



Nina Liukonen

Sinivalodesinfioinnin vaikutus ambulanssin pintahygieniaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Laboratorioanalyttikko (AMK)

Laboratorioanalytiikka

Opinnäytetyö

26.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Nina Liukonen
Otsikko:	Sinivalodesinfioinnin vaikutus ambulanssin pintahygieniaan
Sivumäärä:	41 sivua + 2 liitettä
Aika:	26.5.2025
Tutkinto:	Laboratorioanalyttikko (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Laboratorioanalytiikka
Ohjaajat:	Infektiotutkimuksen dosentti Kirsi Saukkonen Lehtori Jarmo Palm

Ambulanssin hyvän pintahygienian ylläpitäminen on avainasemassa infektioiden leviämisen ehkäisemisessä, sekä potilaiden ja hoitohenkilökunnan turvallisuuden varmistamisessa. Tämä opinnäytetyö tutki antimikrobisen sinivalon vaikutusta ambulanssin kokonaismikrobitasoon verrattuna tavalliseen ambulanssiin, kun hygieniakäytännöt pysyvät samoina.

Opinnäytetyö toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampuksen mikrobiologian laboratoriossa yhteistyössä erään pääkaupunkiseudun pelastusaseman kanssa. Työn ohjasi infektiotutkimuksen dosentti Kirsi Saukkonen.

Tutkimus koostui kahdesta kokeellisesta osasta. Ensimmäisessä osassa arvioitiin sinivalon vaikutusta valmiilla testialustoilla ajan funktiona laboratoriossa. Toisessa osassa kerättiin kolmen päivän ajan pintakosketusnäytteitä kahdesta pelastusasemalla aktiivisessa käytössä olevasta ambulanssista, joista vain toisessa käytettiin sinivaloa pelastustehtävien välillä.

Laboratoriokokeessa havaittiin mikrobikuorman vähenemistä sinivaloaltistuksen jälkeen, mutta ajan funktiona ei saatu selkeää vähenemää. Tutkimus kärsi useista toteutukseen liittyvistä puutteista, kuten kontrollinäytteiden puuttumisesta ja ongelmista testiorganismien kasvussa. Näiden vuoksi tulosten luotettavuus jäi rajalliseksi.

Pintanäytetutkimuksessa molemmissa ambulansseissa havaittiin lievää tai kohtalaista kasvua ($0-21,05$ pmy/cm²) useilla pinnoilla, eikä kokonaispesäkemäärissä ollut suurta eroa. Lisäksi havaittiin, ettei sinivaloa käytetty järjestelmällisesti: selvisi ettei ensihoitajat osanneet käyttää valoa oikein.

Tulosten perusteella sinivalo voi toimia antimikrobisena lisäkeinona, mutta sen tehokkuus edellyttää sinivalon johdonmukaista käyttöä ja valon esteetöntä pääsyä pinnoille. Sinivalo ei korvaa perinteistä puhdistusta, mutta toimii sitä täydentävänä desinfiointikeinona.

Avainsanat: ambulanssi, antimikrobinen sinivalo, sinivalodesinfiointi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Nina Liukonen
Title: The Effect of Blue Light Disinfection on the Ambulance Surface Hygiene
Number of Pages: 41 pages + 2 appendices
Date: 26 May 2025

Degree: Bachelor of Laboratory Services
Degree Programme: Laboratory Sciences
Supervisors: Kirsi Saukkonen, Docent of Infectious Disease Research
Jarmo Palm, Lecturer

Maintaining good surface hygiene in ambulances is crucial for preventing the spread of infections and ensuring the safety of both patients and medical personnel. This thesis investigated the effect of antimicrobial blue light on the overall microbial load in an ambulance compared to a conventional ambulance, assuming all other hygiene practices remained the same.

The research was conducted at the microbiology laboratory of Metropolia University of Applied Sciences at the Myyrmäki campus, in collaboration with a rescue station in the Helsinki metropolitan area. The thesis was supervised by Docent of Infectious Disease Research, Kirsi Saukkonen.

The research consisted of two experimental parts. In the first part, the effect of blue light was assessed over time on prepared test surfaces in a laboratory setting. In the second part, surface contact samples were collected over three days for ambulances in active use at the rescue station, one of which used blue light disinfection between emergency calls.

In the laboratory experiment, a reduction in microbial load was observed after blue light exposure, but no clear decrease was detected as a function of time. The research was affected by several procedural shortcomings, such as missing control samples and issues with the growth of test organisms, which limited the reliability of the results.

In the surface sampling study, mild to moderate microbial growth (0–21.05 CFU/cm²) was detected on several surfaces in both ambulances, with no significant differences in total colony counts. It was also found that blue light was not used systematically: some paramedics did not know how to operate the device properly.

Based on the results, blue light may serve as an additional tool, but its effectiveness depends on consistent use and unobstructed exposure of surfaces to the light. Blue light does not replace traditional cleaning but can complement it as a disinfection method.

Keywords: ambulance, antimicrobial blue light, blue light disinfection

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sinivaloteknologia	2
3	Pintahygienia terveydenhuollossa	4
4	Ambulanssin hygienia ja desinfiointimenetelmät	10
5	Sinivalodesinfioinnin tehokkuuden tutkimukset	13
6	Tutkimusmenetelmät	17
6.1	Kvantitatiivinen carrier-testi	17
6.2	Pintakosketusnäytteet	20
7	Tulokset	23
7.1	Kvantitatiivinen carrier-testi	23
7.2	Pintakosketusnäytteet	27
8	Johtopäätökset	34

	Lähteet	36
--	---------	----

Liitteet

Liite 1: Kvantitatiivisen carrier-testin lasketut tulokset

Liite 2: Pintakosketusnäytteiden tulokset

Lyhenteet

- BSA: *Bovine Serum Albumine*. Naudan seerumin albumiini.
- DNA: Deoksiribonukleiinihappo. Solujen perinnöllistä tietoa sisältävä molekyyli.
- LED: *Light-emitting diode*. Valodiodi.
- MRSA: Metisilliiniresistentti *Staphylococcus aureus*. Tietyille antibiooteille vastustuskykyinen stafylokokkibakteeri.
- PMY: Pesäkkeen muodostava yksikkö. Bakteeriviljelmien mittayksikkö, joka ilmaisee elävien mikro-organismien määrän näytteessä. Yksi pmy vastaa yhtä mikro-organismipesäkettä, joka muodostuu yhdestä solusta tai soluryhmästä.
- RNA: Ribonukleiinihappo. Nukleotidien muodostama polymeeri, joka toimii välittäjänä geneettisen informaation siirrossa ja proteiinien synteesissä.
- TSA: *Trypticase Soy Agar*. Tryptonisoija-agar. Yleiskäyttöinen, ei-selektiivinen mikro-organismien kasvatusalusta.

1 Johdanto

Ambulanssin hyvän pintahygienian ylläpitäminen on avainasemassa infektioiden leviämisen ehkäisemisessä, sekä potilaiden ja hoitohenkilökunnan turvallisuuden varmistamisessa. Kosketustartunta on yleisin tartuntatieteen terveydenhuollossa tapahtuvien infektioiden synnyssä. Näin ollen tehokkaat hygienia- ja desinfiointikäytännöt ovat välttämättömiä, sillä bakteerit, virukset ja muut mikro-organismit voivat säilyä pitkään elinkelteisinä ja tarttuvina erilaisilla pinnoilla. [1; 2.]

Pääkaupunkiseudulla on kymmeniä ambulansseja, jotka ovat varustettu kemikaalittomalla siniseen LED-valoon perustuvalla desinfiointitekniikalla. Pelastusasemalla, jolla tutkimus suoritettiin, on ensihoitotehtävissä kahdenlaisia ambulansseja, uusia, joissa on sinivalot asennettuina ambulanssin hoitotilaan, ja vanhoja, joissa ei vielä ole tätä uutta teknologiaa käytössä. Sinivalodesinfioinnissa näkyvä sininen valo aktivoi mikrobin valoa absorboivia molekyylejä, mikä lopulta johtaa usean reaktion kautta mikrobin tuhoutumiseen. Perinteisen kemiallisen puhdistuksen rinnalla sinivalodesinfiointi tehostaa hygienian ylläpitoa. [3; 4.]

Opinnäytetyö toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampuksen mikrobiologian laboratoriossa yhteistyössä erään pääkaupunkiseudun pelastusaseman kanssa. Työn ohjasi infektiotutkimuksen dosentti Kirsi Saukkonen.

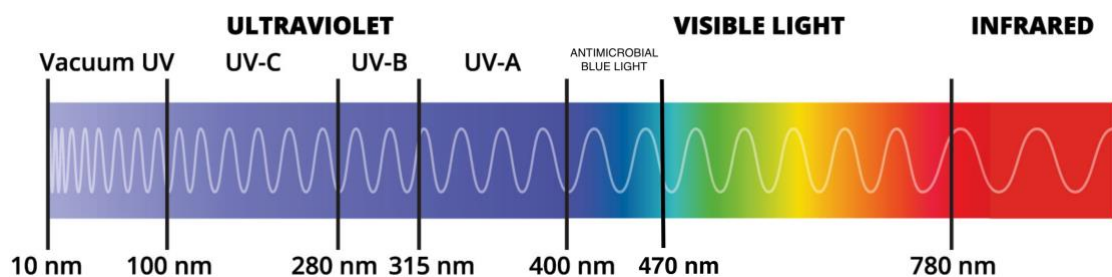
Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa tutkimuksen kohteena olevan pelastusaseman ambulanssien puhtaustasoa mikrobiologisin menetelmin sekä tutkia, kuinka suuri vaikutus sinivalodesinfioinnilla on ambulanssin kokonaismikrobitasoon verrattuna tavalliseen ambulanssiin, kun muut hygieniakäytännöt pysyvät samoina. Haluttiin myös selvittää, riittääkö 15 minuuttia sinivaloa puhdistukseen sekä onko ambulanssin kattoon sijoitettu sinivalo riittävä, vai tarvitaanko lisävaloa myös muista suunnista.

Tutkimus tehtiin kahdessa osassa, joista ensimmäisessä tutkittiin, kuinka paljon sinivalo tuhoaa mikrobeja ambulanssiin sijoitetuilla valmiilla testialustoilla ajan funktiona. Tutkimuksen toisessa osassa kerättiin pintakosketusnäytteitä pelastusasemalla hälytysajossa olevista ambulansseista sekä tutkittiin ambulanssien välisiä eroja.

2 Sinivaloteknologia

Antimikrobisen sinivalotekniikan toiminta perustuu luonnollisen sinisen valon käyttöön, joka on täysin turvallinen ihmisille ja materiaaleille, mutta tuhoaa bakteerit, hiivat, homeet ja sienet sekä myös antibioottiresistentit kannat ja biofilmit. Sinivalo tehoaa myös tehokkaasti lipidivaipallisiin viruksiin, kuten koronaviruksiin, A-influenssaan ja lintuinfluenssaan, muttei vaipattomiin viruksiin kuten norovirukseen. Myöskään bakteerien tai homeiden itiöihin sillä ei ole vaikutusta, tai ne tarvitsevat todella suuren valokäsittelyn. [5.]

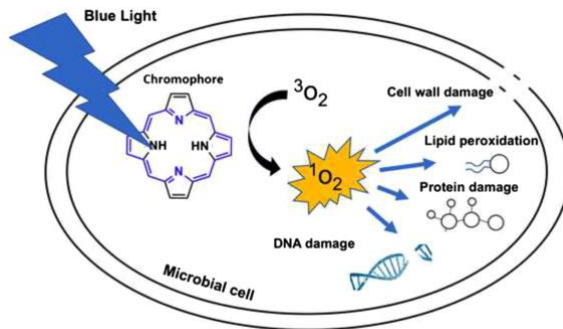
Järjestelmässä käytetty sininen valo on luonnollista näkyvää valoa (kuva 1), joka sisältää kahta tai useampaa aallonpituutta vain yhden sijaan. Käyttöön valitut aallonpituudet vaihtelevat aallonpituuksilla 400–470 nm. [5; 6.]



Kuva 1. Valon spektrillä antimikrobinen sinivalo kattaa aallonpituusalueen 400–470 nm. [7, muokattu]

Sinivalon vaikutus perustuu mikrobisoluissa olevien valoa absorboivien yhdisteiden, kuten flaviinien ja porfyriinien aktivoimiseen (kuva 2). Kun nämä yhdisteet aktivoituvat, alkaa usean reaktion sarja, joka muodostaa erittäin reaktiivisia happimolekyylejä mikrobisolun sisällä. Nämä happisolut aiheuttavat

mittavia sisäisiä vaurioita solun DNA:han, RNA:han, lipideihin, proteiineihin ja solukalvoon ensin deaktivoiden solun ja lopulta tuhoten sen. [4.]



Kuva 2. Sinivalo alkaa vaikuttaa valoa absorboiviin yhdisteisiin muodostaen erittäin reaktiivisia happimolekyylejä. Lopulta mikrobisolu deaktivoituu ja kuolee [4].

Ambulanssin sinivalojärjestelmä on automaattinen ja kosketusvapaa menetelmä pintojen ja sisäilman desinfiointiin. Sinivalot asennetaan ambulanssin hoitotilan kattoon (kuva 3) ja niitä ohjataan ambulanssin väyläohjainjärjestelmän kautta. [3.]



Kuva 3. Sinivalojärjestelmä päällä ambulanssissa.

Jatkuva desinfiointi on yksi sinivalotekniikan eduista verrattuna puhdistuksessa käytettyihin kemikaaleihin ja ultraviolettiluon. Jatkuva desinfiointi laskee ensin vähitellen ambulanssin mikrobitasoa ja sen jälkeen pitää sen alhaisena, kun sinivaloa käytetään aktiivisesti hoitotehtävien välissä. [8.]

Sinivalon vaikutusta voidaan vielä tehostaa titaanioksidia (TiO_2) sisältävän valokatalyysipinnoitteen avulla. Pinnoite aktivoidaan sinivalolla, jolloin se alkaa muodostamaan reaktiivisia happiyhdisteitä. Kun lyhytikäiset happiyhdisteet reagoivat pinnalla olevien mikrobien kanssa, niin mikrobit hajoavat ja happiyhdisteet neutraloituvat vedeksi ja hiilidioksidiksi. Tässä opinnäytetyössä tutkituissa ambulansseissa ei kuitenkaan ole tätä pinnoitetta. [9.]

Ambulanssien lisäksi sinivalodesinfiointin avulla voidaan parantaa irtotavaroiden, sekä kokonaisten huoneiden pintahygieniaa ja ilmanlaatua mm. laboratorioissa, terveydenhuollossa ja lasten päivähoidossa [4].

3 Pintahygienia terveydenhuollossa

Ensihoitajat kohtaavat päivittäin monenlaisia potilaita, joilla on erilaisia terveysongelmia, sekä mahdollisia infektioita, joista ei hoidon alkaessa välttämättä vielä edes tiedetä. Ensihoitotehtävien myötä ambulanssin pinnat altistuvat epäpuhtauksille, kuten ihmisen eritteille, hengitysilman bakteereille sekä muulle lialle, jotka voivat sisältää taudinaiheuttajia. [10.]

Tartuntatauteja eli infektioitauteja ovat sairaudet, jotka voivat tarttua bakteerin, viruksen, loisen tai sienen siirtyessä eliöstä toiseen joko suoraan tai välillisesti. Ihminen voi saada taudinaiheuttajan toisesta ihmisestä, eläimestä tai ympäristöstä. Tyypillisimpiä tartuntateitä ovat kosketus-, pisara- ja ilmatartunta, joista kosketustartunta on yleisin ja merkittävin tartuntatie. Kaikki tartunnat eivät kuitenkaan välttämättä johda infektiin, vaan sairastuminen riippuu mikrobien määrästä ja patogeenisuudesta, ihmisen terveydentilasta sekä muista puolustuskykyyn vaikuttavista tekijöistä. [1; 11; 12.]

Sairaalainfektio, josta nykyään käytetään termiä *hoitoon liittyvä infektio*, on infektio, jonka potilas on saanut hoidon aikana sairaalassa tai muussa hoitopaikassa. Suurimman osan näistä infektioista aiheuttaa bakteeri. 60–80 prosentissa tapauksista potilas on tuonut aiheuttajabakteerin mukanaan sairaalaan tullessaan. Tyypillisesti nämä ovat ihmisen luontaisia bakteereita, kuten ihon stafylokokkeja ja suoliston kolibakteereita, jotka pääsevät sairaalahoidon luomissa poikkeusolosuhteissa tunkeutumaan potilaan elimistöön aiheuttaen infektion. Arviolta noin kolmanneksessa hoitoon liittyvistä infektioista potilas on saanut tartunnan oman elimistönsä ulkopuolelta. Bakteerit voivat myös siirtyä käsien välityksellä huoneympäristön pinnoilta niitä kosketettaessa tai hoitohenkilökunnan tai vierailijoiden käsien kautta. Tärkeimpiä keinoja ehkäistä hoitoon liittyviä infektioita onkin henkilökunnan hyvä käsihygienia, tarkoituksenmukaiset työskentelytavat ja hoitovälineiden käsittely, sekä tarvittaessa suojainten käyttö. [13; 14.]

Mikrobit ovat pieniä, paljaalla silmällä näkymättömiä eliöitä, joita ovat bakteerit, hiivat ja homeet, alkueläimet ja mikroskooppiset levät, sekä virukset. Mikrobeja on kaikkialla biosfäärissä: ihmisen iholla ja suolistossa, sekä luonnossa mullasta aina tuliperäisiin kuumiin lähteisiin asti. [16.]

Bakteerit voivat muodostaa tiukasti erilaisiin pintoihin kiinnittyneitä järjestäytyneitä rakenteita eli biofilmejä. Pinnoilla biofilmit tuntuvat ohuina ja limaisina kerroksina. Hampaiden plakki ja järvellä olevan kiven limainen pinta ovat molemmat esimerkkejä biofilmistä. Nämä bakteeriyhteisöt voivat koostua yhdestä lajista tai useista eri mikrobeista. Ne ovat vastustuskykyisempiä antibiootteja kohtaan kuin yksittäiset mikrobit, sillä biofilmimuoto voi suojata bakteeria isännän immuunijärjestelmältä. [16; 17; 18.]

Bakteerien säilyvyys pinnoilla vaihtelee merkittävästi lajin, olosuhteiden ja pinnan materiaalin mukaan. Tyypillisimmät sairaalapatogeenit voivat säilyä kuivilla pinnoilla jopa kuukausia. Taulukkoon 1 on koostettu sairaalaympäristön yleisimpien sairauksia aiheuttavien bakteerikantojen elinaikoja erilaisilla pinnoilla. [19.]

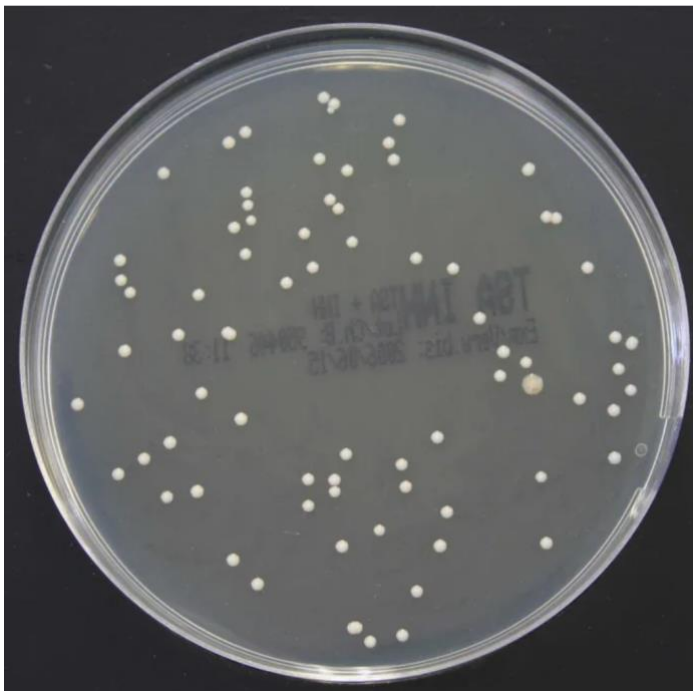
Taulukko 1. Sairaalaympäristön yleisimpien sairauksia aiheuttavien bakteerien elinaikoja erilaisilla pinnoilla [19].

Patogeeni	Materiaali	Elinaika
Akinetobakteerit	kangas	25 päivää
	lasi	7–20 päivää
	paperi	6 päivää
<i>Clostridium difficile</i>	lasi	15 minuuttia
	lattiamateriaalit	5 kuukautta
	ruostumaton teräs	>6 viikkoa
Enterobakteerit	ruostumaton teräs	1–24 päivää
Enterokokit	kangas	5–7 päivää
	muovi	1 päivä
	polyetyleni	5 päivää – 2 kuukautta
<i>Escherichia coli</i>	kangas	4 tuntia – 8 viikkoa
	lasi	1 – ≥14 päivää
	lattiamateriaalit	1 tunti – 8 viikkoa
	muovi	24 tuntia – > 300
	teräs	14 – >60 päivää
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	kangas	<1–4 viikkoa
	lattiamateriaalit	2 viikkoa
	muovi	9–32 päivää
	ruostumaton teräs	3–6 viikkoa
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	kangas	1 tunti – >8 viikkoa
	lattiamateriaalit	1 tunti – >8 viikkoa
	muovi	9 tuntia – 10 viikkoa
	ruostumaton teräs	5 päivää
<i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA)	kangas	1 – >70 päivää
	lasi	15–25 päivää
	lattiamateriaalit	>4 tuntia – 8 viikkoa
	muovi	21 päivää – >3 vuotta
	polyetyleni	90–1097 päivää
	ruostumaton teräs	6 tuntia – >6 viikkoa
<i>Staphylococcus aureus</i> (VRSA)	kangas	1–2 viikkoa
	polyetyleni	>90 päivää
	pöydän pinta	2 kuukautta

Bakteerien patogeenisuus, apatogeenisuus ja opportunisti kuvaavat niiden kykyä aiheuttaa sairauksia. Apatogeeni ei aiheuta sairautta, mutta patogeeni voi aiheuttaa infektion. Opportunistiset bakteerit puolestaan voivat sopivan tilaisuuden tullen aiheuttaa infektion, jos isännän immuunijärjestelmä on heikentynyt. [20; 21.]

Sairaalaympäristön yleisimpien sairauksia aiheuttavien bakteerien joukosta valittiin *Escherichia coli* ja *Streptococcus aureus* opinnäytetyön tutkimusorganismeiksi. Molemmat bakteerit ovat hyvin tutkittuja ja helposti saatavilla. Lisäksi näiden bakteerien solurakenteet eroavat toisistaan, joten ne saattavat reagoida eri tavoin sinivaloon, mikä on mielenkiintoista tutkimuksen kannalta.

Escherichia coli on gramnegatiivinen *Enterobacteriaceae*-heimon bakteeri. Tyypillinen *E. coli* on kooltaan noin 1–3 µm:n pituinen ja 0,5 µm:n levyinen sauvamainen bakteeri. Se on fakultatiivisesti anaerobinen organismi, eli se kykenee kasvamaan sekä hapellisessa että hapettomassa ympäristössä. Sopivissa olosuhteissa *E. coli* (kuva 4) kykenee jakautumaan 20 minuutin välein ja kasvaa vaaleina pesäkkeinä. [16; 22; 23.]



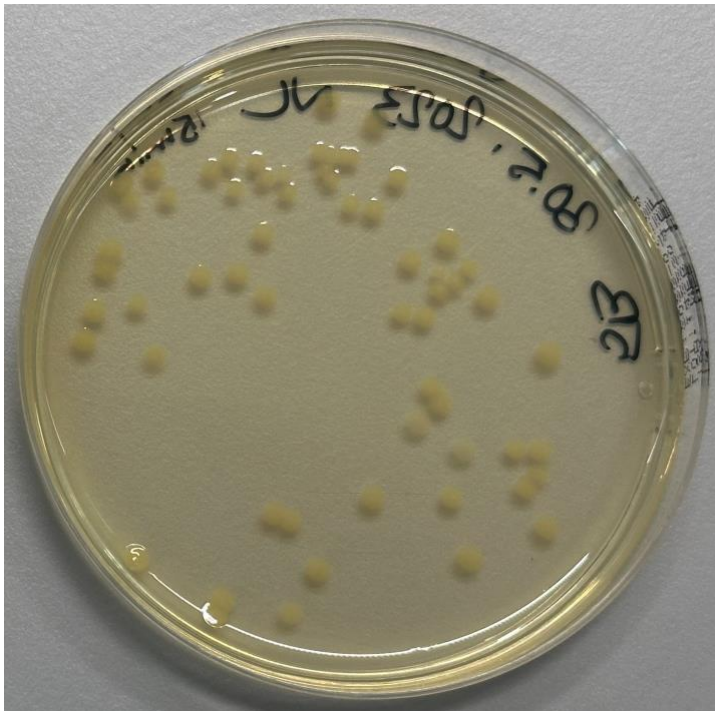
Kuva 4. *Escherichia coli* tryptonisoija-agarilla [24].

E. coli rakennetta, fysiologiaa ja genetiikkaa on tutkittu valtavasti, ja se mahdollisesti onkin tutkituin elävä organismi. Viljeltynä se kasvaa nopeasti laboratoriossa ja on kasvatusvaatimuksiltaan vaatimaton, ja siksi sitä käytetään paljon myös genetiikassa ja genetiikan tutkimuksessa. [22.]

E. coli -bakteerit ovat osa ihmisten ja eläinten suolistosta löytyvää luonnollista bakteerikantaa. Pääosin ne ovat hyödyllisiä muun muassa immuunipuolustuksen kannalta, jolloin ne estävät haitallisten mikrobien imeytymisen ja lisääntymisen suolistossa. Lisäksi *E. coli* voidaan käyttää isäntänä B12-vitamiinin synteesissä. On olemassa myös patogeenisiä *E. coli* -kantoja, jotka kykenevät aiheuttamaan erilaisia infektioita. *E. coli* aiheuttamien tautien kirjo on laaja. Se voi aiheuttaa muun muassa suolisto- ja virtsatieinfektioita, kirurgisia infektioita, sepsiksen ja vastasyntyneen aivokalvontulehduksen. [23; 25.]

EHEC eli enterohemorraginen *Escherichia coli* on *E. coli* muuntunut bakteerikanta. Se tuottaa myrkyllistä verotoksiinia, joka aiheuttaa ihmisellä suolitulehduksen ja veriripulin. EHEC-tartunnan voi saada ulosteesta kontaminoituneesta ja huonosti kypsentämättömästä ruosta, juoma- tai uimavedestä, käsien välityksellä henkilöstä toiseen tai suoraan eläimistä, joilla esiintyy EHEC-bakteeria. Tartunnan aiheuttava bakteeriannos on hyvin pieni; vain 10–100 kappaletta riittää aiheuttamaan infektion. [22; 25; 26.]

Staphylococcus aureus on grampositiivinen pyöreä bakteeri, joka on noin 0,5–1,0 µm halkaisijaltaan, ja se tyypillisesti kasvaa usean solun rykelminä. Myös tämä testiorganismi on fakultatiivisesti anaerobinen bakteeri ja maljalla kasvatettuna (kuva 5) se muodostaa kellertäviä pesäkkeitä. Se sietää myös hyvin kuivia olosuhteita sekä korkeita suolapitoisuuksia ja kykenee tuottamaan ruokamyrkytyksiä aiheuttavia enterotoksiineiksi kutsuttuja myrkyjä suurella lämpötila- ja pH-alueella. [27; 28; 29.]



Kuva 5. *Staphylococcus aureus* tryptonisoija-agarilla.

S. aureus on sekä kommensaalinen bakteeri, että merkittävä ihmisen patogeeni, joka voi aiheuttaa monenlaisia infektiota. Sitä esiintyy terveiden nisäkkäiden ja ihmisten limakalvoilla, iholla ja ulosteissa. Arviolta noin 30 prosentilla koko väestöstä löytyy stafylokokkibakteeria nenän limakalvoilta. [28; 29.]

S. aureus on johtava ruokamyrkytysten, bakteremian, tarttuvan endokardiitin, nivel-, iho- ja pehmytkudosinfektioiden, sekä pleuropulmonaalisten ja laiteperäisten infektioiden aiheuttaja. Hoitamattomana se voi johtaa kuolemaan. *S. aureus* muodostaa monikerroksisia biofilmejä, mikä aiheuttaa sen, että infektiot ovat usein pitkäaikaisia ja vaikeita hoitaa. Yleensä stafylokokki-infektioita hoidetaan penisilliinin sukuisilla antibiooteilla, mutta jotkut stafylokokit, kuten metisilliiniresistentti *Staphylococcus aureus*, MRSA, ovat kehittäneet vastustuskyvyn näille tyypillisille stafylokokkiantibiooteille. MRSA-infektioiden hoito on huomattavasti haasteellisempaa johtuen niihin tehoavien antibioottien valikoiman vähäisyydestä. MRSA leviää tyypillisesti kosketustartuntana käsien

välityksellä ja Suomessa noin 70 % MRSA-tartunnoista todetaan sairaaloissa tai laitoksissa. [30; 31; 32.]

4 Ambulanssin hygienia ja desinfiointimenetelmät

Ambulanssi altistuu päivittäin monenlaisille taudinaiheuttajille, jotka voivat siirtyä pintojen ja välineiden kautta ihmisiin aiheuttaen erilaisia infektioita. Ambulanssin hyvän pintahygienian tarkoituksena on varmistaa infektion torjunta ja ehkäistä ristikontaminaatiota. Potilaiden ja hoitohenkilöstön turvallisen ympäristön takaamiseksi ambulanssin välineet ja sisusta on suunniteltu niin, että ne ovat helposti puhdistettavissa. [10; 33.]

Lika on Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n Puhtausalan sanaston mukaan pinnoilta erilaisin puhdistusmenetelmin poistettavissa olevaa, pinnan käyttötarkoitusta haittaavaa ainetta. Sitä tulee ihmisen toiminnasta, ihmisestä itsestään ja luonnosta. Noin 80 % liasta kulkeutuu tilan käyttäjien jalkojen tai ilmapirran mukana sisätiloihin ja tilasta toiseen. Kosketuspinoille lika siirtyy likaisten käsien kautta. Jo yksittäinen ihokosketus bakteereilla kontaminoituneen pinnan kanssa voi edistää taudinaiheuttajan leviämistä. [19; 34; 35.]

Lika harvoin on vain yhtä ainetta, ja se kerää itseensä jatkuvasti uutta materiaalia toimien kasvualustana sekä terveydelle harmittomille että haitallisille mikrobeille. Pinnoilla mikrobit voivat olla kuivina, kiinteään tai nestemäiseen seokseen sekoittuneina. Lian koostumus, pinnan materiaali, ympäristön olosuhteet, sekä pinnan ja lian sähkövaraukset vaikuttavat siihen, kuinka tiukasti lika tarttuu pintaan kiinni. [34; 35.]

Puhtauden käsitteellä on laaja merkitys. Selvän lian voi nähdä, haistaa tai tuntea. Huonosti puhdistetulla pinnalla voi tuntea sormenpäällä paksun biofilmin ja lian muodostavan kerroksen. Fysikaalisesti puhtaalla pinnalla ei näy likaa. Kun pinnalla ei ole näkyvää likaa eikä pesuainejäämiä, se on kemiallisesti puhdas. Näennäinen puhtaus ei kuitenkaan aina tarkoita sitä, että pinta olisi

mikrobiologisesti puhtas. Mikrobiologisesti puhtaalla pinnalla ei ole mikrobeja. Visuaalisesti puhtaat elottomat pinnat ovatkin tärkeä patogeenien lähde. [19; 36.]

Hygieniatoimenpiteiden merkitys infektioiden ehkäisyssä ambulanssiympäristössä on ensiarvoisen tärkeä potilasturvallisuuden kannalta. Hygienia tarkoittaa terveydenhoidollista puhtautta. Hyvään sairaalahygieniaan kuuluu kaikki ne toimet, joita tehdään terveyden- ja sairaanhoidossa tartuntojen ehkäisemiseksi. Hyvä käsihygienia, hoitoympäristön ja välineistön puhtaudesta huolehtiminen, sekä toimiminen aseptiikan periaatteiden mukaisesti torjuu infektioita merkittävästi. [37.]

Aseptiikalla tarkoitetaan kaikkien niiden toimenpiteiden kokonaisuutta, jonka tarkoituksena on ehkäistä infektioiden syntyä. Aseptiikan avulla suojataan potilasta, hoitohenkilöstöä, -välineistöä ja -ympäristöä mikrobeilta. Kaiken aseptisen toiminnan perusta on puhdistus, jonka tarkoituksena on poistaa kaikki näkyvä lika, sekä vähentää mikrobien määrää iholla, hoitovälineissä ja hoitoympäristössä turvalliselle tasolle. Aseptisen työjärjestyksen mukaisesti ambulanssin puhdistamisessa edetään järjestelmällisesti puhtaasta likaiseen päin. Useille pinnoille huolellinen puhdistus on riittävä menetelmä ja desinfektiota tarvitaan ainoastaan kosketuspinoille, sekä eritetahrojen puhdistuksen viimeistelyyn. Pintojen puhdistuksessa käytetään yleispuhdistusaineita ja mielellään kertakäyttöisiä siivouspyyhkeitä. Desinfektioon voidaan käyttää etanolipohjaisia tai alkoholittomia puhdistusaineita. [37; 38; 39.]

Pelastusasemalla, jolla tutkimus suoritettiin, käytetään mekaanisen desinfioinnin ja puhdistuksen rinnalla desinfioivaa sumusta ja sinivalotekniikkaa. UV-valon käytöstä ambulansseissa on luovuttu sen aiheuttamien materiaaliuhojen takia. [3; 40.]

Desinfiioivan sumutuksen aikana hoitotilan kattoon asennetusta sumutinpäästä (kuva 6) sumutetaan kerrallaan noin 30 ml biosidipohjaista desinfiointiainetta, joka pinnoille laskeutuessaan puhdistaa ne epäpuhtauksista. [3, 40]



Kuva 6. Ambulanssin hoitotilassa sumutinpää on valmiina puhdistavaan sumutukseen [40].

Sinivalotekniikan avulla hoitotila puhdistetaan kemikaalittomasti hoitotehtävien välissä. Lisäksi jokaisen potilaan jälkeen hoitotila puhdistetaan kertakäyttöisillä pintadesinfektiopyyhkeillä. [3; 40.]

Sinivalodesinfioinnilla on suuri potentiaali ambulanssikäytössä. Sen tärkeimpiä etuja ovat kemikaaliton, turvallinen ja jatkuva desinfiointi potilaskuljetusten välillä. Ihmisen lisäksi sinivalo on turvallinen myös materiaaleille. Muihin puhdistustekniikkoihin yhdistettynä sinivalo voi parantaa ambulanssin hygieniatasoa, joka lisää potilasturvallisuutta ja vähentää tartuntojen leviämisriskiä kiireisissä ensihoitotehtävissä. [4; 5; 8.]

5 Sinivalodesinfioinnin tehokkuuden tutkimukset

Pandemiat ja antibioottiresistenssin kasvu ovat korostaneet tarvetta vaihtoehtoisille keinoille kemiallisten desinfiointiaineiden ja antibioottien rinnalle. Antimikrobinen sinivalo on viimeisen vuosikymmenen aikana herättänyt kasvavaa kiinnostusta terveydenhuollon eri ympäristöissä ja sen tehokkuutta mikro-organismeja kohtaan on tutkittu lukuisissa eri tutkimuksissa. Monet tutkimukset osoittavat, että sinivalo on tehokas mikrobeja vastaan ja että se voi tarjota turvallisen keinon tartuntojen torjuntaan terveydenhuollossa sekä muissa julkisissa tiloissa. Tarkastellaan seuraavaksi tutkimuksia, jotka käsittelevät *E. colin*, *S. aureuksen*, biofilmien, sekä virusten inaktivointia antimikrobisella sinivalolla. [5.]

Kim ja Kang [41] tutkivat sinivalon tehokkuutta *Escherichia colin* inaktivoinnissa aallonpituuksilla 395, 405, 415 ja 425 nm käyttäen valoa emittoivia diodeja (LED) säteilytykseen. Sinivalosäteilytyksen jälkeen näytteiden soluvaurioita tutkittiin läpäisyelektronimikroskoopilla ja huomattiin merkittäviä vaurioita solukalvoissa kaikilla tarkastelluilla aallonpituuksilla. Erityisesti aallonpituudet 395 ja 405 nm aiheuttivat mittavia solukalvovaurioita, jotka johtivat solun sisäisten aineiden vuotoon solun ulkopuolelle. 415 ja 425 nm:n säteilytykset puolestaan aiheuttivat vain kohtalaisia solukalvovaurioita, mutta aikaansaiivat vakavaa soluliman denaturaatiota. Visuaalista tarkastelua tukivat mikrobiviljelyt, joissa havaittiin 6–7 log (99,9999–99,99999 %) vähenemät bakteerimäärissä verrattuna näytteeseen ennen sinivalosäteilytystä. [41.]

Masson-Meyers ym. [42] vertailivat tutkimuksessaan 405 nm LEDin ja 405 nm:n laserin antimikrobista vaikutusta metisilliiniresistenttiin *Staphylococcus aureukseen* vertailukelpoisin säteilyannoksien. TSA-maljoille viljeltyä MRSA:ta säteilytettiin molemmilla valonlähteillä käyttäen erilaisia säteilyintensiteettejä ja -aikoja. Tulokset osoittivat, että molemmat valonlähteet vähensivät bakteerikasvua tilastollisesti merkitsevästi verrattuna kontrollinäytteisiin. LEDin ja laserin välillä ei havaittu merkittäviä eroja antimikrobisessa vaikutuksessa MRSA:ta kohtaan. [42.]

Ferrer-Espada ym. [43] tutkivat sinivalon (405 nm) tehoa monilajisten biofilmien inaktivoimisessa. Tutkimusorganismit *Pseudomonas aeruginosa*, MRSA ja *Candida albicans* kasvatettiin kuoppalevyissä ja altistettiin sinivalolle eri annoksilla. Tulokset osoittivat, että sekä monomikrobiset että polymikrobiset biofilmit olivat erittäin herkkiä sinivalon aallonpituudelle 405 nm ja että biofilmin paksuuden kasvaessa myös sen vastustuskyky antimikrobiselle valolle kasvaa. [43.]

Sinivalon on arveltu olevan tehoton viruksia vastaan, koska niissä ei ole porfyriineja. Rathnasinghen ym. tutkimus kuitenkin osoitti, että lipidivaipallisilla hengitystiepatogeeneilla, kuten SARS-CoV-2:lla ja influenssa A -viruksella on lisääntynyttä alttiutta sinivalolle aallonpituudella 405 nm. Tämä viittaisi siihen, että sinivalon vaikutus perustuu viruksen rakenteellisiin ominaisuuksiin, sekä valon aiheuttamaan oksidatiiviseen stressiin. [44.]

Sinivalon antimikrobinen vaikutus riippuu siis valon aallonpituudesta ja mikrobin ominaisuuksista. Tutkimusten perusteella tehokkaimmat aallonpituudet mikrobien deaktivoinnissa sijoittuvat välille 400–470 nm (taulukko 2), mutta optimaalisin antimikrobinen teho useimmilla mikrobeilla saavutetaan aallonpituudella 405 nm. Mikrobien herkkyys sinivalolle on lajikohtaista ja tutkimukset viittaavat siihen, että grampositiiviset bakteerit olisivat herkempiä sinivalolle, kuin gramnegatiiviset lajit. [5; 45.]

Taulukko 2. Antimikrobisen sinivalon vaikutus sairaalaympäristön yleisimpiin sairauksia aiheuttaviin bakteereihin, sekä koronavirukseen [5].

Mikrobi	Aallonpituus (nm)	Säteilyannos (J/cm ²)	Elinkelpoisuuden menetys
<i>Acinetobacter baumannii</i>	405	144–270	99,99–99,9999 %
<i>Enterococcus Spp.</i>	405	360	99,999 %
<i>Escherichia coli</i>	405–420	59–603	90–99,999 %
	445	540	<90 %
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	410	108–1903	66,1–100 %
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	405–415	10–463	>90–100 %
	470	603,44	65 %
<i>Staphylococcus aureus</i>	400–420	50–841	71–>99,999 %
	450 (pulssi)	4,5–7,6	80–100 %
	470	603,44	80 %
SARS-CoV-2	450–470	144	>99 %

Laboratoriotutkimusten lisäksi sinivalon tehokkuutta on tutkittu myös käytännön sovelluksissa. Esimerkiksi Glasgow Royal Infirmaryn palovammaosastolla potilashuoneiden kattoon on asennettu siniseen LED-valoon perustuvat puhdistusjärjestelmät tehostamaan hygieniaa normaalien puhdistuskäytäntöjen rinnalle. Palovammaosasto on haastava ympäristö infektioiden torjunnan kannalta, sillä palovammapotilaat ovat poikkeuksellisen taipuvaisia levittämään suuria määriä bakteereja ympäristöön ja samalla ovat myös erittäin alttiita erilaisille infektioille. Tutkimuksen aikana sinivalojärjestelmät olivat synkronoitu osaston valaistukseen ollen jatkuvasti päällä päivittäin 8.00–22.00 välillä 7 päivän ajan. Sinisten valodiodien joukkoon oli integroitu valkoisia diodeja pehmentämään valoa tehden siitä miellyttävämmän potilaille. Tutkimusta tehtiin kolmessa eristys huoneessa, joista kustakin kerättiin potilaan ympäriltä päivittäin 70 bakteerinäytettä Baird Parker -kontaktiagarlevyillä. BPA on selektiivinen kasvatusalusta stafylokokeille ja toimii hyvänä viljelyalustana ihmisen ihoperäisille taudinaiheuttajille. Tutkimuksissa havaittiin, että valon intensiteettiä

tärkeämpää oli altistusajan pituus. Kaikissa kolmessa tutkimuksessa havaittiin bakteerimäärien vähenemistä sinivalon käytön jälkeen 2–7 päivän kuluessa, jolloin pinnoilla olevien bakteerien määrä laski 22–86 %. Vastaavasti valon käytön jälkeen bakteerien määrä pinnoilla kasvoi 78–309 %.

Sinivalojärjestelmän todettiin olevan turvallinen jatkuvassa käytössä potilaiden kanssa, sekä vähentävän mikrobikuormaa näissä haasteellisissa tiloissa. [46; 47.]

Muita mahdollisia käyttökohteita sinivalolle ovat mm. sairaaloiden leikkaussalit, laboratoriot, lääketeollisuuden puhdistilat, ruokateollisuuden tilat, erilaiset sisäilmakohteet, sekä tämän tutkimuksen kohteena olevat ambulanssit.

Suomessa sinivalollisia desinfiointijärjestelmiä on jo asennettu moniin erilaisiin laboratorioihin, sairaaloihin ja terveydenhuollon kohteisiin, ambulansseihin, sekä eläinlääkäriasemille. [48.]

Tutkimusten perusteella sinivalodesinfiointin keskeisiä etuja ovat sen laaja-alainen mikrobisidinen vaikutus, turvallisuus jatkuvaan käyttöön ihmisten läsnä ollessa, sekä tehokkuus moniresistenttejä patogeeneja vastaan. Sinivalo ei myöskään aiheuta tuhoja materiaaleille, niin kuin tehokas UV-valo. Lisäksi sinivalodesinfiointin toistuva käyttö ei ainakaan toistaiseksi vielä ole johtanut resistenssin kehittymiseen, ja tämä tekee sinivalosta lupaavan desinfiointikeinon erityisesti sairaalaympäristöissä. Kuitenkin sinivalodesinfiointiin liittyy myös haasteita ja rajoitteita. Sinivalon tehokkuus vaihtelee eri mikrobien välillä, sillä gramnegatiiviset bakteerit saattavat tarvita pidemmän altistusajan kuin grampositiiviset bakteerit. Lisäksi sinivalo vaikuttaa vain pinnoilla, joita valo koskettaa suoraan. Varjoon jäävät pinnat ja epätasaiset rakenteet voivat jäädä desinfioitumatta. Tutkimukset sinivalon tehosta ja sen käytännön sovelluksista ovat vielä alkuvaiheessa ja tarvitaankin lisää standardoituja tutkimuksia optimaalisten käyttöolosuhteiden määrittämiseksi eri ympäristöissä erilaisia mikrobikantoja vastaan. [41; 45; 46; 49.]

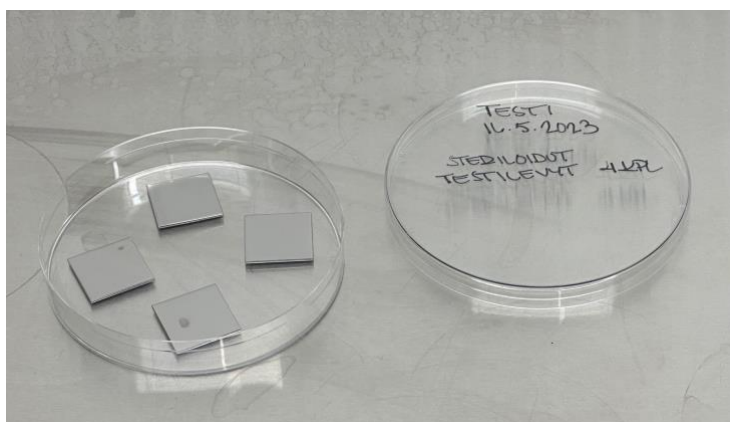
6 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus toteutettiin kahdessa osassa. Ensimmäisen osuuden aikana ambulanssi oli Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampuksella testattavana vuorokauden ajan. Toisessa osuudessa kerättiin pintakosketusnäytteitä pelastusasemalla ajossa olevista ambulansseista.

6.1 Kvantitatiivinen carrier-testi

Kvantitatiivinen carrier-testi suoritettiin soveltuvien kohtien osalta standardin SFS-EN 17272:2020 *Chemical disinfectants and antiseptics. Methods of airborne room disinfection by automated process. Determination of bactericidal, mycobactericidal, sporicidal, fungicidal, pesticidal, virucidal and phagocidal activities* mukaisesti. Kvantitatiivisen carrier-testin avulla tutkittiin, kuinka paljon ambulanssin katossa oleva sinivalo tuhoaa mikrobeja valmiilla testialustoilla ajan funktiona. [50]

Testialustoina käytettiin standardin SFS-EN 17272:2020 mukaisia neliskanttisia 2 x 2 cm:n kokoisia teräslevyjä. Teräslevyt steriloitiin liuottamalla niitä tunnin ajan 5-prosenttisessä kaliumhydroksidiliuoksessa, jonka jälkeen ne huuhdeltiin huolellisesti steriilillä vedellä. Huuhtelun jälkeen levyt laitettiin 70-prosenttiseen isopropanolikylpyyn 15 minuutiksi. Esikäsitteilyn päätteeksi levyt (kuva 7) kuivattiin bioturvakaapissa.



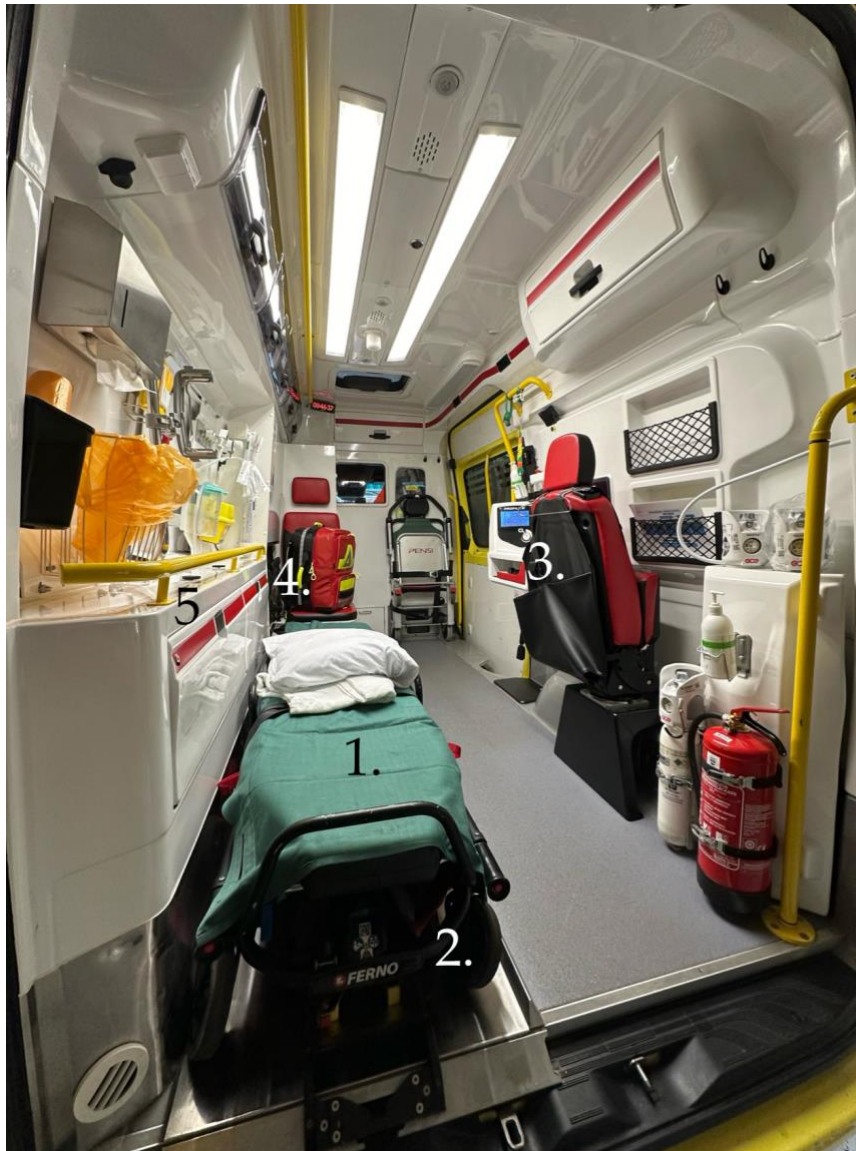
Kuva 7. Esikäsitellyt testilevyt kuivumassa bioturvakaapissa.

Testilevyjen kuivuessa valmistettiin tryptonista (1,0 g), natriumkloridista (8,5 g) ja vedestä (1 000 ml) koostuva laimennusliuos, sekä pitoisuudeltaan 0,3 g/l oleva BSA-liuos. BSA eli bovine serum albumin on naudan seerumin albumiinia, jota käytettiin tässä työssä niin sanottuna *interfering substance* -aineena, joka loi testiorganismeille luonnollisen kasvuympäristön. Laimennusliuosta käytettiin testiliuosten laimentamiseen, saantoliuoksiin sekä huuhteluun suodatusten aikana. Näiden liuosten lisäksi valmistettiin tryptonisoija-agar-maljoja (TSA) valmistajan ohjeistuksen mukaisesti. TSA on yleiskäyttöön tarkoitettu elatusaine, joka ei sisällä antibiootteja tai muita selektiivisiä aineita [51].

Standardin mukaiset testiorganismit *Escherichia coli* (ATCC 8793) ja *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) viljeltiin Metropolian omasta mikrobikantakokoelmasta. Molemmille organismeille valmistettiin omat testiliuokset ja -levyt aina samalla tavalla. Testiliuokset valmistettiin viimeiseksi niiden lyhyen (2 h) säilymisajan vuoksi. 100 ml:n mittapulloon pipetoitiin 10 ml laimennusliuosta, johon siirrostettiin silmukallinen (1 µl) bakteeria puhdasviljelmästä. Suspensiota sekoitettiin mekaanisessa sekoittajassa 3 minuutin ajan, jonka jälkeen liuoksen solujen määrä säädettiin sameusmittarin ja laimennusliuoksen avulla välille 5×10^7 – 2×10^9 pmy/ml. Kun testiliuos vielä laimennettiin BSA-liuoksella suhteessa 1:10, se oli valmis siirrostukseen.

Esikäsitellyille testilevyille levitettiin tasaisesti 50 µl testiliuosta ja niiden annettiin kuivua. Tämän jälkeen petrialjoilla olleet testilevyt mikrobeineen sijoitettiin ambulanssiin viiteen eri kohtaan (kuva 8) ja altistettiin sinivalolle seuraavan aikataulun mukaisesti:

1. Paari: 15 min, 30 min, 2 h ja 4 h
2. Paarin alla: 2 h
3. Pöytä: 15 min, 2 h ja 4 h
4. Sivutaso: 30 min, 2 h ja 4 h
5. Paarien viereinen taso: 2 h.



Kuva 8. Testilevyjen sijoittelu ambulanssissa.

Varsinaisten testilevyjen rinnalla valmistettiin standardilevyt. Niitä käsiteltiin samalla tavalla kuin testilevyjä, mutta ne olivat sinivalon sijaan bioturvakaapissa tavallisen valon alla edellä mainitun aikataulun mukaisesti.

Sinivalolle altistettuja testilevyjä ja standardilevyjä liotettiin puolen tunnin ajan saantoliuksissa (50 ml), joista sitten siirrostettiin näytteet TSA-maljoille. Jäljelle jääneet saantoliukset suodatettiin kalvosuodatuksella ja myös suodatinpaperit siirrettiin TSA-maljoille. Kaikki maljat inkuboitiin +37 °C:ssa 48 tunnin ajan, minkä jälkeen maljoilta laskettiin kasvaneet pesäkkeet ja siirryttiin tulosten käsittelyyn.

6.2 Pintakosketusnäytteet

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa oli tarkoitus kerätä pintakosketusnäytteitä, mutta TSA-kontaktimaljoja ei saatu laboratorioon ajoissa. Muutama pintakosketusnäyte kerättiin laboratoriosta ennestään löytyvillä VWR Chemicalsin Dip Slides -kontaktiagarliuskoilla (525262V) (kuva 9). Liuskoissa on kaksi erilaista puolta mikrobiologisten näytteiden keräämiseen, selektiivinen violet red bile glucose -agar (VRBG) enterobakteerien havaitsemiseen, sekä ei-selektiivinen plate count agar (PCA) kokonaisbakteerimäärän määrittämiseen. [52.]



Kuva 9. Tutkimuksessa käytetyt Dip Slides -kontaktiagarliuskat.

Tutkimuksen toisessa osassa kerättiin pintakosketusnäytteitä kolmen päivän ajan pelastusasemalla ajossa olevista ambulansseista aina ennen ensihoitajien työvuoron alkua, hoitotehtävien välillä, kun ambulanssit palasivat pelastusasemalle ja vuoron päätteeksi. Näytteet kerättiin kahdesta eri ambulanssista, joista vain toisessa sinivaloa pidettiin päällä hoitotehtävien välissä.

Näytteiden keräämiseen käytettiin pieniä, halkaisijaltaan 5,5 cm olevia Tammer BioLab Oy:n valmistamia TSA-kontaktimaljoja (TSA-CONT/T137). Näiden

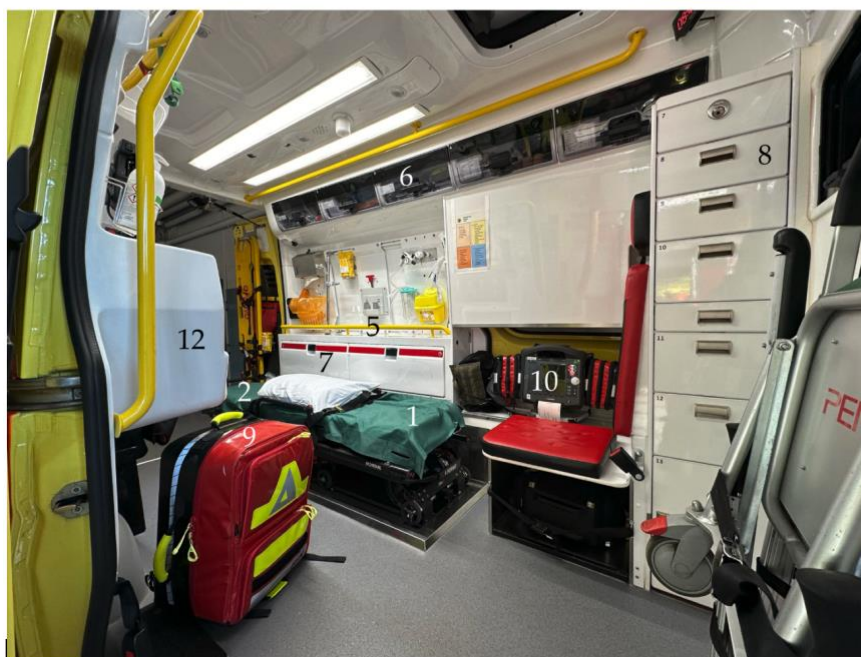
maljojen agarpinta on hieman koholla maljan reunojen yli, jolloin maljan agar voidaan kevyesti painaa pinnalle, josta näyte halutaan ottaa (kuva 10).



Kuva 10. Tutkimuksessa käytetyt TSA-kosketusmaljat [49].

Pintakosketusnäytteiden keräyskohteiksi valittiin ne ambulanssin kosketuspinnat (kuva 11), joita kosketetaan eniten hoitotehtävien aikana:

1. parin pääpuoli
2. parin jalkopää
3. parin nostokahva
4. sivuoven ovenkahva
5. keltainen poikkitanko
6. yläkaappi
7. alalaatikko
8. vetolaatikko
9. hoitorepun kantokahva
10. defibrillaattori
11. hoitajan istuimen käsinoja
12. hoitajan työtaso
13. ambulanssin ohjauspyörä
14. oikean etuoven sisäkahva.



Kuva 11. Pintakosketusnäytteiden keräyskohteet ambulanssin hoitotilassa. Kuvan ulkopuolelle jäävät kohteet ambulanssin ohjauspyörä (13) ja oikean etuoven sisäkahva.

Maljoja inkuboitiin +30 °C:ssa kolmen vuorokauden ajan, minkä jälkeen maljoilta laskettiin kasvaneet pesäkkeet ja siirryttiin tulosten käsittelyyn.

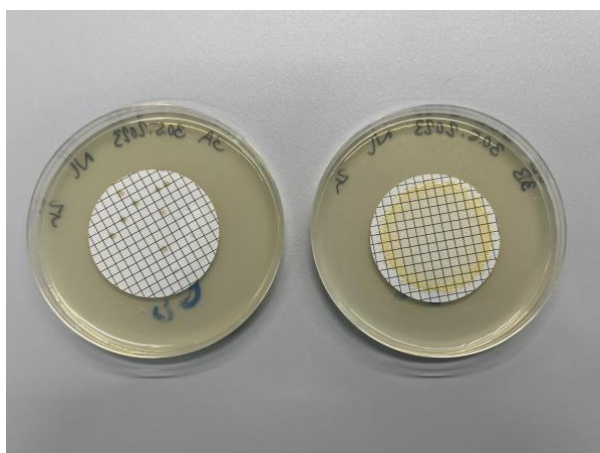
7 Tulokset

7.1 Kvantitatiivinen carrier-testi

Opinnäytetyön ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin antimikrobisen sinivalon tehoa kvantitatiivisen carrier-testin avulla soveltuvin kohdin standardin SFS-EN 17272:2020 mukaisesti. *Escherichia colilla* ja *Staphylococcus aureuksella* käsitellyt testilevyt altistettiin ambulanssissa sinivalolle 15 min, 30 min, 2 h ja 4 h ajan.

Inkubaation jälkeen kaikki maljat tarkastettiin ja pesäkkeet laskettiin tulostenlaskentaa varten. Standardin mukaista tulostenlaskentaa ei kuitenkaan pystytty tekemään tulosten epäluotettavuuden ja puuttuvien kontrollien vuoksi. Kontrollinäytteet jäivät hektisen testipäivän kiireissä tekemättä. Tulosten visualisoimiseksi ne esitetään totaalibakteerimäärinä testilevyn sijainnin mukaan.

Maljoja tarkasteltaessa huomattiin, että *E. colin* muodostamat pesäkkeet olivat hyvin vähäisiä, kun taas *S. aureuksen* muodostamat pesäkkeet olivat erittäin runsaita varsinkin suodatettujen näytteiden osalta (kuva 12). Tämän takia *E. colin* totaalibakteerimäärät laskettiin suodatetuista näytteistä ja *S. aureus* siirrostetuista näytteistä. Siirrostettujen ja suodatettujen näytteiden pitoisuus (pmy/ml) on kuitenkin sama, niin laskentatavalla ei sinänsä ole merkitystä.



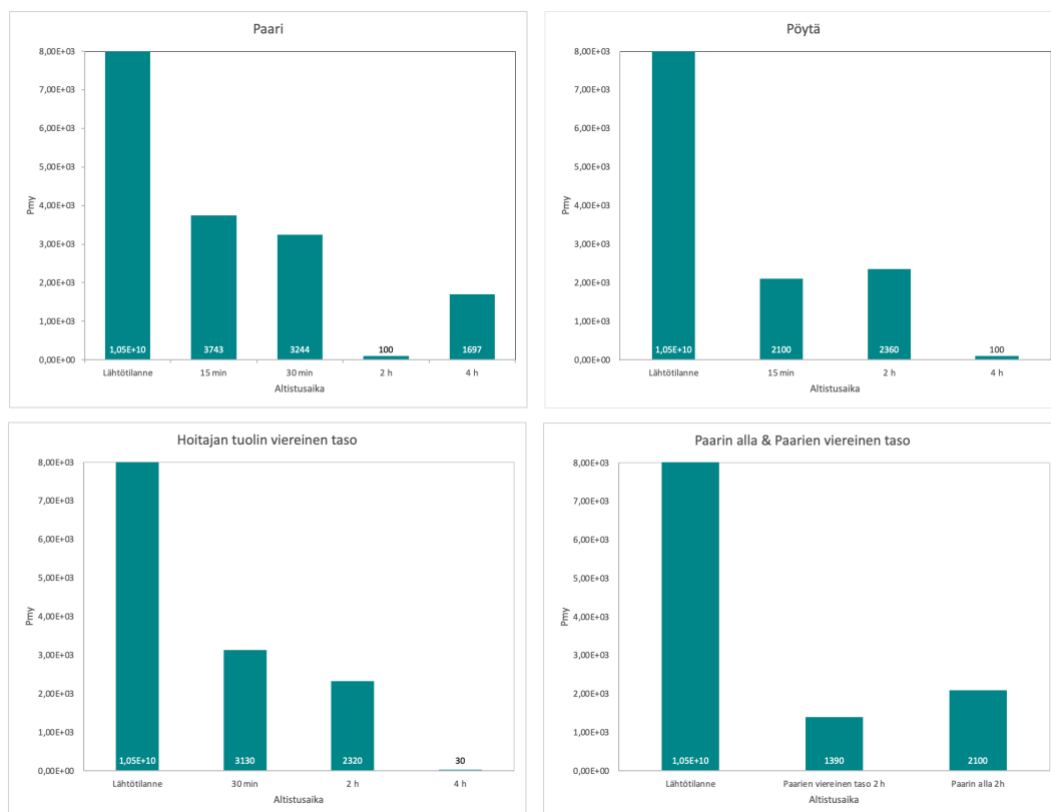
Kuva 12. Suodatetut 2 tunnin näytteet parin päältä. Vasemmalla *E. coli* helposti laskettavat pesäkkeet. Oikealla erittäin runsaskasvuinen *S. aureus*.

Alkuperäisten testiliuosten pitoisuudet tarkistettiin sameusmittarilla. Molemmat liuokset olivat valmiiksi halutulla pitoisuusalueella 5×10^7 – 2×10^9 pmy/ml, (*E. coli* $2,1 \cdot 10^8$ pmy/ml ja *S. aureus* $2,5 \cdot 10^8$ pmy/ml), joten niitä ei tarvinnut erikseen säätää laimennusliuoksella. Testiliuosten totaalibakteerimäärät laskettiin verrannolla jo tiedetystä pitoisuudesta, jolloin suodatetun *E. coli* (49,9 ml) totaalibakteerimääräksi saatiin $1,05 \cdot 10^{10}$ pmy ja siirrostetun *S. aureuksen* (100 μ l) $1,25 \cdot 10^{10}$ pmy. Näytteiden totaalibakteerimäärät (liite 1) laskettiin seuraavasti:

$$\text{Näytteen pitoisuus} = \frac{\text{pesäkkeiden lkm} \cdot \text{laimennuskerroin}}{\text{näytteen tilavuus}} = \text{pmy/ml} \quad (1)$$

$$\text{Totaalibakteerimäärä} = \text{näytteen pitoisuus} \cdot \text{näytteen tilavuus} = \text{pmy} \quad (2)$$

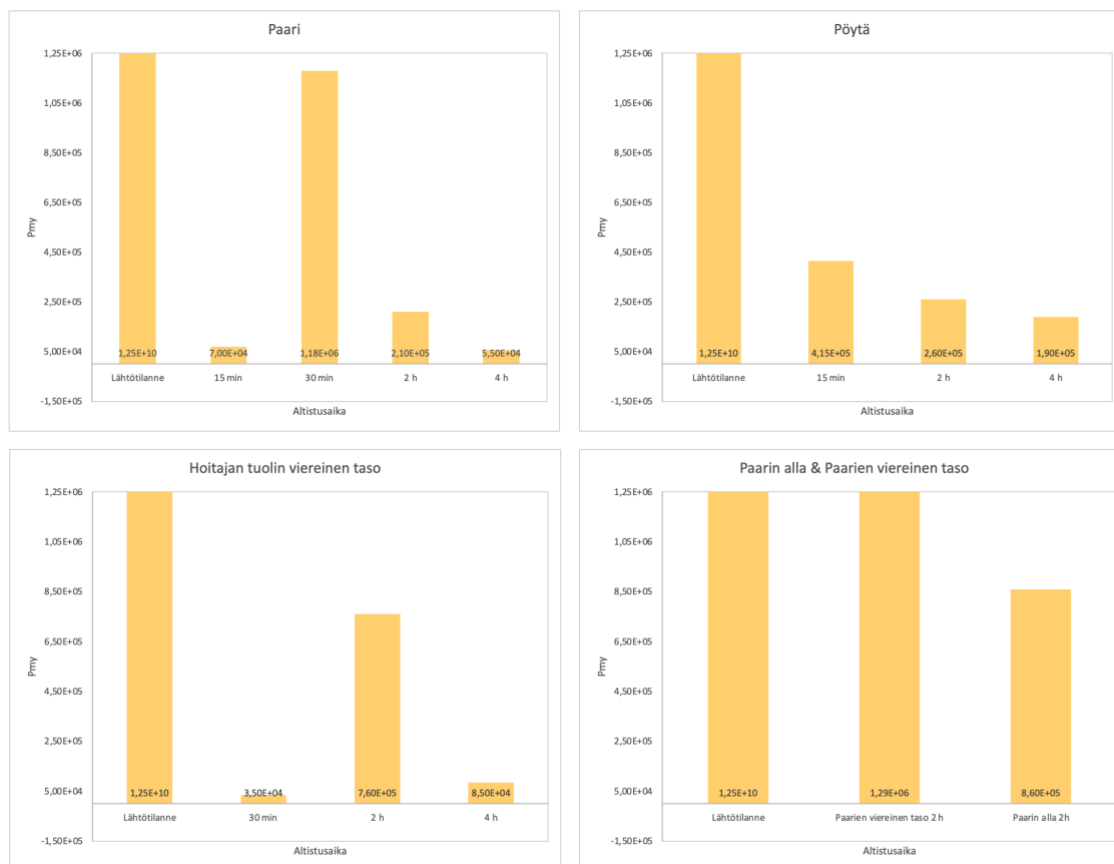
Kuvaan 13 on koottu *E. coli* tulokset visuaaliseen muotoon. Kuvaajien ensimmäiset pylväät kuvaavat bakteerimäärän lähtötilannetta ($1,05 \cdot 10^{10}$ pmy) ennen sinivaloa ja on suuren bakteerimääränsä takia nähtävillä vain $8 \cdot 10^3$ pmy:hyn asti. Parin, pöydän ja hoitajan tuolin viereisen tason näytteet ovat kuvattu omissa kuvaajissaan. Näytteet parin alla ja parien viereinen taso ovat samassa kuvaajassa, koska näistä molemmista kerättiin vain yhden 2 tunnin näytteet.



Kuva 13. *Escherichia colin* tulokset kohteittain. Näytteet kerättiin paarin päältä, pöydältä, hoitajan tuolin viereiseltä tasolta, paarien viereiseltä tasolta sekä paarin alla.

Lähtötilanteeseen verrattuna *E. colin* jokaisen näytteen bakteerimäärät ovat pienentyneet merkittävästi, mutta selkeää vähenemää ajan funktiona ei nähdä muissa kuin hoitajan tuolin viereisen tason näytteissä.

S. aureuksen tulokset on ryhmitelty kuvaan 14 samalla tavalla kuin *E. colin* kuvaajissa. Myös *S. aureuksen* lähtötilanteen pylväät ovat nähtävillä vain osittain ($1,25 \cdot 10^6$ pmy:n asti) sen korkean ($1,25 \cdot 10^{10}$ pmy) totaalibakteerimäärän takia.



Kuva 14. *Staphylococcus aureuksen* tulokset kohteittain. Näytteet kerättiin parin päältä, pöydältä, hoitajan tuolin viereiseltä tasolta, parien viereiseltä tasolta sekä parin alla.

S. aureuksen bakteerimäärät vähenivät reilusti, mutta ero lähtötilanteeseen ei ole niin suuri kuin *E. coli*lla. Ainoastaan pöydällä olleissa näytteissä nähdään selkeä vähenemä ajan funktiona.

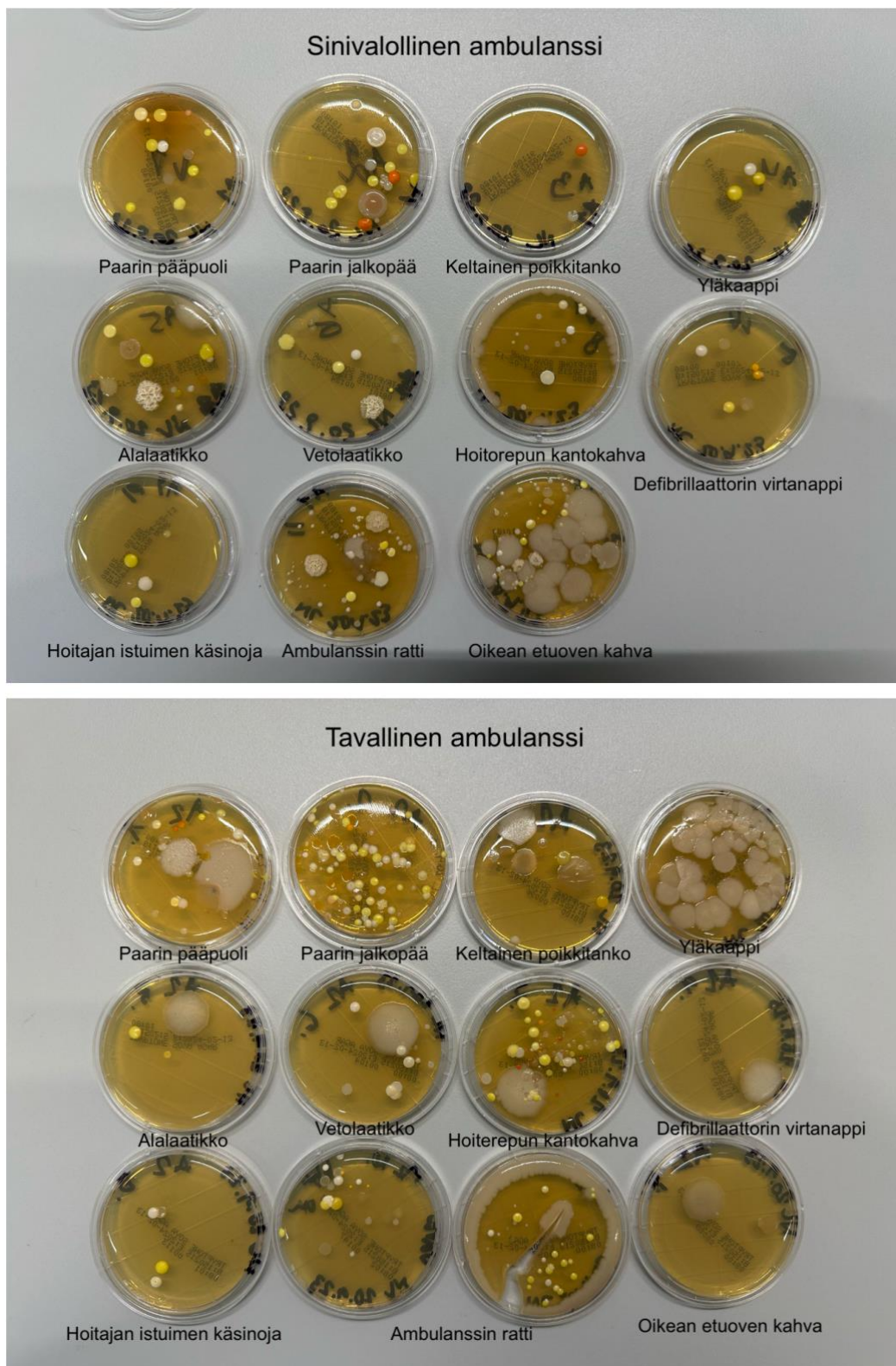
E. coli ja *S. aureus* -kantojen totaalibakteerimäärät vähenivät selkeästi sinivaloaltistuksen aikana, mutta tulosten hajonta oli suuri, eikä yhteyttä altistusajan ja mikrobivähennemän välillä pystytty tässä tutkimuksessa osoittamaan. Kuitenkin kokonaisuutena testialustojen mikrobimäärät sinivaloaltistuksen jälkeen olivat selvästi alhaisempia verrattuna lähtötilanteeseen, mikä viittaa siihen, että näytteille annetut sinivaloannokset todella inaktivoivat näitä mikrobeja.

7.2 Pintakosketusnäytteet

Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen pintakosketusnäytteet kerättiin kontaktiagarliuskoilla pöydästä, parin vieressä olevasta kahvasta, takaoven viereisestä pystykahvasta, luukun 16 kahvasta, sekä kaapin 3 kahvasta. Liuskojen VRBG-agareilla ei havaittu pesäkkeitä, mikä viittaa siihen, ettei pinnoilla kasvanut enterobakteereja. Liuskojen PCA-puolella kokonaisbakteerimäärät olivat 2,5–12 pmy/cm², eli bakteerien kasvu pinnoilla oli vähäistä.

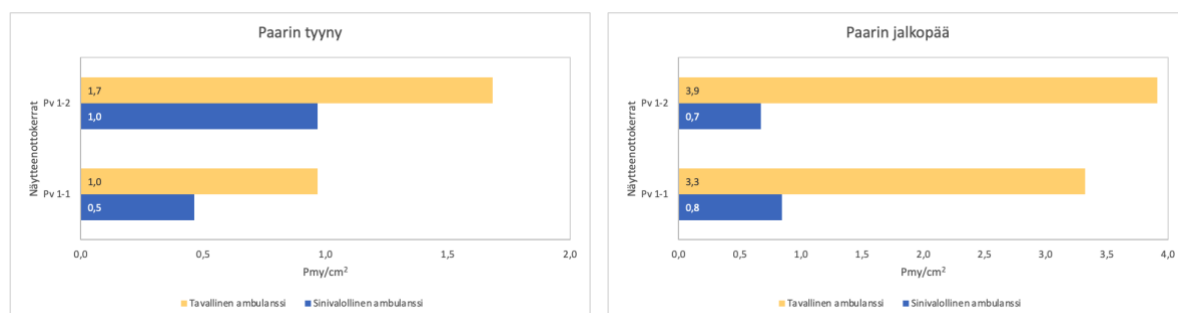
Toisessa vaiheessa tutkittiin antimikrobisen sinivalon vaikutusta pelastusasemalla olevissa ambulansseissa. Vertailussa oli kaksi aktiivisessa ajossa olevaa ambulanssia, joista toisessa käytettiin sinivaloa tehtävien välillä ja toisessa ei käytetty valoa lainkaan. Molemmista ambulansseista kerättiin pintakosketusnäytteitä kriittisiltä pinnoilta kolmen päivän ajan. Sinivalollisen ambulanssin ensihoitajat pitivät kirjaa sinivalon käytöstä näytteenottopäivien aikana (liite 2).

Kuvaan 15 on koottu ambulanssien lähtötilanne ensimmäisenä päivänä. Tavallisesta ambulanssista kerättiin yksi ylimääräinen näyte näytteenotossa haljenneen maljan lisäksi. Kuvasta havaitaan, että molemmissa ambulansseissa esiintyy runsaasti mikrobikasvustoa useilla pinnoilla. Näkyvin ero sinivalollisen ja tavallisen ambulanssin välillä on joidenkin näytteiden selvästi runsaampi pesäkemäärä tavallisessa ambulanssissa. Mutta kun vertaillaan kokonaispesäkemääriä, tavallisen ambulanssin näytteissä on vain 30 pesäkettä enemmän kuin sinivalollisen ambulanssin näytteissä.



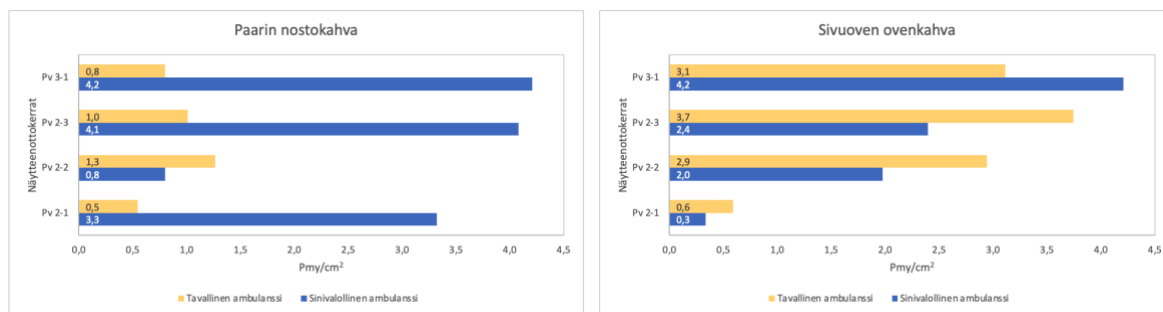
Kuva 15. Ensimmäiset pelastusasemalla kerätyt pintakosketusnäytteet. Tavallisesta ambulanssista kerättiin varmuuden vuoksi yksi ylimääräinen näyte näytteenotossa haljenneen maljan lisäksi.

Seuraavaksi vertaillaan pintanäytteitä sinivalollisen ja tavallisen ambulanssin välillä kohteittain. Paarin tyynyltä kerätyistä näytteistä sinivalollisessa ambulanssissa mikrobimäärät jäivät molemmilla näytteenottokerroilla matalammiksi kuin tavallisessa ambulanssissa (kuva 16). Ero tavallisen ja sinivalollisen ambulanssin välillä on paarin jalkopäästä kerätyissä näytteissä vieläkin selvempi. Päivän päätteeksi päätettiin kerätä näytteitä vain kiinteiltä pinnoilta ja näiden näytteenottokohteiden tilalle valittiin paarin nostokahva ja sivuoven ovenkahva.



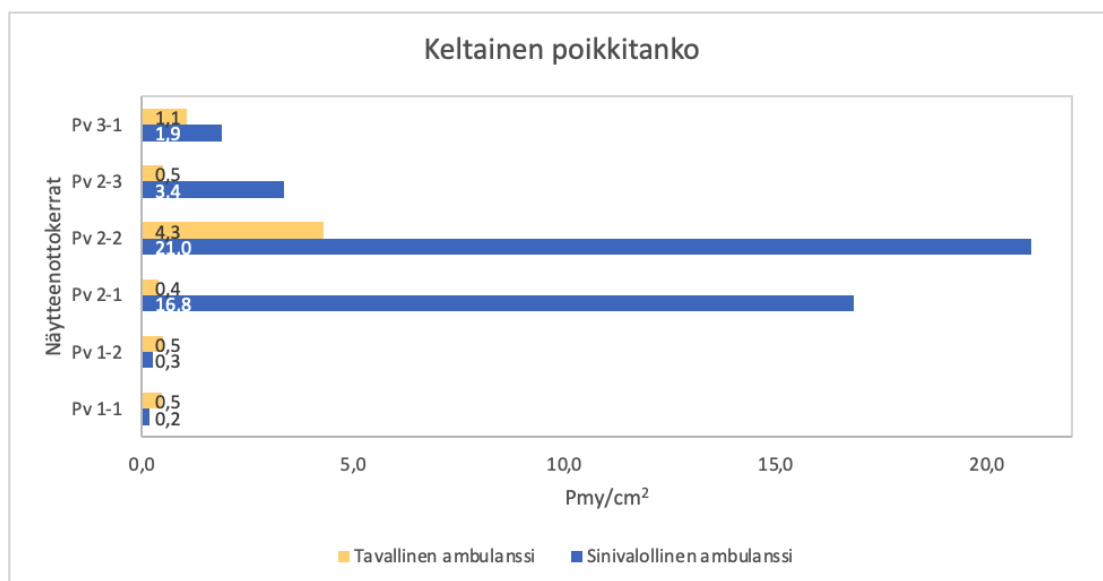
Kuva 16. Paarin tyynyn ja paarin jalkopään tulokset. Näytteenottojen välillä sinivalo oli osissa päällä yhteensä 6 tuntia 26 minuuttia.

Kuvassa 17 nähdään tulokset paarin nostokahvan ja sivuoven ovenkahvan osalta. Näiden kohteiden näytteitä alettiin kerätä vasta toisena näytteenottopäivänä. Sinivalollisen ambulanssin paarin nostokahva osoitti selkeästi korkeampia mikrobimääriä kolmessa näytteenottokerrassa neljästä. Tavallinen ambulanssi puolestaan tuotti tasaisempia tuloksia, arvojen pysyessä reilusti matalammalla tasolla. Paarin nostokahvan osalta sinivalon käyttö ei näyttänyt vähentävän mikrobikuormaa. Sivuoven ovenkahvan tulokset olivat kaikki varsin korkeita toisen päivän ensimmäistä näytteenottoa lukuun ottamatta.



Kuva 17. Paarin nostokahvan ja sivuoven ovenkahvan tulokset. Näytteenottojen välillä sinivalo oli osissa päällä 1 h 26 min, 4 h 29 min ja 9 h 25 min.

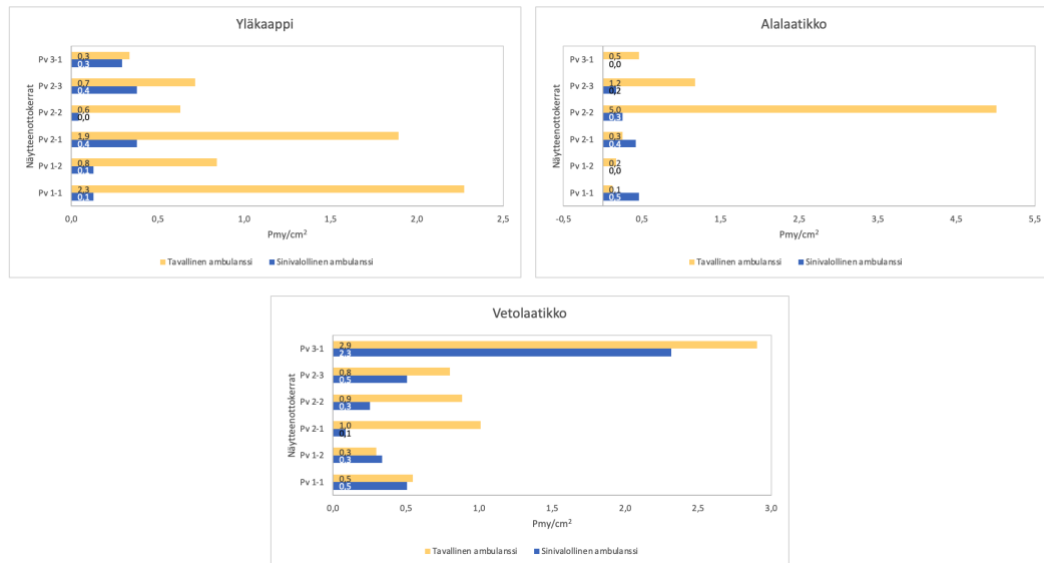
Keltainen poikkitanko ambulanssissa on se kohta, josta potilas yleensä ottaa tukea kuljetuksen aikana. Tämän takia se on yksi kriittisimmistä kohteista ambulanssissa ja sen puhtaanapito on tärkeää. Tulokset (kuva 18) kertovat selkeästi, että toisen näytteenottopäivän alussa puhdistus tämän kohteen osalta on saattanut jäädä väliin sinivalollisessa ambulanssissa.



Kuva 18. Keltaisen poikkitangon tulokset. Sinivalo oli näytteenottojen välillä päällä 6 h 20 min, 5 h 43 min, 1 h 26 min, 4 h 29 min ja 9 h 25 min.

Yläkaappiin, alalaatikkoon ja vetolaatikkoon (kuva 19) puolestaan koskevat vain ensihoitajat. Näiden kohteiden tulokset olivat vaihtelevia. Pääosin tavallisen

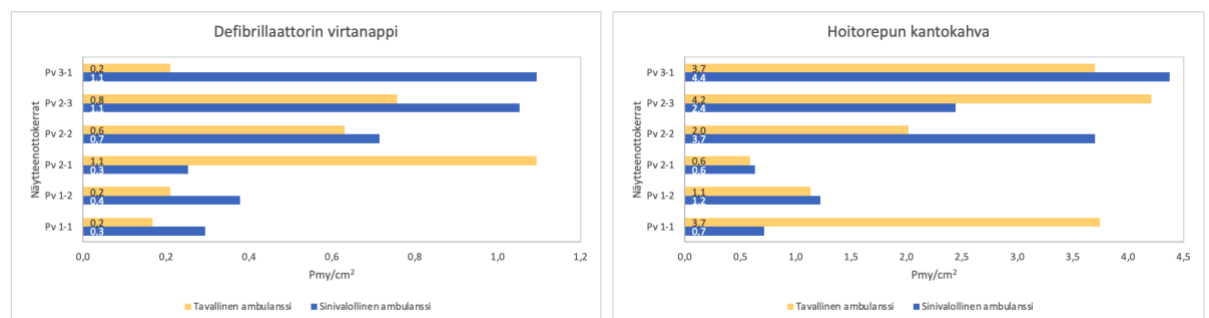
ambulanssin mikrobikuorma on suurempi kuin sinivalollisen ambulanssin, mutta kuitenkin bakteerimäärät eivät ole suuria.



Kuva 19. Yläkaapin, alalaatikon ja vetolaatikon tulokset. Sinivalo oli näytteenottojen välillä päällä 6 h 20 min, 5 h 43 min, 1 h 26 min, 4 h 29 min ja 9 h 25 min.

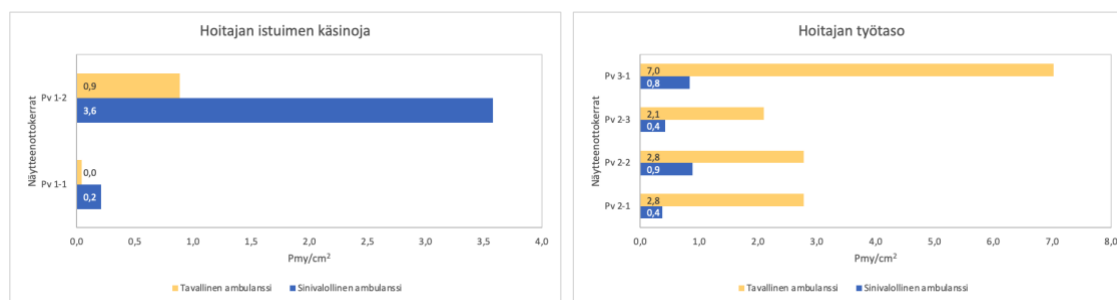
Kuvassa 20 esitettyjen tulosten perusteella sinivalon vaikutus mikrobikuormaan vaihteli defibrillaattorin virtanapin ja hoitorepun kantokahvan kohdalla.

Molemmilla pinnoilla sinivalollinen ambulanssi tuotti useammin korkeammat mikrobimäärät kuin tavallinen ambulanssi. Mikrobimäärä näissä näytteissä on myös tasaisesti korkeammalla kuin muissa näytteissä.



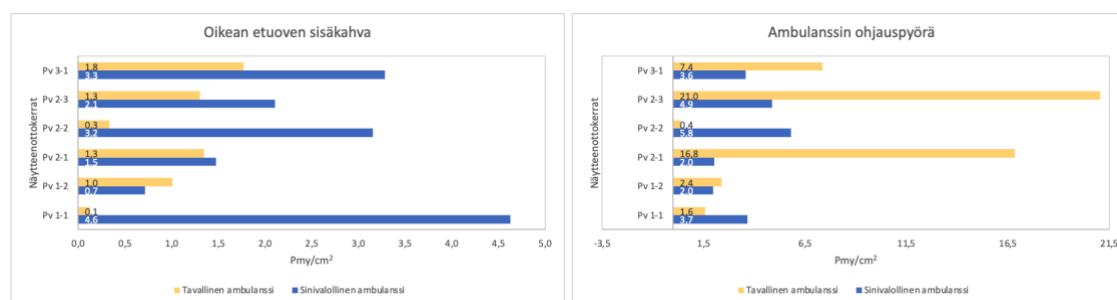
Kuva 20. Defibrillaattorin virtanapin ja hoitorepun kantokahvan tulokset. Sinivalo oli näytteenottojen välillä päällä 6 h 20 min, 5 h 43 min, 1 h 26 min, 4 h 29 min ja 9 h 25 min.

Hoitajan istuimen käsinojan ja hoitajan työtason tulokset esitetään kuvassa 21. Ensimmäisen päivän päätteeksi päätettiin vaihtaa hoitajan istuimen käsinoja hoitajan työtasoon, sillä pääteltiin että sitä kosketaan useammin päivän mittaan kuin käsinojaa. Tulosten perusteella myös käsinoja olisi saattanut olla seuraamisen arvoinen pinta ambulanssissa, kun molemmat näytteet antoivat selvästi korkeamman mikrobimäärän tavalliseen ambulanssiin verrattuna. Hoitajan työtasolla tulokset olivat toisenlaiset. Kaikissa neljässä näytteessä sinivalollisen ambulanssin tulokset olivat huomattavasti pienempiä kuin tavallisessa ambulanssissa. Tämä viittaa siihen, että huolellisen puhdistuksen ohella sinivalolla saattoi olla selkeä antimikrobinen vaikutus juuri työtason pinnalla.



Kuva 21. Hoitajan istuimen käsinojan ja hoitajan työtason tulokset. Sinivalo oli päällä hoitajan istuimen käsinoja -näytteiden välillä 6 h 26 min ja hoitajan työtaso -näytteiden välillä 1 h 26 min, 4h 29 min ja 9h 25 min.

Oikean etuoven sisäkahvan ja ambulanssin ohjauspyörän hygienia (kuva 22) kertoo paljon ensihoitajien henkilökohtaisesta hygieniasta, sillä sinivalo ei yllä ambulanssin ohjaamoon ja pintojen puhdistus on täysin ensihoitajien vastuulla. Tuloksista huomataan, että ohjaamon puhdistus on jäänyt vähäisemmälle huomiolle.



Kuva 22. Oikean etuoven sisäkahvan ja ambulanssin ohjauspyörän tulokset. Sinivalo oli näytteenottojen välillä päällä 6 h 20 min, 5 h 43 min, 1 h 26 min, 4 h 29 min ja 9 h 25 min.

Englantilaisessa kliinisessä tutkimuksessa seurattiin mikrobien kasvua neljässä sairaalassa 19 kuukauden ajan ja havaittiin pintojen mikrobimäärien ylittäessä $2,5 \text{ pmy/cm}^2$ että potilaiden terveys voi olla vaarassa. Tutkimuksessa raja-arvoiksi muodostuivat $< 2,5 \text{ pmy/cm}^2$ kokonaisbakteerimäärälle ja $1,0 \text{ pmy/cm}^2$ indikaattorimikrobeille, kuten *Staphylococcus aureukselle*. Kansainvälisesti raja-arvo on korkeampi, $5,0 \text{ pmy/cm}^2$. [53.]

Molempien ambulanssien pinnoista 74 % jäi alle kliinisesti merkittävän $2,5 \text{ pmy/cm}^2$:n raja-arvon. Välttävällä tasolla ($2,5\text{--}5,0 \text{ pmy/cm}^2$) oli 21 % sinivalollisen ja 18 % tavallisen ambulanssin pinnoista. Vain 5 % sinivalollisen ja 8 % tavallisen ambulanssin pinnoista ylitti $5,0 \text{ pmy/cm}^2$.

Keskimääräinen mikrobipitoisuus kaikilla tutkituilla pinnoilla oli $2,1 \text{ pmy/cm}^2$, mikä lähestyy raja-arvoa, mutta jää vielä sen alle. Tulosta nostavat erityisesti ambulanssien ohjauspyörien korkeat pitoisuudet. Kun tarkasteluun otetaan ainoastaan ambulanssien hoitotilat, laskee keskimääräinen pitoisuus molemmissa ambulansseissa tasolle $1,5 \text{ pmy/cm}^2$. Tämä osoittaa hoitotilojen olevan pääsääntöisesti riittävän puhtaita.

Tulokset osoittavat, että mikrobikasvustoa esiintyi molemmissa ambulansseissa useilla eri pinnoilla, eikä kokonaispesäkemäärissä ollut merkittävää eroa ambulanssien välillä. Vaikka joillain pinnoilla havaittiin pienempiä mikrobimääriä sinivalollisessa ambulanssissa, ero tavalliseen ambulanssiin verrattuna oli pieni tai jopa negatiivinen.

8 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida antimikrobisen sinivalon vaikutusta ambulanssin pintahygieniaan kahden kokeellisen osion kautta. Tulokset osoittavat, että vaikka sinivalolla oli mikrobeja vähentävää vaikutusta, sen teho ei tässä tutkimuksessa ollut selkeästi osoitettavissa ajan funktiona, eikä käytännön olosuhteissa.

Kvantitatiivisessa carrier-testissä havaittiin selvä vähenemä totaalimikrobimäärissä sinivaloaltistuksen jälkeen, mutta ajan funktiona ei saatu merkittävää vähenemää. Tämä saattaa johtua useista tekijöistä. Standardin mukainen testiprotokolla oli pitkä ja haastava. Vaikka koko protokolla käytiin huolella läpi kahteen kertaan ennen varsinaista ambulanssitestiä, niin siitä huolimatta tuloksiin vaikuttavia virheitä pääsi tapahtumaan. Molempien testiorganismien kontrollinäytteet jäivät tekemättä kiireen ja mittavan työtaakan aiheuttaman unohduksen takia. Lisäksi oli vielä kumpaankin testiorganismiin liittyvät ongelmat, joita ei ajanpuutteen takia ehditty ratkaista. *E. coli* kasvoi puhtasviljelmillä hyvin, mutta varsinaisissa näytteissä pesäkkeet olivat hyvin vähäisiä. Tämä herättikin kysymyksen, inhiboivatko teräksiset testilevyt *E. coli* kasvu. *S. aureus* puolestaan kasvoi erittäin runsaasti näytteissä, ja olisi saattanut olla tarpeellista laimentaa testilevyille laitettuja näytteitä. Pesäkkeitä ei pystytty laskemaan maljoilta standardin mukaisesti, sillä pesäkemäärien perusteella suurin osa maljoista olisi pitänyt hylätä. Kun kontrollinäytteet jäivät tekemättä, ei myöskään ollut näytteitä, joihin verrata saatuja tuloksia.

Sinivalon teho riippuu paitsi altistusajasta, myös valon intensiteetistä ja sen etäisyydestä näytteisiin. Kvantitatiivisen carrier-testin tulosten pohjalta heräsi epäily, ettei sinivalo toimisi oikein. Sinivalon toimintakyky tarkistettiin ennen pintakosketusnäytteiden ottoa, ja arvot (399 luksia, sekä aallonpituudet 405 ja 450 nm) osoittivat laitteen olevan täydessä toimintakunnossa.

Tutkimuksen toisessa osassa tutkittiin antimikrobisen sinivalon vaikutusta ambulanssien mikrobikuormaan vertaamalla kahta pelastusasemalla

aktiivisessa ajossa ollutta ambulanssia, joista toisessa käytettiin sinivaloa ja toisessa ei. Molemmista ambulansseista kerättiin samoista kriittisistä kohteista pintakosketusnäytteitä kolmen päivän ajan. Molemmissa ambulansseissa esiintyi lievää tai kohtalaista kasvua ($0-21,1$ pmy/cm²) useilla pinnoilla, eikä kokonaispesäkemäärissä ollut suurta eroa. Keskimääräinen mikrobipitoisuus kaikilla tutkituilla pinnoilla oli $2,1$ pmy/cm², mikä lähestyy raja-arvoa, mutta jää vielä sen alle. Tämä osoittaa hoitotilojen olevan pääsääntöisesti riittävän puhtaita.

Vaikka sinivalollisen ambulanssin ensihoitajat pitivät kirjaa sinivalon käyttöajoista, havaittiin näytteenoton aikana, ettei sinivalo ollut läheskään aina päällä, kun ambulanssi saapui tai lähti pelastusasemalta. Toisena näytteenottopäivänä sinivalon käytöstä piti jatkuvasti muistuttaa ja lopulta selvisi, etteivät kaikki ensihoitajat osanneet käyttää valoa oikein. Tämä vaikutti olennaisesti tulosten luotettavuuteen, mutta oli tärkeä tieto pelastusaseman johdolle. Jatkossa on tärkeää tehostaa sinivalon käyttöön liittyvää koulutusta ja sen käyttöä pelastustehtävien välillä. Tämän opinnäytetyön havainnot osoittavat, että käytännön olosuhteissa sinivalon vaikutus ei ole yksiselitteinen. Lisätutkimuksia tarvitaan mm. oikeasta käyttöajasta ja -tavasta, sekä valon tehosta erilaisilla pinnoilla ja eri korkeuksilla.

Vaikka sinivalo saattaa oikein käytettynä vähentää mikrobikuormaa tietyillä pinnoilla, tämän tutkimuksen perusteella ei voida tehdä vahvoja johtopäätöksiä sen kokonaishyödyistä ambulanssiympäristössä. Tulosten perusteella mekaanisen puhdistuksen rooli korostuu edelleen. Sinivalo voi toimia antimikrobisena lisäkeinona, mutta sen tehokkuus edellyttää sinivalon johdonmukaista käyttöä ja valon esteetöntä pääsyä pinnoille. Sinivalo ei korvaa perinteistä puhdistusta, mutta toimii sitä täydentävänä desinfiointikeinona.

Lähteet

- 1 Karhumäki, Eliisa; Jonsson, Anne; Saros, Marita. 2021. Mikrobit hoitotyön haasteena: 2. Tartunta. 5. uudistettu painos. Helsinki: Edita.
- 2 Ensihoito. Verkkoaineisto. Työturvallisuuskeskus.
<<https://ttk.fi/tyoturvallisuus/toimialakohtaista-tietoa/pelastusala/ensihoito/>>
Luettu 2.12.2023.
- 3 Suullinen tiedonanto. 2023. Pelastuslaitos. Keskustelu 17.2.2023.
- 4 Wang, Yucheng; Wang, Ying; Wang, Yuguang; Murray, Clinton K.; Hamblin, Michael R.; Hooper, David C. & Dai, Tianhong. 2017. Antimicrobial blue light inactivation of pathogenic microbes: State of art. 2017. Verkkoaineisto. Drug Resistance Updates.
<<https://doi.org/10.1016/j.drug.2017.10.002>>. Luettu 11.11.2024.
- 5 Leanse, Leon G.; Anjos, Carolina dos; Mushtaq, Sana & Dai, Tianhong. 2022. Antimicrobial blue light: A 'Magic Bullet' for the 21s century and beyond? Verkkoaineisto. Advanced Drug Delivery Reviews.
<<https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.114057>>. Luettu 11.11.2024.
- 6 Aalto, Esa. 2021. Puhtaaksi sumulla ja sinivalolla – Ambulanssien hoitotilojen puhdistaminen on entistä tärkeämpää pandemia-aikana. Verkkoaineisto. Pelastustieto.
<<https://pelastustieto.fi/pelastustoiminta/ensihoito/puhtaaksi-sumulla-ja-sinivalolla-ambulanssien-hoitotilojen-puhdistaminen-on-entista-tarkeampaa-pandemia-aikana/#c07cf0fc>>. 19.5.2021. Luettu 11.11.2024.
- 7 Tempted to buy a UV light disinfection gadget? Some can be dangerous – here's what you need to know. 2022. Verkkoaineisto. The Conversation.
<<https://theconversation.com/tempted-to-buy-a-uv-light-disinfection-gadget-some-can-be-dangerous-heres-what-you-need-to-know-194065>>. Luettu 7.4.2025.
- 8 Continuous disinfection – a gamechanger. 2024. Verkkoaineisto. Spectral Blue LED Tailor Oy. <<https://spectral.blue/pages/automatic-ambulance-disinfection-systems-with-blue-light>>. Luettu 11.11.2024.
- 9 LED Tailor valokatalyysipinnoite. 2024. Verkkoaineisto. LED Tailor Oy.
<<https://ledtailor.fi/fi/tuotteet/valokatalyysipinnoite/>>. Luettu 11.11.2024.
- 10 Castrén, Maaret; Helveranta, Kai; Kinnunen, Ari; Korte, Henna; Laurila, Kimmo; Paakkonen, Heikki; Pousi, Jouni & Väisänen Olli. 2012.

Ensihoidon perusteet: 1.6 Ensihoidon hygienia. 4. korjattu painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

- 11 Pentti, M.; Lankinen, H.; Kakkori, P. 2010. Ensihoito – hygienia ja mikrobiologinen työturvallisuus: Mikrobeille suotuisat elinolosuhteet ja tartuntaan vaikuttavat tekijät. Helsinki: OY Nord Print Ab.
- 12 Anttila, Veli-Jukka. 2023. Infektioiden tartunta, taudin synty ja leviäminen. Verkkoaineisto. Duodecim Terveyskirjasto. <<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00569>>. 20.11.2023. Luettu 10.4.2024.
- 13 Anttila, Veli-Jukka. 2023. Hoitoon liittyvät infektiot. Verkkoaineisto. Duodecim Terveyskirjasto. <<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01042>>. 21.11.2023. Luettu 10.4.2024.
- 14 Hoitoon liittyvät infektiot. 2024. Verkkoaineisto. Terveystieteiden tutkimuskeskus ja hyvinvoinninlaitos. <<https://thl.fi/aiheet/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/hoitoon-liittyvat-infektiot>>. Päivitetty 21.2.2024. Luettu 10.4.2024.
- 15 Tortora, Gerard J.; Funke, Berdell R. & Case, Christine L. 2021. Microbiology An Introduction: 1. The Microbial World and You. 13th Edition. United Kingdom: Pearson Education Limited.
- 16 Tortora, Gerard J.; Funke, Berdell R. & Case, Christine L. 2021. Microbiology An Introduction: 6. Microbial Growth. 13th Edition. United Kingdom: Pearson Education Limited.
- 17 How scientists are fighting infection-causing biofilms. 2018. Verkkoaineisto. The Conversation. <<https://theconversation.com/how-scientists-are-fighting-infection-causing-biofilms-102698>>. Luettu 7.10.2024.
- 18 Bakteeribiofilmit infektioitaudeissa. 2010. Verkkoaineisto. Aikakauskirja Duodecim. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo98732>>. Luettu 7.10.2024.
- 19 Inanimate Surfaces as a Source of Hospital Infections Caused by Fungi, Bacteria and Viruses with Particular Emphasis on SARS-CoV-2. 2022. Verkkoaineisto. MDPI. <<https://www.mdpi.com/1660-4601/19/13/8121>>. Luettu 7.10.2024.
- 20 Pentti, M.; Lankinen, H.; Kakkori, P. 2010. Ensihoito – hygienia ja mikrobiologinen työturvallisuus: Mikrobiit. Helsinki: OY Nord Print Ab.
- 21 Tortora, Gerard J.; Funke, Berdell R. & Case, Christine L. 2021. Microbiology An Introduction: 14. Principles of Disease and Epidemiology. 13th Edition. United Kingdom: Pearson Education Limited.

- 22 Heikkinen, Terho; Järvinen, Asko; Meri, Seppo; Vapalahti, Olli & Vuopio, Jaana. 2020. Mikrobiologia – Mikrobiologia, immunologia ja infektiosairaudet 1: *Escherichia coli*. 4. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- 23 Mikrobit: Kasvu ja lisääntyminen. Verkkoaineisto. Solunetti. <https://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/kasvu_ja_lisaantyminen_1/2/>. Luettu 8.10.2024.
- 24 Thermo Scientific Tryptone Soya Agar with Disinhibitor. Verkkoaineisto. Fisher Scientific. <<https://www.fishersci.se/shop/products/tryptone-soya-agar-disinhibitor-2/10178962>>. Luettu 25.10.2024.
- 25 *Escherichia coli*/EHEC (VTEC/STEC) ruokamyrkytysten aiheuttajana. 2023. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/ohjeita-kuluttajille/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia-aiheuttavia-bakteereja/escherichia-coli/>>. Päivitetty 13.9.2023. Luettu 8.10.2024.
- 26 EHEC. 2023. Verkkoaineisto. Terveystieteiden tutkimuskeskus. <<https://thl.fi/aiheet/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/taudit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/ehec>>. Päivitetty 7.12.2023. Luettu 8.10.2024.
- 27 Heikkinen, Terho; Järvinen, Asko; Meri, Seppo; Vapalahti, Olli & Vuopio, Jaana. 2020. Mikrobiologia – Mikrobiologia, immunologia ja infektiosairaudet 1: *Staphylococcus aureus*. 4. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- 28 *Staphylococcus aureus*. 2023. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/ohjeita-kuluttajille/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia-aiheuttavia-bakteereja/staphylococcus-aureus/>>. Luettu 25.10.2024.
- 29 Pathogen Safety Data Sheets: Infectious Substances – *Staphylococcus aureus*. Verkkoaineisto. Government of Canada. <<https://www.canada.ca/en/public-health/services/laboratory-biosafety-biosecurity/pathogen-safety-data-sheets-risk-assessment/staphylococcus-aureus.html>>. Luettu 25.10.2024.
- 30 *Staphylococcus aureus* Infections: Epidemiology, Pathophysiology, Clinical Manifestations, and Management. 2015. Verkkoaineisto. National Library of Medicine. <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4451395/#abstract1>>. Luettu 25.10.2024.

- 31 Infektiotaudit ja rokotukset: MRSA. 2023. Verkkoaineisto. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. <<https://thl.fi/aiheet/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/taudit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/mrsa>>. Päivitetty 7.12.2023. Luettu 25.10.2024.
- 32 MRSA (metisilliinille resistentti Staphylococcus aureus). 2024 Verkkoaineisto. Duodecim Terveyskirjasto. <<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00586>>. Luettu 25.10.2024.
- 33 SFS-EN 1789:2020 + A1:2023. Lääkinnälliset ajoneuvot laitteineen. Ambulanssit. Suomen Standardisoimisliitto.
- 34 SSTL Puhtausala ry. 2021. Siivoustyön käsikirja. Helsinki: SSTL Puhtausala ry.
- 35 Lausjärvi, Marjatta & Väisänen, Ulla. 2015. Puhtauden tuottamisen tekijät: siivoustaidolla puhtautta, terveyttä ja viihtyvyyttä: 3. Lika. Helsinki: Puhtaustieto PT.
- 36 Sojakka, Kirsi & Välimäki, Maija-Liisa. 2011. Ammatillinen mikrobiologia: 2. Puhtaus ja sterilointimenetelmät. Tampere: Juvenes Print.
- 37 Karhumäki, Eliisa; Jonsson, Anne & Saros, Marita. 2021. Mikrobit hoitotyön haasteena: 4. Aseptiikka. 5. uudistettu painos. Helsinki: Edita.
- 38 Pentti, M.; Lankinen, H. & Kakkori, P. 2010. Ensihoito – hygienia ja mikrobiologinen työturvallisuus: Aseptiikka. Helsinki: OY Nord Print Ab.
- 39 Pentti, M.; Lankinen, H. & Kakkori, P. 2010. Ensihoito – hygienia ja mikrobiologinen työturvallisuus: Pintojen puhtaus. Helsinki: OY Nord Print Ab.
- 40 Aalto, Esa. 2021. Puhtaaksi sumulla ja sinivalolla – Ambulanssien hoitotilojen puhdistaminen on entistä tärkeämpää pandemia-aikana. Verkkoaineisto. Pelastustieto. <<https://pelastustieto.fi/pelastustoiminta/ensihoito/puhtaaksi-sumulla-ja-sinivalolla-ambulanssien-hoitotilojen-puhdistaminen-on-entista-tarkeempaa-pandemia-aikana/#c07cf0fc>>. 19.5.2021. Luettu 11.11.2024.
- 41 Kim, Do-Kyun & Kang, Dong-Hyun. 2020. Efficacy of light-emitting diodes emitting 395, 405, 415, and 425 nm blue light for bacterial inactivation and the microbicidal mechanism. Verkkoaineisto. Food research international 2021–03, Vol.141, p.110105, Article 110105. <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110105>>. Luettu 28.4.2025.

- 42 Masson-Meyers, Daniela Santos ym. 2015. The relative antimicrobial effect of blue 405 nm LED and blue 405 nm laser on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in vitro. Verkkoaineisto. *Lasers in medical science* 2015–12, Vol.30 (9), p.2265–2271. <<https://doi.org/10.1007/s10103-015-1799-1>>. Luettu 28.4.2025.
- 43 Ferrer-Espada, Raquel ym. 2019. Antimicrobial Blue Light Inactivation of Polymicrobial Biofilms. Verkkoaineisto. *Front. Microbiol.* <<https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00721>>. Luettu 28.4.2025.
- 44 Rathnasinghe, Raveen ym. 2021. The virucidal effects of 405 nm visible light on SARS-CoV-2 and influenza A virus. Verkkoaineisto. *Scientifi Reports.* <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-97797-0>>. Luettu 28.4.2025.
- 45 Maclean, M; McKenzie, K; Anderson, J.G.; Gettingby, G & MacGregor, S.J. 2014. 405 nm light technology for the inactivation of pathogens and its potential role for environmental disinfection and infection control. Verkkoaineisto. *Journal of Hospital Infection.* <<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.06.004>>. Luettu 28.4.2025.
- 46 Bache, S. E., ym. 2017. Universal decontamination of hospital surfaces in an occupied inpatient room with a continuous 405 nm light source. Verkkoaineisto. *Journal of Hospital Infection.* <<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2017.07.010>>. Luettu 29.4.2025.
- 47 Baird-Parker agarmalja. 2025. Verkkoaineisto. Tammer BioLab. <<https://tammerbiolab.fi/tuotteet?search=baird+parker#>>. Luettu 29.4.2025.
- 48 FAQ – Frequently Asked Questions about Blue Light. 2024. Verkkoaineisto. Spectral Blue, LED Tailor Oy. <<https://spectral.blue/pages/faq>>. Luettu 11.11.2024.
- 49 Haridas, Devika & Atreya, Chintamani, D. 2022. The microbicidal potential of visible blue light in clinical medicine and public health. Verkkoaineisto. *Frontiers in Medicine.* <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9353137/>>. Luettu 29.4.2025.
- 50 SFS-EN 17272:2020 Chemical disinfectants and antiseptics. Methods of airborne room disinfection by automated process. Determination of bactericidal, mycobactericidal, sporicidal, fungicidal, pesticidal, virucidal and phagocidal activities. Suomen Standardisoimisliitto.
- 51 Trypticase soy agar (TSA) kontaktimalja. 2024. Verkkoaineisto. Tammer Biolab. <<https://tammerbiolab.fi/tuotteet>>. Luettu 11.11.2024.

- 52 VWR, Contact slides. 2025. Verkkoaineisto. Avantor.
<https://fi.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog_number=525262V>.
Luettu 11.11.2024.

- 53 Watson, F; Wilks, S.A.; Keevil, C.W. & Chewins, J. 2022. Evaluating the environmental microbiota across four National Health Service hospitals within England. Verkkoaineisto. Journal of Hospital Infection.
<<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2022.11.001> >. Luettu 28.5.2025.

Kvantitatiivisen carrier-testin lasketut tulokset

Taulukko 1. Escherichia colin lasketut tulokset.

Näytteen sijainti	Aika	Maljalla	Pmy/ml	Pmy näytteessä
Alkuperäinen näyte			$2,10 \cdot 10^8$	$1,05 \cdot 10^{10}$
Paari	15 min	372	75	3720
Paari	30 min	324	65	3240
Paari	2 h	11	2	110
Paari	4 h	170	34	1700
Pöytä	15 min	210	42	2100
Pöytä	2 h	236	47	2360
Pöytä	4 h	10	2	100
Paarin alla	2 h	210	42	2100
Hoitajan tuolin viereinen taso	30 min	313	63	3130
Hoitajan tuolin viereinen taso	2 h	232	46	2320
Hoitajan tuolin viereinen taso	4 h	3	1	30
Paarien viereinen taso	2 h	139	28	1390

Taulukko 2. Staphylococcus aureuksen lasketut tulokset.

Näytteen sijainti	Aika	Maljalla	Pmy/ml	Pmy näytteessä
Alkuperäinen näyte			$2,5 \cdot 10^8$	$1,25 \cdot 10^{10}$
Paari	15 min	14	$7 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^4$
Paari	30 min	236	$1,18 \cdot 10^7$	$1,18 \cdot 10^6$
Paari	2 h	42	$2,1 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^5$
Paari	4 h	11	$5,5 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^4$
Pöytä	15 min	83	$4,15 \cdot 10^6$	$4,15 \cdot 10^5$
Pöytä	2 h	52	$2,6 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^5$
Pöytä	4 h	38	$1,9 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^5$
Paarin alla	2 h	172	$8,6 \cdot 10^6$	$8,6 \cdot 10^5$
Hoitajan tuolin viereinen taso	30 min	7	$3,5 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^4$
Hoitajan tuolin viereinen taso	2 h	152	$7,6 \cdot 10^6$	$7,6 \cdot 10^5$
Hoitajan tuolin viereinen taso	4 h	17	$8,5 \cdot 10^5$	$8,5 \cdot 10^4$
Paarien viereinen taso	2 h	258	$1,29 \cdot 10^7$	$1,29 \cdot 10^6$

Pintakosketusnäytteiden tulokset

Taulukko 1. Tutkimuksen ensimmäisen osan kosketusagarlevyiltä lasketut pesäkkeet.

	Pöytä/mittari (pmy)	Kahva paarin vieressä (pmy)	Takaoven viereinen pystykahva (pmy)	Luukku 16:n kahva (pmy)	Kaappi 3:n kahva (pmy)
Keltainen	33	14	1	44	2
Punainen	0	0	0	0	0