ}\text{C}$, rezolūcija $0,1^{\circ}\text{C}$, precizitāte $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$); PNS aparāts *Stimuplex* (*B–Braun*, Vācija); ultrasonoskopijas aparāts *MicroMax Turbo* (*SonoSite*, ASV); operācijas galda

iekārta pacienta pozicionēšanai; videokamera *Sony HDR-SR1 Handycam®*; gaismas avots: *ALM Prismalix PRX800* operācijas lampa; personālais dators ar atbilstošu, LU ASI izveidotu programmu.

2.3. Anestēzijas metodes apraksts

Visi pētījumam atbilstošie pacienti pirms nokļūšanas operācijas zālē saņēma anesteziologu parakstīto iekšķīgo premedikāciju pirms operācijas *midazalamu* 7.5 mg. Pēc tam pirmsanestēzijas sagatavošanas telpā pacientiem nodrošina intravenozu pieeju ar vismaz vienu perifēro vēnas kanili veselajā rokā. Atkarībā no pacienta vispārējā stāvokļa, operācijas ilguma u.c. standarta indikācijām vēnā ievadīts Ringera laktāta šķīdums 500-1000 ml vai *Sol.NaCl 0.9%* 500-1000 ml. Atbilstoši Latvijas Anesteziologu Reanimatologu Asociācijas rekomendācijām visiem pacientiem nodrošināja standarta dzīves funkciju perioperatīvu novērošanu (EKG, NIBP, SpO₂).

Visiem pacientiem veica perifēru *plexus brachialis* PNS vai US kontrolētu reģionālo anestēziju, ievērojot aseptikas principus. Principiāla starpība anestēzijas tehnikā veiksmīgu un neveiksmīgu anestēziju gadījumā pēc literatūra pieejamiem datiem netika konstatēta. Tādēļ pieturējamies pie identiskiem principiem un US kontrolēto anestēzijas tehniku izmantojām lai samazinātu biežāk sastopamo komplikāciju (intravazālo un intraneirālo injekciju) iespēju.

Pirms reģionālās anestēzijas pacienti saņēma tiešo premedikāciju vēnā *midazalamu* 2.5mg un *fentanilu* 0.05 mg.

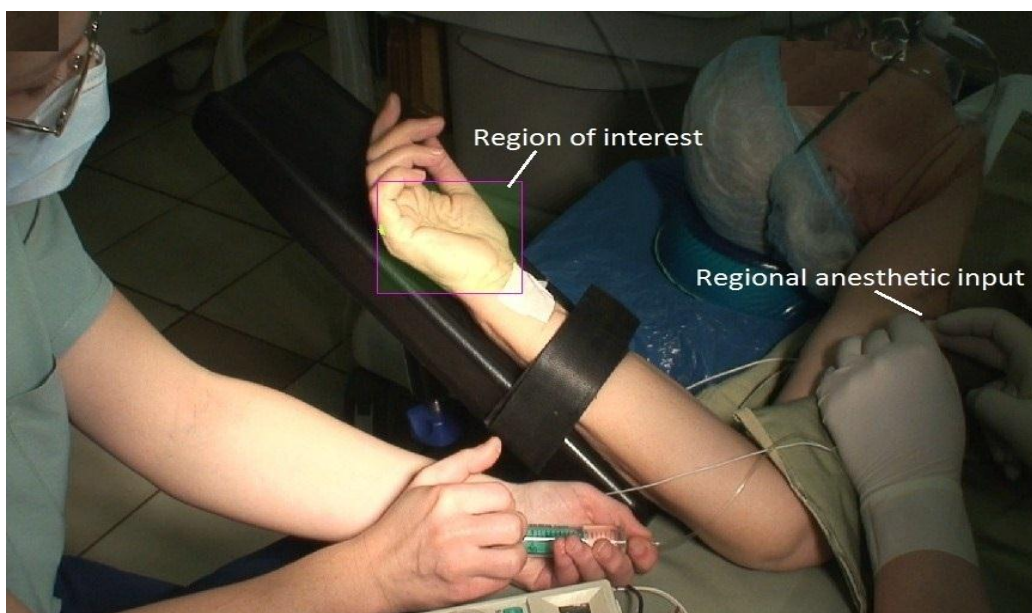
Plexus brachialis PNS

Manipulācijas laikā tika izmantots *B. Braun Stimuplex* G22 adatas un G18 katetru komplekts. Perifēro nervu stimulācijai izmantots PNS aparāts *Stimuplex* (*B. Braun*, Vācija).



Attēls 2-2-9. Sagatavots komplekts

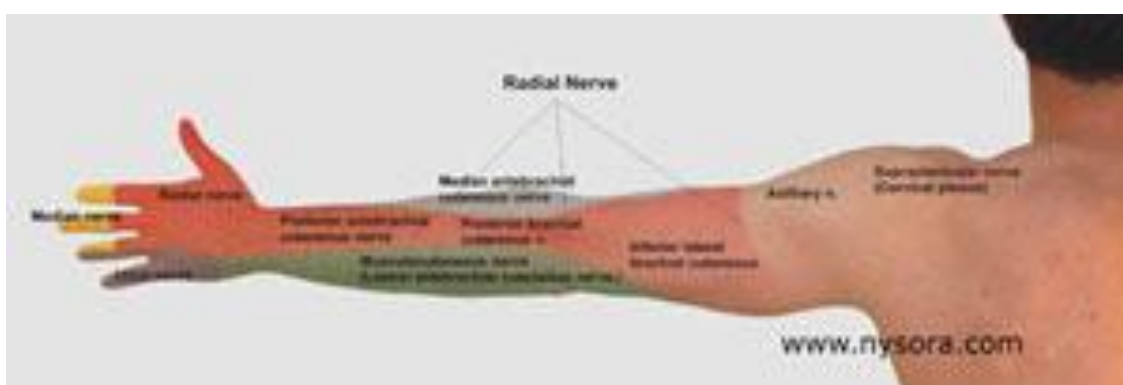
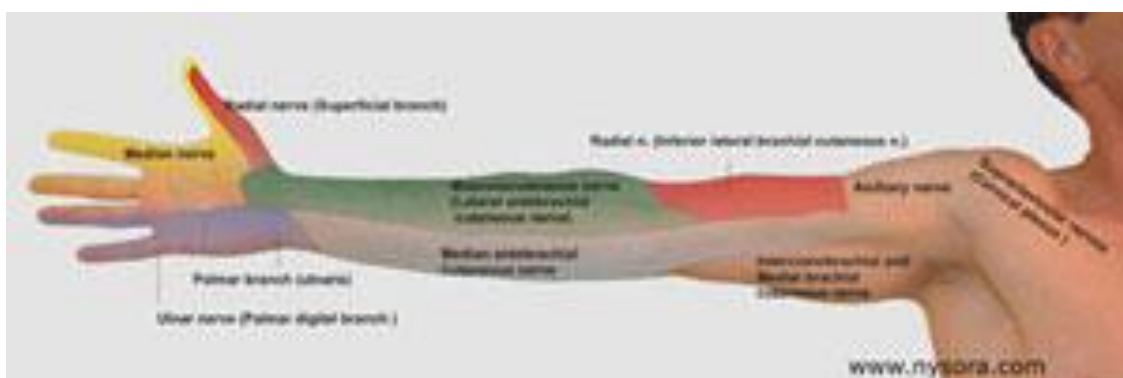
Regionālo anestēziju veica paduses līmenī. Pacients guļ uz muguras, operējamās rokas pleca locītava 90° abdukcijā un elkoņa locītava 90° fleksijā, roka ievietota operācijas galda pozicionēšanas iekārtā 30° leņķī pret horizontālo asi, fiksēta.



Attēls 2-2-10. Pacienta pozīcija manipulācijas laikā

Pēc *a. axillaris* pozīcijas novērtēšanas stimulējošo adatu ar transkutāno injekciju pozicionē virs artērijas, *n. medianus* tuvumā. Adatas pozīciju apstiprina ar atbilstošām plaukstas pirkstu muskulatūras kontrakcijām. Adatas pozīciju koriģē līdz stimulācijas sliekšņa 0.5-0.4 mA sasniegšanai, lai mazinātu itraneirālas injekcijas iespēju. Pēc aspirācijas testa veikšanas, izslēdzot intravazālās injekcijas iespēju, ļoti piesardzīgi ievada pirmo lokālo anestēziju (*bolus* injekcijā 10.0 ml. Nedaudz nomainot adatas pozīciju un virzienu, sameklē *n. musculocutaneus*. Pēc adatas precīzas pozīcijas apstiprināšanas ar perifero elektrisko stimulāciju tika ievadīta nākamā LA *bolus* deva. Atkārtoti, novērtējot pacienta stāvokli, ir noteikta *a. axillaris* lokalizācija. Nākamo transkutāno injekciju veic jau zem artērijas. Līdzīgi pakāpeniski nodrošina LA piekļuvi *n. ulnaris* un *n. radialis* tuvumā. Tādējādi uz rokas anestezēti četri lielākie nervi *n. medianus*, *n. musculocutaneus*, *n. ulnaris* un *n. radialis*, kas rada maksimālo analgēzijas un imobilizācijas līmeni ķirurģisko operāciju vai manipulāciju veikšanai.

Atbilstošās inervācijas zonas redzamas attēlā:



Attēls 2-2-11. Pacienta rokas inervācijas zonas. Avots: www.NYSORA.com

Plexus brachialis US

Reģionālo anestēziju veic paduses līmenī. Manipulācijas laikā izmanto portatīvo ultrasonoskopijas aparātu *MicroMax Turbo* (*SonoSite*, ASV); *B. Braun Stimuplex G22* adatas un G18 katetru komplektu. Papildu adatas pozīcijas kontrolei izmanto perifēro nervu stimulāciju ar PNS aparātu *Stimuplex* (*B. Braun*, Vācija).



Attēls 2-2-12. RA paduses līmenī PNS un US kontrolē

Pacienta pozīcija ir identiska - guļus uz muguras, operējamās rokas pleca locītava 90° abdukcijā un elkoņa locītava 90° fleksijā, roka ievietota operācijas galda pozicionēšanas iekārtā 30° leņķī pret horizontālo asi, fiksēta. Izmantojot portatīvo US aparātu, vizualizē konkrētās puses *a.axillaris* pozīciju pēc tam *n.medianus* pozīciju. Redzes kontrolē caur ādu ievada stimulējošu adatu, tās precīzu pozīciju tuvu nervam apstiprina gan vizuāli, gan ar elektrostimulācijai atbilstošām muskuļu kontrakcijām. Redzes kontrolē, vizualizējot adatas galu un LA, ievada medikamenta pirmo *bolusu*. Novērtē pacienta vispārējo stāvokli. Pakāpeniski, bez papildu ādas punkcijām, atkārtoto manipulācijas, vizualizējot un anestezējot *n.medianus*, *n.musculocutaneus*, *n.ulnaris* un *n.radialis*. Kā ierasts, sagaida vēlamo LA iedarbības efektu, ko konstatē, izmantojot klīniskās metodes RA noteikšanai.

Papildu farmakoterapija

1. Profilaktiska antibakteriāla terapija. Visi pacienti, kas piedalījās pētījumos, profilaktiski saņēmuši *cefazolīni* 1g vēnā aptuveni 30 minūtes pirms operācijas.
- 2."Stresa čūlas" profilakse. Kuņģa gļotādas aizsardzībai izmantoja protonu sūkņu inhibitorus - *Omeprasoli* 20 mg iekšķīgi pirms premedikācijas.
3. Tromboprofilakse. Ja pirmsoperācijas apskatē konstatēti papildu riska faktori trombu veidošanās iespējai, tad pacienti iepriekšējā vakarā saņēma mazmolekulāro heparīnu (*clexani* 40 mg) zemādā.
4. Sedācija. Lai mazinātu pacienta uztraukuma pakāpi operācijas laikā pirms ķirurģiskā grieziņa izmantoja vieglu sedāciju ar *Phetanyli* 0.05mg un *Dormicum* 2.5mg vēnā.

Novērojамie parametri - anestēzijas iestāšanās un kvalitāte

Tika sagaidīts vēlamais LA iedarbības efekts, ko konstatēja, izmantojot klasiskas klīniskās sensoru funkciju pārbaudes metodes, kā arī pēc ādas temperatūras pārmaiņām (pētījums Nr.2). Gadījumā, ja pacients ir pietiekami līdzestīgs, esošās jušanas sensora līmeņa robežas noteica, izmantojot speciāli sagatavotu ledus gabaliņu, uzliekot uz pacienta ādas, sākot ar 15. minūti. Ja vēlamo efektu gaidāmā zonā nerasniedz pēc 30 minūtēm, pāriet uz jebkuru no vispārējās anestēzijas veidiem un atļaus sākt operāciju. Gadījumā, ja pacients nav pietiekami līdzestīgs, potenciālās jušanas sensora līmeņa robežas nosaka pēc temperatūras pārmaiņām, pamatojoties uz pirmajiem rezultātiem.

3. Datu statistiskā analīze

Datu statistiskajai analīzei izmantoja datorprogrammu "Statistica 7". No katra pacienta iegūtajiem datiem PPG mērījumiem katrai mērījuma minūtei aprēķināja mediānu un kvartiles. To darīja tāpēc, ka PPG mērījumus stipri ietekmē rokas kustības, radot mērījumu kustību artefaktus – līdz ar to veidojot asimetrisku datu sadalījumu. Mērījumu posmos (minūtēs), kuros nekonstatēja kustību artefaktus, datu sadalījums atbilda normālajam (Gausa) sadalījumam. Datu normalitāti (pa minūtēm) pārbaudīja vizuāli pēc histogrammas, pēc Kolmogorova-Smirnova (*Kolmogorov-Smirnov*), Lilifora (*Lilliefors*) un Hi kvadratā testa. Mediānas ir mazāk jutīgas pret atsevišķiem artefaktiem nekā vidējais aritmētiskais.

Lai atklātu, kad parādās pirmās anestēzijas iedarbības pazīmes, kā arī, lai konstatētu brīdi, kad iestājas maksimālais anestēzijas efekts, mēs salīdzinājām katra mērījuma minūtes mediānas savā starpā, izmantojot *Kruskalis-Valis* rangu dispersijas analīzi (*Kruskal-Wallis ANOVA*). PPG mediānu (pa minūtēm) pirms anestēzijas ar vismazāk vērotiem artefaktiem izvēlējāmies par pirmsiedarbības līmeni, skatījāmies kurā pēciedarbības minūtē PPG mediānā parādās pirmās statistiski ticamās atšķirības. Šo brīdi pieņemām par laiku, kad parādās pirmā anestēzijas iedarbība. Laiku, kad mediāna ticami sasniedz maksimālo lielumu, uzskatījām par laiku, kad anestēzija sasniedz maksimālo efektu, kā arī PPG mediānas vērtību šajā laikā – par maksimālo PPG vērtību. Mediānu atšķirības uzskatījām par būtiskām rādījumā $p < 0,05$.

Tā kā temperatūras mērījumus veica intervālā viens mērījums katrā minūtē, bet katrai minūtei nebija iespējams izrēķināt vidējo vērtību, tad par pirmsiedarbības temperatūru izvēlējās 0. minūti (vienu minūti pirms manipulācijas sākšanas), bet par pirmo anestēzijas efekta parādīšanos – laiku, kad temperatūra ir paaugstinājusies virs pirmsiedarbības līmeņa. Savukārt, laiku, kad temperatūra ir sasniegusi savu maksimālo lielumu, – par maksimālā anestēzijas efekta laiku, balstoties uz temperatūras mērījumu datiem.

Izmantojot divfaktoru atkārtotu mērījumu dispersijas analīzi (*Repeated measure ANOVA*), aprēķinājām vidējos rādītājus laikam, kad PPG un temperatūra sasniedz maksimumu, kā arī parādās pirmās anestēzijas pazīmes pilnīgas un daļējas anestēzijas izdošanās gadījumā. Ar Fišera mazākā kvadrāta atšķirības testu (*Fisher LSD*) noteica būtiskās atšķirības starp apakšgrupām. Atšķirības uzskatīja par būtiskām, ja $p < 0,05$. Vidējās vērtības izteica kā vidējos aritmētiskos +/- vidējā aritmētiskā 95% ticamības intervālu.

Izmantojot divfaktoru atkārtotu mērījumu dispersijas analīzi (*Repeated measure ANOVA*), aprēķinājām PPG un temperatūras vidējās vērtības pirms un pēc anestēzijas, kā arī anestēzijas izdošanās, neizdošanās un daļējas izdošanās gadījumā. Ar Fišera mazākā kvadrāta atšķirības testu (*Fisher LSD*) noteica būtiskās atšķirības starp apakšgrupām. Atšķirības uzskatīja par būtiskām, ja $p < 0,05$. Vidējās vērtības izteica kā vidējos aritmētiskos +/- vidējā aritmētiskā

95% ticamības intervālu. PPG gadījumā vidējos aritmētiskos aprēķināja, pamatojoties uz katra pacienta attiecīgajā datu pieraksta laika minūtē aprēķinātajām PPG mediānu vērtībām.

PPG pārmaiņas un PPG pārmaiņas procentos no pirmsiedarbības līmeņa tika aprēķinātas kā attiecīgo pieraksta minūšu mediānu starpības un starpības procentos. Izmantojot vienfaktora dispersijas analīzi (*one way ANOVA*), aprēķināja vidējās PPG un temperatūru starpības pacientu grupām, kurām izdevās, neizdevās un daļēji izdevās anestēzija. Apakšgrupas salīdzināja, izmantojot Fišera LSD testu. Atšķirības uzskatīja par būtiskām, ja $p < 0,05$. Vidējās vērtības izteica kā vidējos aritmētiskos \pm vidējā aritmētiskā 95% ticamības intervālu. Datu atbilstību normālajam sadalījumam pārbaudīja pēc pārpalikumu histogrammām (*Histogram of Raw Residuals*).

III. DARBA REZULTĀTI

1. Demogrāfijas dati.

Pētījumā izmantoja 242 pacientu vēstures, no tām 130 bija vīrieši (53.7%) un 112 sievietes (46.3%). Vidējais pacientu vecums – 45.7 ± 22.5 gadi.

Pētījumos piedalījās arī 157 pacients. No 157 pacientiem bija 95 vīrieši (60.51%) un 62 sievietes (39.49%).

Visos pētījumos pacienti bija statistiski ticami līdzīgi pēc dzimuma, vecuma, svara, KMI un ASA klases.

Tabula 3-1. Pētījumos iesaistīto pacientu demogrāfiskais raksturojums

Rādītāji	Pētījums Nr.1	Pētījums Nr.2	Pētījums Nr.3	Pētījums Nr.4	Pētījums Nr.5
Skaits	242	55	37	27	38
Vecums (gadi)	45.7 ± 22.5	45.1 ± 16.1	44.3 ± 12.9	48.0 ± 19.0	47.6 ± 17.2
Dzimums (vir./siev.)	130/112	32/23	22/15	17/10	24/14
Augums (cm)	175 ± 8.9	174 ± 8.2	175 ± 7.0	176 ± 8.5	174 ± 9.6
Svars (kg)	81.7 ± 18.6	80.5 ± 15.0	81.6 ± 11.6	80.5 ± 12.4	79.2 ± 15.1
KMI (kg/m^2)	26.7 ± 3.1	26.6 ± 2.4	26.6 ± 3.2	26.0 ± 2.1	26.2 ± 2.5

2. Perifēro reģionālo anestēziju datu raksturojums.

Atbilstoši starptautiskajai pacientu pirmsoperāciju veselības novērtēšanas klasifikācijai visi 399 pacienti sadalījās: ASA I klase - 164 (41.1%), II klase - 181 (45.4%), III klase - 54 (13.5%).

Tabula 3-2. Perifēro reģionālo anestēziju datu raksturojums

Rādītāji	Pētījums Nr.1	Pētījums Nr.2	Pētījums Nr.3	Pētījums Nr.4	Pētījums Nr.5
Kopējais skaits	242	55	37	27	38
ASA I/II/III	100/109/33	22/26/7	15/17/5	11/13/3	16/16/6
Izdevušās (%) kopā	69.8%	85.45%	83.78 %	85.18%	86.84%
Izdevušās	169	47	31	23	33
Neizdevušās	73	8	6	4	5

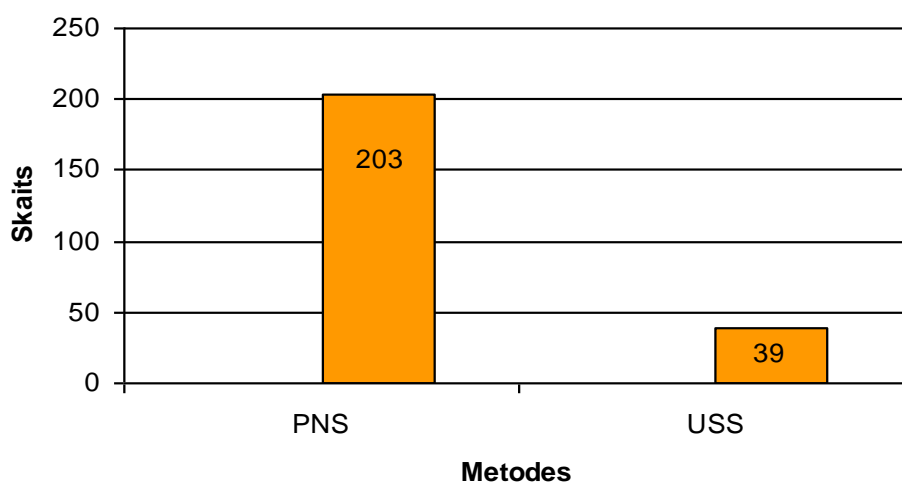
Pētījums Nr. 1

Kopā tika analizētas 242 pacientu anestēzijas kartes Traumatoloģijas un ortopēdijas slimnīcas slimību vēsturēs laika posmā no 2005. gada 1. jūnija līdz 2005. gada 30. novembrim.

Visi iekļautie pacienti atbilst kopējam pētījuma dizainam un modelim.

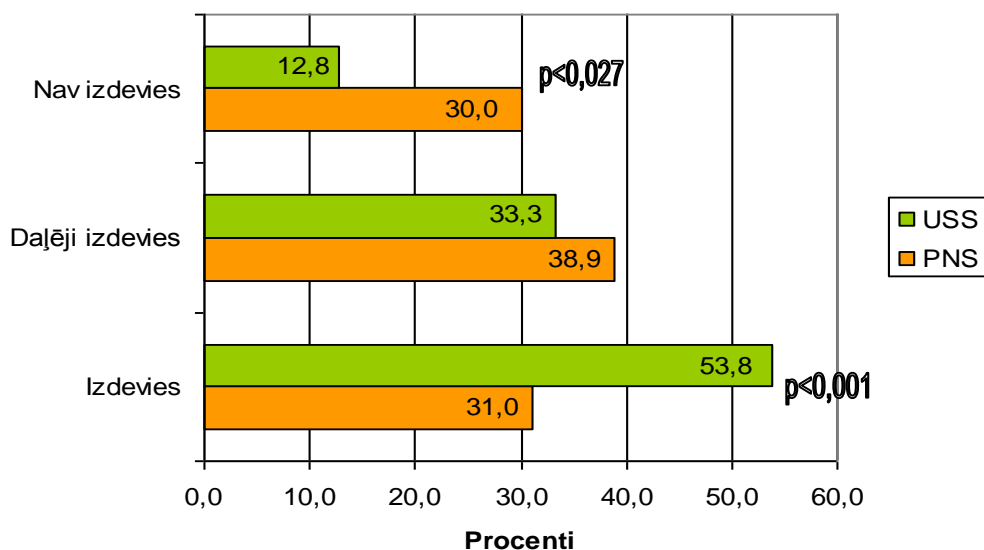
No visiem 242 pacientiem 130 bija vīrieši (54%) un 112 sievietes (46%), vecumā no 18 līdz 85 gadiem, atbilstoši ASA I klase – 100 (41%), II klase – 109 (45%), III klase – 33 (14%).

Perifēro nervu stimulācijas (PNS) metodi izmantoja 203 pacientiem un ultrasonoskopiski atbalstītu perifēru RA (USS) izmantoja 39 pacientiem (*Attēls 3-1-1*).



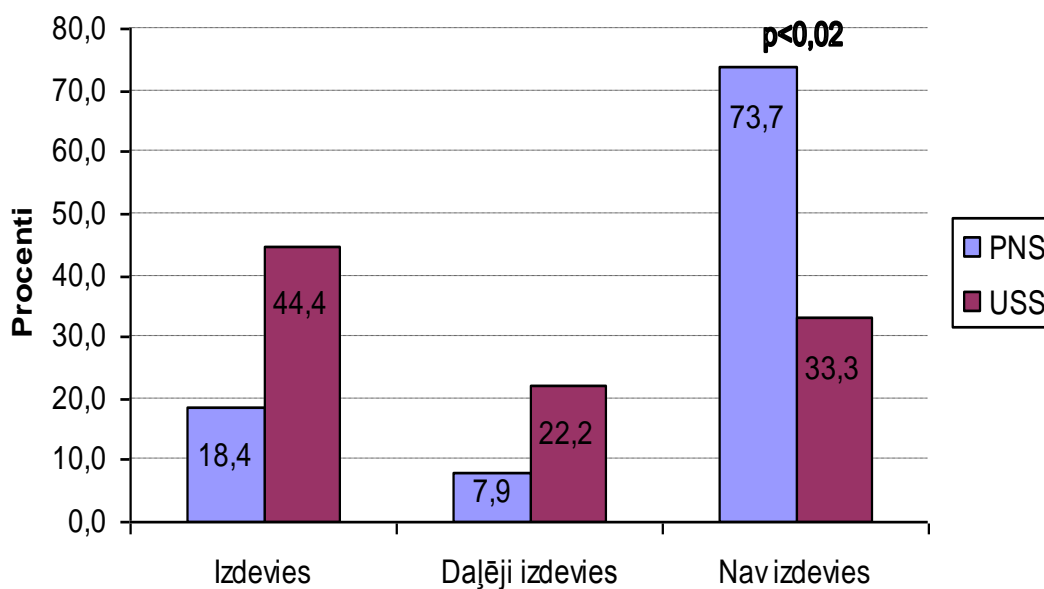
Attēls 3-1-1. Metožu izmantošanas biežums

Kā „izdevušās” vērtējām 169 (69.8%) reģionālās anestēzijas (no tām 94 anestēzijas (38.9%) „daļēji izdevušās”), kā „neizdevušās” – 73 anestēzijas (30.2%) (*Attēls 3-1-2*).

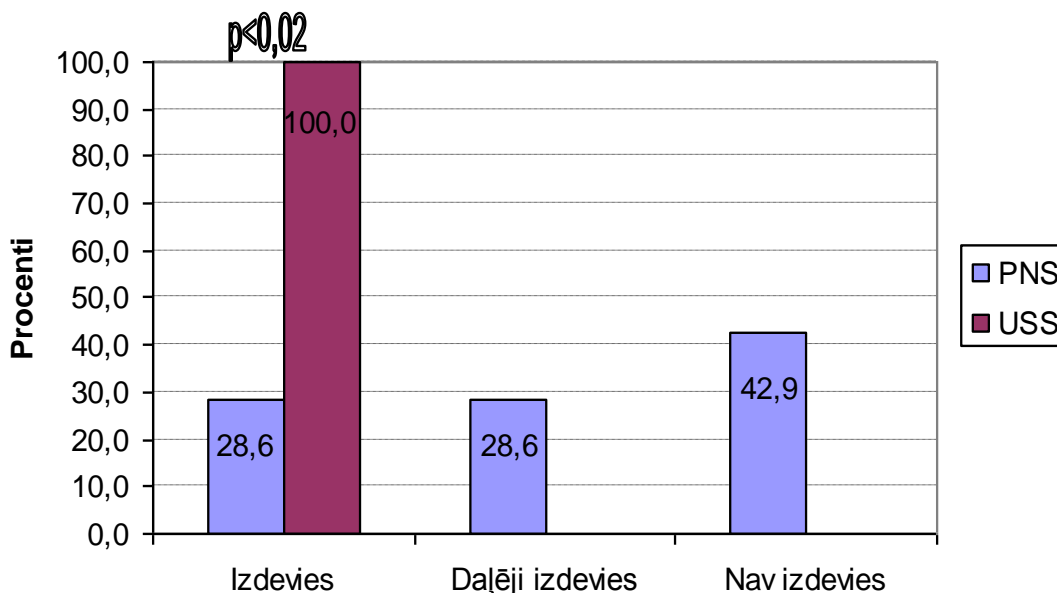


Attēls 3-1-2. Metožu anestēzijas efektivitāte

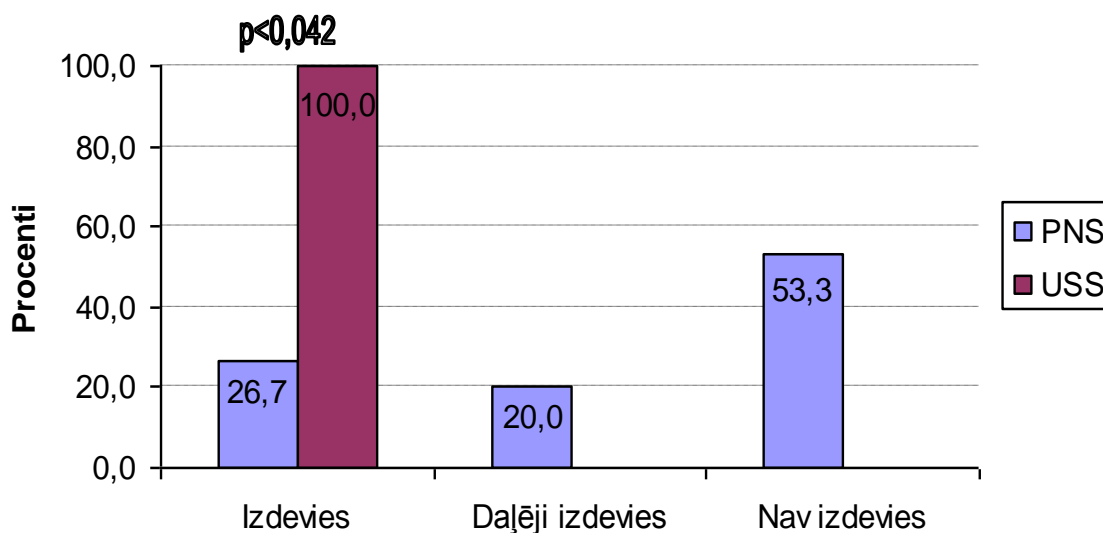
Atsevišķi izdalīja pacientus ar samērā lielu rokas operācijai paredzēto anatomisko apjomu (labā vai kreisā spieķa kaula lūzuma repozīcija un osteosintēze ar plāksni, ārējās fiksācijas aparātu vai Ķiršnera stieplēm - *Attēls 3-1-3*) un mazu apjomu (4.MKK vai 5.MKK OS ar mini plāksni - *Attēli 3-1-4, 3-1-5*).



Attēls 3-1-3. Anestēzijas rezultāts spieķa kaula lūzumu osteosintēzē



Attēls 3-1-4. Anestēzijas rezultāts 4. MKK lūzumu osteosintēzē



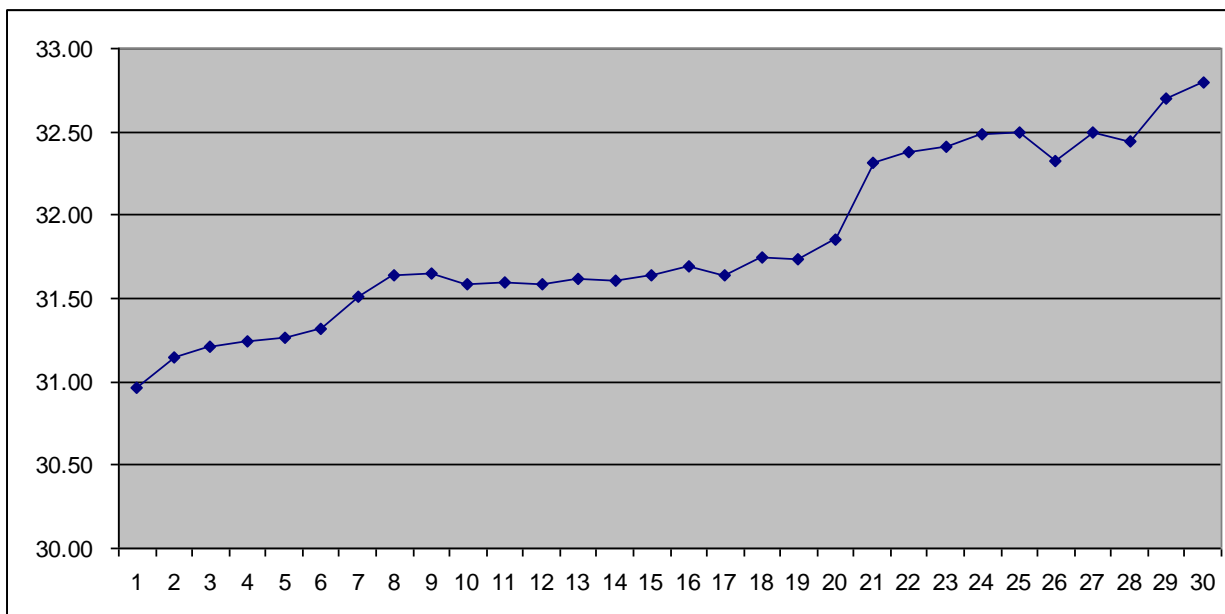
Attēls 3-1-5. Anestēzijas rezultāts 5. MKK lūzumu osteosintēzē

Pētījums Nr. 2

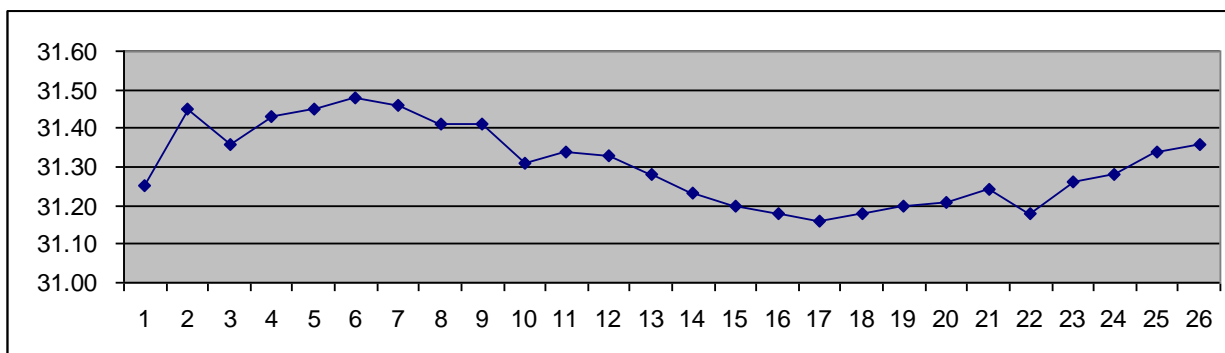
Pētījumā analizējam ādas temperatūras pārmaiņas pēc perifēras RA 55 pacientiem, no tiem bija 32 vīrieši (58.18%) un 23 sievietes (41.82%), vecuma diapazons 18-85 gadi, atbilstoši ASA I klase – 22 (40%), II klase – 26 (47.3%), III klase – 7 (12.7%).

Darba gaitā fiksēts vidējais manipulācijas (anestēzijas veikšanas) ilgums: 5.38 ± 1.67 min. Sekmīga anestēzija bija 47 pacientiem (85.45%) (Attēls 3-2-1), „neveiksmīga” 8 pacientiem (14.54%) (Attēls 3-2-2).

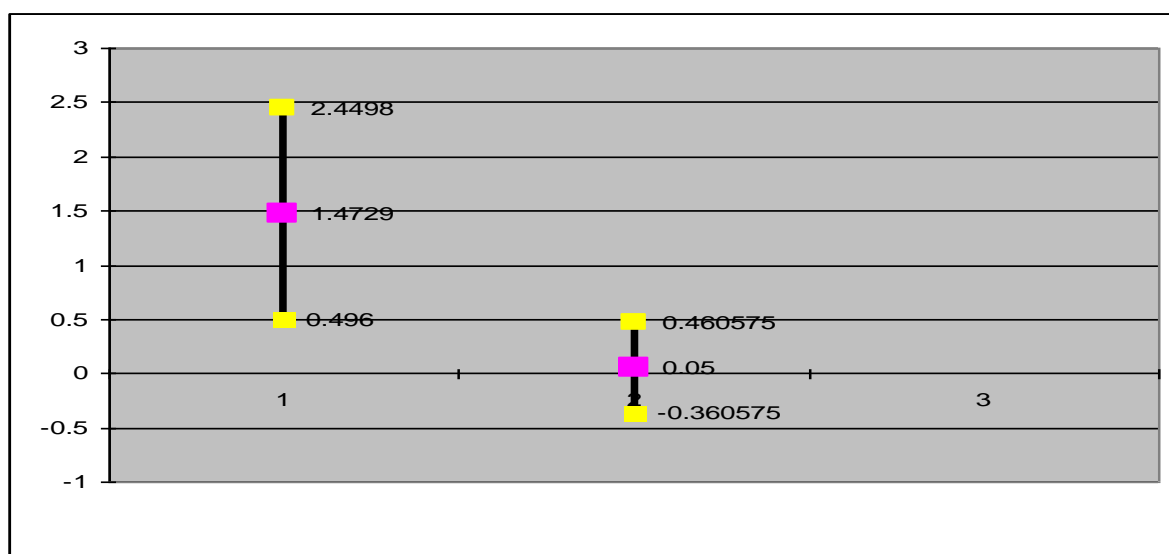
Attēlā 3-2-1 redzamajā temperatūras pārmaiņu grafikā konstatēts nelineārais raksturs. Pēc „veiksmīgas” RA ādas temperatūra paaugstinās (Attēls 3-2-1), statistiski ticama temperatūras paaugstināšanās vidēji konstatēta no 13. minūtes. Salīdzinot temperatūras pieaugumu „veiksmīga” un „neveiksmīga” simpātiska bloka gadījumā (Attēls 3-2-3), statistiski ticama lielāka temperatūras paaugstināšanās vērojama „veiksmīgas” anestēzijas gadījumā – $\Delta T_1 = 1.47 \pm 0.98^\circ\text{C}$ salīdzinot ar $\Delta T_2 = 0.05 \pm 0.41^\circ\text{C}$ kontroles grupā ($p = 0,000177$).



Attēls 3-2-1. Vidējās T°C pārmaiņu grafiks adekvātā anestēzijā (izdevusies)



Attēls 3-2-2. Vidējās T° C pārmaiņu grafiks neadekvātā anestēzijā (neizdevusies)



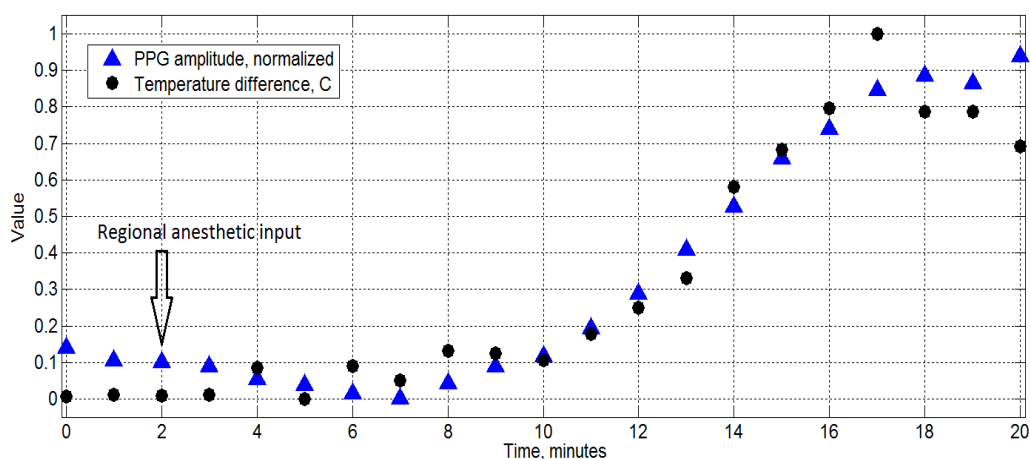
Attēls 3-2-3. Vidējā temperatūras paaugstināšanās „veiksmīgas” un „neveiksmīgas” anestēzijas gadījumā

Pētījums Nr. 3

Pētījumā analizējām ādas temperatūras pārmaiņas pēc RA 37 pacientiem. No 37 pacientiem 22 vīrieši (59.46%) un 15 sievietes (40.54%) vecumā no 18 līdz 85 gadiem. Pacientu sadalījums atbilstoši ASA: I klase - 15 (40.54%), II klase - 17 (45.95%) un III klase - 5 (13.51%).

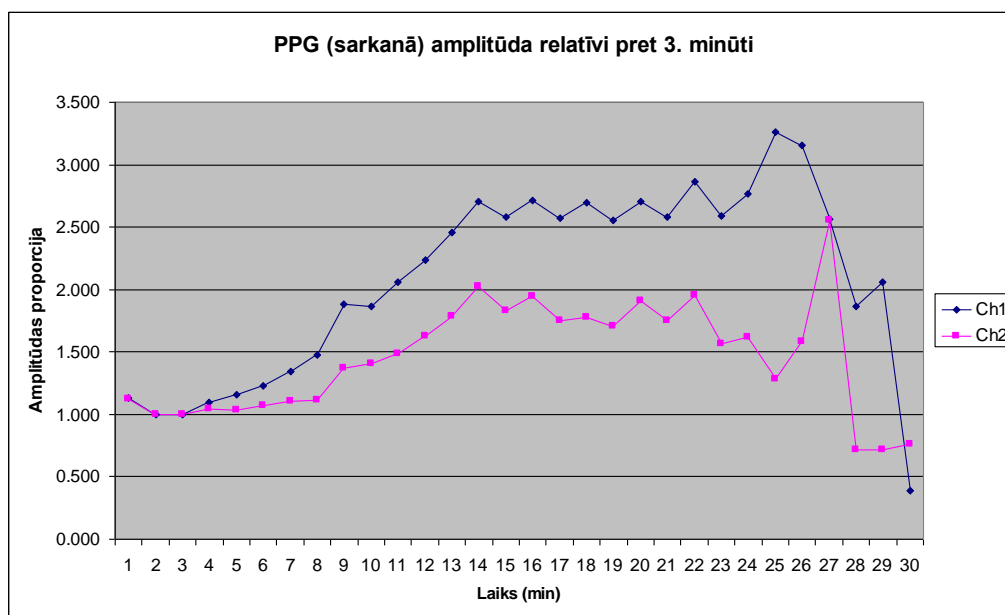
Sekmīga jeb „veiksmīga” anestēzija bija 31 pacientam (83.78% gadījumu), „neveiksmīga” anestēzija 6 pacientiem (16.22% gadījumu).

Konstatēta statistiski ticama korelācija starp pacienta ādas temperatūras un PPG signāla pārmaiņām ietekmējamā zonā. ($r=0.96$, $p<0.0001$) (Attēls 3-3-1).

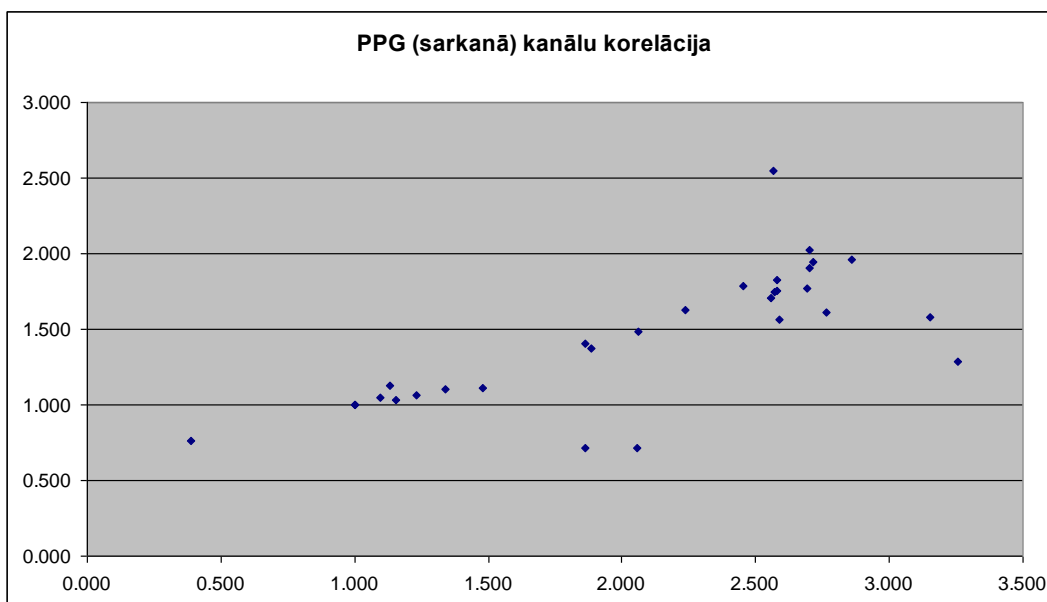


Attēls 3-3-1. Korelācija starp pacienta ādas temperatūras un PPG signāla pārmaiņām

Konstatētas PPG amplitūdas pārmaiņas pēc RA uz „aktīvās” rokas ($PPG_1=3.59\pm 2.21$), kuras ir izteikti lielākas salīdzinot ar „simetrijas” roku ($PPG_2=2.81\pm 2.08$) (Attēls 3-3-2).



Attēls 3-3-2. Ch1 – PPG aktīvai rokai; Ch2 – PPG simetrijas rokai



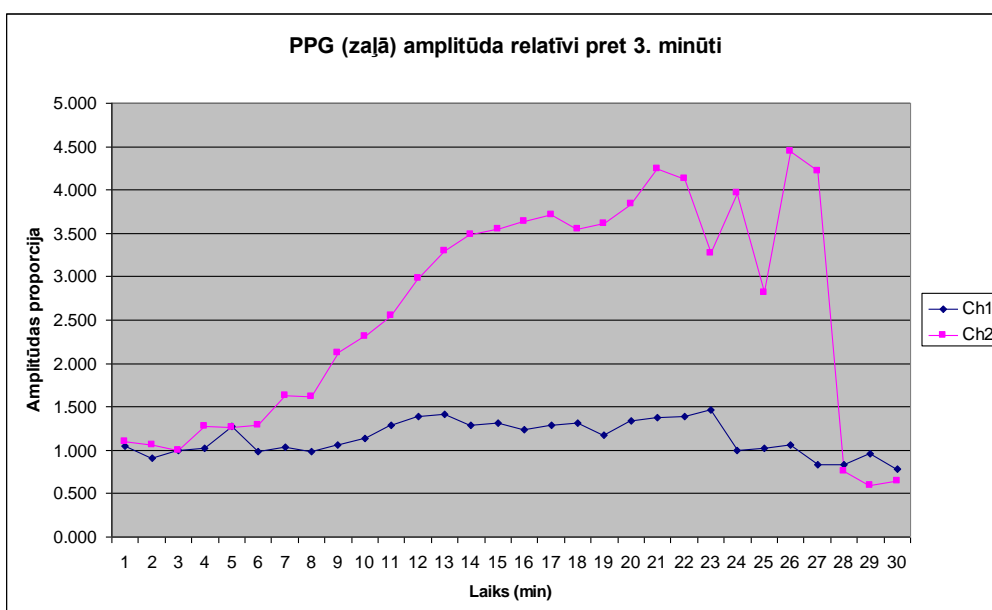
Attēls 3-3-3. Korelācija starp PPG aktīvai rokai un PPG simetrijas rokai

Pētījums Nr. 4

Pētījumā analizējām ādas temperatūras pārmaiņas un remisijas zaļš PPG pēc perifēras RA 27 pacientiem. No 27 pacientiem 17 vīrieši (63%) un 10 sievietes (37%) vecumā no 18 līdz 85 gadiem, atbilstoši ASA I klase - 11 (41%), II klase – 13 (48%), III klase - 3 (11%).

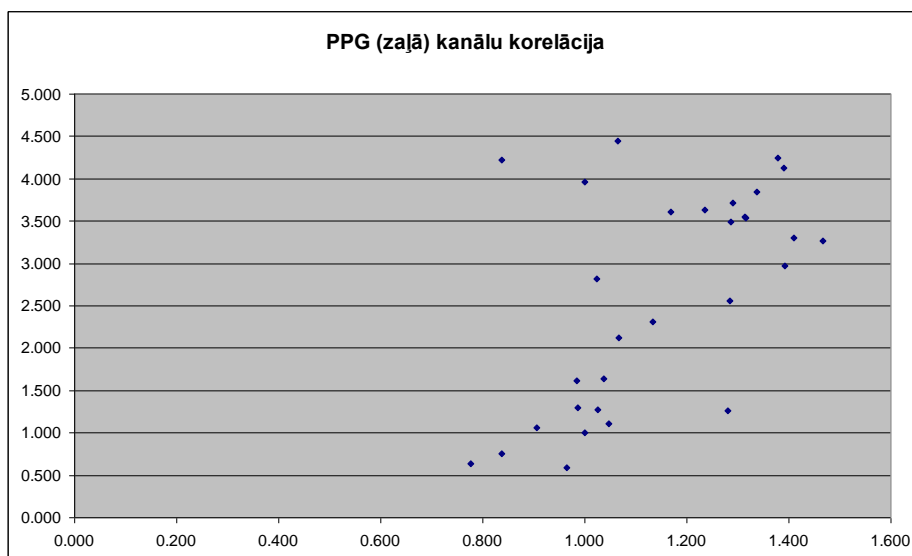
Sekmīga jeb „veiksmīga” anestēzija konstatēta 23 pacientiem (85.18%). „Neveiksmīga” anestēzija konstatēta 4 gadījumos (14.82%).

Pēc vidējiem PPG datiem no neaktīvās rokas (Ch1) un no operējamās rokas (Ch2) izveidoja grafiku (Attēls 3-4-1).



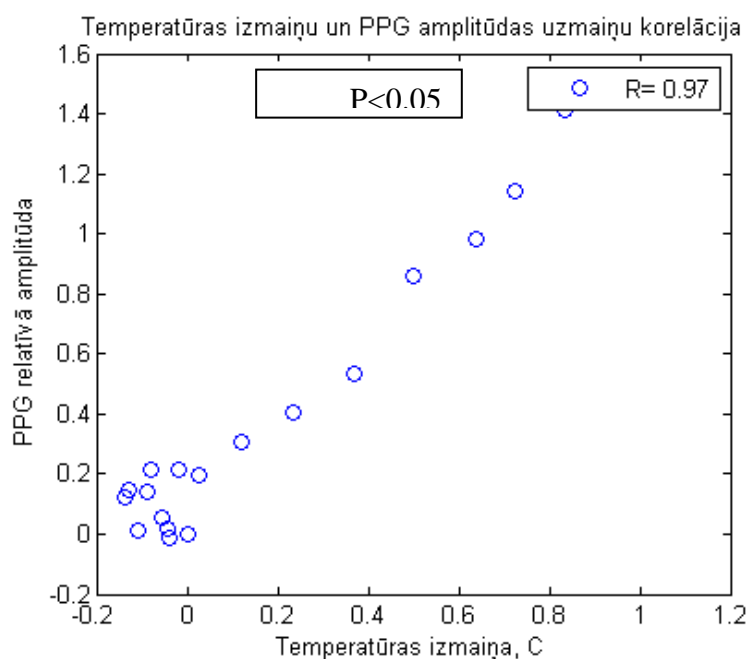
Attēls 3-4-1. Remisijas PPG amplitūdas dinamika, izmantojot zaļās gaismas signālu ar “kontakta” metodi

Salīdzinot PPG amplitūdu pārmaiņas uz operējamās un neaktīvās rokas, izrēķināja savstarpējo korelāciju ar $R=0.97$, $p<0.05$.



Attēls 3-4-2. PPG (zaļā) kanālu korelācija

Izrēķinājām vidējās temperatūras pārmaiņas un PPG amplitūdas pārmaiņu savstarpējo korelāciju bez „laika nobīdes”, kas redzams attēla 3-4-3 grafikā.



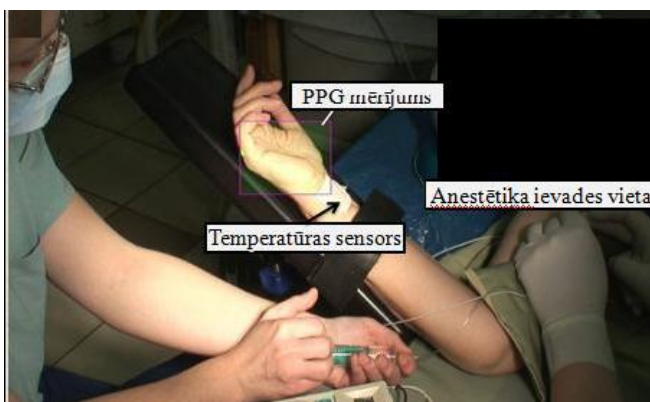
Attēls 3-4-3. Temperatūras izmaiņu un PPG amplitūdas korelācija

Pētījums Nr. 5

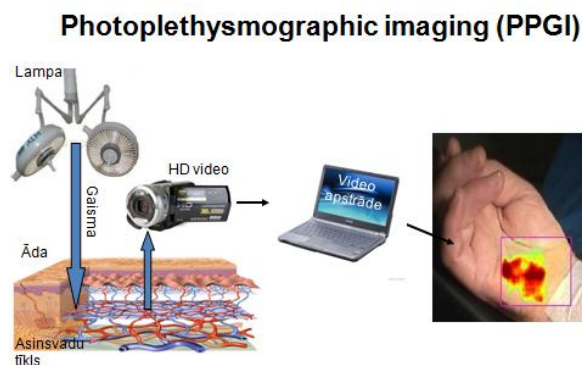
Pētījumā veicām plaukstu HD video ierakstus 38 pacientiem pēc perifēras RA, vienlaicīgi mērījām pacientu roku ādas temperatūru. Datus reģistrējām protokolā un izveidojām apkopojamo

tabulu. Konstatējām „veiksmīgo” un „neveiksmīgo” efektu perifērās RA gadījumā. Saņemtos rezultātus apstrādāja statistiski.

Pētījuma dizains atbilst kopējam pētījumu dizainam (*Attēls 3-5-1 un 3-5-2*).



Attēls 3-5-1. Pētījumu dizains



Attēls 3-5-2. PPGI shēma

Pētījuma pacienti

Pētījumā piedalījās 38 pacienti - 24 vīrieši (63.16%) un 14 sievietes (36.84%) vecumā no 19 līdz 80 gadiem. Visi iekļautie pacienti atbilst kopējam pētījuma dizainam un modelim.

Vidējais vecums 47.6 ± 17.2 gadi (ar 95% konfidences intervālu vecums ir 53.3 ± 5.6 gadi).

Pacientu augums - no 159 cm līdz 201 cm, vidējais augums - 174.47 ± 9.55 cm. Pacientu svars bija robežās no 50 kg līdz 105 kg, vidējais svars - 79.2 ± 15.11 (vidējais KMI 26.0).

Atbilstoši ASA noteiktajām riska grupām pacienti sadalījās: I klase - 16 (42.1%), II klase - 16 (42.1%), III klase - 6 (15.8%). Pacientu izejas vidējais sistoliskais spiediens bija 134 ± 19 mmHg un vidējais diastoliskais 75 ± 10 mmHg, vidējais pulss 71 ± 10 reizes minūtē.

Pētījuma anestēziju rezultāti

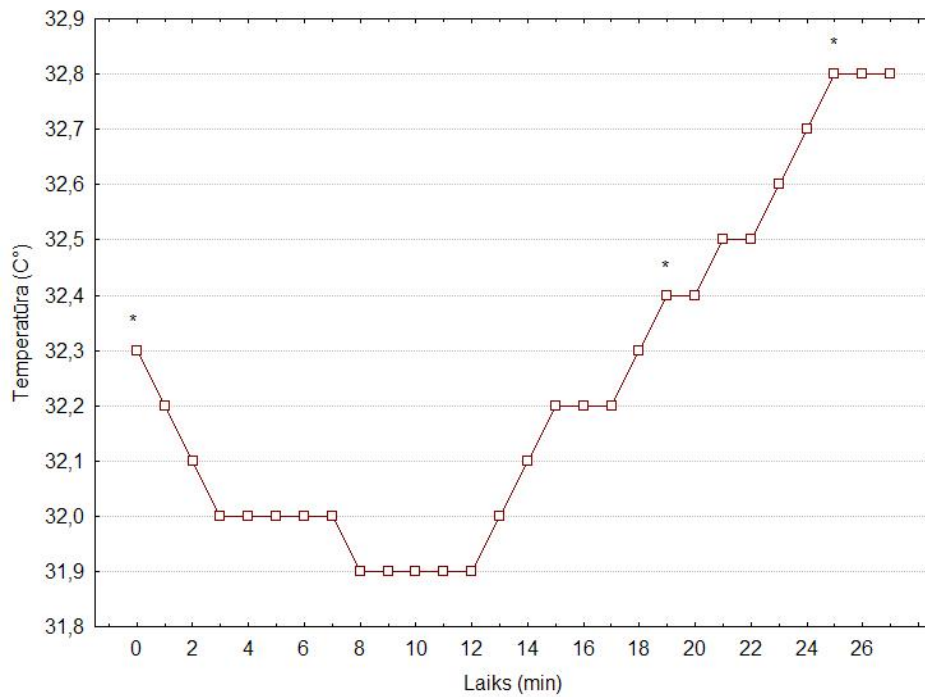
Izmantojot kopējā dizaina kritērijus konstatē, ka: izdevās, jeb bija „veiksmīgas” 33 anestēzijas (86.84%) un neizdevās jeb bija „neveiksmīgas” 5 anestēzijas (13.2%). Uzskatījām par „veiksmīgām” gan 27 (71.0%) perfektās, gan 6 (15.8%) „daļēji izdevušās” perifērās reģionālās anestēzijas.

Temperatūras

Mērījumus ievadīja un apkopoja kopsavilkuma tabulā. Katram pacientam ir izveidots grafiks, kas rāda temperatūras pārmaiņas dinamikā (skat. VII daļā Pielikumi).

„Veiksmīgo” perifēro reģionālo anestēziju gadījumus raksturojošs grafiks parādīts *attēlā 3-5-3*.

Grafikā ar * atzīmēti 0. mērījums, statistiski ticamas sākuma pārmaiņas un maksimālās temperatūras pārmaiņas.

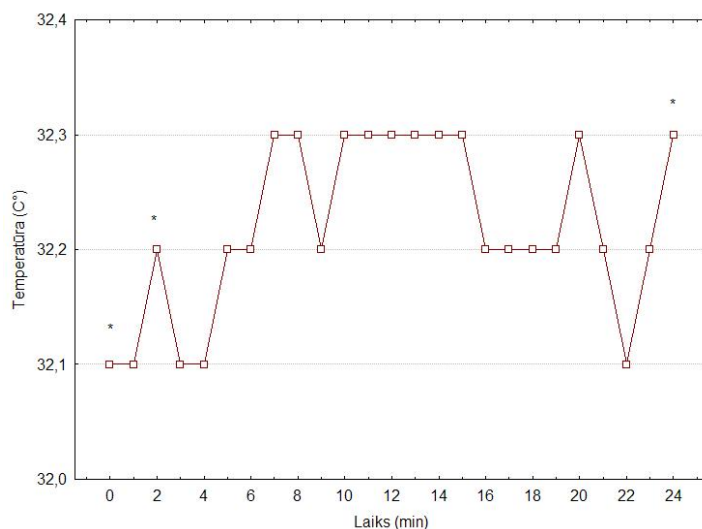


Attēls 3-5-3. T° pārmaiņas pie „veiksmīgām” RA

„Veiksmīgo” perifēro reģionālo anestēziju gadījumā vidējā ādas temperatūra pirms manipulācijas sākuma ir $32.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$; ar -95% konfidences intervālu 32.0°C ; ar +95% konfidences intervālu ir 32.8°C ; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 0.4°C .

Mērījuma beigās pēc „veiksmīgas” manipulācijas ādas vidējā ādas temperatūra ir $33.3 \pm 0.2^\circ\text{C}$; ar -95% konfidences intervālu 32.9°C ; ar +95% konfidences intervālu ir 33.8°C ; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 0.4°C .

Temperatūru pārmaiņu grafiks „neveiksmīgo” perifēro RA gadījumos redzams attēlā 3-5-4.

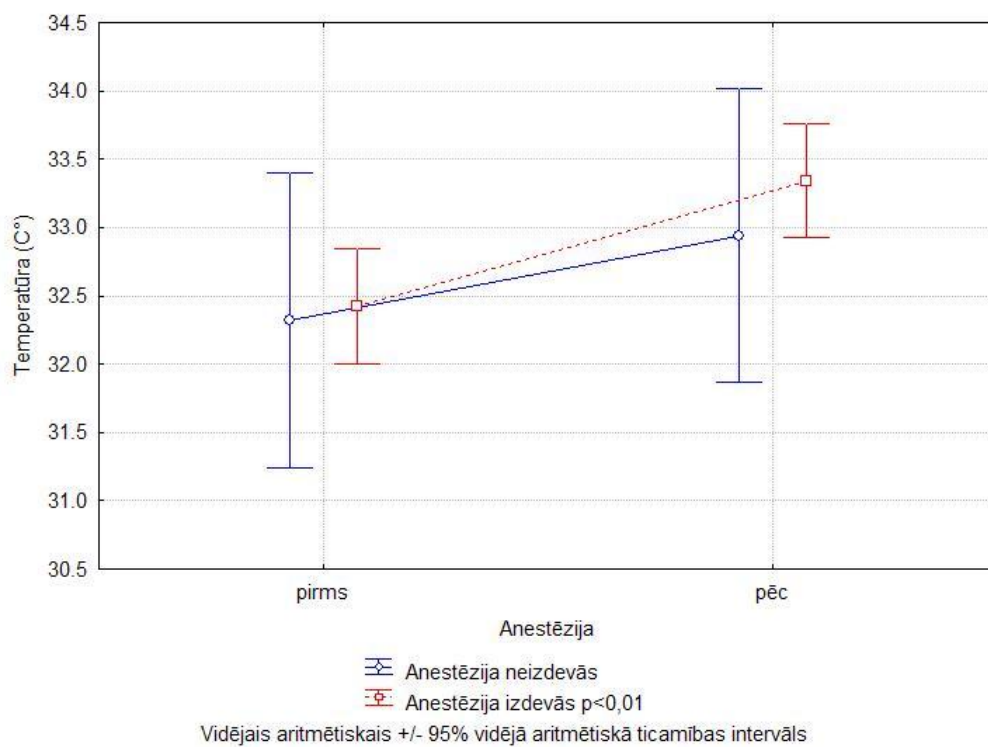


Attēls 3-5-4. T° pārmaiņas pie „neveiksmīgām” RA

Vidējā ādas temperatūra „neveiksmīgajām” perifērajām RA pirms manipulācijas sākuma ir $32.3 \pm 0.5^\circ\text{C}$; ar -95% konfidences intervālu ir 31.2°C ; ar +95% konfidences intervālu ir 33.4°C ; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 1.1°C .

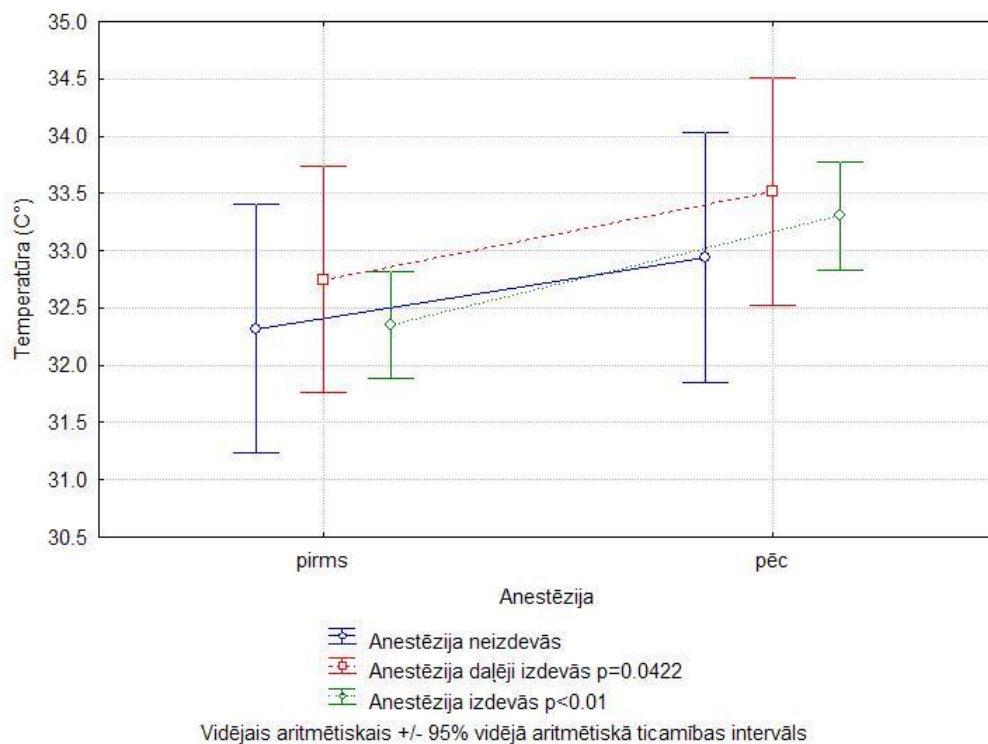
Vidējā ādas temperatūra mērījuma beigās pēc „neveiksmīgas” manipulācijas ir $32.9 \pm 0.5^\circ\text{C}$; ar -95% konfidences intervālu 31.9°C ; ar +95% konfidences intervālu 34.0°C ; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 1.1°C .

Kopējais izdevušos anestēziju grafiks pēc temperatūrām, ar ticamības koeficientu ($p < 0.01$) „veiksmīgu” anestēziju gadījumā redzams attēlā 3-5-5.



Attēls 3-5-5. T° pārmaiņas pirms un pēc RA, kad anestēzija „izdevās” un „neizdevās”

Izdalot arī „daļēji veiksmīgas” manipulācijas ar ticamības koeficientu $p < 0.05$, anestēziju kopējais „veiksmīgums” redzams *attēlā 3-5-6*.

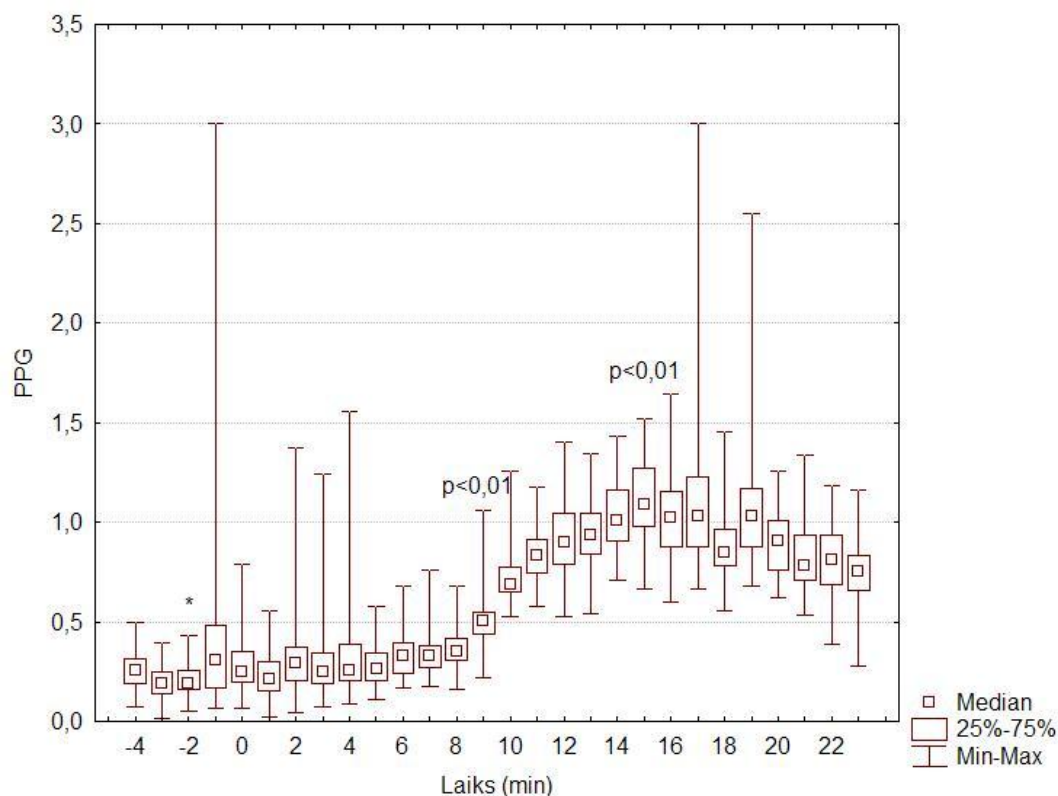


Attēls 3-5-6. Anestēziju iznākuma sadalījums pēc temperatūrām

Fotopletismogrāfija

PPG mērījumi, līdzīgi kā temperatūras, tika ievadīti un apkopoti tabulā. PPG amplitūdu pārmaiņu mērījumi tiek atspoguļoti relatīvās vienībās. Katram pacientam ir izveidots PPG grafiks, kas rāda pārmaiņas dinamikā (skat. VII daļā Pielikumi).

Grafiks, kas raksturo PPG pārmaiņas dinamikā „veiksmīgo” simpātisko bloku gadījumos redzams *attēlā 3-5-7*. Grafikā ar * atzīmēti 0. mērījums, statistiski ticamas sākuma pārmaiņas un maksimālās PPG pārmaiņas.

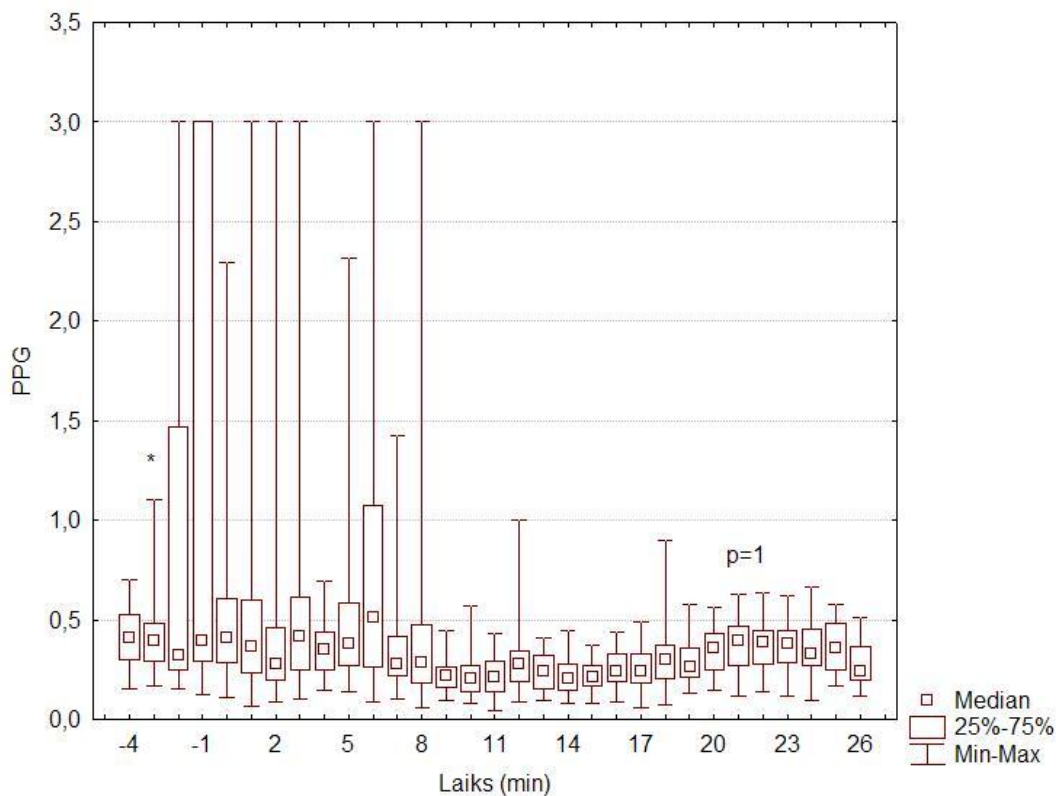


Attēls 3-5-7. PPG pārmaiņas dinamikā „veiksmīgo” simpātisko bloku gadījumos

„Veiksmīgo” perifēro reģionālo anestēziju gadījumā vidējā PPG amplitūda pirms manipulācijas sākuma ir 0.246736 ± 0.038623 ; ar -95% konfidences intervālu 0.168404; ar +95% konfidences intervālu ir 0.325068; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 0.078332.

„Veiksmīgo” perifēro RA gadījumā vidējā PPG amplitūda mērījuma beigās ir 0.850597 ± 0.068013 ; ar -95% konfidences intervālu 0.712660; ar +95% konfidences intervālu 0.988533; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 0.137937.

Tipiskais grafiskais PPG pārmaiņu atspoguļojums, kas raksturotu „neveiksmīgas” perifērās RA, redzams attēlā 3-5-8. Var novērot „kustību artefaktus” konkrētam grafikam līdz 8. minūtei, kas saistīti ar atbilstošās muskulatūras motoro atbildi uz perifēro nervu stimulāciju pašas manipulācijas laikā.

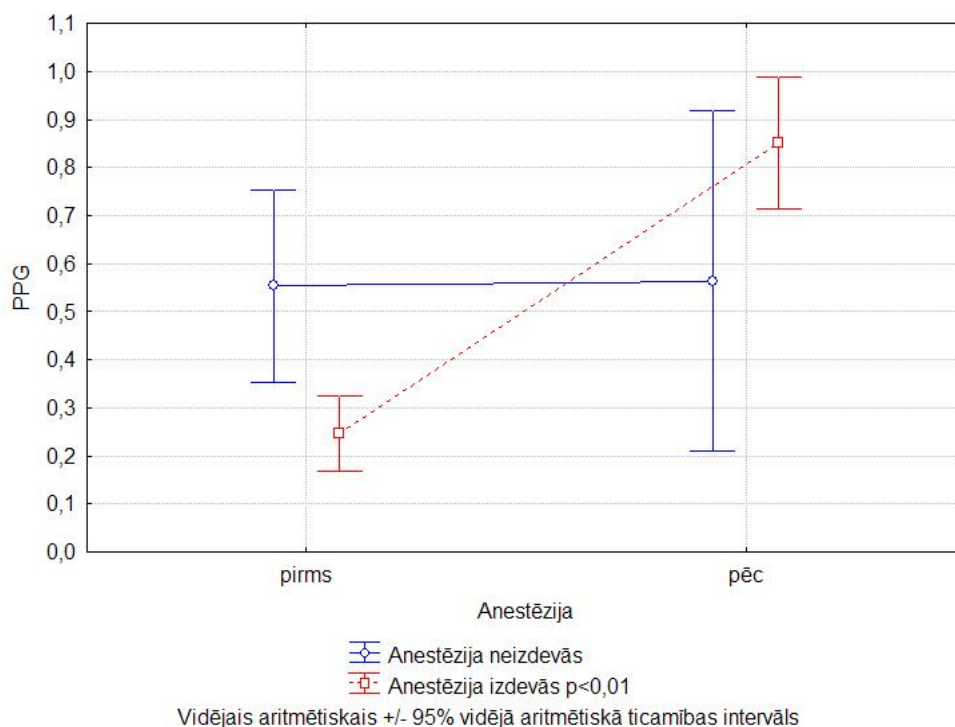


Attēls 3-5-8. PPG pārmaiņas dinamikā „neveiksmīgo” simpātisko bloku gadījumos

„Neveiksmīgo” perifēro reģionālo anestēziju gadījumā vidējā PPG amplitūda pirms manipulācijas sākuma ir 0.553150 ± 0.099225 ; ar -95% konfidences intervālu 0.351911; ar +95% konfidences intervālu ir 0.754389; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 0.201239.

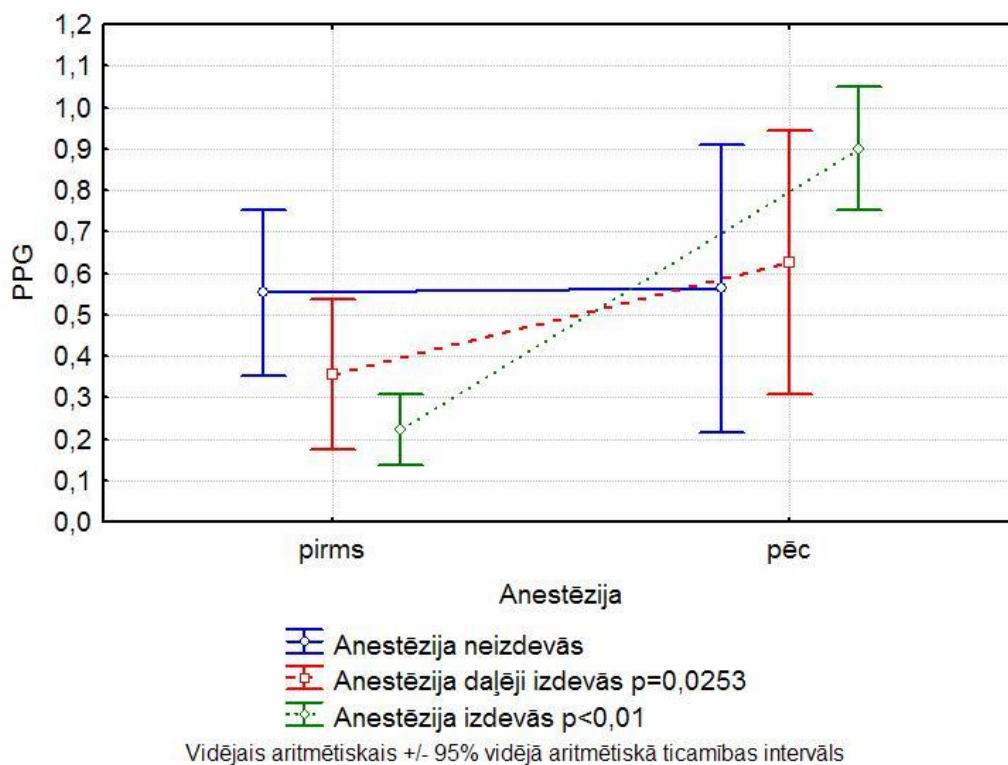
Pēc „neveiksmīgas” perifērās RA vidējā PPG amplitūda mērījuma beigās ir 0.850597 ± 0.068013 ; ar -95% konfidences intervālu 0.712660; ar +95% konfidences intervālu 0.988533; $\pm 95\%$ vidējais aritmētiskais ticamības intervāls ir 0.137937.

Kopējais anestēziju iznākums ar „veiksmīgiem” ($p < 0.01$) un „neveiksmīgiem” perifērajiem blokiem pēc PPG parādīts attēlā 3-5-9.



Attēls 3-5-9. Anestēziju iznākums ar „veiksmīgiem” ($p < 0.01$) un „neveiksmīgiem” perifērajiem blokiem pēc PPG

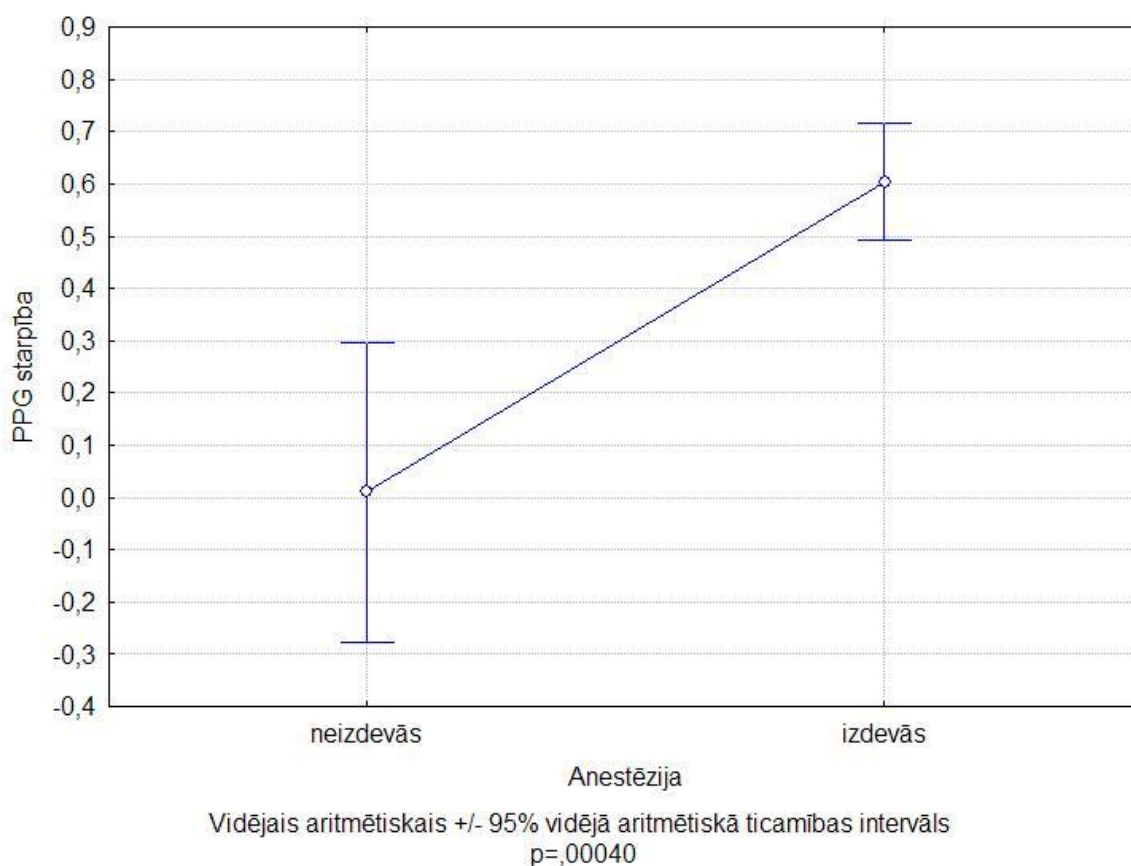
Papildus izdalot „daļēji veiksmīgas” ($p < 0.0253$), „veiksmīgas” ($p < 0.01$) un „neveiksmīgas” anestēzijas, kopējais perifēro RA iznākumu grafiks pēc PPG parādīts attēlā 3-5-10.



Attēls 3-5-10. Kopējais perifēro RA iznākumu grafiks pēc PPG

Vidējā PPG starpība starp „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” PRA redzama attēla 3-5-11 grafikā.

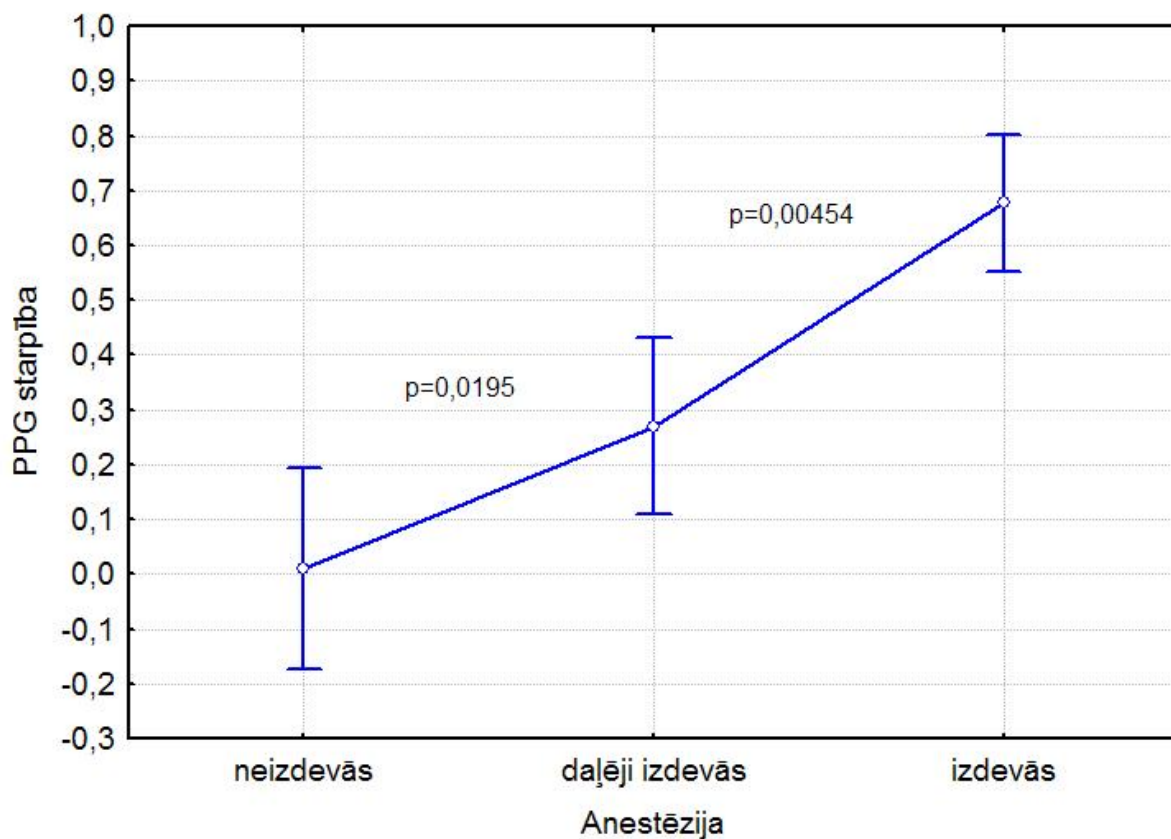
Vidējā PPG starpība „veiksmīgām” PRA ir 0.603860 ± 0.055176 ; vidēji ar -95% konfidenci 0.491959; vidēji ar +95% konfidenci 0.715762; vidējais ticamības intervāls ir ± 0.111901 ; $n=33$. Savukārt, „neveiksmīgām” PRA vidējā PPG starpība ir 0.010161 ± 0.141749 ; vidēji ar -95% konfidenci -0.277319; vidēji ar +95% konfidenci 0.297640; vidējais ticamības intervāls ir ± 0.287480 ; $n=5$.



Attēls 3-5-11. Vidējā PPG starpība starp „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” PRA

Ja atsevišķi izdala „veiksmīgas”, „daļēji veiksmīgas” un „neveiksmīgas” PRA, vidējā PPG starpība redzama attēla 3-5-12 grafikā.

Starpība starp „veiksmīgām” un „daļēji veiksmīgām” anestēzijām ir statistiski ticama ($p=0.00454$). Starpība starp „neveiksmīgām” un „daļēji veiksmīgām” anestēzijām arī ir statistiski ticama ($p=0.00165$).



Vidējais aritmētiskais +/- 95% vidējā aritmētiskā ticamības intervāls

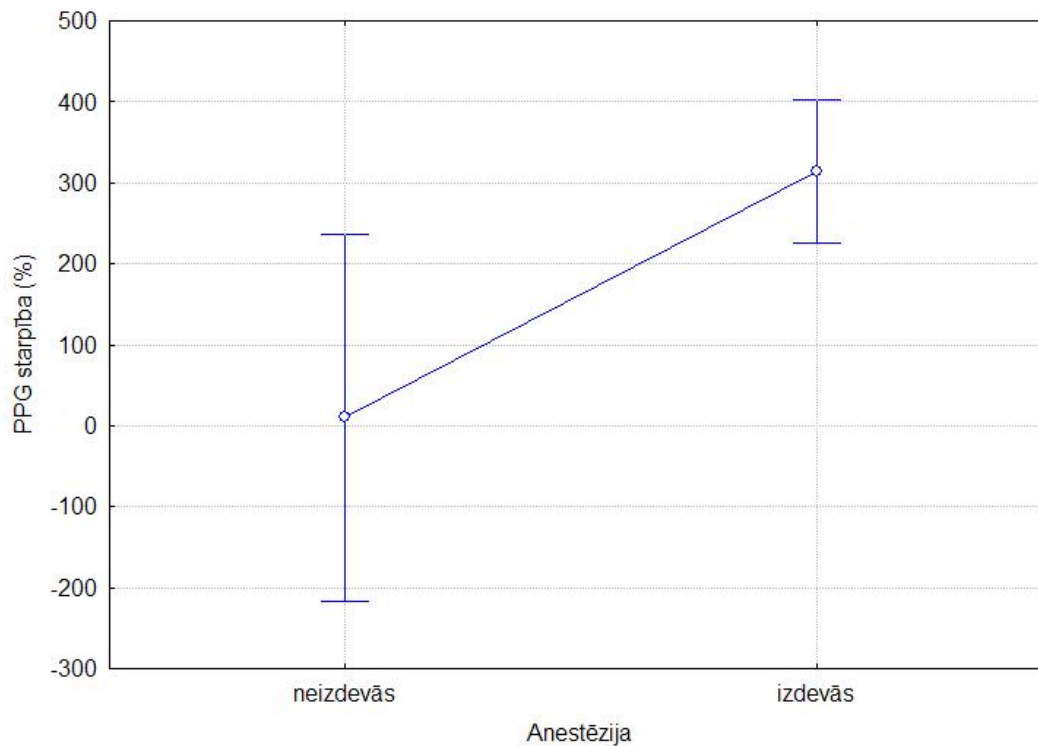
Attēls 3-5-12. PPG starpība starp „veiksmīgām”, „daļēji veiksmīgām” un „neveiksmīgām” PRA

Vidējā PPG starpība „veiksmīgām” PRA ir 0.678114 ± 0.060769 ; vidējā PPG starpība ar -95% konfidenci ir 0.553201; vidējā PPG starpība ar +95% konfidenci ir 0.803027; vidējais $\pm 95\%$ ticamības intervāls ir 0.124913; $n=27$.

Vidējā PPG starpība „daļēji veiksmīgām” PRA ir 0.269719 ± 0.062965 ; vidējā PPG starpība ar -95% konfidenci ir 0.107862; vidējā PPG starpība ar +95% konfidenci ir 0.431577; vidējais $\pm 95\%$ ticamības intervāls ir 0.161857; $n=6$.

Vidējā PPG starpība „neveiksmīgām” PRA ir 0.010161 ± 0.065784 ; vidējā PPG starpība ar -95% konfidenci ir -0.172484; vidējā PPG starpība ar +95% konfidenci ir 0.192805; vidējais $\pm 95\%$ ticamības intervāls ir 0.182644; $n=5$.

Attēla 3-5-13 grafiks rāda PPG pārmaiņas procentos „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” PRA ar vidējo ticamības intervālu $p=0.1564$.



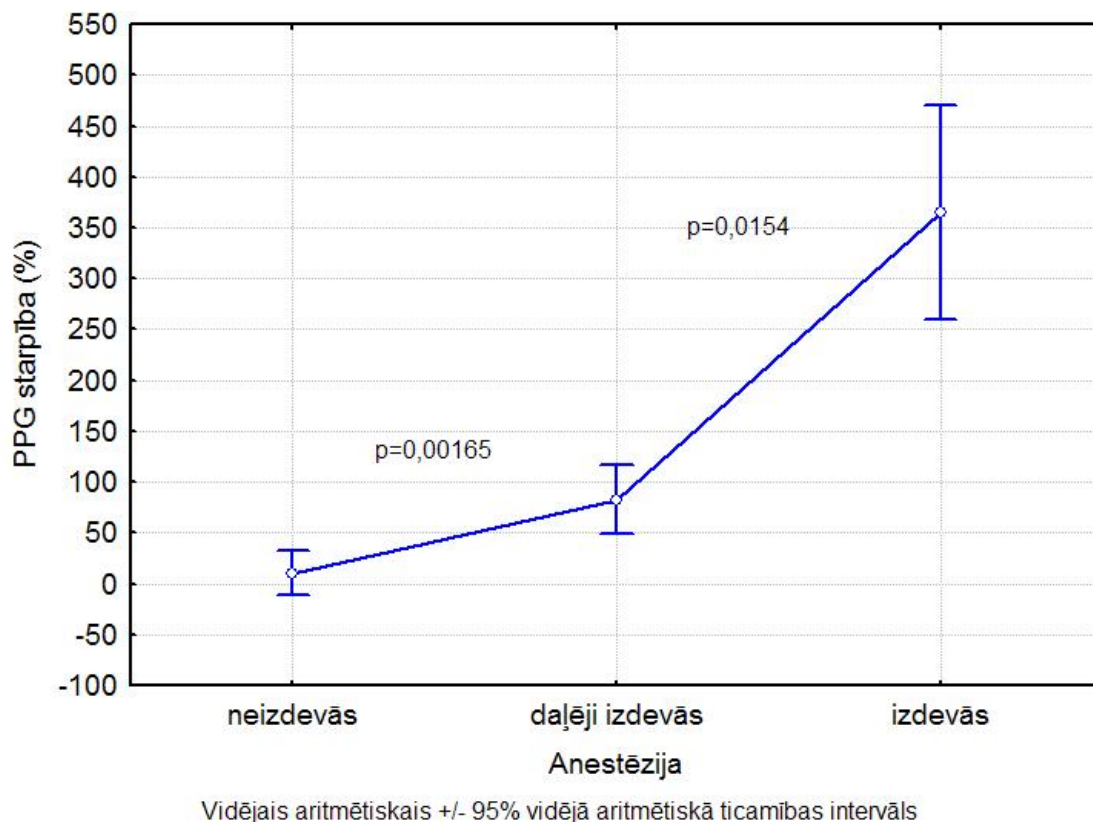
Vidējais aritmētiskais +/- 95% vidējā aritmētiskā ticamības intervāls $p=,01564$

Attēls 3-5-13. PPG pārmaiņas procentos „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” PRA

Vidējā PPG starpība procentos „veiksmīgajām” PRA ir $314\pm 43\%$; vidēji ar -95% konfidences intervālu 226%; ar +95% konfidences intervālu 402%; vidējais ticamības intervāls ir 88%.

Vidējā PPG starpība procentos „neveiksmīgajām” PRA ir $10\pm 112\%$; vidēji ar -95% konfidences intervālu 217%; ar +95% konfidences intervālu 237%; vidējais ticamības intervāls ir 227%.

Attēls 3-5-14 grafiski rāda PPG pārmaiņu starpību procentos „veiksmīgu”, „daļēji veiksmīgu” un „neveiksmīgu” PRA gadījumā. Starpība starp „veiksmīgām” un „daļēji veiksmīgām” anestēzijām ir statistiski ticama ($p=0.0154$). Starpība starp „neveiksmīgām” un „daļēji veiksmīgām” anestēzijām arī ir ticama ($p=0.00165$).



Attēls 3-5-14. PPG starpība procentos „veiksmīgām”, „daļēji veiksmīgām” un „neveiksmīgām” PAR

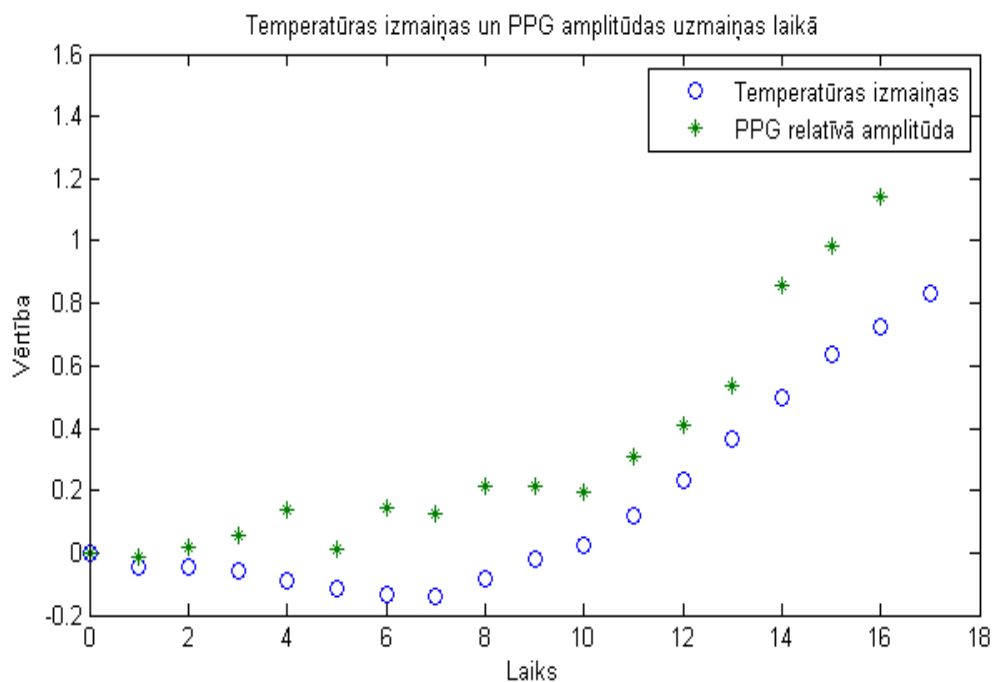
Vidējā PPG starpība procentos „veiksmīgām” PRA ir $366\pm 51\%$; vidējā PPG starpība ar -95% konfidenci ir 260%; vidējā PPG starpība ar +95% konfidenci ir 471%; vidējais $\pm 95\%$ ticamības intervāls ir 105%.

Vidējā PPG starpība procentos „daļēji veiksmīgām” PRA ir $83\pm 13\%$; vidējā PPG starpība ar -95% konfidenci ir 48%; vidējā PPG starpība ar +95% konfidenci ir 117%; vidējais $\pm 95\%$ ticamības intervāls ir 34%.

Vidējā PPG starpība procentos „neveiksmīgām” PRA ir $10\pm 8\%$; vidējā PPG starpība ar -95% konfidenci ir 12%; vidējā PPG starpība ar +95% konfidenci ir 32%; vidējais $\pm 95\%$ ticamības intervāls ir 22%.

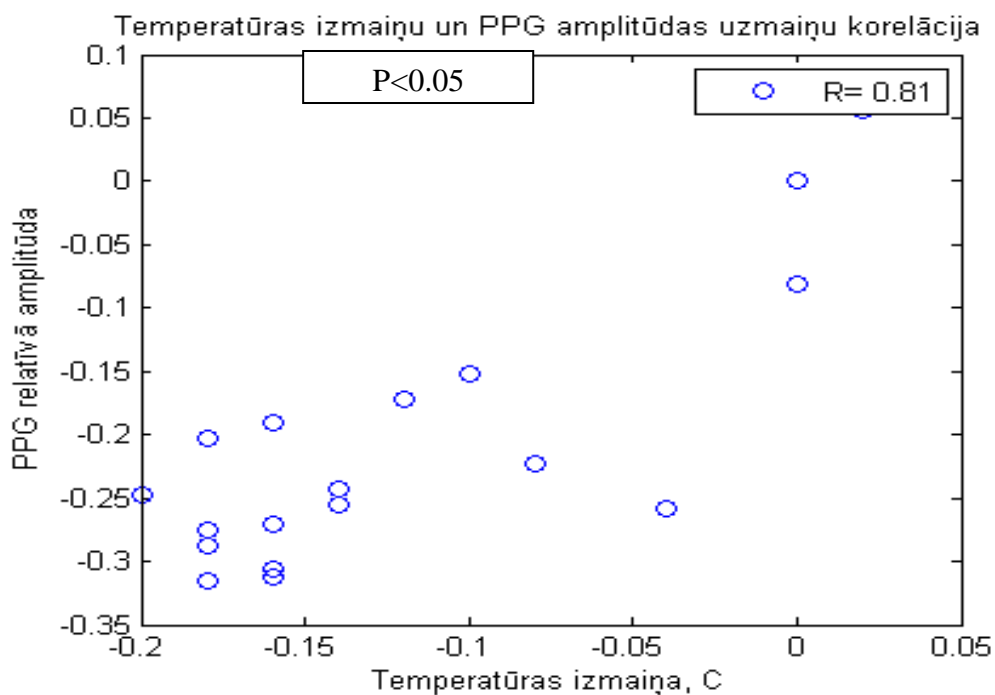
Temperatūras un PPG salīdzinājums

Izrēķinājām vidējās temperatūras pārmaiņas un PPGi amplitūdas pārmaiņas bez „laika nobīdes”. Tās redzamas vienā grafikā ar „veiksmīgām” PRA attēlā 3-5-15.



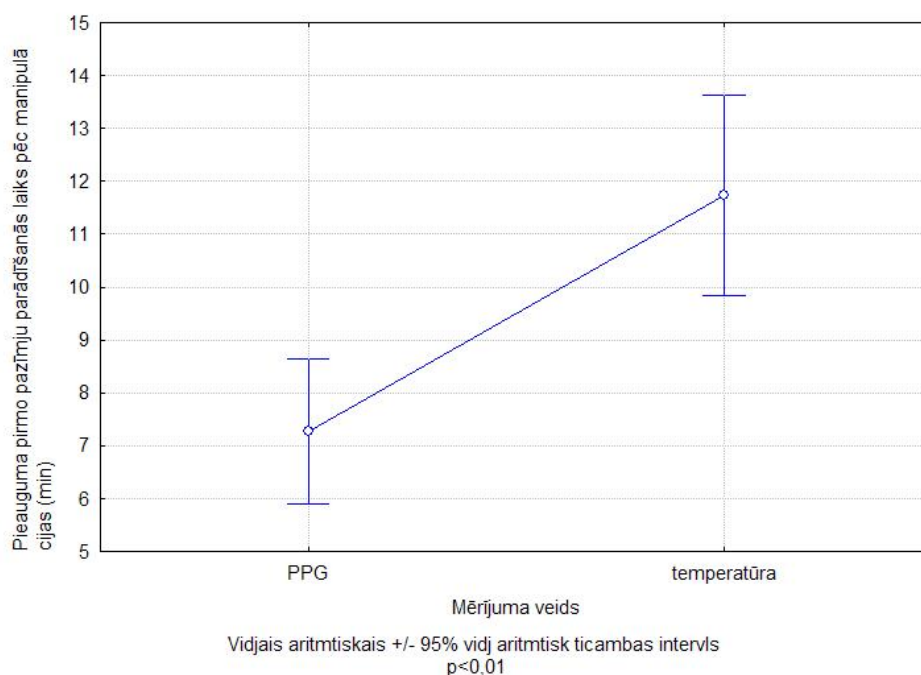
Attēls 3-5-15. Temperatūras un PPG amplitūdas pārmaiņas laikā

Konstatēta ādas temperatūras pārmaiņu un PPG amplitūdas pārmaiņu savstarpējā korelācija ar $R=0.81$ un $p<0.05$, kas parādīts attēlā 3-5-16.



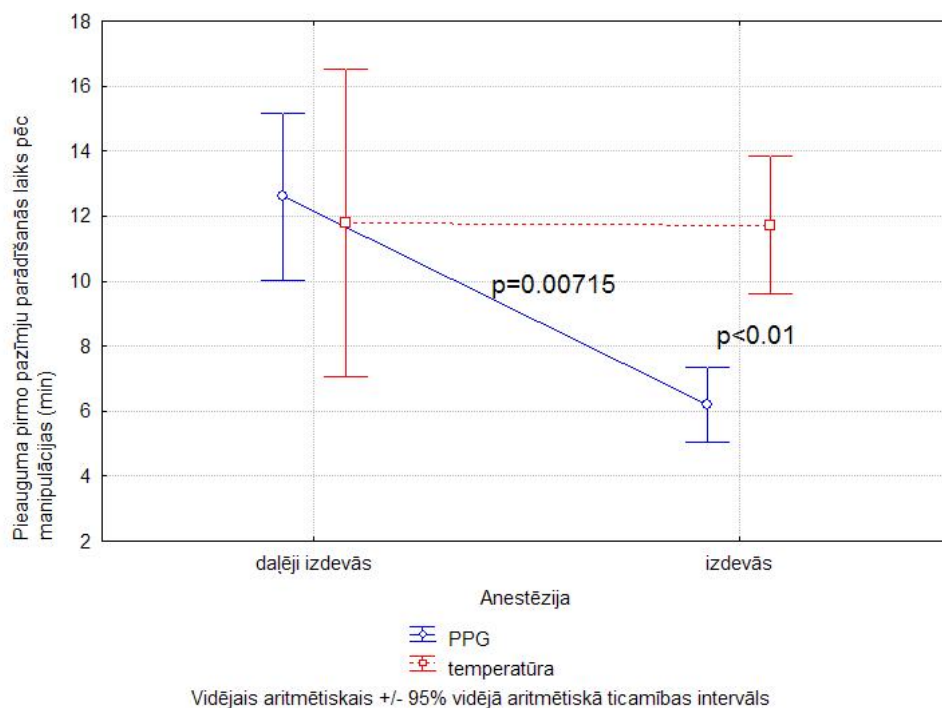
Attēls 3-5-16. T° un PPG amplitūdas pārmaiņu korelācija

Konstatētais laiks, kad fiksētas pirmās statistiski ticamās temperatūras un PPG pārmaiņas ($p < 0.01$), redzams attēlā 3-5-17.



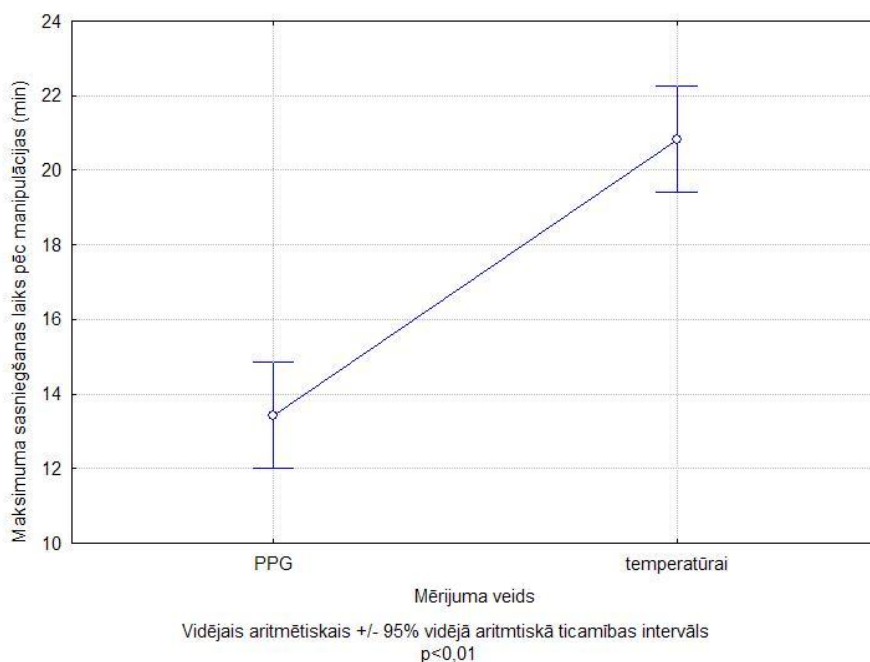
Attēls 3-5-17. Laiks, kad fiksētas pirmās statistiski ticamās temperatūras un PPG pārmaiņas

Pirmo pārmaiņu rašanās laiks no manipulācijas sākuma, kas konstatēts ar ticamības koeficientu $p < 0.01$, starp PPG un ādas temperatūrām „veiksmīgām” un „daļēji veiksmīgām” PRA. atspoguļots attēlā 3-5-18.



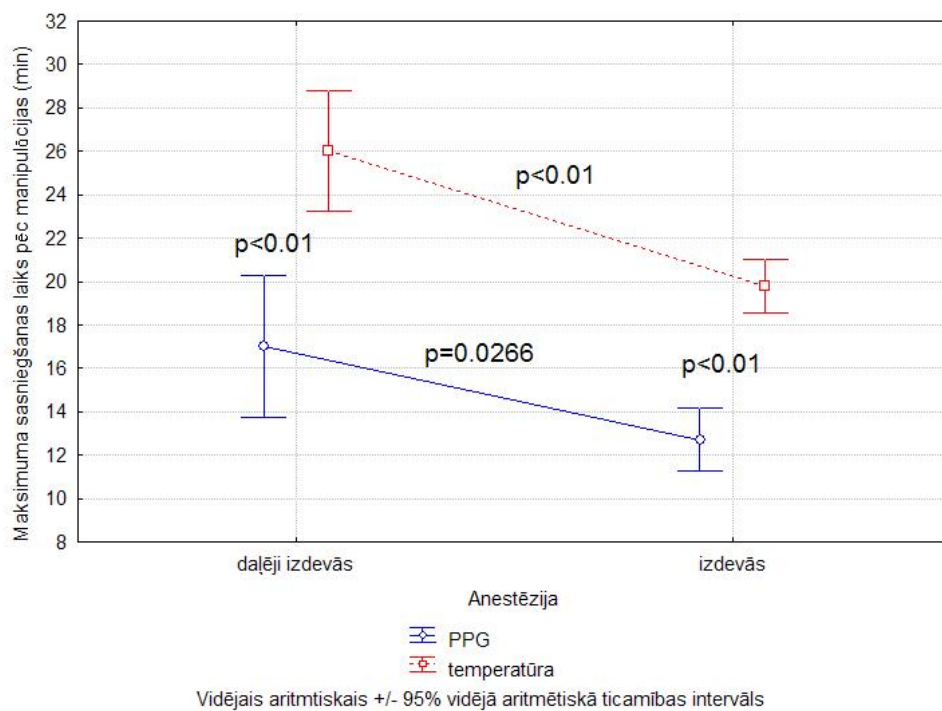
Attēls 3-5-18. Pirmo pārmaiņu rašanās laiks no manipulācijas sākuma

Maksimālā efekta sasniegšanas laiks pēc temperatūras pārmaiņām un PPG pārmaiņām redzams attēlā 3-5-19.



Attēls 3-5-19. Maksimālā efekta sasniegšanas laiks pēc temperatūras un PPG pārmaiņām

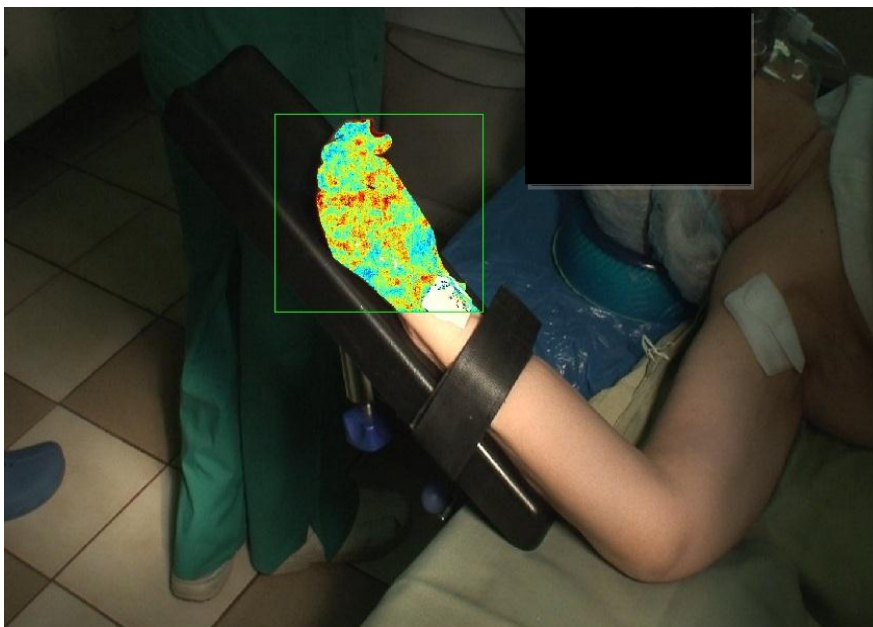
Maksimālā efekta sasniegšanas laiks pēc „veiksmīgām” un „daļēji veiksmīgām” PRA parādīts attēlā 3-5-20.



Attēls 3-5-20. Maksimālā efekta sasniegšanas laiks pēc „veiksmīgām” un „daļēji veiksmīgām” PRA

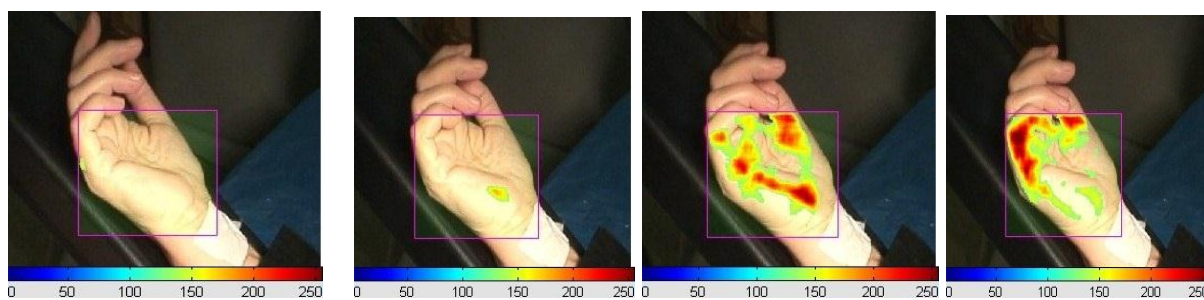
Fotopletismogrāfijas vizualizācija

Visas novērojamās PPG pārmaiņas var attēlot ne tikai grafiski, bet arī, izmantojot vizualizācijas „kartēšanas” tehniku („*mapping*” angl.), dinamiskā video attēlā. Novērojamo PPG pārmaiņu fragments reālajā laikā pēc „veiksmīgas” PRA ar vizualizācijas metodes tehnoloģiju ir parādīts attēlā 3-5-21. Pilnu video ierakstu ar dinamiskām PPG pārmaiņām var noskatīties darbam pievienotajā CD.



Attēls 3-5-21. Novērojamo PPG pārmaiņu fragments

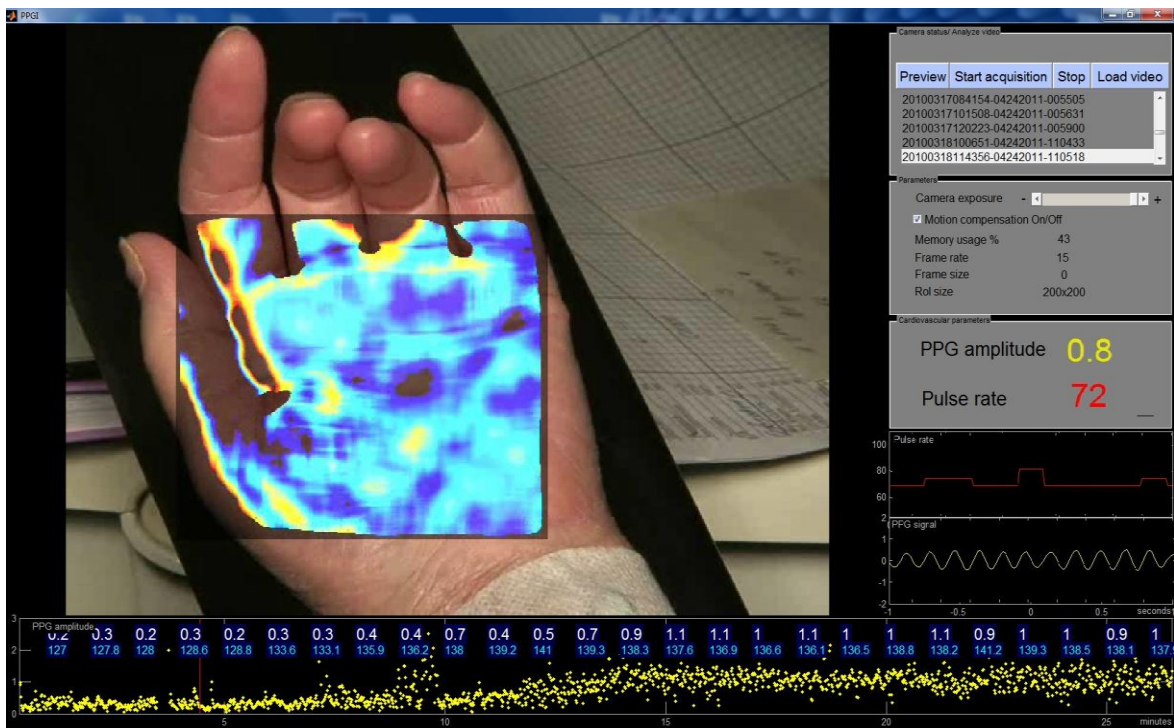
Novērojamo PPG pārmaiņu fragmenti pēc „veiksmīgas” PRA ar vizualizācijas metodes tehnoloģiju ir parādīti attēlā 3-5-22.



a) uzreiz pēc LA ievādes b) pēc 8 minūtēm c) pēc 12 minūtēm d) pēc 16 minūtēm

Attēls 3-5-22. Intereses zonas dinamiskā attēlu sērija „veiksmīgā” perifērā RA

Kopējo intereses zonas videoattēlu reālajā laikā viena ekrāna robežās apvieno ar dinamisko PPG “kartēšanu”, vienlaicīgi apvienojot ar dinamiskām PPG pārmaiņām relatīvās vienībās un procentos grafika veidā, turklāt reģistrējot gan aktuālo pulsa skaitu, gan PPG amplitūdas aktuālo vērtību - attēlā 3-5-23. Jaunizstrādātā ierīce nodota patentēšanai.



Attēls 3-5-23. Darba datora “interfeisa” prototips

3. Darba rezultātu kopsavilkums

Promocijas darba izstrādes laikā ar pieciem loģiskā secībā realizētiem pētījumiem iegūti rezultāti, kas ir statistiski ticami, izvērtē hipotēzes teorētiskos pieļājumus un detalizēti izskaidro, kur, kāpēc, cik izteiktas un tieši kādas pārmaiņas būtu sagaidāmas un kvantitatīvi reģistrējamas pēc LA ievadīšanas pacientam, veicot perifēro RA rokā. Izmantojot iegūtos rezultātus, mēs varam hronoloģiski secināt šādus rezultātus:

Pētījums Nr. 1

- Anestēziju skaits prevalējoši PNS vs US - 203 vs 39 - izskaidrojams ar US metodes novitāti (*Pelānis A., 2010*) un ierobežoto pieejamību Latvijas apstākļos anestezioloģijas veikšanai 2005. gadā (*Miscuks A., Jegere D., 2005*)
- Kopējais „veiksmīguma” rādītājs ir 69.9 % (PNS) 2005.gadā TOS.
- No iegūtajiem datiem izriet, ka tā saucamais „kopējais veiksmīgums” ir atkarīgs no iesaistītā un operācijai/anestēzijai potenciāli nepieciešamā anatomiskā apjoma. Jo lielāks ir potenciālais anatomiskais apjoms, jo lielāka nepilnvērtīga perifērā bloka iespēja. Tā lielākais neveiksmīgo anestēziju skaits novērots atsevišķām lielāka apjoma operācijām (US-33%). Lielākais veiksmīgo anestēziju skaits novērots

atsevišķām mazāka apjoma operācijām un, lietojot US metodi, sasniedz pat 100% ($p < 0.02$ un $p < 0.042$).

- Pētījuma laikā konstatēts, ka ļoti grūti adekvāti noteikt robežu starp „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” anestēzijām, tāpēc kā atsevišķu grupu izdala „daļēji izdevušās” RA. Tas viss tikai norāda uz nepieciešamību objektivizēt procesu, un šim nolūkam izmantot vienu no kvantitatīvajām metodēm.

Pētījums Nr. 2

- Pacienta ādas temperatūras mērīšana - izvēlētā kvantitatīvā metode sniedz objektīvu informāciju par perifērās RA sākšanās laiku un palīdz atšķirt „veiksmīgas” un „neveiksmīgas” perifērās reģionālās anestēzijas. Iegūtie dati ir statistiski ticami.
- Sekmīgo anestēziju skaits novērots 85.45% gadījumu (47 no 55), kas tomēr ir samērā zems rādītājs (*Tabula 3-2*).
- Var rekomendēt par LA efekta iestāšanās laiku *plexus brachialis* paduses līmenī uzskatīt 13. minūti.
- Var rekomendēt izmantot šo neinvazīvo, viegli realizējamo un informatīvo kvantitatīvo metodi kā papildu monitoringu perifērās RA gadījumā. Kā sliksni „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” anestēzijām rekomendējam uzskatīt pacienta ādas temperatūras paaugstināšanos sākot ar 0.5°C .
- Atbilstoši darba hipotēzei jādomā, ka temperatūras pārmaiņas ir sekundāras un notiek sakarā ar primāru perifērās asins plūsmas pieaugumu, sakarā ar adekvātu atgriezenisku jatroģēnu simpātisko bloku. Nepieciešami papildu pētījumi, lai noskaidrotu sekundāro (temperatūras) un primāro (perifērās asins plūsmas) pārmaiņu savstarpējo korelāciju perifērās RA gadījumā.

Pētījums Nr. 3

- Pēc LA ievades tiešām notiek perifērās asinsrites pārmaiņas, kuras ir iespējams konstatēt fotopletizmogāfijas metodē, par darba signālu izmantojot caurejošo sarkano un tuvu infrasarkanajai gaismu un reģistrēt ar adsorbējošo „kontakta” metodi
- Konstatēta statistiski ticama korelācija starp pacienta ādas temperatūras un PPG signāla pārmaiņām ietekmējamā zonā. (PPG1 $R=0.7763$, PPG2 $R=0.5719$, $p < 0.003$)
- Konstatētas PPG amplitūdas pārmaiņas pēc RA uz „aktīvās” rokas (PPG1 = 3.59 ± 2.21), kuras ir izteikti lielākas salīdzinot ar „simetrijas” roku (PPG2 = 2.81 ± 2.08) (*Attēls 3-3-2*).

- Izvēlētā kvantitatīvā metode sniedz objektīvu informāciju par RA iestāšanās laiku, tā kopā ar citām metodēm (klīniskām un kvantitatīvām – piem., temperatūras kontroli) palīdz atšķirt „veiksmīgas” un „neveiksmīgas” anestēzijas. Iegūtie dati ir statistiski ticami ($p < 0.003$).
- Nepieciešami papildu pētījumi, lai noskaidrotu pacienta ādas temperatūras un perifērās asins plūsmas pārmaiņas pēc „veiksmīgas” perifērās RA ar citādu reģistrācijas metodi. Jāmēģina izmantot PPG zaļās gaismas signālu un sākumā reģistrēt to ar „kontakta” remisijas metodi. Ja PPG signālu būs iespējams izmērīt, tad tas nozīmēs, ka teorētiski būs iespējams mērīt pārmaiņas no visas virsmas, nevis tikai no viena punkta.

Pētījums Nr. 4

- Praktiski pārbaudīta hipotēze, ka pēc RA notiek perifērās asinsrites pārmaiņas, kuras iespējams konstatēt fotopletismogrāfijas metodē, izmantojot gaismu no dažādām gaismas spektra daļām. Izmantojot gaismas zaļo spektra daļu, faktiski nomaina „kontakta” adsorbējošo metodi pret „kontakta” remisijas metodi.
- Par fotopletismogrāfijas darba signālu izmantota atstarotā zaļā gaisma, reģistrācija veikta ar remisijas kontakta metodi.
- Izmantojot pētījuma Nr.2 un Nr.3 pieredzi, paralēli kontakta PPG veikta ādas temperatūras mērīšana.
- Izdevās atrast korelāciju starp temperatūras un PPG signāla pārmaiņām.
- Konstatēts, ka ir korelācija starp analģēzijas esamību un PPG pārmaiņām.
- Salīdzinot iegūtos rezultātus no sensoriem, kas izvietoti divās dažādās vietās (pirmais uz anestezējamās rokas 3. pirksta, kuru inervē *n.medianus*; otrais uz anestezējamās rokas plaukstas palmārās virsmas un apakšdelma robežas), konstatē statistiski ticamu atšķirību starp mērījumiem dažādās lokalizācijās, atzīmē signāla labāku kvalitāti uz pirksta, tādējādi - vieglākas reģistrācijas un analīzes iespējas.
- Ja PPG signālu ir iespējams izmērīt ar atstaroto zaļo gaismu, tas nozīmē, ka teorētiski būs iespējams mērīt pārmaiņas no visas virsmas, nevis tikai no viena punkta, kā arī veikt „kartēšanu”. Tas nozīmē, ka ir nepieciešami papildu pētījumi, lai, ja iespējams, izveidotu jaunu metodi perifērās RA noteikšanai.

Pētījums Nr. 5

- Konstatēts, ka pēc adekvātas LA ievades notiek perifērās asinsrites pārmaiņas, kuras iespējams konstatēt ar vizualizācijas PPGI metodi, izmantojot atstaroto zaļo gaismu.
- analizējot grafiku attēlā 3-5-5 konstatējām, ka tomēr „veiksmīguma” noteikšanai ir būtiska nevis absolūtā T°C paaugstināšanās, kā uzskatījām iepriekš, bet savstarpējā sākuma/beigas pieauguma dinamika.
- Jo augstākas ir sākuma temperatūru absolūtas vērtības, jo vieglāk sasniedzams temperatūru maksimums pēc „veiksmīgas” simpātiskas blokādes. Un otrādi, jo zemāka ir sākuma temperatūra, jo grūtāk ir sasniegt ievērojamas pārmaiņas.
- Pēc temperatūras grafikiem var redzēt, ka ļoti bieži max T °C netika sasniegts, jo mērījumus pārtrauca pēc ķirurga pieprasījuma.
- Pastāv korelācija starp temperatūras un PPGI signāla pārmaiņām.
- Konstatēta korelācija starp anestēzijas iestāšanos, tās pakāpi un PPGI pārmaiņām.
- Bezkontakta fotopletismogrāfija ir efektīvāka un sensitīvāka kvantitatīvā metode perifērās reģionalās anestēzijas noteikšanai, salīdzinot ar klasiskajām klīniskajām metodēm, kā arī ar pacienta ādas virsmas temperatūras mērīšanu. Vizualizācijas metode būtiski atvieglo izvērtēšanas procesu.

IV. DISKUSIJA.

Viena no aktuālām reģionālās anestēzijas problēmām ir reģionālās anestēzijas efektivitāte. Vairumā gadījumu, neskatoties uz pacientu atlasī, adekvātu pacientu sagatavošanu, atbilstošu izpildes tehniku, kvalitatīvu medikamentu un materiālu izmantošanu, pastāv ievērojams neveiksmīgo reģionālo anestēziju skaits - 5-30% (*Patrick Narchi, 2006*). Turklāt neefektīvo perifēro reģionālo anestēziju skaits veido lielāko daļu no šī kopējā daudzuma. Salīdzinājumā ar centrālajiem neuroaksiālajiem blokiem, par kuriem publicējamā literatūrā ir pieejami tikai atsevišķi ziņojumi, perifērās RA efektivitāte ir plaši variabla un pat dažreiz ļoti zema. Tā, piemēram, ražotājs *Astra Zeneca* apkopoja SA, lietojot *bupivacaine*, laika posmā no 1993. līdz 2008. gadam un publicēja *BrJ Anesthesia* - tikai 20 - 129 Eiropā reģistrēto neveiksmīgo spinālo anestēziju skaitu katrā gadā (Attēls 1-3-3) no visām veiktajām SA.

Perifēro RA „veiksmīgums” pēc dažādu autoru atziņām variējas 52% - 92% gadījumu robežās (*Per Inberg et al, 2004*). No kā tas ir atkarīgs un ko var mainīt situācijas uzlabošanai?

Protams, vispirms viss atkarīgs no autoriem, pētījumu mērķiem, izmantotiem kritērijiem un izmatotās anestēzijas tehnikas. Tā, runājot par PNS vai US atbalstītu perifēro RA, figurē dati par 95-100% veiksmīgu anestēziju (*Liu SS et al, 2009*). Pēdējo 20 gadu pētījumos plaši analizētas ultrasonoskopijas atbalstītas reģionālās anestēzijas tehnikas priekšrocības, komplikācijas, īpatnības, rezultāti, piemēram, Skandināvijā (*Koscielniak-Nielsen ZJ, 2008*) vai citur Eiropā (*Casati et al, 2007; Xavier Capdevila, 2008; Duggan E, 2008; Bigeleisen PE, 2006; Perlas A, 2006; Gray AT, 2005; Schwemmer U, 2005; Soeding PE, 2005; Bigeilesen PE, 2004; Retzl G, 2001; Guzeldemir ME, 1995; Ting PL, 1989*).

Salīdzinot abas perifērās reģionālās anestēzijas metodes (PNS vs US), ir sastopami gan „pozitīvie” (*Chan VW et al, 2007*), (*Casati A et al, 2007*), gan „negatīvie” pētījumi (*Beach M. et al, 2008*). Pastāv arī publikāciju metaanalīzes US vs PNS, ir ļoti plaši citēta analīze, kur iekļauti 667 pētījumi (*Abrahams MS et al, 2009*). *Abrahams* konstatē, ka jebkurai perifērai RA metodei neizdošanās „*risk ratio*” ir 0.41 ar ticamību 95%; ticamības intervāls ir 0.26-0.66 un $p < 0.001$.

Visos šajos pētījumos ir runa par īsāku manipulācijas laiku, mazāku komplikāciju skaitu, samazinātām LA devām, bet visu metožu kopējais „veiksmīgums” (un te visu autoru viedokļi sakrīt), paliek vienā līmenī. Līdz ar to mēs arī pieņemam, ka anestēzijas iznākums ir mazāk atkarīgs no anestēzijas tehnikas, bet galvenokārt no personāla pieredzes un trenētības pakāpes.

Anesteziologa adekvātais profesionālais līmenis izpaužas prasmē atpazīt neveiksmīgo reģionālo anestēziju un preventīvi rīkoties atbilstoši situācijai. Svarīgākais moments ir noteikt RA iestāšanās brīdi un izvērtēt tās kvalitāti pacientiem ar dažādiem apziņas līmeņiem.

Diemžēl, šajā jautājumā acīmredzami trūkumi un ierobežojumi teorētisku zināšanu izmantošanai ikdienas praksē, kā izradās, nav raksturīgi tikai Latvijai, arī citur pasaulē šajā aspektā piedzīvotas grūtības. Apstiprinājumu tam atrodam to speciālistu starptautiskajās publikācijās, kuri nodarbojas gan ar rutīnas RA operācijas zālēs, gan ar apmācības procesu (*Borgeat A, 2009; Chekminev S.Y. et al, 2006; Bernards C.M. et al, 2008*).

Jāatzīmē, ka līdz šim Latvijā nebija publikāciju par perifērās RA efektivitāti, un līdz ar to salīdzināšanai tika izmantoti tikai starptautiski dati. Pasaules dati par kopējo perifērās RA „veiksmīgumu” ir ļoti atšķirīgi, tie atkarīgi no tā, kādu perifērās RA metodi (US vai PNS) (*Redborg K.E. et al, 2009; Sia S. et al, 2010; Eifert B. et al, 1994*) konkrētais autors atbalsta, bet vidēji svārstās 85-100% robežās.

Lai apzinātu esošo situāciju Latvijā perifērās RA jomā, vispirms tika veikta pieejamo datu analīze. Mūsu retrospektīvajā pētījumā (pētījums Nr. 1) saņemtie rezultāti liecina par to, ka diezgan grūti atrast skaidru robežu starp „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” anestēzijām, īpaši ja to vērtē, pamatojoties tikai uz dokumentāciju. Retrospektīvai analīzei ir gan negatīvie, gan pozitīvie momenti. Negatīvie - ir grūti analizēt indikācijas iemeslu un motivāciju atsevišķu sedatīvo un narkotisko medikamentu ievadei. Mēs pat bijām spiesti izdalīt kā atsevišķu grupu „daļēji izdevušās” anestēzijas, jo diferenciācija starp ne visai perfekto bloku un pacienta vēlmi gulēt operācijas laikā retrospektīvā analīzē nav izvērtējama. No otras puses pozitīvie - pētīt dokumentāciju, tika panākta zināma depersonalizācija, izslēgta pašnovērtēšanas subjektīvā komponente. Mūsu pētījumu kopējie „veiksmīguma” dati praktiski ir līdzvērtīgi pasaules datiem un svārstās starp 87.1% (US) un 69.9 % (PNS) anestēziju (2005. gadā Latvijā TOS. *Attēls 3-1-2*).

Kā jau teikts „veiksmīgas” anestēzijas problēma nav tikai izolēta perifērās RA problēma (*Martini O et al, 2009*). Piemēram, runājot par centrālām neuroaksiālām blokādēm, publicētajā literatūrā arī ir sastopami dati par to neefektivitāti, neskatoties uz atbilstošu izpildes tehniku (*Fettens P.D.W. et al, 2009*).

Jautājums par analgēzijas līmeņa monitoringu reģionālās anestēzijas laikā un anestēzijas dziļuma monitoringu vispārējās anestēzijas laikā šobrīd ir visai populārs (*Fahlenkamp et al, 2010; Kallio H, 2008; Guignard B., 2006*). Jāatzīmē, ka līdzīgus jautājumus nākas risināt ne tikai anestezioloģijā, bet arī RAN - dziļi sedētiem pacientiem (*Curtis N, 2008*), pie invazīvām metodēm, hronisko sāpju pacientu ārstēšanā. Īpašu daļu no publikāciju kopuma sastāda pētījumi un eksperimenti, kas būtu attiecināmi uz sāpju līmeņa noteikšanas izpēti (*Katz J, 2009; Gartner R, 2008; Kehlet H, 2006*).

Sāp, vai nesāp? Anesteziologam, lai pienācīgi izpildītu savas funkcijas mūsdienās, vairs nepietiek zināt atbildi uz klasisko „Sāp, vai nesāp?”. Anesteziologam ir jāzina - sāpēs vai nesāpēs. Promocijas darba pētījumos izmantoja mūsdienīgu RA tehnikas aprikojumu. Vispirms

detalizēti apkopojā pieejamos datus par tehnisko ierīču ieviešanas vēsturi un pašu aprīkojuma klasifikāciju (*Vasilevskis E., 2008*).

Kā zināms, analģēziju un anestēzijas dziļumu pagaidām nevar izmērīt tiešā veidā. Jaunas iespējas modernu monitorēšanas iekārtu jomā anestezioloģijā ir vitālas, un pasaulē ir zināmas autoru grupas, kas pēdējo piecu gadu laikā pamatoti cenšas radīt fizioloģisko monitorēšanu anestezioloģijā jaunā līmenī (*Jeremy P Daniels et al, 2009*). Tomēr, jau esošas sāpes mēs protam ļoti labi diagnosticēt, pat ja pacients nav līdzestīgs vai ja ir vispārējā anestēzijā. Ja neskaitām farmakodinamiskās metodes, VA laikā visbiežāk tiek izmantotas vienkāršas, bet retāk komplikētas objektīvās metodes. No vienkāršām parasti akcents ir uz autonomās nervu sistēmas reakcijas monitorēšanu (*Kaul H.L., 2002*). Tam paredzētie pacienta vitālo funkciju monitoringa standarta risinājumi (EKG, SPO₂, NIBP, CO₂) ir obligāti katram pacientam un iekļauti visās vadlīnijās (*Neal JM et al, 2010*), arī LR.

Komplikētas objektīvās metodes izmanto retāk savas nepieejamības un neparocīguma dēļ. No visa piedāvāta klāsta (spontāna virsmas elektromiogrāfija (*SEMG*), zema ezofageāla kontraktilitāte (*LOC*), sirds frekvences variabilitāte (*HRV*), bispektrāls indekss (*BIS*), mediāna frekvence (*MLAEP*), spektrāla malas frekvence (*SEF-spectral edge frequency*), dzirdes izraisītais potenciāls, vizuāli izraisītais potenciāls, somatosensori izraisītais potenciāls, dzirdes izraisītā potenciāla indekss utt.) Latvijā mēs praktiski izmantojam tikai BIS. Modernākas tehnoloģijas sāpju novērošanai un mērīšanai balstās uz pacienta galvas smadzeņu vizualizācijas iekārtu izmantošanu, piemēram, *fMRI* vai pozīcijas emisijas tomogrāfija (*position emission tomography*). Citas metodes ir: ultrasensitīva augsti konduktīva interferometrija (*ultrasensitive super conducting quantum interference device*), entropijas monitorings, pacienta stāvokļa monitorings (*PSI*), cerebrālā stāvokļa monitorings (*cerebral state monitoring, CSI*), Snap Indekss utt. (*Grover VK, 2008*). Diemžēl šāda veida monitorings ikdienā pagaidām arī nav parocīgs, tam ir svarīgs nekustīgums, tas ir laikietilpīgs un arī dārgs. Citi autori pie objektīvām metodēm pieskaita lāzera-Doplera plūsmas mērīšanu (*laser Doppler flowmetry*), no pletismogrāfijas atvasinātos rādītājus un zīlītes dilatācijas mērīšanas ierīces (*Guignard B, 2006*). Cits piemērs ir standarta anestezioloģijas monitoringa EKG, SPO₂, kapnogrāfs, BIS apvienota ar PC (*Medasense, Israel*) kompleksa izmantošana sāpju prolongētai monitorēšanai. Zīmīgi, ka atkal tika piedāvātas tikai sāpju konstatācijas iespējas.

RA monitorēšana, kas būtībā ir preventīvs process, potenciāli varētu būt tuvāk *preemptive* sāpju novēršanas problēmu risināšanai. Reģionālās anestēzijas līmeņa noteikšana būtībā ietver pacienta sensorās funkcijas pārbaudi un fizioloģiskās reakcijas noteikšanu pēc LA ievades. Adekvāta sensoru funkciju pārbaude ir iespējama, ja pacients ir samaņā un pietiekami līdzestīgs. Latvijā vispopulārākie un oficiāli reģistrētie ir klīniskās izmeklēšanas veidi (2008. gadā saskaņā

ar Latvijas Sāpju izpētes biedrības rekomendācijām (*Logina I, 2007*) un Eiropas Neurologu Asociāciju Federācijas 2004. gada vadlīnijām (*EFNS, 2004*). Kvantitatīvie sensorie testi (piem., adatas ar atsvariem (*Chan et al., 1992*) vai *von Frey* vai *Semmes-Weustein monofilaments*) anesteziologiem ikdienā Latvijā nav pieejami. Iespējamie elektrofizioloģiskie izmeklējumi (piem., neurogrāfija un sensorie izsauktie potenciāli (*Logina I, 2007*)) nav izmantojami operācijas zālēs, jo ir laikietilpīgi. Citi laboratorijas testi arī neiekļaujas tradicionālajā pacienta pirmsoperācijas sagatavošanas laika limitā.

Termometrija un termogrāfija. No praktiskā viedokļa mums bija nepieciešams kvantitatīvs tests ar tūlītēju atbildi, kurš nebūtu atkarīgs no pacienta samaņas stāvokļa. Lai risinātu šo problēmu, sākumā mēs izvēlējāmies termometriju (pētījums Nr.2) kā viegli pieejamu, kvantitatīvu, neinvazīvu un fizioloģisku metodi. Pie līdzīgas izvēles nonāca un pieturējās arī citi kolēģi, bet ar atšķirīgiem pētījumu dizainiem un pretrunīgiem secinājumiem (*Kattaneo Ch.G. et al, 2000; Stevens M.F. et al, 2006, 2007; Kimura T. et al, 1992; Werdehausen R. et al, 2007; Galvin E.M. et al, 2006; Frank S., 2000; Minville V. et al, 2009; Jetzek-Zader et al, 2006; Chamberlain D. et al, 1986*). Piemēram, tiek pētīta centrālas neuroaksiālas blokādes ietekme uz ādas temperatūru, iespējas to kontrolēt ne tikai pieaugušiem (*Chamberlain D. et al, 1986*), bet arī bērniem (*Jetzek-Zader et al, 2006*). *Stevens* 2006. gadā salīdzināja kombinēto *n.femoralis* un *n.ischiadicus* blokus ar centrālām neuroaksiālām anestēzijām. Konstatēta lēna ādas temperatūras paaugstināšanās pēc *n.ischiadicus* bloka, pēc *n.femoralis* bloka temperatūras pārmaiņas $<1^{\circ}\text{C}$, turpretim $\geq 1^{\circ}\text{C}$ pēc epidurālas anestēzijas un *n.ischiadicus* bloka. Izdarīti secinājumi par metodes zemu praktiskumu vēlīnu rezultātu dēļ (*Stevens M.F. et al, 2006; Werdehausen R. et al, 2007*). *Galvins* izmantoja infrasarkano termogrāfiju ādas temperatūras analīzei pēc perifēras RA (*Galvin E.M. et al, 2006*). Pēc mūsu datiem perifēras RA gadījumos (pētījums Nr.2) testa jutība un ātrums ir adekvāti ātri un atbilstoši simpātiskā bloka iestāšanās laikam: temperatūras paaugstināšanās vērojama veiksmīgas anestēzijas gadījumā – $\Delta T1^{\circ}=1.47\pm 0.98^{\circ}\text{C}$, tā ir maksimāla 13. minūtē. Gadu vēlākā pētījumā līdzīgus datus ieguva arī *Stevens un kolēģi* 2007. gadā. Tomēr 2007. gadā *Werdhausen un citi* (*Werdehausen R. et al, 2007*), analizējot ādas temperatūras pārmaiņas pēc dažādiem RA veidiem ar termogrāfijas metodi, secināja, ka ādas temperatūras pārmaiņas nevar izmantot analgēzijas vai simpātiskā bloka noteikšanai. Kā argumentu izmantoja fizioloģisko momentu, kad vēlāk pieplūstoša „aukstas asins” plūsma pazemina paaugstinātās temperatūras efektu (par 1.3°C) pēc simpātiskā bloka iestāšanās. Pēc dizaina līdzīgu pētījumu, bet ar gandrīz pretēju secinājumu veica *Tejs Jansen un citi* 2010. gadā, arī izmantojot termogrāfijas metodi. Pēc viņu datiem selektīvs bloks *n.medianus* un *n.ulnaris* atbilstošās inervācijai zonas paaugstina ādas temperatūru ($5.1\pm 2.5^{\circ}\text{C}$), bet *n.musculocutaneus* un *n.radialis* izolētie bloki temperatūru nemaina. Savos secinājumos *Jansen* termogrāfijas

metodi uzskata par praktisku un izmantojamu *plexus brachialis* bloka efektivitātes novērtēšanai (*Jansen T et al, 2010*). Mūsu pētījumā temperatūras sensors bija izvietots uz *n.medianus* inervācijas zonas robežas - diezgan perifēri, tas arī noteica rezultātus. *Hermanns H un citi 2007.* gadā atklāja temperatūras monitorēšanu kā ierobežotu metodi *plexus* bloka efektivitātes noteikšanai, jo ādas T° pārmaiņas notiek vēlāk nekā sensorā un motorā bloka iestāšanās (*Hermanns H et al., 2007*). *Vincent Minville un citi 2009.* gadā, izmantojot infrasarkano termometru, pozitīvi novērtēja termometrijas metodes izmantošanas iespēju *plexus infraclavicular* blokiem (*Minville V et al, 2009*). Mūsu pētījumā, izmantojot maksimāli viegli pieejamo, standarta monitorā iekļauto termosensoru, nonācām pie līdzīgiem pozitīviem secinājumiem un noteicām ādas temperatūras paaugstināšanās „sliksni” - 0.5 C° - pēc „veiksmīgām” RA.

Absorbējoša fotopletismogrāfija (PPG). Pēc šo brīžiem pretrunīgo publicēto datu salīdzināšanas kļuva skaidrs, ka ir nepieciešama dziļāka RA efekta izpēte - ne tikai virsmas temperatūras, bet kompleksā ar asins plūsmas pārmaiņām. Asins plūsmas un T° pārmaiņas pēc intratekālas un epidurālas LA ievadīšanas 2005. gadā *J. Adolphsa un citi* pētīja žurkām, izmantojot lāzera-Doplera un termogrāfijas tehniku (*Adolphsa J. et al, 2009*). Pēc simpātiskās blokādes ādas T° pārmaiņas notiek sakarā ar perifērās asins plūsmas pieaugumu, realizējot termoregulācijas mehānismu (*Charkoudian N, 2003*). Kā nākamo loģisko soli RA monitorēšanai mēs gribējām izmantot lāzera-Doplera metodi. Diemžēl, Latvijā šī metode ir pieejama tikai laboratorijas apstākļos. Jo, kā izrādījās, ar šo metodi operācijas zāles apstākļos būtu apgrūtināti veikt pētījumus un apvienot to ar ikdienas ķirurģijas prasībām aparatūras izmēra un nepieejamības dēļ. Kā vēl vienu kvantitatīvu pacienta ādas asins plūsmas monitorēšanas iespēju mēs apsvērām fotopletismogrāfijas metodi. Fotopletismogrāfijā ir iespējams reģistrēt raksturīgas asins plūsmas pārmaiņas, kas novērojamas jebkuras vaskulāras dilatācijas vai vazokompresijas gadījumā, piemēram, pārmaiņas, kas saistītas ar vazoaktīvo medikamentu lietošanu (*Takazawa K. et al, 1998*). Nav izņēmums arī vazodilatācija pēc perifērā simpātiskā bloka. Vēl 1993. gadā pulsa oksimetriju *Mineo R un Sharrock NE* veiksmīgi mēģināja izmantot lumbālās epidurālās anestēzijas noteikšanai (*Mineo R. et al, 1993*). Citi Itālijas autori - *Peduto VA, Tani R, Pani S* - nesekmīgi izmantoja pulsa oksimetriju RA noteikšanai, jo pētīja tikai SpO2 līmeni (*Peduto VA. et al, 1994*). Ķīnas speciālisti *Xue FS un citi 1996.* gadā pētīja pulsa viļņa kavēšanās laiku, kas progresīvi samazinājās pēc RA, izmantojot pulsaoksimetriju (*Xue FS. et al, 1996*). Turpretī, *Galvin 2006.* gadā izskatīja iespēju izmantot standarta PFI (*periferal flow index*) kā indikatoru perifērās RA konstatēšanai (*Galvin EM et al, 2006*), kas izrādījās ļoti veiksmīgi. Starp citu, *Mowafi HA 2005.* gadā izvērtēja iespēju izmantot fotopletismogrāfiju ne tikai kā anestēzijas iestāšanas indikatoru, bet arī drošības nolūkos - kā LA intravazālas injekcijas radītāju (*Mowafi*

HA., 2005). *Ginosar* un citi 2009. gadā salīdzināja simpatektomijas pakāpi pēc atšķirīgām *bupivacaini* devām (*Ginosar Y. et al, 2009*), izmantojot pulsa oksimetriju, un nonāca pie pozitīva slēdziena par metodes efektivitāti.

Asins plūsmas monitorēšanai pētījumā Nr. 3 mēs izvēlējamies absorbējošo pletismogrāfijas metodi, kur tika izmantota tradicionāla sarkana un „tuvu infrasarkanai gaisma” (*NIR - near infra red*) ar viļņa garumu attiecīgi 650 nm un 880 nm. Gaismas avots un uztvērējsensors ir praktiski identiski visur plaši lietotai pulsa oksimetrijai, tas arī noteica mūsu sākotnējo izvēli. Vienīgi, lai varētu veikt mērījumus un PPG signāla apstrādi, bija nepieciešams izmantot speciālo ierīci un atbilstošu datora programmu LU ASI (*Erts R et al, 2009*). Mēs izmantojam absorbcijas metodi PPG signāla reģistrācijai, jo uz šī principa pamata arī darbojas lielākā daļa no klasiskiem pulsa oksimetriem. Pētījumā Nr. 3 tika konstatēta statistiski ticama korelācija starp T° pārmaiņām un PPG signālu, ko ļoti labi varējām redzēt „veiksmīgo” anestēziju gadījumos (T° un PPG1 korelācija, $R=0.7763$, $p<0.003$). „Neveiksmīgo” anestēziju gadījumos korelācija izrādījās nedaudz vājāka (T° un PPG2, $R=0.5719$, $p=0.003$), tas izskaidrojams ar zemāku PPG2 signāla amplitūdu. PPG signāla monitorēšanai bija pieejami divi kanāli un līdz ar to bija iespēja, izvietojot sensorus uz pacienta abām rokām, izpētīt ne tikai korelāciju starp T° un PPG, bet arī atzīmēt sadarbības reakcijas pakāpi. Tā, piemēram, Vācijas kolēģi publicēja datus par sadarbības reakcijām pēc RA. Mūsu pētījumā konstatējām, ka sadarbības reakcija tiešām pastāv (korelācija starp PPG1 un PPG2 $p<0.05$, $R^2=0.5385$, $R=0.7338$), bet savstarpēji salīdzinot 1. un 2. kanālus ir ievērojama relatīvas amplitūdas proporcijas starpība (piemēram, 3. minūtē: PPG1-1.000 un PPG2-1.000, bet 13. minūtē: PPG1-2.455 un PPG2-1.783), praktiski nav ievērojamas savstarpējas nobīdes laikā. Uzskatījām, ka sadarbības reakcijas esamībai šajā gadījumā ir tikai akadēmiska interese, to nevar izmantot kā kontroli. Korelācijas esamībai starp T° un PPG ir visai praktiska nozīme: izmantojot abas metodes vienlaicīgi, parādās iespēja precīzāk noteikt RA iestāšanās momentu, jo abas metodes ir kvantitatīvas. Savienojot abu metožu rezultātus, mēs varam paaugstināt mērījumu sensitivitāti.

Reflektorā fotopletismogrāfija, izmantojot zaļās gaismas signālu. Deviņdesmitajos gados tika atklāts, ka PPG signāla izcelsme ir atkarīga no iestartotās gaismas viļņa garuma. Izrādās, ka 560 nm viļņa garumu nosaka asins tilpums. Savukārt viļņu garums 940 nm izraisa eritrocītu reorganizāciju (*Lindberg LG et al., 1991*). Ar līdzīgiem rezultātiem *Cui W un citi* 1990. gadā pētīja audu un iestartotās gaismas viļņa garumu attiecības (*Cui W et al, 1990*). Pētījumos tika konstatēts, ka PPG signāla mainīkomponentes maksimums ir 510-590 nm (*Johansson A., 2000*), to ietekmē arī attālums starp gaismas avotu un uztvērēju. Jo lielāks ir attālums, jo dziļāku iespiešanos var reģistrēt (*Allen J., 2007*). Izejot no tā, radās doma pētījumā Nr. 4 PPG signāla monitorēšanai izmantot tieši zaļās gaismas spektra daļu ar viļņa garumu 525 nm.

Savos pētījumos Japānā *Maeda, Y. u. c.* 2008. gadā salīdzināja infrasarkanā un zaļo spektra starojumu reflektorās pletismogrāfijas signāla kvalitātes novērtēšanai un arī konstatēja zaļās gaismas priekšrocību (*Maeda Y. et al, 2008*). Zaļās gaismas potenciālu reflektorā pletismogrāfijā atzīmēja *Grubb MR un citi* 2008. gadā, pētot jaundzimušo asinsriti reanimācijas nodaļā (*Grubb M.R. et al, 2008*).

No mūsu iepriekšējiem pētījumiem jau noskaidrojām, ka gan ādas temperatūras pārmaiņas, gan reģistrējamais sarkanajā un tuvu infrasarkanai gaismā PPG signāls labi korelē ar simpātisko bloku pēc „veiksmīgas” perifērās RA (pētījums Nr.3). Mūsu pētījumā Nr. 4 arī izmantojām zaļās gaismas PPG signālu un konstatējām līdzīgu korelāciju starp ādas temperatūras pārmaiņām un PPG signālu. Izmantoti divi PPG sensori, kuri tika izvietoti 1) uz trešā pirksta un 2) blakus temperatūras sensoram uz plaukstas palmārās virsmas un apakšdelma robežas. Pirmā PPG sensora gadījumā rajons atbilst *n.medianus* inervācijai, bet otrais sensors faktiski bija novietots blakus *n.musculocutaneus* inervācijas zonai. Šī atšķirīgā sensoru lokalizācija izskaidro dažādu PPG signāla amplitūdu un sasaucas ar *Tejs Jansen u.c.* termogrāfisko pētījumu rezultātiem 2010. gadā. Savā darbā dāņu kolēģi konstatēja *n.musculocutaneus* inervācijas zonas nespēju mainīt ādas temperatūru, atbildot uz simpātisko bloku. Pagaidām nav atbildes, kāpēc notiek tieši tā. Kā teorētisko izskaidrojumu piedāvājam divas versijas:

1) *n.musculocutaneus* paduses līmenī (LA injekcijas vietā) ir relatīvi attālināts no lielajiem asinsvadiem (*a.axillaris*) un anatomiski neiet kopējā nervu un asinsvadu kūlītī, salīdzinājumā ar, piemēram, *n.medianus*.

2) tomēr anatomiska arterio-venoza anastomožu tuvība plaukstas palmārajā virsmā salīdzinājumā ar apakšdelma volāro virsmu nosaka šo diferenci.

Bezkontakta fotopletismogrāfija. Izmantojot mūsu pētījumā Nr. 4 remisijas zaļo PPG signālu, ir ierobežota sensoru izvietošana. Proti, konstatējām, ka signālu nevar pierakstīt no vairākām vietām vienlaicīgi. Dažādu fotopletismogrāfijas ierīču sensoru dizains neatrisina šo problēmu (*Zikićin D., 2008; Wang Lei et al, 2007*).

Līdzīgus ierobežojumus termometrijas laikā atrisina ar infrasarkanās termogrāfijas palīdzību. Respektējot izmaksas, kas asociējas ar termogrāfijas kameras izmantošanu operācijas laikā to plaša lietošana iespējama tikai nereālajā perspektīvā. Kā risinājumu mūsu gadījumā pētījumā Nr.5 mēģinājām izmantot jauno metodi - bezkontakta vizualizācijas fotopletismogrāfiju (PPGI). Izmantojot zaļo gaismas spektra daļu, iespējams veikt mērījumus ne tikai kādā vienā punktā, bet uz visas filmētās virsmas.

Mūsu rezultāti liecina, ka iespējams noteikt tās minimālās atstarotās gaismas svārstības, ko izraisa mainīgā pulsējošas asins plūsma. Tieši izmantojot zaļās gaismas remisijas PPGI, ir divas priekšrocības. Pirmkārt, maksimālā gaismas absorbcija koncentrēta tieši zaļajā spektra daļā

(Allen J., 2007; Grubb M.R. et al., 2008). Otrkārt, nepulsējošā komponente, kas sastāv no ādas virsmas atstarotās vai audos absorbētās gaismas, neietekmē pulsējošo asins komponenti. Pulsējošās asins komponente atkarīga no pacienta sirds frekvences un parasti ir 0.7-1.5 Hz, tas ļauj izmantot analīzei frekvenču domēnu. PPGI signāla attiecība pret fonu atkarīga no kadru kvantuma N un uzlabojas no mērīšanas ilguma laika posmā. Eksperimentālā veidā noteicām, ka kadru kvantums N=512 ir pietiekams, lai noteiktu no sirds frekvences atkarīgo signālu. Tas nozīmē, kā PPGI noteikšanai var izmantot jebkuru HD video kameru, kas, savukārt, apvienojot ar datoru, atvieglo metodes pieejamību. Pētījuma Nr. 5 rezultāti uzrāda korelāciju starp ādas temperatūras pārmaiņām un PPGI signāla relatīvās amplitūdas pārmaiņām ($R=0.8\pm 0.14$, $P<0.0001$). Apvienojot to ar klīniskajām metodēm, varam diezgan pārliecinoši spriest par LA iedarbības efektu. Pēc mūsu datiem, līdzīgi kā monitorējot ādas temperatūru, izdevās noteikt ticamu robežu 0.5°C (pētījums Nr.2) starp „veiksmīgām” un „neveiksmīgām” anestēzijām PPGI, tad arī PPGI relatīvās amplitūdas pārmaiņas izteicām procentos un noteicām $260\pm 105\%$ robežās ar 95% ticamības intervālu (VII daļa Pielikumi).

Tomēr vienmēr pastāv jautājums par robežas stāvokļiem. Ļoti būtiska ir iespēja preventīvi noteikt stāvokli, kad reģionālā anestēzija ir tikai daļēji iestājusies, un anesteziologs vēl pirms operācijas sākuma var papildu ievadīt nelielu daudzumu intravenozo atsāpinošo medikamentu un tādejādi pasargāt pacientu no sāpēm.

Pēc pētījuma Nr.5 datiem (Attēls 3-5-14) varam redzēt, ka būtībā „daļēji veiksmīgās” anestēzijas varam uzskatīt par „veiksmīgām”, jo pie 95% ticamības intervāla tās atšķiras no „neveiksmīgajām” un ticamības koeficients ir augsts ($p=0.00165$). Šie statistiskie dati sakrīt ar klīniskajiem novērojumiem, kad nepieciešamība pilnībā pāriet uz citu anestēzijas veidu ir samērā reta (5 gadījumi no 38). Citi autori gan parasti neizdala robežas stāvokļus un visas RA iedala tikai divās grupās – „veiksmīgās” un „neveiksmīgās”.

V. SECINĀJUMI.

1. Konstatēts, ka kopumā perifēro reģionālo anestēziju „veiksmīgums” pēdējo piecu gadu laikā ir palielinājies - 69.9% (2005), 85% (2006) un 86.84% (2010). Pašreiz perifēro reģionālo anestēziju „veiksmīgumu” ikdienas praksē nosaka, izmantojot tikai klīniskās, nevis kvantitatīvās noteikšanas metodes.
2. Konstatēts, ka pēc lokālā anestētiķa ievades blakus perifēram nervam „veiksmīgas” perifērās reģionālās anestēzijas laikā notiek pārmaiņas, kas saistītas ar simpātiskās nervu sistēmas darbības atgriezenisko blokādi. Tās izpaužas kā perifērā vazodilatācija rajonā, kas atbilst bloķētā nerva inervācijas zonai. Sakarā ar vazodilatāciju, šajā rajonā notiek perifērās asinsrites plūsmas palielināšanās, ko konstatē PPG metode. Pieaugot perifērai asins plūsmai, sekundāri notiek temperatūras pārmaiņas attiecīgajās ķermeņa daļās, to konstatē ādas virsmas temperatūras kontrolē.
3. Pierādītas autonomās nervu sistēmas atgriezeniskās pārmaiņas pēc „veiksmīgas” un „neveiksmīgas” perifērās reģionālās anestēzijas, izmantojot ādas virsmas temperatūras kontroli, absorbcijas PPG ar sarkano un tuvu infrasarkanai gaismu, remisijas PPG ar zaļo gaismu kontakta veidā. Visām iepriekšminētajām kvantitatīvajām metodēm konstatē būtisku ierobežojumu, tas saistīts ar sensora anatomisko izvietojumu un mērīšanu tikai viena punktā. Fotopletismogrāfijas metode ir sensitīvāka un specifiskāka.
4. Ir izstrādāta jauna kvantitatīva, neinvazīva metode klīniskai lietošanai perifērās reģionālās anestēzijas efektivitātes noteikšanai - bezkontakta fotopletismogrāfijas vizualizācijas metode.

VI. VĒRES. IZMANTOTĀ LITERATŪRA.

1. Abrahams M. S., Aziz M. F., Fu R. F., Horn J. L. *Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials*. Br. J. Anaesth., 2009, 102 (3), pp. 408-417.
2. Adolphsa J., Schmitt D. K., Schmidta D. K., Mousaa S., Weltee M., Habazettlb H., Schäfer M. *Evaluation of Sympathetic Blockade after Intrathecal and Epidural Lidocaine in Rats by Laser Doppler Perfusion Imagin*. Eur. Surg. Res., 2005, 37, pp. 50-59.
3. Allen J. *Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement*. Physiol. Meas., 2007, 28 (3), pp. R1-R39.
4. Allen J., Murray A. *Variability of photoplethysmography peripheral pulse measurements at the ears, thumbs and toes*. IEE Proc. Sci. Meas. Technol. 2000, 147 (6), pp. 403-407.
5. Anderson R. R., Parrish J. A. *The optics of human skin*. J. Invest. Dermatol., 1981, 77(1), pp. 13-19.
6. Ansermino J. Mark, Schwarz Stephan K.W., Dumont Guy A., Brouse Chris, Ping Yang, Lim Joanne, Dunsmuir Dustin, Daniels Jeremy. *Clinical decision support in physiological monitoring*. IJBET, 2010, 3 (3/4), pp. 264-286.
7. Armario A., Marti O., Molina T., de Pablo J., Valdes M. *Acute stress markers in humans: response of plasma glucose, cortisol and prolactin to two examinations differing in the anxiety they provoke*. Psychoneuroendocrinology, 1996, 21 (1), pp. 17-24.
8. Beach M., Sites B., Gallagher J. *Use of a nerve stimulator does not improve the efficacy of an ultrasound-guided supraclavicular nerve blocks*. J. Clin. Anesth., 2008, 18 (8), pp. 580-584.
9. Bernards C. M., Hadzic A., Suresh S., Neal J. M. *Regional anesthesia in anesthetized or heavily sedated patients*. Reg. Anesth. Pain. Med., 2008, 33 (5), pp. 449-460.
10. Bigeleisen P. E. *The bifid axillary artery*. J. Clin. Anesth., 2004, 16, pp. 224-225.
11. Bigeleisen P. E. *Nerve puncture and apparent intraneural injection during ultrasound-guided axillary block does not invariably result in neurologic injury*. Anesthesiology, 2006, 105, pp. 779-783.
12. Blumberga A. *Termokameru dārdzība un trieciennedrošība*. Latvijas būvniecība, 2008, Nr.2., lpp. 134-140 (1848).
13. Borgeat A., Aguirre J. *Sedation and regional anesthesia*. Cur. Op. Anaesth., 2009, 22 (5), pp. 678-682.
14. Boscheinen-Morrin J., Conolly W. Bruce. *The Hand: Fundamentals of Therapy*. Third edition, 2002, I, pp. 6-7.

15. Brennan T. J., Kehlet H. *Preventive analgesia to reduce wound hyperalgesia and persistent postsurgical pain*. *Anesthesiology*, 2005, 103, pp. 681–683.
16. Casati A., Baciarello M., Cianni S., Danelli G., DeMarco G., Leone S., et al. *Effects of ultrasound guidance on the minimum effective anaesthetic volume required to block the femoral nerve*. *Br. J. Anaesth.*, 2007, 98, pp. 823-827.
17. Casati A., Danelli G., Baciarello M., Corradi M., Leone S., DiCanni S., Fanelli G. *A prospective, randomized comparison between ultrasound and nerve stimulation guidance for multiple injection axillary brachial plexus block*. *Anesthesiology*, 2007, 106, pp. 992-996.
18. Cattaneo Christine G., Frank Steven M., Hesel Todd W., El-Rahmany Hossam K., Kim Lauren J., Tran Kha M. *The Accuracy and Precision of Body Temperature Monitoring Methods During Regional and General Anesthesia*. *Anesth. Analg.*, 2000, 90, pp. 938-945.
19. Chamberlain D., Chamberlain B. *Changes in the skin temperature of the trunk and their relationship to sympathetic blockade during spinal anesthesia*. *Anesthesiology*, 1986, Vol. 65, Nr. 2, pp. 139-143.
20. Chan A. W., MacFarlane I. A., Bowsher D., Campbell J. A. *Weighted needle pinprick sensory thresholds: a simple test of sensory function in diabetic peripheral neuropathy*. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 1992, 55, pp. 56-59.
21. Chan V.W., Perlas A., McCartney C. J., Brull R., Xu D., Abbas S. *Ultrasound guidance improves success rate of axillary brachial plexus block*. *Can. J. Anaesth.*, 2007, 54, pp.176-182.
22. Charkoudian N. *Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why*. *Mayo. Clin. Proc.*, 2003, Vol. 78, pp. 603-612.
23. Chekmenev S. Y., Farag A. A., Essock E. A. *Multiresolution Approach for Non-Contact Measurements of Arterial Pulse using Thermal Imaging*. *Proc. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2006, p. 129.
24. Cockings E., Heavner J. E. *Transarterial axillary brachial plexus block (four-in-one upper extremity block)*. *Tech. Reg. Anesth. Pain Man.*, 1999, 3(4), pp. 222-226.
26. Cohen J. T., Neuman P. J., Weinstein M. C. *Does preventive care save money? Health economics and the presidential candidates*. *N. Engl. J. Med.*, 2008, 358, pp. 661–663.
27. Cooper B. R., Moll T., Griffiths J. R. *Local anaesthetic toxicity: are we prepared for the consequences in the Emergency Department?* *Emerg. Med. J.*, 2010, 27 (8), pp. 599-602.
28. Cruccu G., Anand P., Attal N., Garcia-Larrea L., Haanpaa M., Jorum E., Serra J, Jensen T.S. *EFNS guidelines on neuropathic pain assessment*. *Eur. J. Neurol.*, March 2004, 11 (3), pp. 153-162.

29. Cui W. J., Ostrander L. E., Lee B. Y. *In vivo reflectance of blood and tissue as a function of light wavelength*. IEEE Trans. Biomed. Eng., 1990, 37 (6), pp. 632-639.
30. Daniels J. P., Ansermino J. Mark. *Introduction of new monitors into clinical anesthesia*. Cur. Op. Anaesth., 2009, 22 (6), pp. 775-781.
31. Duggan E., Brull R., Lai J., Abbas S. *Ultrasound-guided brachial plexus block in a patient with multiple glomangiomas*. Reg. Anesth. Pain Med., 2008, 33, pp. 70-73.
32. Dworkin R. H., Turk D. C., McDermott M. P., Peirce-Sandner S., Burke L. B., Cowan P., Farrar J. T., Hertz S., Raja S. N., Rappaport B. A., Rauschkolb C., Sampaio C. *Interpreting the clinical importance of group differences in chronic pain clinical trials: IMMPACT recommendations*. J. Pain, 2009, 146, pp.238–244.
33. Dworkin R. H., Turk D. C., Wyrwich K. W., Beaton D., Cleeland C. S., Farrar J. T., Haythornthwaite J. A., Jensen M. P., Kerns R. D., Ader D. N., Brandenburg N., Burke L.B., Cella D., Chandler J., Cowan P., Dimitrova R., Dionne R., Hertz S., Jadad A. R., Katz N. P., Kehlet H., Kramer L. D., Manning D. C., McCormick C., McDermott M. P., McQuay H. J., Patel S., Porter L., Quessy S., Rappaport B. A., Rauschkolb C., Revicki D. A., Rothman M., Schmader K. E., Stacey B. R., Stauffer J. W., von Stein T., White R. E., Witter J., Zavisic S. *Interpreting the clinical importance of treatment outcomes in chronic pain clinical trials: IMMPACT recommendations*. J. Pain, 2008, 9, pp. 105–121.
34. Dworkin R. H., McDermott M. P., Raja S. N. *Preventing Chronic Postsurgical Pain: How Much of a Difference Makes a Difference?* Anesthesiology, 2010, 112 (3), pp. 516-518.
35. Eifert B., Hähnel J., Kustermann J. *Axillary blockade of the brachial plexus. A prospective study of blockade success using electric nerve stimulation*. Anaesthesist, 1994, 43(12), pp. 780-785.
36. Erts R., Rubins U., Spigulis J. *Monitoring of blood pulsation using non-contact technique*. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7-12, 2009, Munich, Germany. IFMBE Proceedings, 2009, Vol. 25/7, pp. 754-756.
37. Fahlenkamp A. V., Krebber F., Rex S., Grottke O., Fries M., Rossaint R., Coburn M. *Bispectral index monitoring during balanced xenon or sevoflurane anaesthesia in elderly patients*. Eur. J. Anaesth., 2010, 27 (10), pp. 906-911.
38. Farrar J. T, Young J. P. Jr, LaMoreaux L., Werth J. L., Poole R. M. *Clinical importance of changes in chronic pain intensity measured on an 11-point numerical pain rating scale*. J. Pain, 2001, 94, pp. 149–158.
39. Fettes P. D. W., Jansson J.-R., Wildsmith J. A. W. *Failed Spinal Anaesthesia: Mechanisms, Management, and Prevention*. Br. J. Anaesth., 2009, 102(6), pp. 739-748.

40. Fishbein M. *Anesthesia. The New Illustrated Medical and Health Encyclopedia*. New York, H. S. Stuttman Co., 1976, p. 87.
41. Frank S. *Comparison of lower extremity cutaneous temperature changes in patients receiving lumbar sympathetic ganglion blocks versus epidural anesthesia*. *J. Clin. Anesth.*, 2000, Vol. 12, Issue 7, pp. 525–530.
42. Galvin E. M., Niehof S., Medina H. J., et al. *Thermographic temperature measurement compared with pinprick and cold sensation in predicting the effectiveness of regional blocks*. *Anesth. Analg.*, 2006, 102, pp. 598–604.
43. Galvin E. M., Niehof S., Verbrugge S. J., Maissan I., Jahn A., Klein J., van Bommel J. *Peripheral flow index is a reliable and early indicator of regional block success*. *Anesth. Analg.*, 2006; 103(1), pp. 239-243.
44. Gartner R., Jensen M. B., Nielsen J., Ewertz M., Kroman N., Kehlet H. *Prevalence of and factors associated with persistent pain following breast cancer surgery*. *JAMA*, 2009, 302, pp. 1985–1992.
45. Gidman W., Elliot R., Payne K., Meakin G. H., Moore J. *A comparison of parents and pediatric anesthesiologists' preferences for attributes of child daycase surgery: A discrete choice experiment*. *Ped. Anesth.*, 2007, 17, pp. 1043–1052.
46. Ginosar Y., Weiniger C. F., Kurz V., Babchenko A., Nitzan M., Davidson E. *Sympathectomy-mediated vasodilatation: a randomized concentration ranging study of epidural bupivacaine*. *Can. J. Anaesth.*, 2009, 56 (3), pp. 213-221.
47. Ginosar Y., Weiniger C. F., Meroz Y., Kurz V., Bdolah-Abram T., Babchenko A., Nitzan M., Davidson E. M. *Pulse oximeter perfusion index as an early indicator of sympathectomy after epidural anesthesia*. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 2009, 53 (8), pp. 1018-1026.
48. Golster H. *Regulation of Microvascular Blood Flow*. PhD Thesis, Linkoping University, 2001, pp. 9-50.
49. Gray A. T., Schafhalter-Zoppoth I. *"Bayonet artifact" during ultrasound-guided transarterial axillary block*. *Anesthesiology*, 2005, 102, pp. 1291-1292.
50. Grover V. K., Bharti N. *Measuring depth of anaesthesia- an overview an the currently available monitoring system*. *The Indian Anaesthetist's Forum*, 2008, 1 (1), pp. 1-33.
51. Grubb M. R., et al. *Towards forehead reflectance photoplethysmography to aid delivery room resuscitation in newborns. Fourth European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*. 2008, 22(9), pp. 1053-1056.
52. Guignard B. *Monitoring analgesia*. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, March 2006, 20 (1), pp. 161-180.

53. Guyton A. C., Hall J. E. *Somatic sensations: II. Pain, headache, and thermal sensations*. In: Guyton A. C., Hall J. E. *Textbook of medical physiology*. 9th ed., 1996, pp. 609–620.
54. Guyton A. C. *Textbook of Medical Physiology*. 11th ed., 2006, pp. 196-197, pp. 201-203, pp. 571-573, pp. 599-603.
55. Guzeldemir M. E., Ustunsoz B. *Ultrasonographic guidance in placing a catheter for continuous axillary brachial plexus block*. *Anesth. Analg.*, 1995, 81, pp. 882-883.
56. Heavner J. E. *Transarterial axillary brachial plexus block (four-in-one upper extremity block)*. *Why we do what we do: nine experts describe their techniques for the most common regional anesthetic procedures*. *Tech. Reg. Anesth. Pain Man.*, 1999, Volume 3, Issue 4, pp. 222-226.
58. Hermanns H., Braun S., Werdehausen R., Werner A., Lipfert P., Stevens M. F. *Skin temperature after interscalene brachial plexus blockade*. *Reg. Anesth. Pain. Med.*, 2007, 32, pp. 481–487.
59. Hilz M. J., Stemper B., Axelrod F. B., Kolodny E. H., Neundörfer B. *Quantitative Thermal Perception Testing in Adults*. *J. Clin. Neurophysiol.*, 1999, 16 (5), pp. 462-471.
60. Humphreys K., Markham C., Ward T. E. *A CMOS camera-based system for clinical photoplethysmographic applications*. *Proc. SPIE*, 2005, 5823, pp. 88-95.
61. Humphreys K., Ward T., Markham C. *A CMOS camera-based system for non-contact pulse oximetry imaging*. In: *Biomedical Optics 2006* (SPIE Photonics West Symposium), 2006, pp. 51-.
62. Humphreys K., Ward T., Markham C. *Noncontact simultaneous dual wavelength photoplethysmography: a further step toward noncontact pulse oximetry*. *Rev. Sci. Instrum.*, 2007, 78(4), 6 p.
63. Ijzelenberg H., Meerding W. J., Burdorf A. *Effectiveness of a back pain prevention program: A cluster randomized controlled trial in an occupational setting*. *Spine*, 2007, 32 (7), pp. 711–719.
64. Inberg P., Annala I., Annala P. *Double-injection method using peripheral nerve stimulator is superior to single injection in axillary plexus block*. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 1999, 24(6), pp. 509-513.
65. James W., Berger T., Elston D. *Andrews' Diseases of the Skin*. *Clinical Dermatology* (10th ed.), 2005, pp. 2-3.
66. Jansen T., Asghar S., Kristensen P. L., Skjonnemand M., Nergaard P., Lange K. H. W. *Infrared thermography after selective ultrasound-guided peripheral blocks in the upper limbs*. *NYSORA World Anesthesia Congress, Dubai, UAE, 2010, Congress Abstracts CD*.

67. Jetzek-Zader M., Hermanns M., Freynhagen H., Lipfert R., Stevens P. *Increase in Skin Temperature After Spinal Anesthesia in Infants*. Reg. Anesth. Pain Med., 2006, 31(6), pp. 519–522.
68. Johansson A. *Photoplethysmography in Multiparameter Monitoring of Cardiorespiratory Function*. Doctoral thesis, Linköping University, 2000.
69. Kallio H., Lindberg L. I., Majander A. S., Uutela K. H., Niskanen M. L., Paloheimo M. P. *Measurement of surgical stress in anaesthetized children*. Br. J. Anaesth., 2008, 101(3), pp. 383-389.
70. Katz J., Clarke H. *Preventive analgesia and beyond: Current status, evidence, and future directions*. In: *Clinical Pain Management: Acute Pain*, 2nd edition. London, Hodder Arnold Ltd, 2008, pp. 154–198.
71. Katz J., Seltzer Z. *Transition from acute to chronic postsurgical pain: Risk factors and protective factors*. Expert Rev. Neurother., 2009, 9, pp. 723–744.
72. Kaul H. L., Neerja B. *Monitoring depth of anaesthesia*. Indian J. Anaesthesia, 2002, 46(4), pp. 323-332.
73. Kazutoshi Hirose, Nahoko Iwakura, Sumihisa Orita, Masaomi Yamashita, Gen Inoue, Kazuyo Yamauchi, Yawara Eguchi, Nobuyasu Ochiai, Shunji Kishida, Junichi Nakamura, Masashi Takaso, Tetsuhiro Ishikawa, Gen Arai, Masayuki Miyagi, Hiroto Kamoda, Yasuchika Aoki, Ryo Hiwatari, Jun Kakizaki, Toshikazu Kunishi, Motoaki Kono, Takane Suzuki, Tomoaki Toyone, Kazuhisa Takahashi, Kazuki Kuniyoshi, Seiji Ohtori *Evaluation of behavior and neuropeptide markers of pain in a simple, sciatic nerve-pinch pain model in rats*. Eur. Spine J., 2010, 19(10), pp. 1746-1752.
74. Kehlet H., Jensen T. S., Woolf C. J. *Persistent postsurgical pain: Risk factors and prevention*. Lancet, 2006, 367, pp. 1618–1625.
75. Kimura T., Goda Y., Kemmotsu O., Shimada Y. *Regional differences in skin blood flow and temperature during total spinal anaesthesia*. Can. J. Anesth., 1992, 39(2), pp. 123-127.
76. Klaessens John H.G.M., Landman M., de Roode R., Noordmans H. J., Verdaasdonk R. M. *Objective methods for achieving an early prediction of the effectiveness of regional block anesthesia using thermography and hyper-spectral imaging*. Proc. SPIE, 2011, Vol. 7895.
77. Koscielniak-Nielsen Z. J. *Ultrasound-guided peripheral nerve blocks: what are the benefits?* Acta Anaesthesiol. Scand., 2008, 52(6), pp. 727-737.
78. Kravale I., Eniņa G. *Nervu un muskuļu neirofizioloģiskie izmeklējumi*. Latvijas neirologu biedrība. Metodiskās rekomendācijas. 2007, 4.-31. lpp.

79. Lang T., Barker R., Hager H., Schuch M., Zimpfer M., Kober A. *Peripheral pulse oximetry monitoring under the influence of stellate ganglion TENS in prehospital trauma care*. Eur. J. Anaesth., 2006, 23, p. 213.
80. Larsson J., Gordh T. E. *Testing whether the epidural works: too time consuming?* Acta Anesthesiol. Scand., 2010, 54(6), pp.761-763.
81. Lavand'homme P., De Kock M., Waterloos H. *Intraoperative epidural analgesia combined with ketamine provides effective preventive analgesia in patients undergoing major digestive surgery*. Anesthesiology, 2005, 103, pp. 813–820.
82. Levy Jeffrey H., Islas Jose A., Ghia Jawahar N., Turnbull Craig. *A Retrospective Study of the Incidence and Causes of Failed Spinal Anesthetics in a University Hospital*. Anesth. Analg., 1985, 64(7), pp. 705-710.
83. Lindberg L. G., Tamura T., Oberg P. A. *Photoplethysmography. Part 1. Comparison with laser Doppler flowmetry*. Med. Biol. Eng. Comput., 1991, 29(1), pp. 40-7.
84. Lindberg L. G., Oberg P. A.. *Photoplethysmography. Part 2. Influence of light source wavelength*. Med. Biol. Eng. Comput. 1991, 29(1), pp. 48-54.
85. Litscher G. *Infrared thermography fails to visualize stimulation-induced meridian-like structures*. BioMedical Engineering OnLine, 2005.
86. Litscher G., Schwarz G. *Noninvasive bioelectrical neuromonitoring in anaesthesia and critical care*. European Journal of Anaesthesiology, December 2001, Volume 18, Issue 12, pp. 785-788.
87. Liu S. S., Ngeow J. Ee, Yadeau J. T. *Ultrasound-guided regional anesthesia and analgesia: a qualitative systematic review*. Reg. Anesth. Pain. Med., 2009, 34(1), pp. 47-59.
88. Logina I. *Medicīniskās tehnoloģijas „Sāpju klīniskā pamata izmeklēšana un novērtēšana” izvērstas metodes apraksts*. Nacionālais Veselības dienests, Arstniecībā izmantojamo medicīnisko tehnoloģiju datu bāze, Sadaļa 22 „Neiroloģijas medicīniskie pakalpojumi”.
89. Maeda Y., Sekine M., Tamura T., Moriya A., Suzuki T., Kameyama K. *Comparison of reflected green light and infrared photoplethysmography*. Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 2008, pp. 2270-2272.
90. Marhofer P. *Ultrasound Guidance for Nerve Blocks: Principles and Practical Implementation*. Oxford University Press, 2008, 146 p.
91. Marks J. G., Miller J. Lookingbill and Marks' Principles of Dermatology. 4th Edition. Elsevier, 2006, pp. 1–7.
92. Martini O., Ioculano R., Arcioni R., Bertini L., Palmisani S., Mancini S. *Does Local Anesthetic Dilution Influence the Clinical Effectiveness of Multiple-Injection Axillary*

- Brachial Plexus Block? A Prospective, Double-Blind, Randomized Clinical Trial in Patients Undergoing Upper Limb Surgery.* Reg. Anesth. Pain Med., 2009, 34(5), pp. 408-413.
93. Mathura K. R., Vollebregt K. C., Boer K., De Graaff J. C., Ubbink D. T., Ince C. *Comparison of OPS imaging and conventional capillary microscopy to study the human microcirculation.* J. Appl. Physiol., 2001, 91(1), pp. 74-78.
 94. McGrath J.A., Eady R.A., Pope F.M. *Rook's Textbook of Dermatology.* 7th Edition. Blackwell Publishing. 2004, pp. 3.1-3.6.
 95. Miller R. D., Eriksson L. I., Fleisher L. A., Wiener-Kronish J. P., Young W. L. *Miller's Anesthesia.* 6th Edition. 2005, Vol.1, p.1231.
 96. Mineo R., Sharrock N. E. *Pulse oximeter waveforms from the finger and toe during lumbar epidural anesthesia.* Reg. Anesth., 1993, 18(2), pp. 106-109.
 97. Minville V., Gendre A., Hirsch J., Stein S., Bourdet B., Barbero C., Fourcade O., Samii K., Bouaziz H. *The Efficacy of Skin Temperature for Block Assessment After Infraclavicular Brachial Plexus Block.* Anesth. Analg., 2009, 108(3), pp. 1034-1036.
 98. Miščuks A., Kauliņš T., Vasiļevskis E., Mihelsons M. *Reģionālās anestēzijas kvalitātes monitorings un tā optimizācija.* LU vēstis, 2009, 750, 88.-93.lpp.
 99. Morgan G., Maged M. *Clinical Anesthesiology.* 4th Edition, 2005, pp. 27-56.
 100. Mowafi H. A. *The efficacy of plethysmographic pulse wave amplitude as an indicator for intravascular injection of epinephrine-containing epidural test dose in anesthetized adults.* Anesth. Analg., 2005, 101(5), pp. 1506-1511.
 101. Narchi P., Bouaziz H., Antakly M. *A new approach to axillary brachialis plexus block.* Tech. Reg. Anesth. Pain Manag., 1997, 1(4), pp.178-180.
 102. Näslund J., Pettersson J., Lundeberg T., Linnarsson D., Lindberg L. G. *Non-invasive continuous estimation of blood flow changes in human patellar bone.* Med. Biol. Eng. Comput., 2006, 44(6), pp. 501-509.
 103. Neal J. M., Bernards Ch. M., Butterworth 4th J. F., Di Gregorio G., Drasner K., Hejtmanek M. R., Mulroy M. F., Rosenquist R. W., Weinberg G. L. *ASRA Practice Advisory on Local Anesthetic Systemic Toxicity.* Reg. Anesth. Pain Med., 2010, 35(2), pp. 152-161.
 104. Neal J. M. *Ultrasound-guided regional anesthesia and patient safety: An evidence-based analysis.* Reg. Anesth. Pain Med., 2010, 35 (2 Suppl), pp. 59-67.
 105. New classification of physical status. *Anesthesiology*, 1963; 24, p. 111.
 106. Paqueron X., Gentili M. E., Willer J. C., Coriat P., Riou B. *Time sequence of sensory changes after upper extremity block: swelling sensation is an early and accurate predictor of success.* *Anesthesiology*, 2004, 101(1), pp. 162-168.

107. Peduto V. A., Tani R., Pani S. *Pulse oximetry during lumbar epidural anesthesia: reliability of values measured at the hand and the foot.* *Anesth Analg.*, 1994, 78(5), pp. 921-924.
108. Perlas A., Niazi A., McCartney C., Chan V., Xu D., Abbas S. *The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound.* *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2006, 31, pp. 445-450.
109. Pocock G., Richards C. D. *Cellular mechanisms in general anesthesia.* *Br. J. Anaesth.*, 1991, 66, pp.116-128.
110. Raja S. N., Dougherty P. M. *Reversing tissue injury-induced plastic changes in the spinal cord: The search for the magic bullet.* *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2000, 25, pp. 441-444.
111. Redborg K. E., Gallagher J. D., Sites B. D., Beach M. L., Chinn C. D. *A Comparison of Sensory and Motor Loss After a Femoral Nerve Block Conducted With Ultrasound Versus Ultrasound and Nerve Stimulation.* *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2009, 34(5), pp. 508-513.
112. Retzl G., Kapral S., Greher M., Mauritz W. *Ultrasonographic findings of the axillary part of the brachial plexus.* *Anesth. Analg.*, 2001, 92, pp. 1271-1275.
113. Rose G. *Strategy of prevention: Lessons from cardiovascular disease.* *BMJ*, 1981, 282, pp. 1847-1851.
114. Rubins U., Erts R., Nikiforovs V. *The blood perfusion mapping in the human skin by photoplethysmography imaging.* *MEDICON 2010, IFMBE Proc.*, vol. 29, pp. 304-306.
115. Rubins U., Miscuks A., Rubenis O., Erts R., Grabovskis A. *The analysis of blood flow changes under local anesthetic input using non-contact technique.* *CISP 2010 conf. proc.*, 2010, pp. 601-604.
116. Schwemmer U., Markus C. K., Greim C. A., Brederlau J., Roewer N. *Ultrasound-guided anaesthesia of the axillary brachial plexus: efficacy of multiple injection approach.* *Ultraschall Med.*, 2005, 26, pp. 114-119.
117. Sessler C. N., Grap M. J., Ramsay M. A. E. *Evaluating and monitoring analgesia and sedation in the intensive care unit.* *Critical Care*, 2008, 12 (Suppl 3), S2.
118. Shusterman V., Anderson K. P., Barnea O. *Spontaneous skin temperature oscillations in normal human subjects.* *AJP - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 1997, 273(3), pp. R1173-R1181.
119. Sia S., Lepri A., Marchi M. *Axillary block by "selective" injections at the nerves involved in surgery using a peripheral nerve stimulator: a comparison with a "standard" triple-injection technique.* *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2010, 35(1), pp. 22-27.
120. Sigl J. C., Chamoun N. G. *An introduction to bispectral analysis for the electroencephalogram.* *J. Clin. Monitor.*, 1994, 10(6), pp. 392-404.

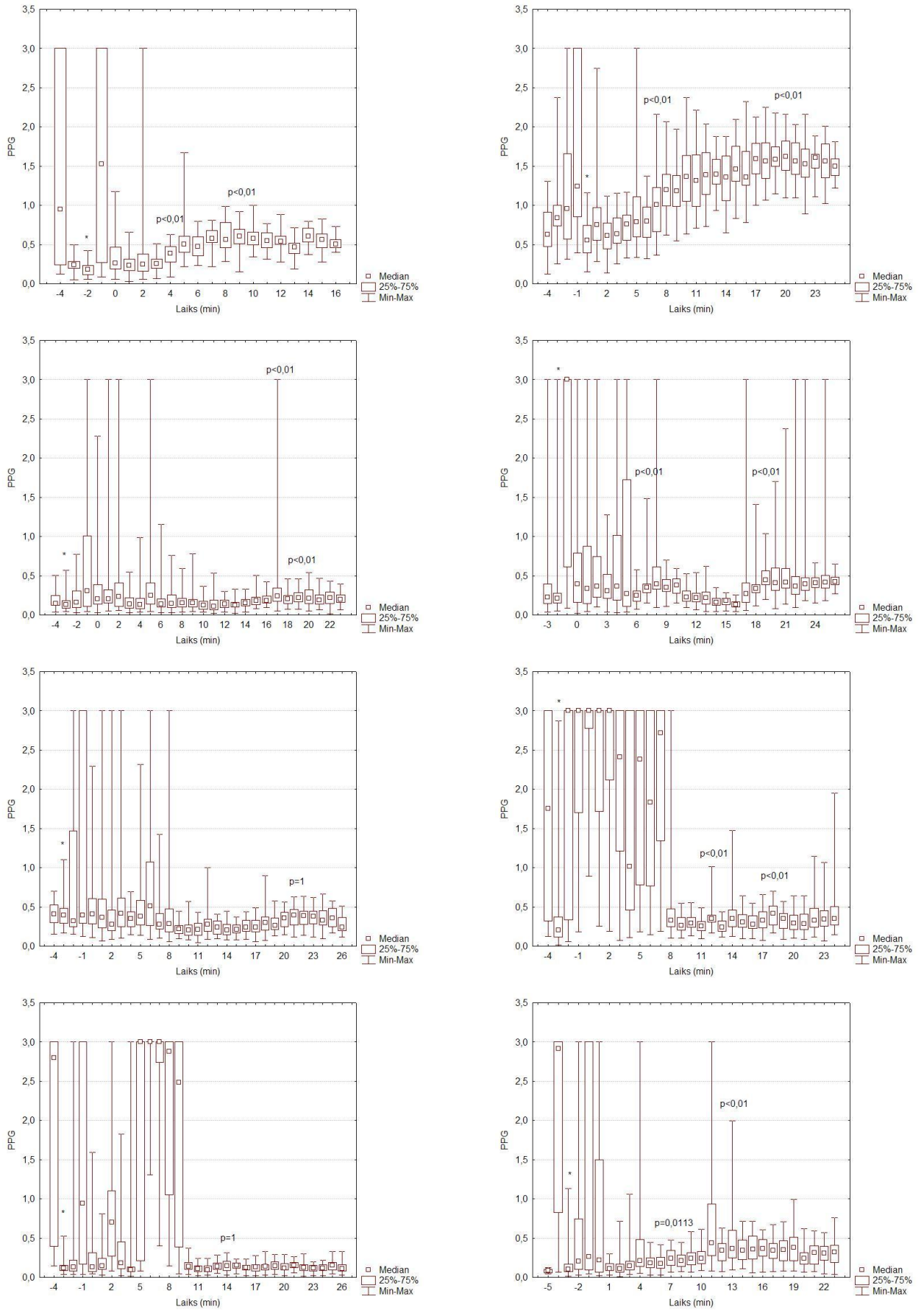
121. Siliņš J. *Psiholoģija un loģika*. Rīga, 1936, 35.-63. lpp.
122. Sites B. D., Beach M. L., Spence B. C., Wiley C. W., Shiffrin J., Hartman G. S., Gallagher J. D. *Ultrasound guidance improves the success rate of a perivascular axillary plexus block*. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 2006, 50, pp. 678-684.
123. Soderstrom T., Stefanovska A., Veber M., Svensson H. *Involvement of sympathetic nerve activity in skin blood flow oscillations in humans*. *J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.*, 2003, 284(5), pp. H1638-H1646.
124. Soeding P. E., Sha S., Royse C. E., Marks P., Hoy G., Royse A. G. *A randomized trial of ultrasound-guided brachial plexus anaesthesia in upper limb surgery*. *Anaesth. Intensive Care*, 2005, 33, pp. 719-725.
125. Spiegel J. E., Hess Ph. *Large intrathecal volume: a cause of true failed spinal anesthesia*. *J. Anesth.*, 2007, 21 (3), pp. 399-402.
126. Spigulis J., Gailite L. *Multi-Spectral Reflection Photoplethysmography: Potential for Skin Microcirculation Assessment*. Conference Paper. Biomedical Topical Meeting (BIO); Fort Lauderdale, Florida; 2006, p. 3.
127. Stevens M. F., Werdehausen R., Hermanns H., Lipfert P. *Further Evidence that Temperature Measurement Is a Useful Indicator of Regional Anesthesia Outcomes*. *Anesth. Analg.*, 2007, 104, pp. 741-742.
128. Stevens M. F., Werdehausen R., Hermanns H., Lipfert P. *Skin temperature and sensory changes during regional anesthesia of the lower extremity*. *Anesth. Analg.* 2006, 102, pp. 1247-51.
129. Takazawa K., Tanaka N., Fujita M., et al. *Assessment of vasoactive agents and vascular ageing by the second derivative of photoplethysmograph waveform*. *Hypertension*, 1998, 32, pp. 365-370.
130. Ting P. L., Sivagnanaratnam V. *Ultrasonographic study of the spread of local anaesthetic during axillary brachial plexus block*. *Br. J. Anaesth.*, 1989, 63, pp. 326-329.
131. Tur E., Tur M., Maibach H. I., Guy R. H. *Basal perfusion of the cutaneous microcirculation: measurements as a function of anatomic position*. *J. Invest. Dermatol.*, 1983, 81(5), pp. 442-446.
132. Turk D. C., Dworkin R. H., Burke L. B., Gershon R., Rothman M., Scott J., Allen R. R., Atkinson J. H., Chandler J., Cleeland C., Cowan P., Dimitrova R., Dionne R., Farrar J. T., Haythornthwaite J. A., Hertz S., Jadad A. R., Jensen M. P., Kellstein D., Kerns R. D., Manning D. C., Martin S., Max M. B., McDermott M. P., McGrath P., Moulin D. E., Nurmikko T., Quessy S., Raja S., Rappaport B. A., Rauschkolb C., Robinson J. P., Royal M. A., Simon L., Stauffer J. W., Stucki G., Tollett J., von Stein T., Wallace M. S.,

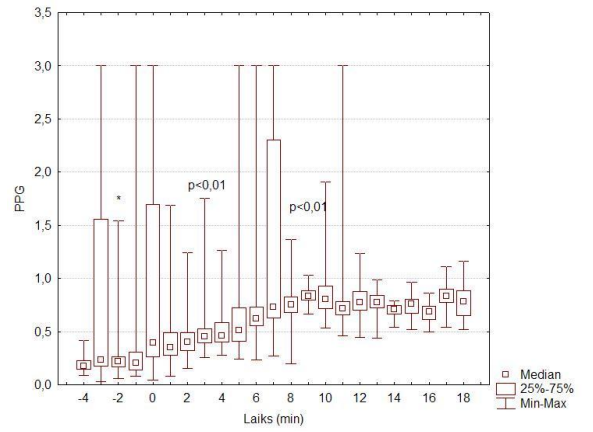
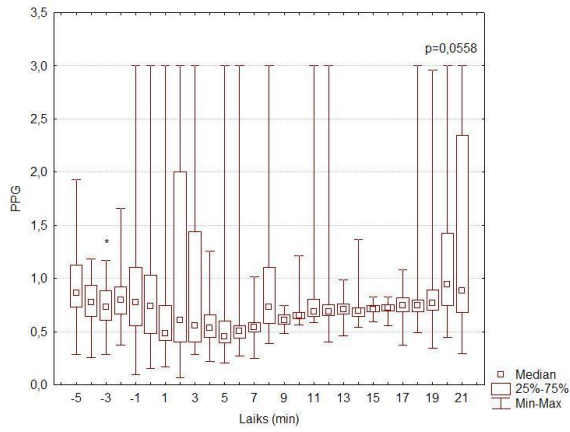
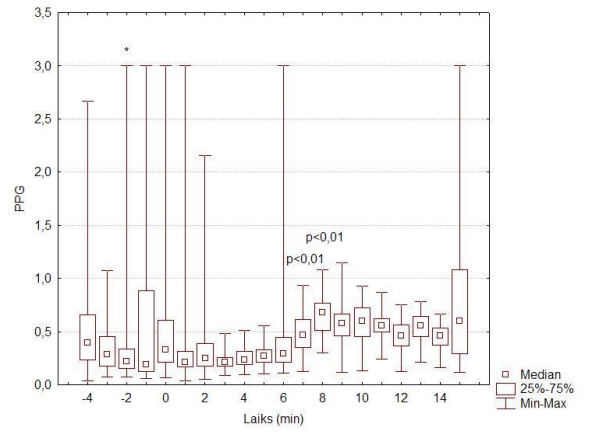
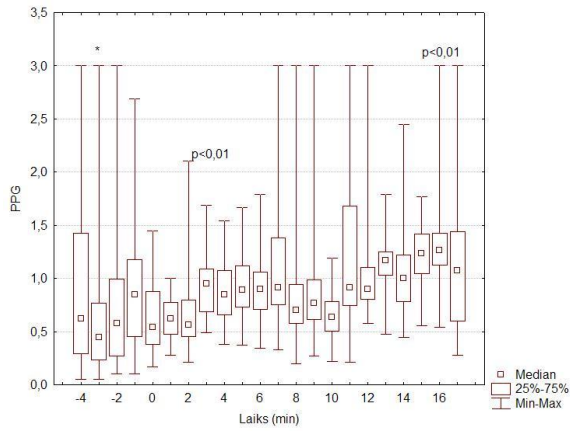
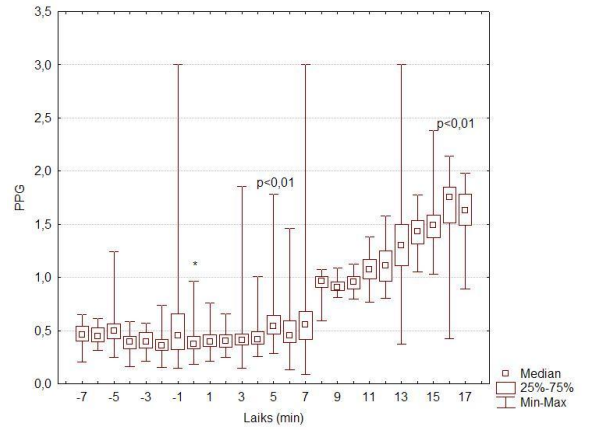
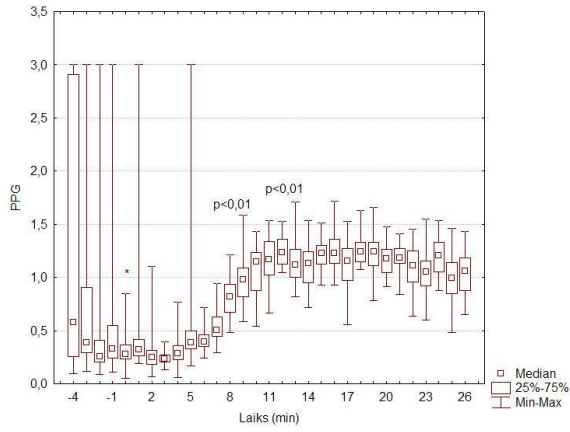
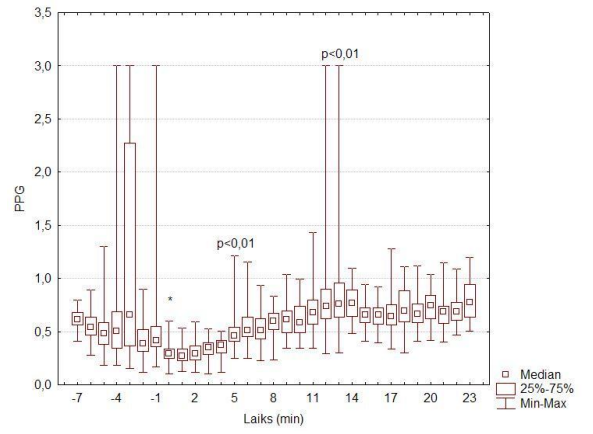
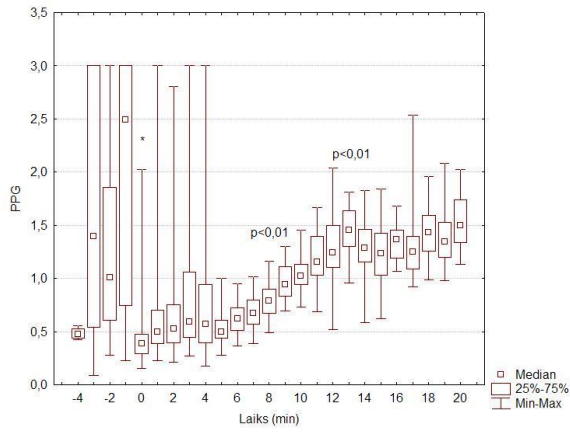
- Wernicke J., White R. E., Williams A. C., Witter J., Wyrwich K. W. *Developing patient-reported outcome measures for pain clinical trials: IMMPACT recommendations*. *J. Pain*, 2006, 125, pp. 208–215.
133. Ungell H. *Photoplethysmographic heart and Respiratory Rate Monitoring*. PhD Thesis, Lönkoping University, 1995, p. 9-20.
 134. Vanags I., Daugulis E., Tomiņš P. *Anestezioloģija, reanimatoloģija un intensīvā terapija*. Nacionālais apgāds, 2002, lpp. 277.
 135. Vasilevskis E., Miscuks A., Vanags I. *Special Devices for Regional Anaesthesia*. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact and Applied Sciences., 2008, 62(4–5), pp. 148-155.
 136. Vasilevskis E., Miscuks A., Vanags I. *Reģionālās anestēzijas efektivitāti ietekmējošo faktoru novērtējums*. RSU zinātniskie raksti, 2007, 111.-117. lpp.
 137. Verkruyse W., Svaasand L. O., Nelson J. S. *Remote plethysmographic imaging using ambient light*. *Opt. Express*, 2008, 16(26), pp. 21434–21445.
 138. Wang L., Lo B., Yangin G. Z. *Reflective Photoplethysmograph Earpiece Sensor for Ubiquitous Heart Rate Monitoring*. *Body Sensor Networks*, 2007, pp. 179-183.
 139. Webster John G. *Design of pulse oximeters*. Institute of Physics Pub., 1997, pp. 1-13, 14-40.
 140. Weinberg G. L. *Treatment of Local Anesthetic Systemic Toxicity (LAST)*. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2010, 35(2), pp. 188-193.
 141. Werdehausen R., Braun S., Hermanns H., Freynhagen R., Lipfert P., Stevens M. *Uniform Distribution of Skin-Temperature Increase After Different Regional-Anesthesia Techniques of the Lower Extremity*. *Reg. Anesth. Pain Med.*, 2007, 32(1), pp. 73-78.
 142. Wieringa F. P., Mastik F., van der Steen A. F. *Contactless multiple wavelength photoplethysmographic imaging: a first step toward "SpO2 camera" technology*. *Ann. Biomed. Eng.*, 2005, 33(8), pp. 1034-1041.
 143. Wu T. *PPGI: New Development in Noninvasive and Contactless Diagnosis of Dermal Perfusion Using Near InfraRed Light*. *J. GCPD e.V.*, 2003, 7(1), pp. 17-24.
 144. Wu T., Blazek V., Schmitt H. J. *Photoplethysmography imaging: a new noninvasive and noncontact method for mapping of the dermal perfusion changes*. *Proc. SPIE*, 2000, 4163, pp. 62-70.
 145. Xue F. S., Liao X., Tong S. Y., Liu Q. H., An G., Luo L. K. *Effect of epidural block on the lag time of pulse oximeter response*. *Anaesthesia*, 1996, 51(12), pp. 1102-1105.
 146. Yentis S. M., Smith G. B., Hirsch N. P. *Anaesthesia and Intensive Care A to Z: An Encyclopaedia of Principles and Practice*. 2009, pp. 17-18; 337-338.

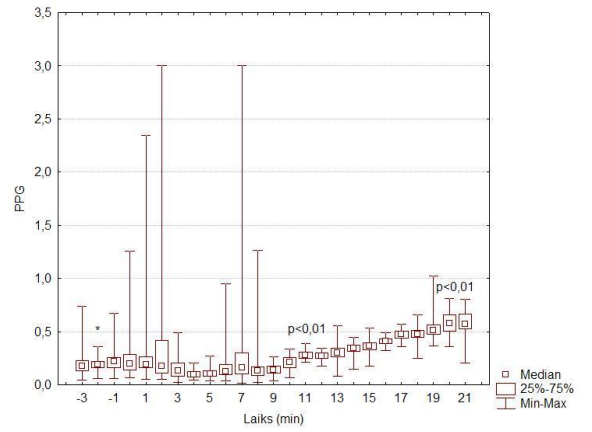
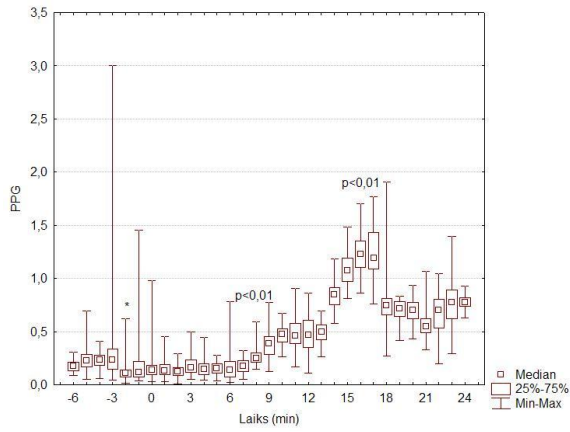
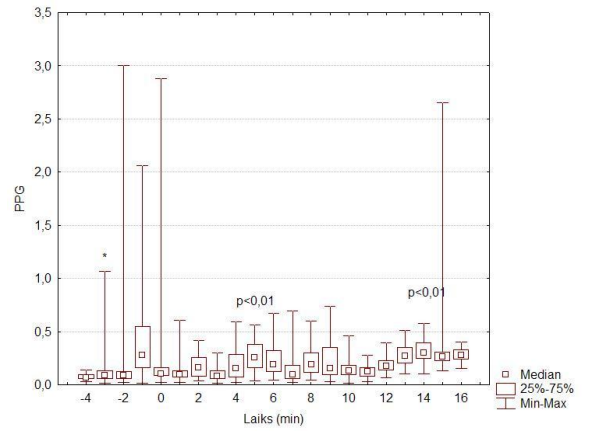
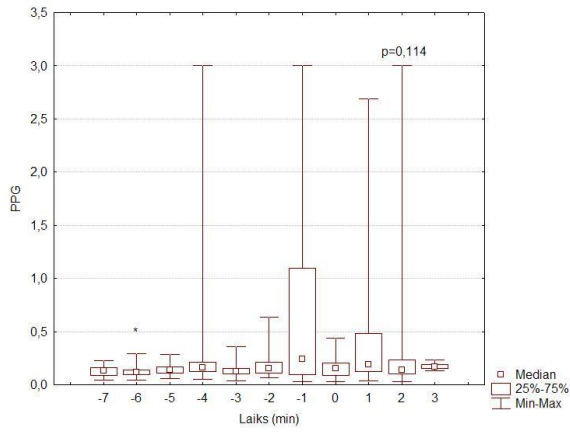
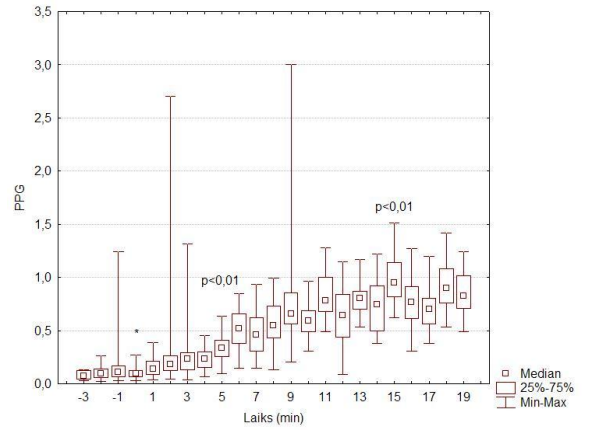
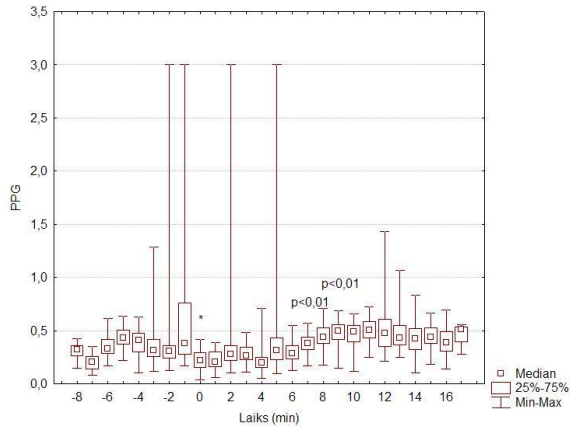
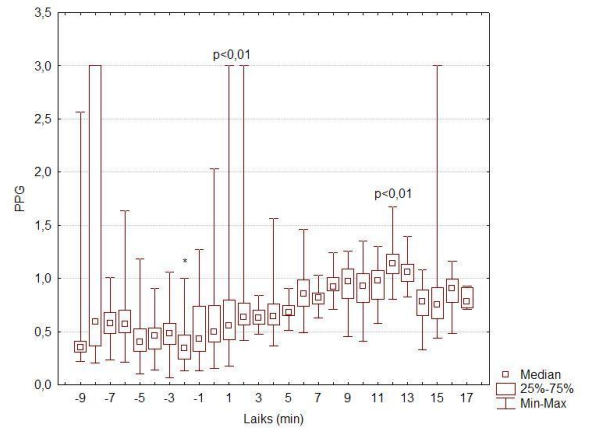
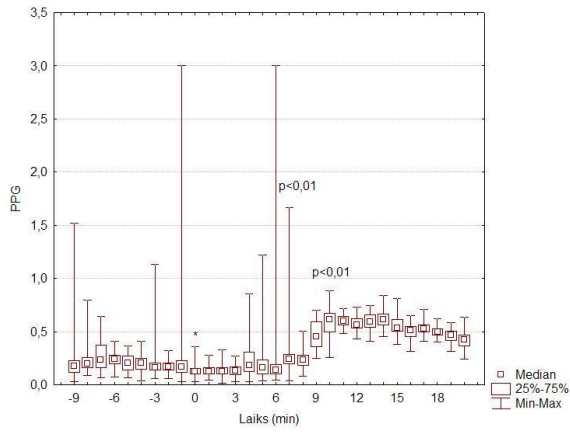
147. Zheng J., Hu S. *The preliminary investigation of imaging photoplethysmographic system.* J. Phys.: Conf. Series, 2007, 85, pp. 012031.
148. Zikićin D. *An improved reflective photoplethysmograph probe design for detection of an arterial blood flow.* J. Med. Eng. Technol., 2008, 32(1), pp. 23-29.

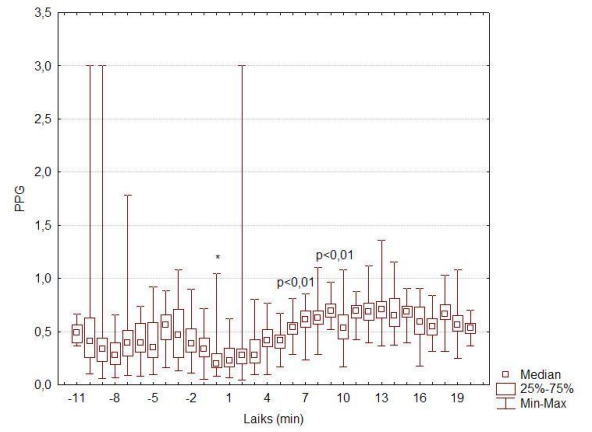
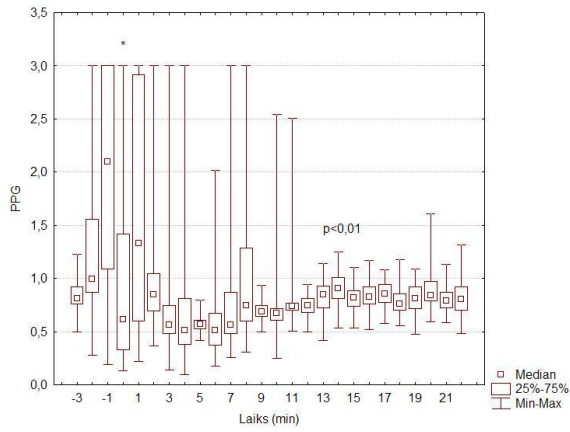
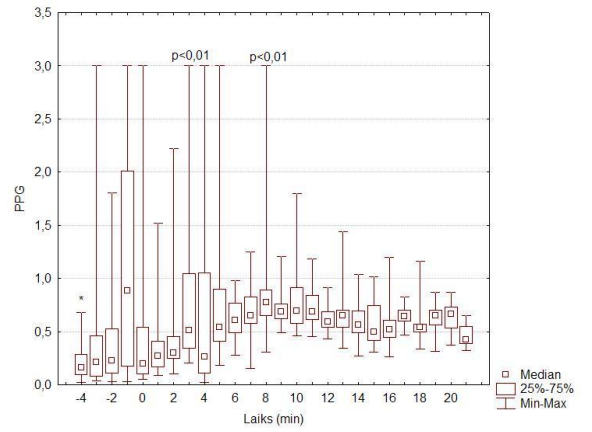
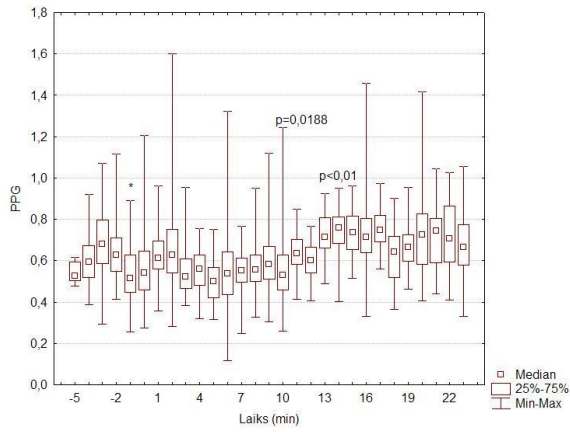
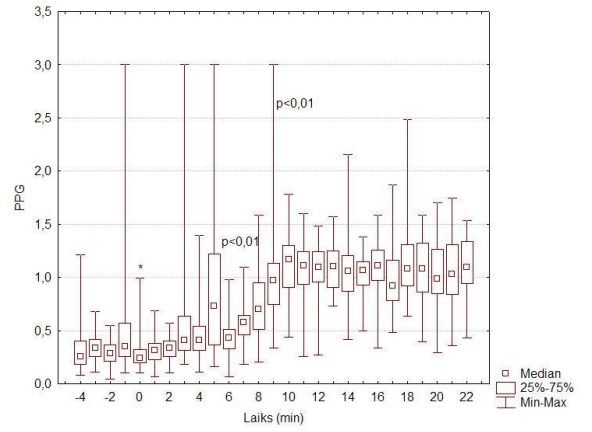
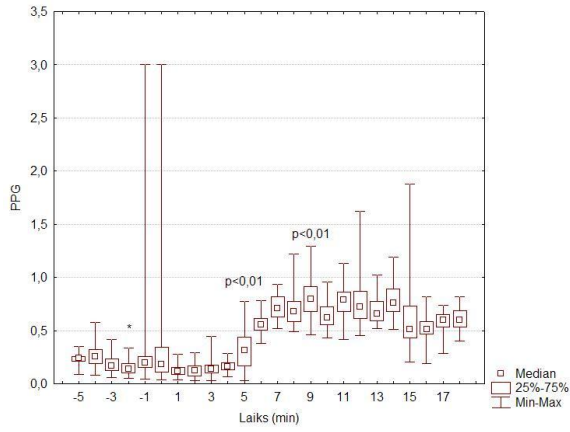
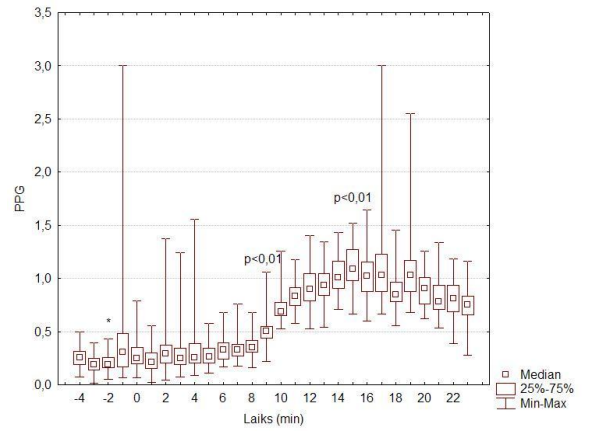
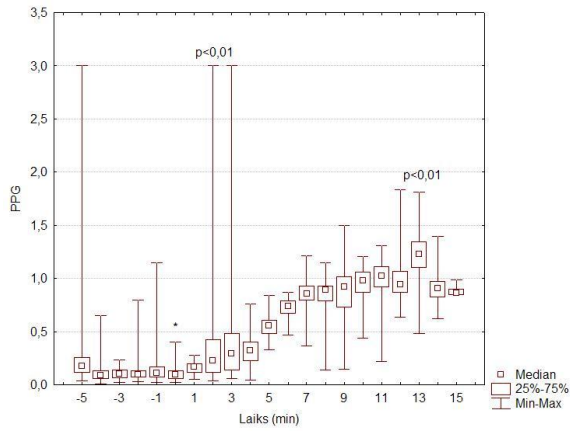
VII.PIELIKUMI

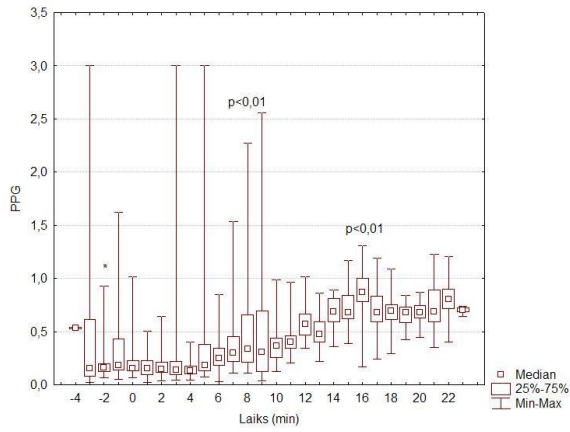
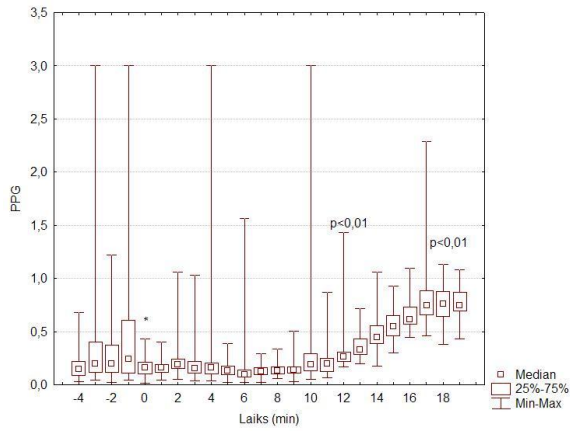
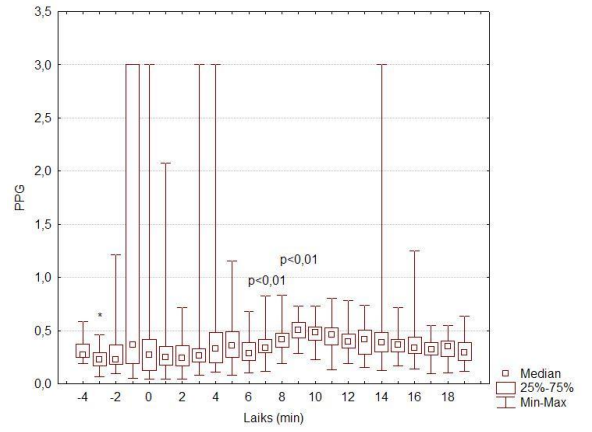
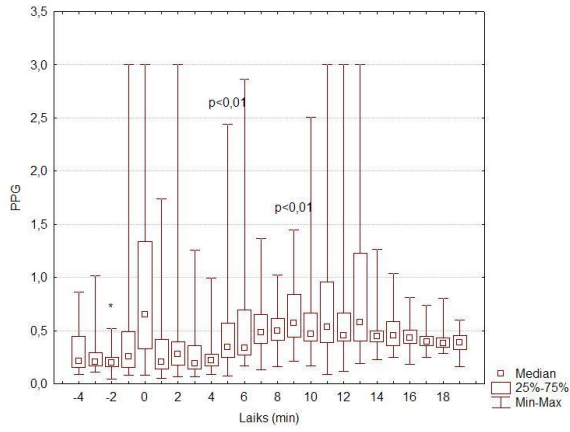
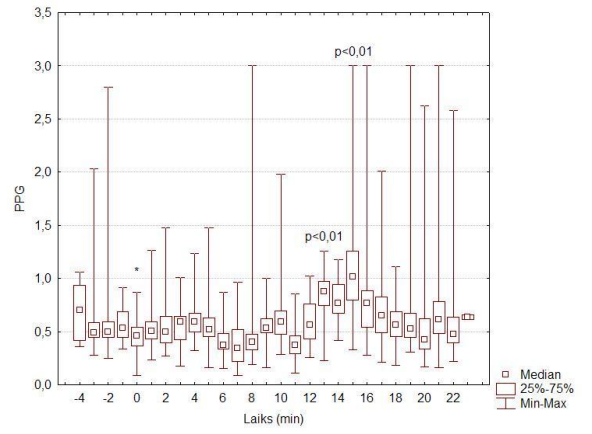
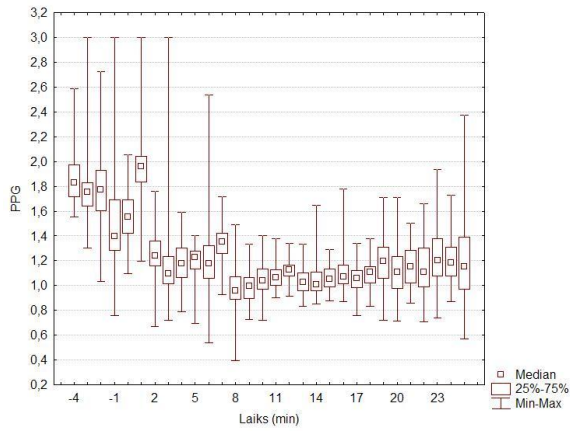
7.1. Pētījumā Nr.5 iesaistīto 38 pacientu PPG mērījumu grafiki.



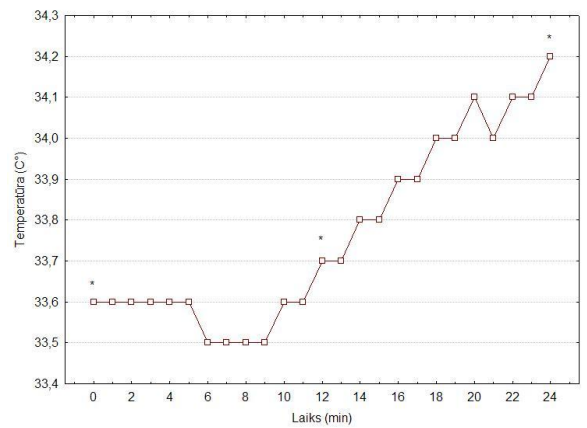
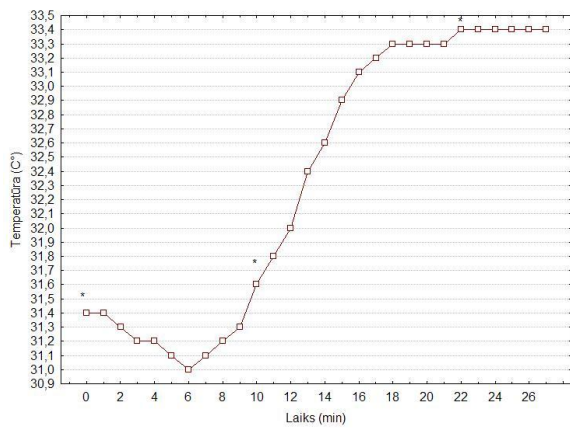
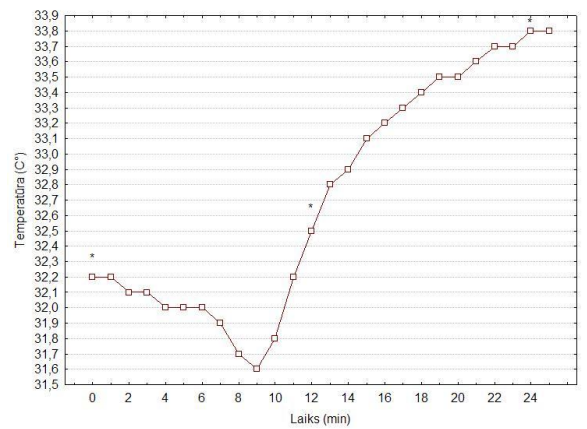
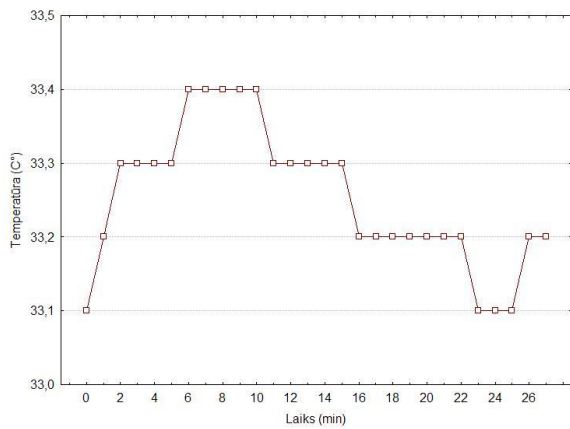
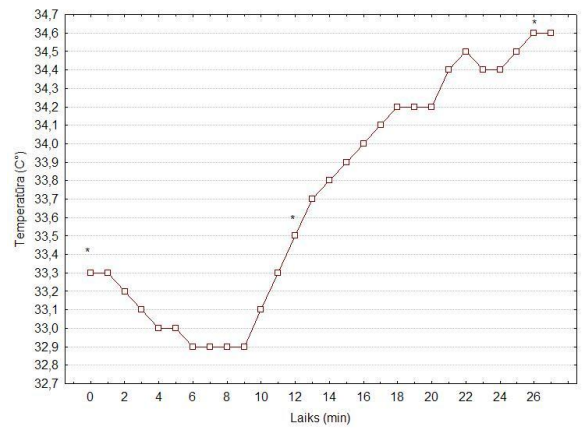
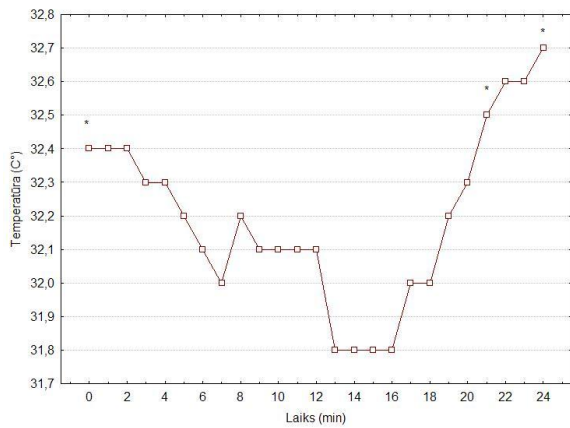
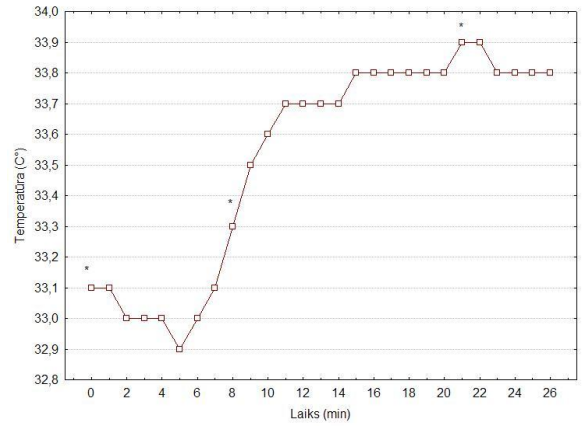
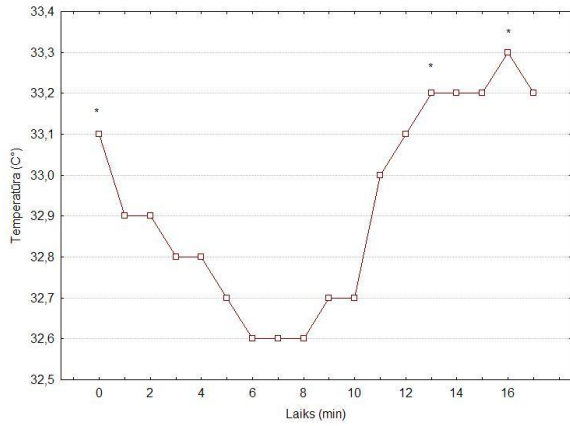


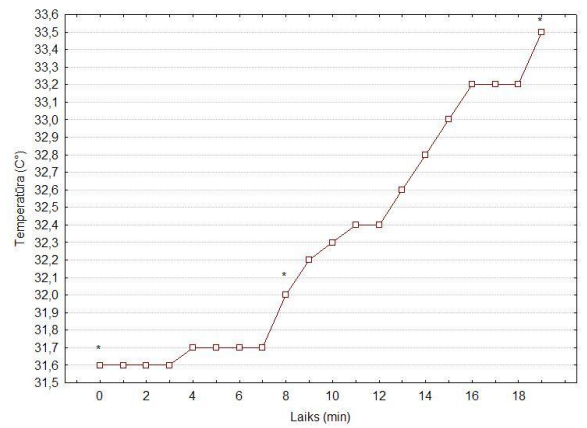
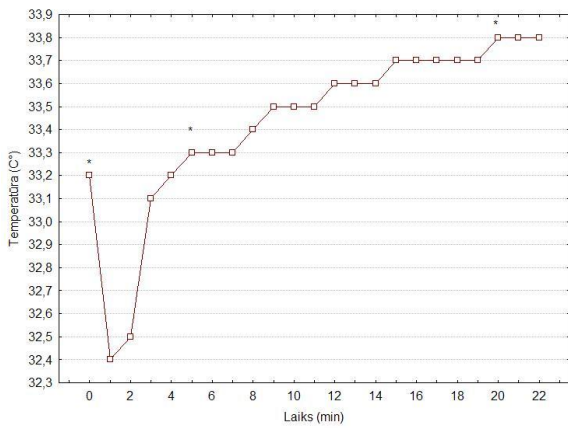
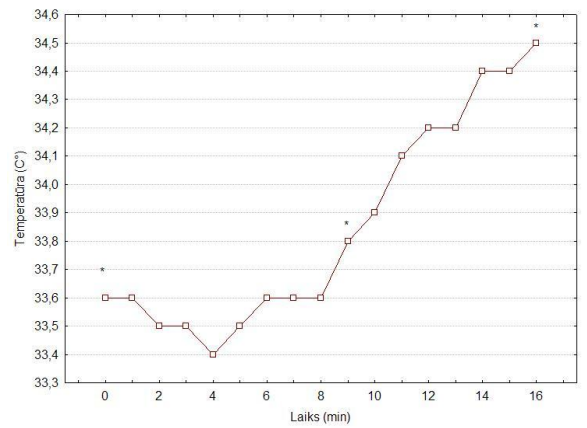
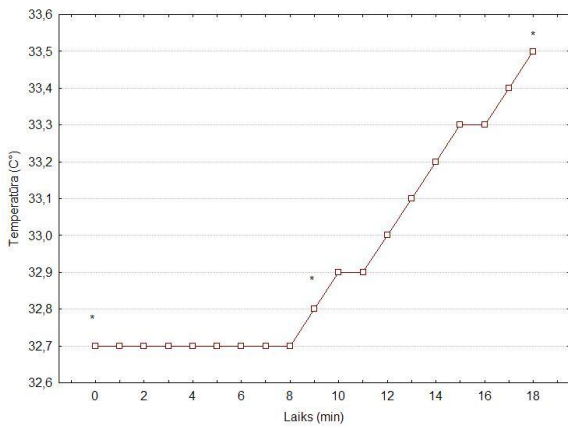
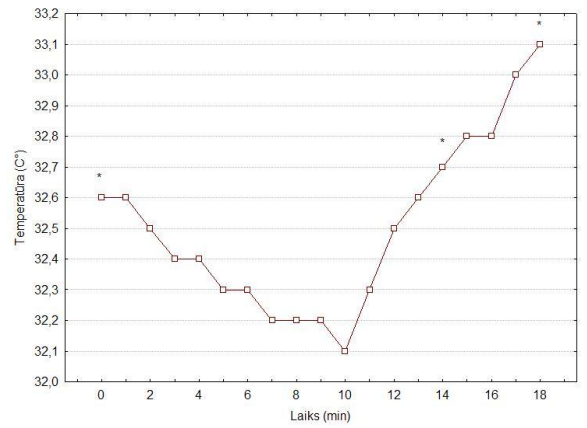
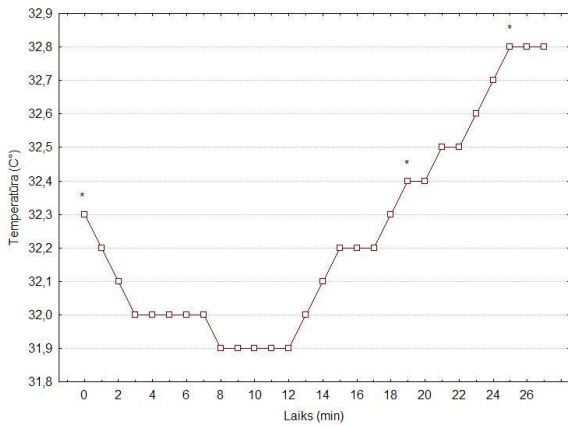
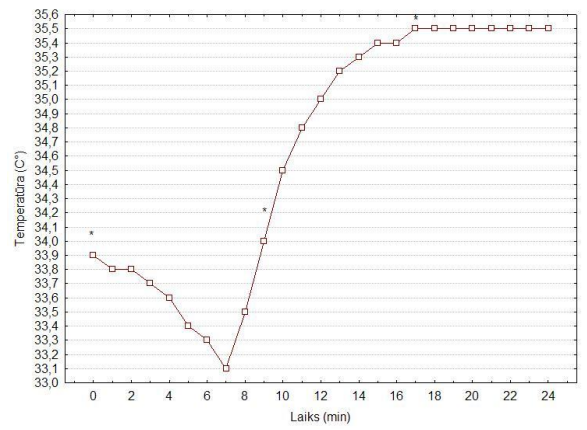
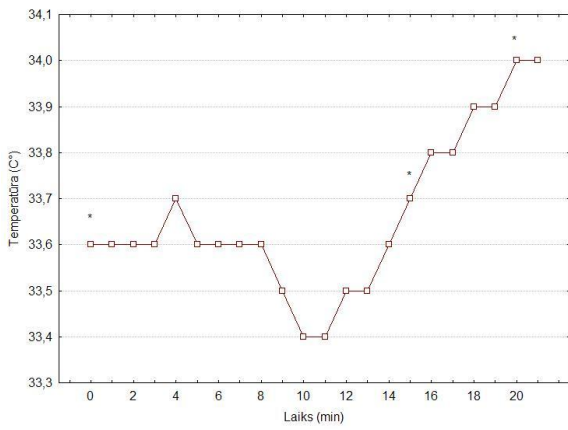


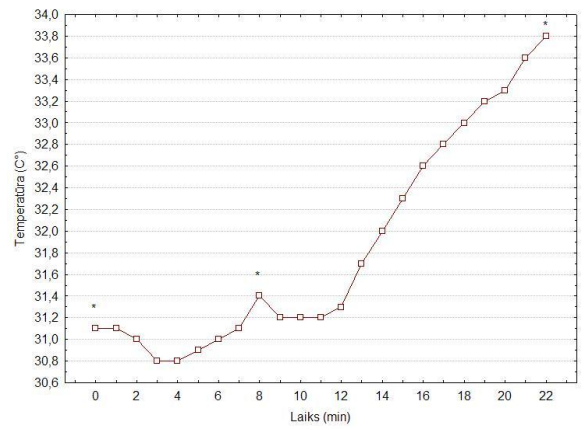
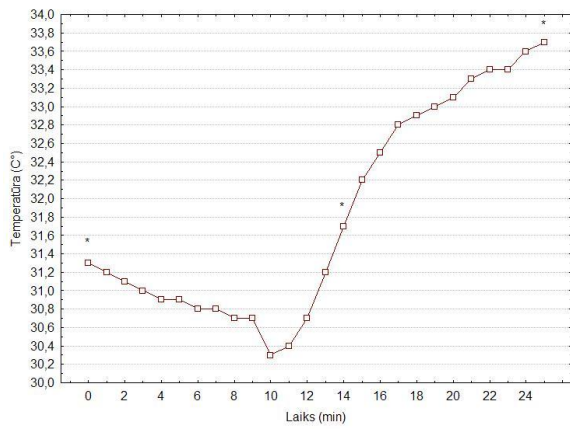
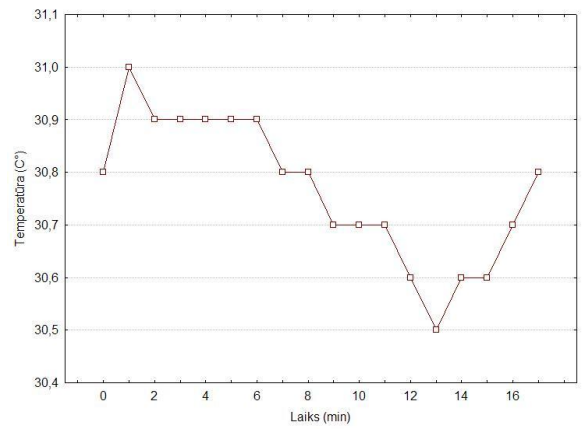
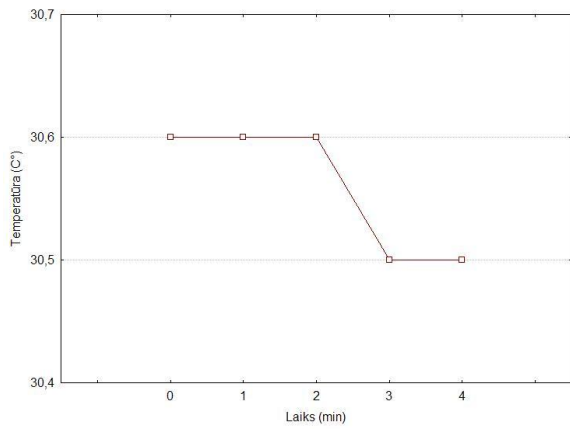
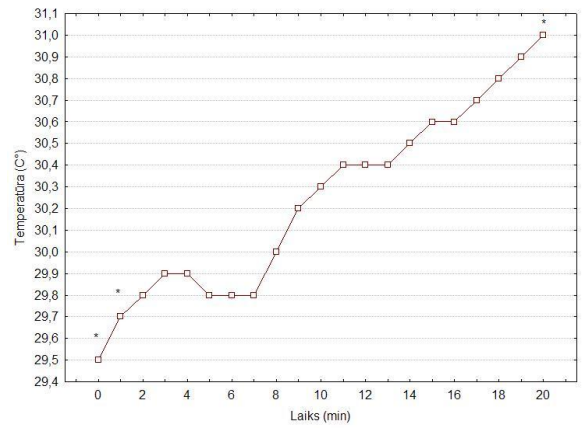
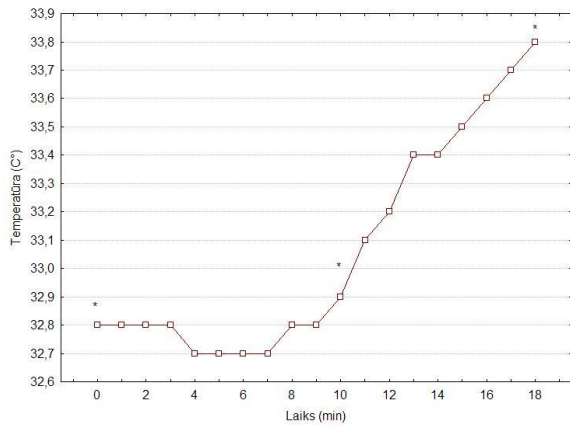
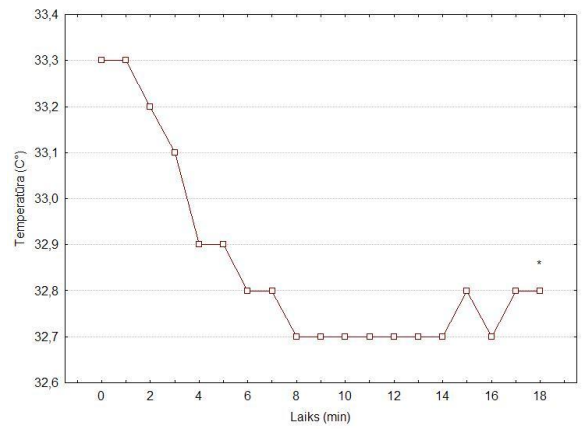
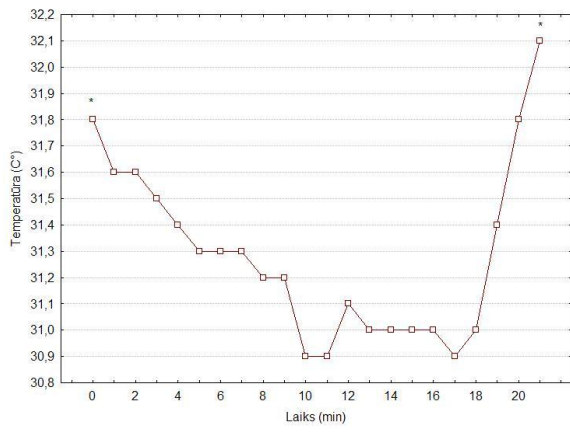


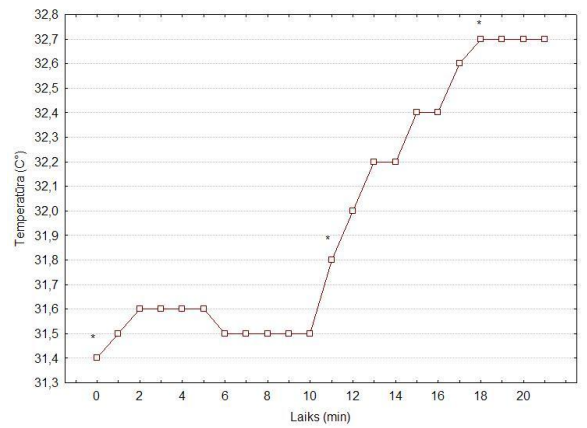
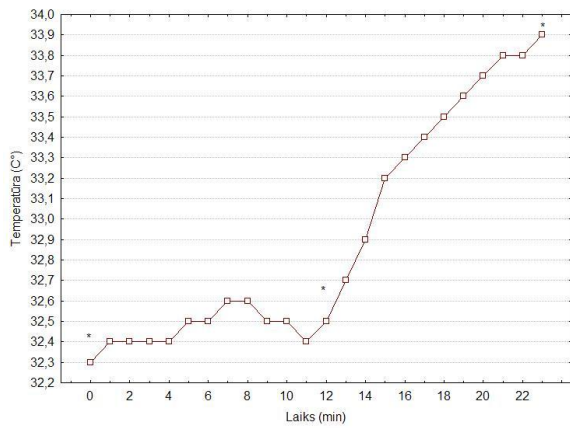
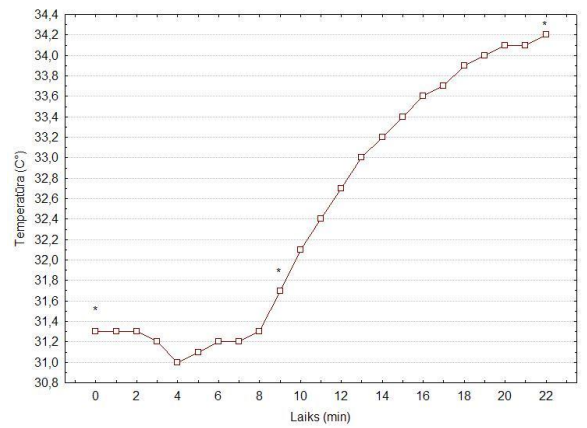
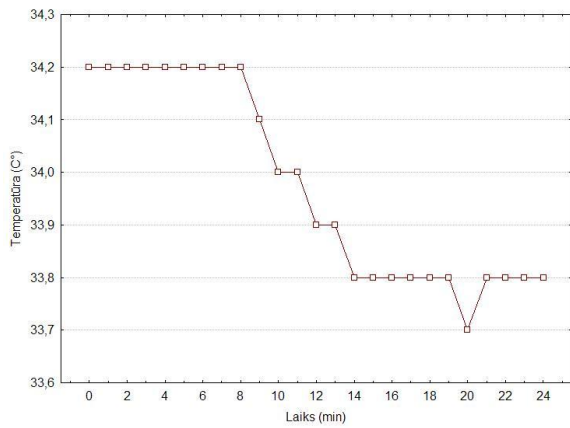
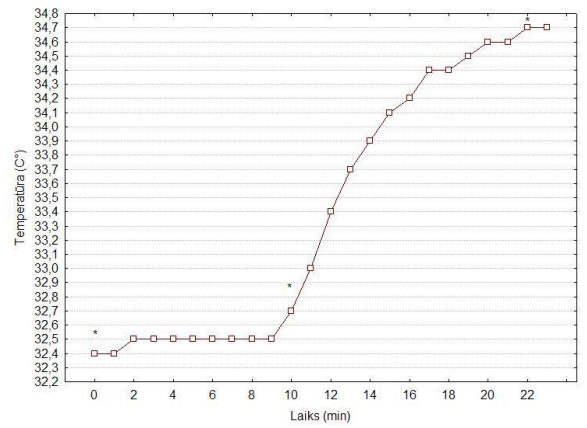
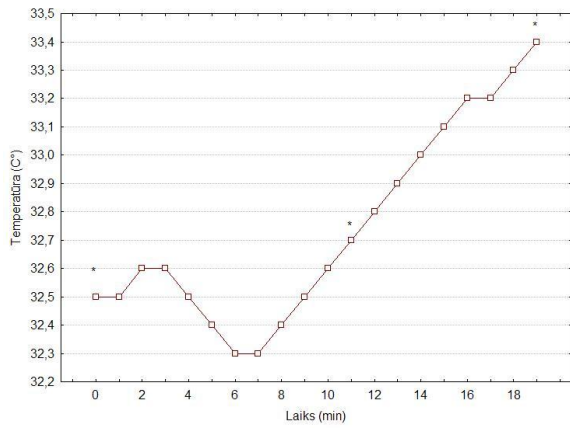
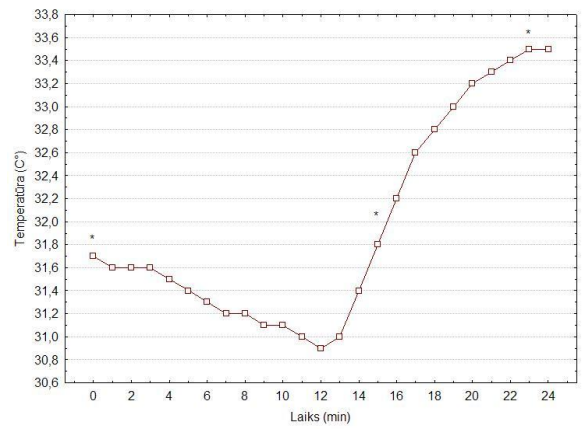
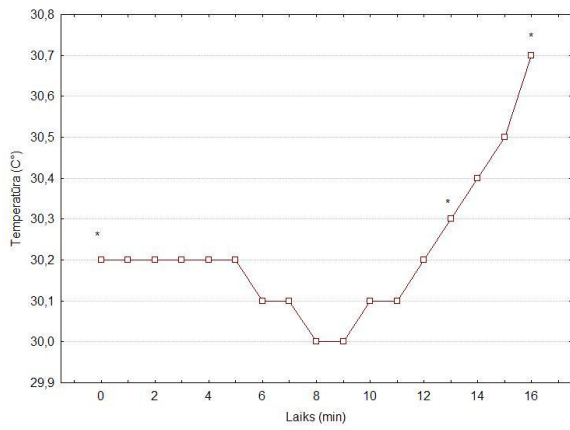


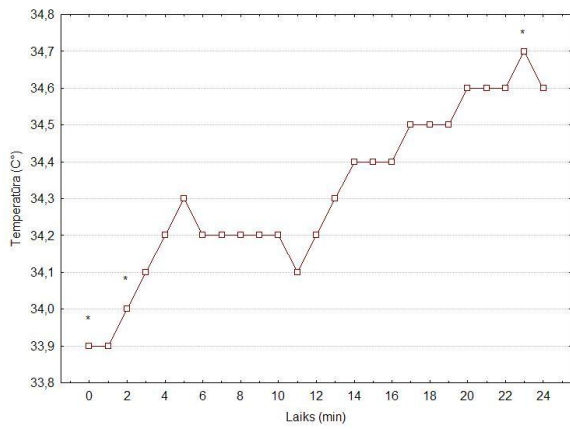
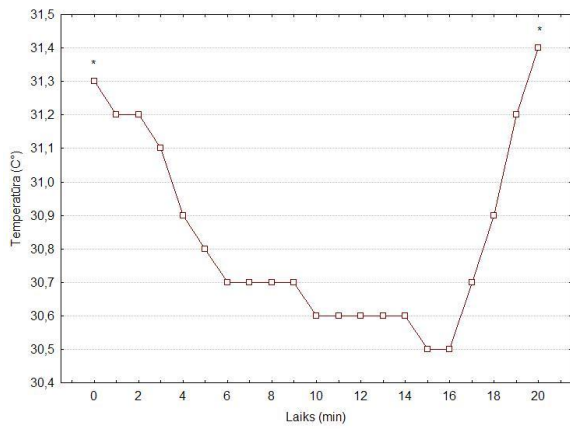
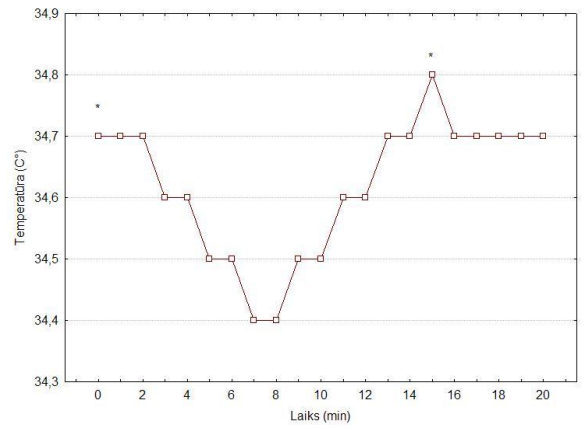
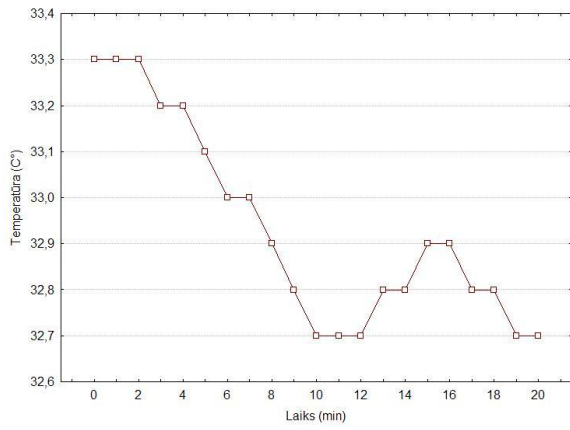
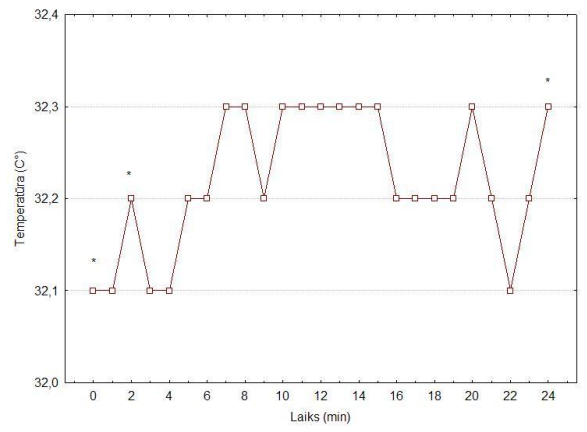
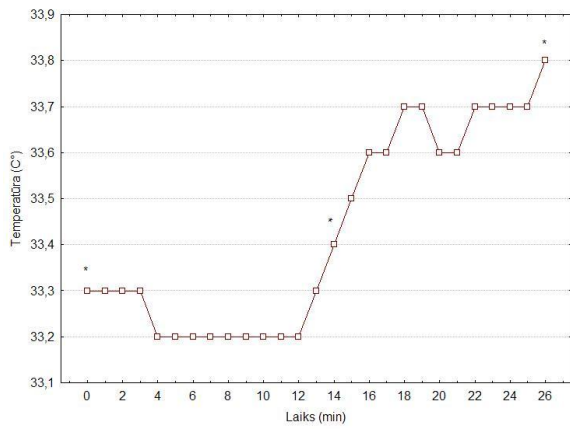
7.2. Pētījumā Nr.5 iesaistīto 38 pacientu temperatūras mērījumu grafiki.











7.3. Pētījuma Nr.5 mērījumu gala rezultātu statistiskais apkopojums.

Sakarā ar to, ka PPG mērījumus veic katram pacientam 60 reizes sekundē 30 minūšu laikā, atspoguļot pielikumos pilnībā visus mērījumu datus nav racionāli, tādēļ izveidoti PPG un temperatūras mērījumu grafiki katram pacientam (Pielikums 7.1. un pielikums 7.2.) un gala rezultātu statistiskais apkopojums (Pielikums 7.3.).

Anaesthesia successful, unsuccessful, PPG before/after, p value

	Anaesthesia successful/unsuccessful	before/after	{1} ,55315	{2} ,56331	{3} ,24674	{4} ,85060
1	0	PPG before		0,943252	0,109796	0,055951769629529
2	0	PPG after	0,943252		0,042345	0,132972953303016
3	1	PPG before	0,109796	0,042345		0,000000000000528
4	1	PPG after	0,055952	0,132973	0,000000000000528	

	Anaesthesia successful/unsuccessful	before/after	PPG Mean	PPG Std.Err.	PPG -95,00%	PPG +95,00%	N	PPG +/-95%
1	0	PPG before	0,553150	0,099225	0,351911	0,754389	5	0,201239
2	0	PPG after	0,563311	0,174728	0,208945	0,917676	5	0,354365
3	1	PPG before	0,246736	0,038623	0,168404	0,325068	33	0,078332
4	1	PPG after	0,850597	0,068013	0,712660	0,988533	33	0,137937

Anaesthesia successful, unsuccessful, PPG difference

	Anaesthesia successful/unsuccessful	PPG difference Mean	PPG difference Std.Err.	PPG difference -95,00%	PPG difference +95,00%	N	PPG difference +/-95%
1	0	0,010161	0,141749	-0,277319	0,297640	5	0,287480
2	1	0,603860	0,055176	0,491959	0,715762	33	0,111901

Anaesthesia successful, unsuccessful, PPG difference %

	Anaesthesia successful/unsuccessful	PPG difference (%) Mean	PPG difference (%) Std.Err.	PPG difference (%) -95,00%	PPG difference (%) +95,00%	N	PPG difference % +/-95%
1	0	10,0485	111,7007	-216,491	236,5879	5	226,539431
2	1	314,1965	43,4794	226,016	402,3768	33	88,180354

Anaesthesia successful, partially successful, unsuccessful, PPG before/after, p value

	Anaesthesia	before/after	{1} .55315	{2} .56331	{3} .35651	{4} .62623	{5} .22234	{6} .90046
1	unsuccessful	PPG before		0,936411	0,414450	0,700399	0,092793	0,0262955653381862
2	unsuccessful	PPG after	0,936411		0,278587	0,793137	0,029028	0,0869458594290765
3	partially successful	PPG before	0,414450	0,278587		0,025305	0,454700	0,0003113258199589
4	partially successful	PPG after	0,700399	0,793137	0,025305		0,005940	0,1312752438716350
5	successful	PPG before	0,092793	0,029028	0,454700	0,005940		0,0000000000000199
6	successful	PPG after	0,026296	0,086946	0,000311	0,131275	0,000000	

	Anaesthesia	before/after	PPG Mean	PPG Std.Err.	PPG -95.00%	PPG +95.00%	N	PPG +/-95%
1	unsuccessful	PPG before	0,553150	0,098092	0,354013	0,752288	5	0,199138
2	unsuccessful	PPG after	0,563311	0,171151	0,215856	0,910766	5	0,347455
3	partially successful	PPG before	0,356507	0,089545	0,174721	0,538294	6	0,181787
4	partially successful	PPG after	0,626227	0,156239	0,309045	0,943409	6	0,317182
5	successful	PPG before	0,222343	0,042212	0,136647	0,308038	27	0,085695
6	successful	PPG after	0,900457	0,073652	0,750936	1,049977	27	0,149521

Anaesthesia successful, partially successful, unsuccessful, PPG difference

	Anaesthesia	PPG difference Mean	PPG difference Std.Err.	PPG difference -95.00%	PPG difference +95.00%	N	PPG difference +/-95%
1	unsuccessful	0,010161	0,065784	-0,172484	0,192805	5	0,182644
2	partially successful	0,269719	0,062965	0,107862	0,431577	6	0,161857
3	successful	0,678114	0,060769	0,553201	0,803027	27	0,124913

Anaesthesia successful, partially successful, unsuccessful, PPG difference %

	Anaesthesia	PPG difference (%) Mean	PPG difference (%) Std.Err.	PPG difference (%) -95.00%	PPG difference (%) +95.00%	N	PPG +/-95%
1	unsuccessful	10,0485	7,86060	-11,7760	31,8730	5	21,824524
2	partially successful	82,7524	13,39244	48,3261	117,1788	6	34,426375
3	successful	365,6285	51,28589	260,2089	471,0482	27	105,419655

Anaesthesia successful, unsuccessful, temperature before/after, p value

	Anaesthesia successful/unsuccessful	before/after	{1} 32,320	{2} 32,940	{3} 32,421	{4} 33,342
1	0	Temperature before (C°)		0,124332	0,893292837	0,079469624
2	0	Temperature after (C°)	0,124332		0,367698838	0,594484963
3	1	Temperature before (C°)	0,893293	0,367699		0,000000681
4	1	Temperature after (C°)	0,079470	0,594485	0,000000681	

	Anaesthesia successful/unsuccessful	before/after	Temperature Mean	Temperature Std.Err.	Temperature - 95,00%	Temperature +95,00%	N	Temperature +/-95%
1	0	Temperature before (C°)	32,32000	0,532098	31,24085	33,39915	5	1,079145
2	0	Temperature after (C°)	32,94000	0,530998	31,86309	34,01691	5	1,076914
3	1	Temperature before (C°)	32,42121	0,207119	32,00116	32,84127	33	0,420057
4	1	Temperature after (C°)	33,34242	0,206691	32,92324	33,76161	33	0,419188

Anaesthesia successful, partially successful, unsuccessful, temperature before/after, p value

	Anaesthesia	before/after	{1} 32,320	{2} 32,940	{3} 32,750	{4} 33,517	{5} 32,348	{6} 33,304
1	unsuccessful	Temperature before (C°)		0,128596	0,654853	0,106247	0,97092545	0,09885782
2	unsuccessful	Temperature after (C°)	0,128596		0,794794	0,549295	0,31611640	0,63821666
3	partially successful	Temperature before (C°)	0,654853	0,794794		0,042230	0,57545769	0,31173837
4	partially successful	Temperature after (C°)	0,106247	0,549295	0,042230		0,03614453	0,76625642
5	successful	Temperature before (C°)	0,970925	0,316116	0,575458	0,036145		0,00000281
6	successful	Temperature after (C°)	0,098858	0,638217	0,311738	0,766256	0,00000281	

	Anaesthesia	before/after	Temperature Mean	Temperature Std.Err.	Temperature -95,00%	Temperature +95,00%	N	Temperature +/-95%
1	unsuccessful	Temperature before (C°)	32,32000	0,535433	31,23301	33,40699	5	1,086986
2	unsuccessful	Temperature after (C°)	32,94000	0,537348	31,84913	34,03087	5	1,090874
3	partially successful	Temperature before (C°)	32,75000	0,488781	31,75772	33,74228	6	0,992278
4	partially successful	Temperature after (C°)	33,51667	0,490529	32,52084	34,51249	6	0,995827
5	successful	Temperature before (C°)	32,34815	0,230413	31,88038	32,81591	27	0,467764
6	successful	Temperature after (C°)	33,30370	0,231238	32,83427	33,77314	27	0,469437

Anaesthesia successful and partially successful, max time, p value

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	17613,07	1	17613,07	825,2568	0,00000000000000
Error	618,93	29	21,34		
Type of measurement	821,40	1	821,40	104,2021	0,0000000000413
Error	228,60	29	7,88		

	Type of measurement	Time Mean	Time Std.Err.	Time -95,00%	Time +95,00%	N	Time +/-95%
1	Max Laiks pec manipu lacijas PPG (min)	13,43333	0,702513	11,99653	14,87013	30	1,436801
2	Max Laiks pec manipu lacijas tempe ratura (min)	20,83333	0,693290	19,41540	22,25127	30	1,417938

Anaesthesia successful, partially successful, time, p value

	Anaesthesia	Type of measurement	{1} 17,000	{2} 26,000	{3} 12,720	{4} 19,800
1	partially successful	Max time after manipulation, PPG (min)		0,0000231479030	0,0266075718108	0,08951378122
2	partially successful	Max time after manipulation, temperature (min)	0,00002315		0,0000000000601	0,00209307523
3	successful	Max time after manipulation, PPG (min)	0,02660757	0,0000000000601		0,00000000115
4	successful	Max time after manipulation, temperature (min)	0,08951378	0,0020930752300	0,000000011493	

	Anaesthesia	Type of measurement	Time Mean	Time Std.Err.	Time -95,00%	Time +95,00%	N	Time +/-95%
1	partially successful	Max time after manipulation, PPG (min)	17,00000	1,587991	13,74715	20,25285	5	3,252851
2	partially successful	Max time after manipulation, temperature (min)	26,00000	1,357519	23,21925	28,78075	5	2,780751
3	successful	Max time after manipulation, PPG (min)	12,72000	0,710171	11,26528	14,17472	25	1,454719
4	successful	Max time after manipulation, temperature (min)	19,80000	0,607101	18,55641	21,04359	25	1,243590

Anaesthesia successful and partially successful, time of first statistically feasible temperature and PPG changes, p value

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5415,000	1	5415,000	239,7481	0,000000
Error	655,000	29	22,586		
Type of measurement	299,267	1	299,267	18,0531	0,000203
Error	480,733	29	16,577		

	Anaesthesia	Type of measurement	Time Mean	Time Std.Err.	Time -95,00%	Time +95,00%	N	Time +/-95%
1	partially successful	Max time after manipulation, PPG (min)	17,00000	1,587991	13,74715	20,25285	5	3,252851
2	partially successful	Max time after manipulation, temperature (min)	26,00000	1,357519	23,21925	28,78075	5	2,780751
3	successful	Max time after manipulation, PPG (min)	12,72000	0,710171	11,26528	14,17472	25	1,454719
4	successful	Max time after manipulation, temperature (min)	19,80000	0,607101	18,55641	21,04359	25	1,243590

Descriptive patients' data

	Valid N	Mean	Confidence -95,000%	Confidence +95,000%	+/-95% confidence	Median	Min.	Max.	Lower Quartile	Upper Quartile	Std.Dev.
Age (years)	38	47,6316	41,9768	53,2863	5,655	46,5000	19	80	31,0	64,0	17,20374
Systolic pressure (mmHg)	38	134,8684	128,5727	141,1642	6,296	130,0000	105	190	120,0	145,0	19,15396
Diastolic pressure (mmHg)	38	75,5263	72,2664	78,7862	3,260	75,0000	60	105	70,0	80,0	9,91787
Pulse	38	71,2368	67,9889	74,4848	3,248	70,0000	55	100	65,0	78,0	9,88155
Height (cm)	38	174,4737	171,3324	177,6150	3,141	175,5000	159	201	165,0	180,0	9,55705
Weight (kg)	38	79,2368	74,2693	84,2044	4,968	80,0000	50	105	68,0	93,0	15,11297

