



# Høgskulen på Vestlandet

## BIO160 Bacheloroppgave og Plakat Gruppe B - Bioingeniør

BIO160

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	24-03-2021 12:43	<b>Termin:</b>	2021 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	26-03-2021 12:00	<b>Vurderingsform:</b>	Bestått/ikke bestått
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave (skriftlig i gruppe)		
<b>Flowkode:</b>	203 BIO160 1 O 2021 VÅR		
<b>Intern sensor:</b>	Signe Lilia Steinkopf		
<b>Intern sensor:</b>	Marit Kristin Leiren		

### Deltaker

<b>Naun:</b>	Yamina Ghezali
<b>Kandidatnr.:</b>	213
<b>HVL-id:</b>	571381@hvl.no

### Informasjon fra deltaker

**Egenerklæring \*:** Ja  
**Inneholder besvarelsen** Nei  
**konfidensielt**  
**materiale?:**  
**Jeg bekrefter at jeg har** Ja  
**registrert**  
**oppgavetittelen på**  
**norsk og engelsk i**  
**StudentWeb og vet at**  
**denne vil stå på**  
**vitnemålet mitt \*:**

### Gruppe

<b>Gruppenavn:</b>	Kandidatnummer 213, 203 og 236
<b>Gruppenummer:</b>	1
<b>Andre medlemmer i gruppen:</b>	Asma Sufyan Abu Zaanona, Samar Hussein Omer Aamir

### Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

### Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \*

Nei

**Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? \***

Ja, Haukeland Universitetssjukehus



# BACHELOROPPGAVE

Sammenligning av like spirometre og av spirometre med ulike sensorer ved måling av det totale lungevolum (FVC)

A comparison between similar spirometers and between spirometers with different types of sensors by measuring the total lung volume (FVC)

**Asma Abu Zaanona, Yamina Ghezali og Samar Hussein Omer**

Bioingeniørutdanningen  
Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap (FIN)  
Institutt for sikkerhet, kjemi og- og bioingeniørfag

Veiledere: Marit Leiren, Signe Steinkopf, Marit Elisabet Aardal og Ingvild Haaland  
26.03.2021

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## Sammendrag

Målet med dette prosjektet var å finne ut om det er signifikant forskjell på målinger av det totale lungevolum (FVC) ved bruk av spirometre med like sensorer, og spirometre med ulike sensorer (trykkforskjellsensor, ultralydsensor).

Ni instrumenter ble testet. Tre av instrumentene måler trykkforskjell; type 1 Sentriesuite Masterscreen (M1-M3). Seks av instrumentene har ultralydsensor; type 2 Sentriesuite Vynuts (M4-M6) og type 3 EasyOne Air (M7-M9). Det ble brukt fire ulike sprøyter for å utføre testene.

For å kunne sammenligne instrumentene ble ulike statistiske beregninger og tester brukt; randomisering av forsøk, deskriptive statistiske beregninger, normalfordeling, paret t-test og Bland Altman plott. Instrumentene ble sammenlignet innad i gruppetype, mellom ulike instrumenter og på typenivå.

Resultatene viser at dataene er symmetriske, og tilnærmet normalfordelt. Spirometrene viser stort sett signifikante forskjeller ved sammenligning mellom instrumenter på typenivå, men lite signifikante forskjeller innad i gruppetype.

Instrumentene i type 2 viser ingen signifikant forskjell innbyrdes. Instrumentene i type 1 og type 3 viser ingen signifikante forskjeller innbyrdes med unntak av M1 og M2 ved bruk av 3-literssprøyter og M7 og M9 ved bruk av 1-literssprøyter.

Ved sammenligning mellom ulike typer instrument måler type 1 høyere enn type 2 og type 3 ved bruk av 1- literssprøyter. Type 2 måler igjen høyere enn type 3 ved bruk av 1- literssprøyter. Type 2 peker seg ut ved bruk av 3- literssprøyter da den måler høyere enn både type 1 og type 3. Det ble ikke observert signifikant forskjell mellom type 1 og type 3 ved bruk av 3-literssprøyter.

**Nøkkelord:** Spirometri, lungefunksjonstest, pneumotachograph, ultralydsensor, Bland Altman plott

## Summary

The aim of this project was to find out if there is a significant difference in measurements of the total lung volume (FVC), when using spirometers with similar sensors, and spirometers with different sensors (pressure difference sensor, ultrasonic sensor).

Nine instruments were tested. Three of the instruments measure pressure differences; type 1 Sentriesuite Masterscreen (M1-M3). Six of the instruments have ultrasonic sensors; type 2 Sentriesuite Vyntus (M4-M6) and type 3 EasyOne Air (M6-M9). Four different syringes were used to perform the tests.

To be able to compare the instruments, different statistical calculations and testes were used; randomization of tests, descriptive statistical calculations, normal distribution, paired t-test and Bland Altman plot. The instruments were compared within group type, between all different instruments and at type level.

The results show that the dates are symmetrical, and almost normally distributed. The spirometers show mostly significant differences when comparing instruments at type level, but little significant differences within each group type.

The instruments in type 2 show no significant difference within the group. The instruments in type 1 and type 3 show no significant differences within the group with the exception of M1 and M2, when using 3-liter syringes and M7 and M9, when using 1-liter syringes.

When comparing different types of instrument, type 1 measures higher than types 2 and type 3, when using 1-liter syringes. Type 2 again measures higher than type 3 when using 1-liter syringes. Type 2 stands out when using 3-liter syringes as it measures higher than both type 1 and type 3. No significant difference between type 1 and type 3 when using 3-liter syringes.

**Keywords:** Spirometry, Lung function test, pneumotachograph, ultrasonic sensor, Bland Altman plot.

# Forord

Bacheloroppgaven i spirometri var øverst i ønskeliste for alle medlemmene av bachelorgruppen B1. Spirometri er ikke en del av pensum ved Bioingeniørutdanningen ved HVL, til tross for dets viktige rolle i en bioingeniør sitt laboratoriearbeid. Derfor var det spennende å utdype oss i temaet, både i form av laboratoriearbeid og bearbeiding av data ved hjelp av statistikk.

Vi vil rette et stort takk til våre interne veiledere, Marit Leiren og Signe Steinkopf, for god og konstruktiv veiledning og godt samarbeid og kommunikasjon, under både laboratoriearbeidet og skriveprosessen.

Et stort takk rettes også til våre eksterne veiledere ved Lungepoliklinikken på Haukeland Universitetssykehus, Marit Elisabeth Aardal og Ingvild Haaland, for god hjelp og veiledning.

Asma Abu Zaanona

Yamina Ghezali

Samar Hussein Omer

## Innhold

1.0.	Innledning.....	7
1.1.	Bakgrunn .....	7
1.2.	Problemstilling.....	8
2.0.	Teori .....	9
2.1.	Lungefunksjonstester.....	9
2.2.	Spirometri .....	10
2.2.1.	Volummålingsspirometre.....	11
2.2.2.	Strømningsmålingsspirometre.....	13
2.3.	Spirometriske lungeparametere.....	15
2.4.	Lungesykdommer.....	16
2.4.1.	Kronisk obstruktiv lungesykdom (KOLS) .....	16
2.4.2.	Astma.....	16
3.0.	Materiale.....	17
3.1.	Benyttede spirometre.....	17
3.2.	Sprøyter .....	18
3.3.	Operatører.....	18
4.0.	Metode.....	19
4.1.	Kalibrering av spirometre .....	19
4.2.	Utførelse av en spirometrisk test.....	19
4.3.	Statistiske metoder .....	20
4.3.1.	Randomisering .....	20
4.3.2.	Deskriptive statistiske beregninger.....	20
4.3.3.	Normalfordeling .....	20
4.3.4.	Paret t- test .....	21
4.3.5.	Bland Altman plott .....	22
5.0.	Resultat.....	23
5.1.	Symmetri .....	23
5.2.	Normalfordeling.....	23
5.3.	Paret t-test.....	24
5.3.1.	Paret t-test for instrumenter med lik sensor .....	27
5.3.2.	Paret t-test for instrumenter med ulik sensor.....	28
5.3.3.	Paret t-test for instrumenter med ulik sensor på gruppenivå (type 1, 2 og 3) .....	29
5.4.	Bland Altman plott.....	31
5.4.1	Sammenligning av instrumenter med lik sensor .....	32
5.4.2	Sammenligning av instrumenter med ulik sensor.....	33

5.4.3 Sammenligning av instrumenter med ulik sensor på gruppenivå (type 1, 2 og 3) .....	37
6.0. Diskusjon.....	40
6.1. Deskriptiv statistikk.....	40
6.2. Normalfordeling .....	40
6.3. Paret t-test .....	40
6.4. Bland Altman plott .....	40
6.5. Begrensninger og feilkilder.....	41
6.6. Videre arbeid.....	42
6.7. Konklusjon.....	42
7.0. Referanser .....	43
8.0. Vedlegg.....	45



## 1.0. Innledning

### 1.1. Bakgrunn

Spirometri er en fysiologisk lungefunksjonstest. Den regnes som en screeningtest av respiratorisk helse (Ponce og Sharma, 2020). Man bruker et instrument kalt spirometer til å måle hvor mye luft en kan puste ut, og kraften og hastigheten på utånding etter maksimal innånding. Dette brukes som et ledd under diagnostisering av lungesykdommer, for å måle effekt av en pågående behandling og til å bestemme eventuelt behov for justering av en behandling (Miller mfl., 2005).

Det brukes analyseinstrumenter med ulike sensorer under en spirometrisk undersøkelse. Lungevolumet kan ikke måles direkte. Man benytter derfor indirekte metoder der ulike parametere, avhengig av type sensor, måles og brukes til beregning av lungevolum.

Når en pasient skal ta en spirometrisk undersøkelse er det gjerne flere undersøkelser som skal utføres under samme besøket, som blodprøve eller røntgen. Dette utløser mye logistikk og koordinering og dermed umulig å garantere at samme apparat, samme tidspunkt og samme operatør møter pasienten ved gjentatte spirometriske undersøkelser.

En tidligere studie utført ved Lungeavdelingen på Haukeland Universitetssykehus (HUS) i 2017 har vist at det blir målt høyere verdier av det totale lungevolum (FVC) og forsert ekspirasjonsvolum på ett sekund (FEV1) ved bruk av spirometre med glødetråd og spirometre med belgsensor enn ved spirometre med ultralydsensor (Aardal mfl., 2017). HUS ønsker videre å kartlegge om det er forskjell i målinger av et utvalg av instrumentene som måler trykkforskjell (pneumotachograph) og instrumentene med ultralydsensor, som i dag er i bruk ved Lungeavdelingen.

I dette prosjektet skal tre ulike typer instrumenter sammenlignes. I tillegg er det tre av hvert instrument, og disse skal sammenlignes innbyrdes. Den ene typen instrument måler volum ved trykkforskjellsmålinger. De to andre typene bruker UV- stråling til å beregne volum. Disse er ikke sensitive for trykk og temperatur.

Dette prosjektet bruker sprøyter for å simulere innblåsing i spirometrene, ikke frivillige forsøkspersoner. Det er derfor kun FVC- verdier som er målbare. De andre parametere, FEV1

og maksimal ekspiratorisk flow (PEF), er avhengige av kraft og hastighet i en innblåsing og lar seg ikke måle ved bruk av sprøyte.

Ved å sammenligne resultat fra samme type instrument, og resultat fra ulik type instrument under samme forhold, vil en undersøke om resultatene varierer systematisk. Dette er et viktig ledd i kvalitetssikring av laboratoriearbeidet for å sikre riktig prøvesvar for pasienter ved Lungeavdeling på HUS. Hvis et instrument viser signifikant høyere eller lavere verdier sammenlignet med andre, kan resultatene brukes av behandlende lege til å korrigere for eventuelt misvisende høye eller lave verdier som skyldes instrumentet som blir benyttet.

## 1.2. Problemstilling

Er det signifikant forskjell på målinger av det totale lungevolum (FVC- verdier) ved bruk av et utvalg:

- spirometre med like sensorer?
- spirometre med ulike sensorer: trykkforskjellsensor (pneumotachograph) eller ultralydsensor?

## 2.0. Teori

### 2.1. Lungefunksjonstester

Lungefunksjonstester (Pulmonary Function Tests, PFT) gjør det mulig å evaluere pasientens respiratoriske evne. De er reproduserbare og nøyaktige. PFT- tester gir ikke en spesifikk diagnose, men sammen med historikk, fysisk undersøkelser og laboratorieresultater bidrar de til å stille riktig diagnose til pasienten. PFT- tester hjelper også legene til å anslå alvorlighetsgraden av en respiratorisk lungesykdom. Dette muliggjør at pasientene kan følges opp over tid og responsen på behandling blir målt (Ponce og Sharma, 2020).

De ulike lungefunksjonstestene er presentert i tabell 1.

Tabell 1: Ulike lungefunksjonstester med måleprinsipp (Ponce og Sharma, 2020).

Test	Måleprinsipp
<b>Spirometri</b>	Fysiologisk test som måler lungevolum og evnen til å puste inn og ut luft i forhold til tid. Se kapittel 2.2.
<b>Lungevolumstester</b>	Helkroppspletysmografi: Pasienten sitter inne i en kropps boks og puster mot en lukkerventil. Gassfortynningsmetode: Her brukes en inert gass som er dårlig løselig i alveolært blod og lungevev, enten nitrogen eller helium.
<b>Diffusjonskapasitetstest</b>	Diffusjon av gasser over de alveolære kapillær membranene måles i denne testen. I målingene blir karbonmonoksid (CO) brukt for å beregne lungediffusjonskapasiteten.
<b>Respiratorisk muskeltrykk</b>	Respiratorisk muskeltrykk blir vurdert med maksimalt inspirasjonstrykk (MIP) og maksimalt utåndingstrykk (MEP). MIP måler styrken på innåndings muskler mens MEP måler styrken på mage og andre utåndings muskler. Måles ved bruk av et manometer som pasienten puster inn i.
<b>Arterielle blodgasser</b>	En arteriell blodprøve der blodets surhetsgrad og oksygen- og karbondioksidtrykket måles (Skjønsberg, 2017). Verdier utenfor referanseområde kan indikere lungefunksjonsforstyrrelser.

## 2.2.Spirometri

Spirometri er en lungefunksjonstest som er særlig effektiv i evaluering av obstruktive lungesykdommer (en sykdom preget av progressiv luftstrømsbegrensning og vevsdestruksjon, KOLS) og i diagnostisering og behandling av pasienter med brystproblemer (Gerbase mfl., 2013).

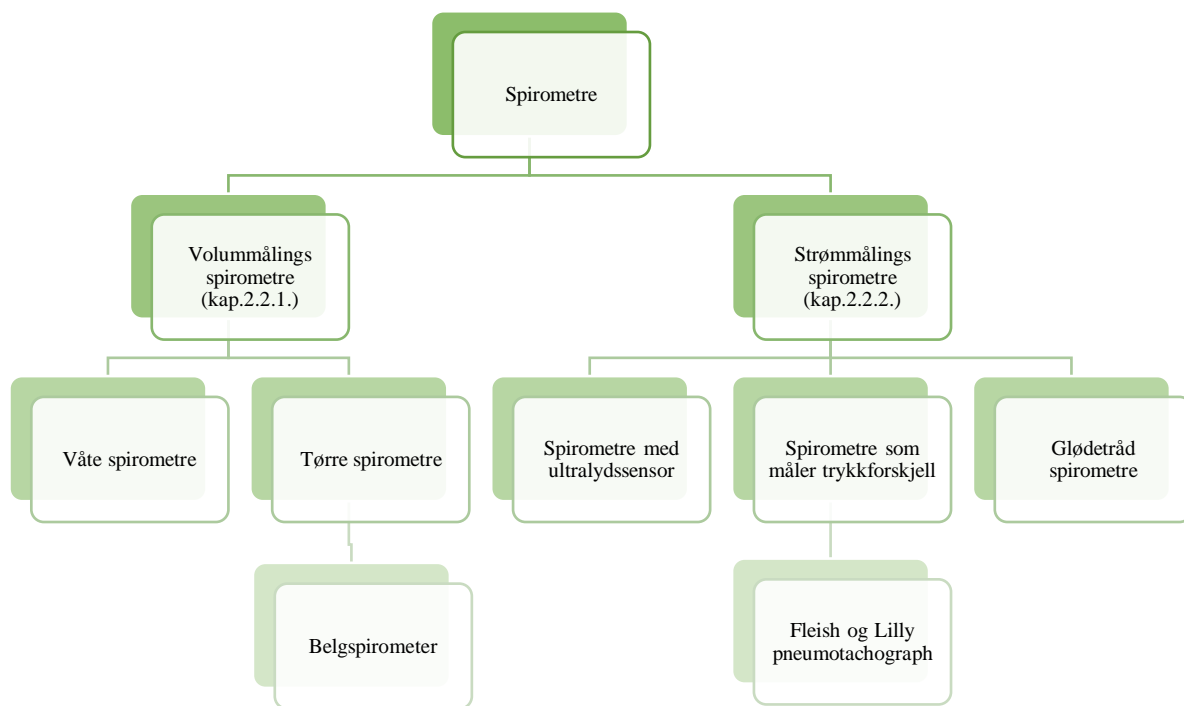
Nøyaktig tolkning av testresultatene er avhengig av tilgjengelig referanseligninger som gjelder for pasienten som skal gjennomgå en spirometrisk test, dvs, referanseligning for den friske referansepopulasjon (Liou mfl., 2009). En spirometrisk undersøkelse gir informasjon om lungevolum og strømming (flow) av pusten (Gerbase mfl., 2013).

American Thoracic Society (ATS) har publisert i sin artikkel “Standardization of Lungs Function Testing” krav til akseptable spirometre. Dette er presentert i tabell 2 under.

*Tabell 2: Krav til akseptable spirometre (Miller mfl., 2005).*

<b>Egenskap</b>	<b>Krav til akseptable spirometre</b>
<b>Spirometre må kunne akkumulere volum</b>	$i \geq 15$ s
<b>Målevolumet skal være</b>	$\geq 8$ L (Kroppstemperatur og trykk, mettet).
<b>Nøyaktighet på avlesning bør være</b>	minst $\pm 3\%$ (eller $\pm 0,05$ L) med strømminger fra 0-14 L per s

Spirometre kan deles inn i to hovedgrupper, spirometre som måler volum (2.2.1.) og spirometre som måler strømming/flow (2.2.2.). Strømningsmålingsspirometer er den typen som brukes mest i dag.



*Figur 1: Inndeling av spirometre med ulike analyseprinsipp og sensorer (Jongh, 2008, s.251-254).*

### 2.2.1. Volummålingsspirometre

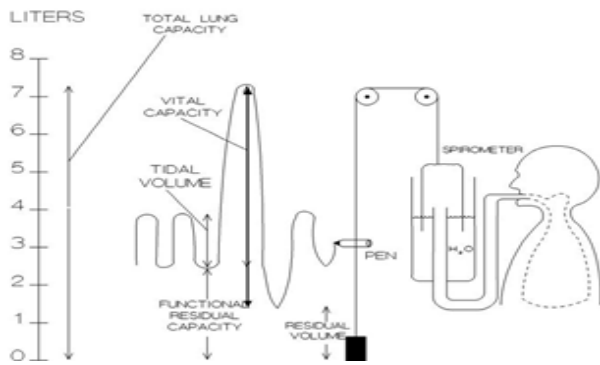
Volummålingsspirometre kan deles inn i våte og tørre spirometre. I denne typen spirometre beregnes strømmen av luften ved den tidsderiverte til volumsignalet, det vil si den deriverte av tiden mot volumsignalet.

Våte spirometre måler volumet ved bruk av en direkte metode. Parametere som forsert ekspirasjonsvolum på ett sekund (FEV1) og vital kapasitet (VC) måles derfor nøyaktig ved bruk av denne type spirometre(kap. 2.3). Målingene blir utført uten behov for avansert elektronikk da oppbygningen av instrumentene er relativt enkel (figur 2), og gir en direkte oversikt over de målte verdiene (Jongh, 2008, s.251-254).

Vått spirometer består av to kamre: et større kammer som er fylt med vann og har en pusteslange festet til seg, og et mindre kammer som er omvendt inne i det første kammer og suspendert i vann (figur 2 og figur 3). En motvekt og indikator er festet til det omvendte kammeret.



Figur 2: Vått spirometer (Vått spirometer, u.å.).



Figur 3: Prinsipp for bruk av et vått spirometer for å måle lungevolum (Vått spirometer, u.å.).

Det mekaniske prinsippet for vått spirometer baserer seg på at luften som er pustet ut fra lungene, vil føre til forskyvning av omvendte kammeret og bevege indikatoren langs skalaen. Måleprinsippet for vått spirometer er illustrert i figur 3 (Jongh, 2008, s.251-254).

Denne typen av spirometre er ikke lengre produsert, da den har et begrenset utvalg av parametere. For eksempel er det vanskelig å få maksimal utåndingsstrøm ved 25% av VC (Jongh, 2008, s.251-254).

Tørre spirometre er ikke tilgjengelige lenger til tross for at de har bedre frekvenssegenskaper og er enkle å automatisere (Jongh, 2008, s.251-254).



Figur 4: Bilde av et tørt spirometer (Tørt spirometer, u.å.).

## 2.2.2. Strømningsmålingsspirometre

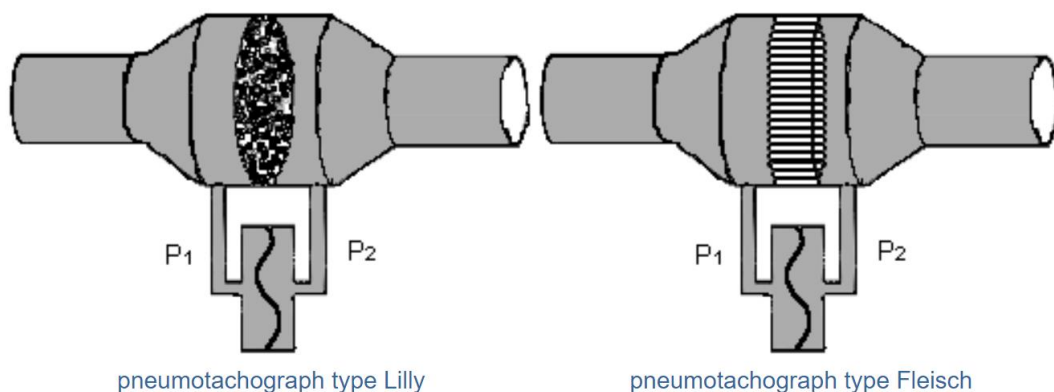
Strømningsmålingsspirometre kan deles inn i spirometre med trykkmålingssensor, spirometre med ultralydsensor og spirometre med glødetråd. Her beregnes lungevolumet ved integrering over tid av flyt signalet.

### 2.2.2.1. Spirometre med trykkmålingssensor

Det finnes i dag en rekke typer spirometre som måler trykkforskjell som baserer seg på forskjellige prinsipper. Den mest brukte typen er differensial trykkgiver, der et følsomt manometer oppdager trykkfallet over en liten motstand plassert i luftstrømmen. Når gass strømmer nedover et rør der det er delvis obstruksjon, er trykket etter hindringen mindre enn det det var umiddelbart før. Forskjellen som er trykkfallet over motstanden, er en funksjon av hastigheten på gasstrømmen (ERS Spirometry Training Programme, 2014).

Motstanden kan skapes på forskjellige måter, men de to metodene som vanligvis brukes, er: Fleisch og Lilly pneumotach (figur 5). I en Fleisch pneumotach består motstanden av sett med små kapillarrør, som står parallelt med strømningsretningen (Johnson, 2014) mens Lilly-typen måler forskjellen i trykk før og etter er membran med kjent motstand (Spirometry.guru). Det er Lilly pneumotach som blir brukt i dette prosjekt.

Instrumentet har både fordeler og ulemper i forhold til brukeren. Den er lett å rengjøre, bærbar og veier lite. Dens ulemper er at den er bare lineær over et definert område, uavhengig og gass sammensetning, drift forekommer hvis sensoren ikke er oppvarmet og instrumentet er vanskelig å tørke når det først er rengjort (ERS Spirometry Training Programme, 2014).



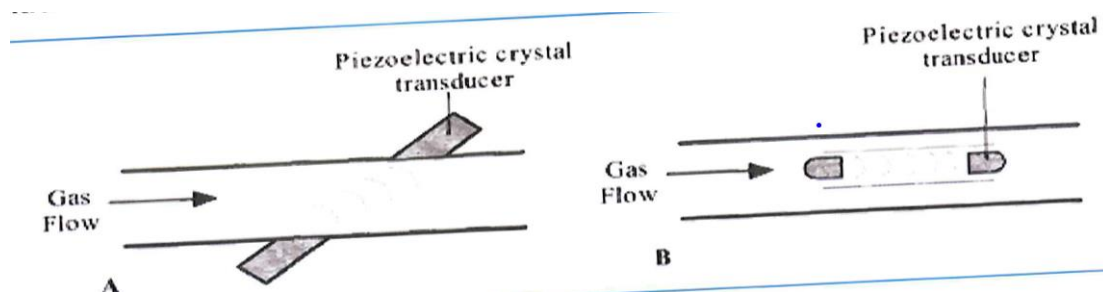
Figur 5: Lilly og Fleisch pneumotachographer (Lilly og Fleisch pneumotachograph, u.å.).

### 2.2.2.2 Spirometre med ultralydsensor

Spirometre med ultralydssensor måler strømmen av luft ved å bestemme Doppler-effekten i den utløpte og inspirerte luften ved hjelp av ultralyd. Ultralyd i 100 MHz-området brukes til å måle gasshastighet og strømning ved hjelp av en av to metoder presentert i tabell 3. EasyOne Air og Sentriesuite Vyntus, som blir brukt i dette prosjektet, er eksempler på spirometre med ulike metoder for ultralyd-målinger. Figur 8 viser forskjellen mellom de to metodene.

Tabell 3: Analyseprinsipp for spirometre med ultralydssensor (European Spirometry Driving Licence, 2014).

Instrument	Metode
Sentriesuite Vyntus	Prinsipp basert på at gass som strømmer gjennom et rør blir turbulent når den møter en hindring.
EasyOne Air	Laminær gasshastighet blir målt ved forstørrelse eller retardasjon av et ultralydsignal gjennom den bevegelige gassen. Ved å veksle overføring mellom et par motstående transdukere, blir overførings tidsforskjeller oppstrøms og nedstrøms strøm omdannet til en flyt signal.



Figur 8: Ultralyd spirometre med ulike måleprinsipp (European Spirometry Driving Licence, 2014).

Spirometeret med ultralydsensor består av et strømningsrør med stivere plassert i luftstrømmen. Gass som går over stivere brytes ned i bølger. Da kan enheten kalibreres slik at hver bølge som går gjennom ultralyden produserer en puls proporsjonal med et bestemt volum. Pulsene telles og summeres elektronisk og gir et målt volum. Spirometret har lav nøyaktighet ved måling av lave strømningshastigheter (European Spirometry Driving Licence, 2014).



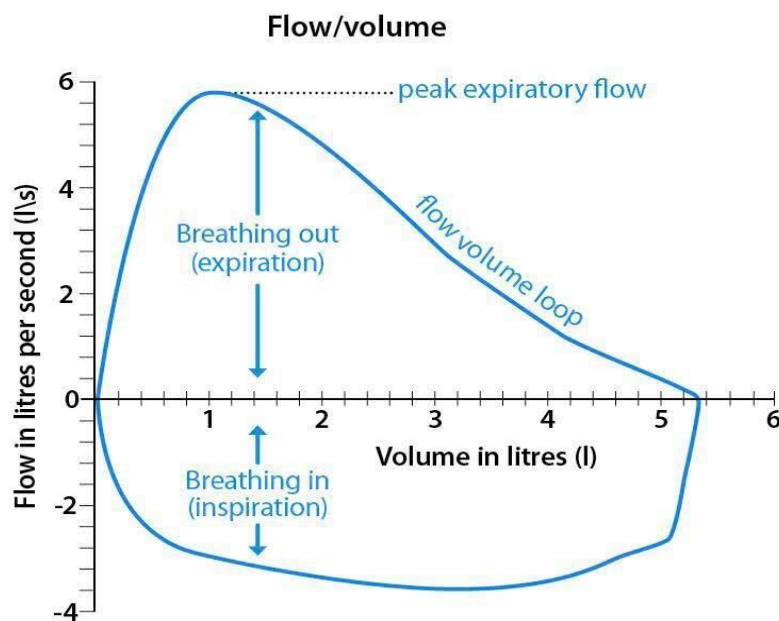
### 2.3. Spirometriske lungeparametere

De viktigste parameterne som blir målt ved en spirometrisk undersøkelse er følgende:

- FVC (forsert vitalkapasitet) - det totale lungevolumet.
- FEV1 (forsert ekspirasjonsvolum på ett sekund) - det man puster ut det første sekundet man puster ut.
- PEF (maksimale ekspiratorisk flow) - forholdet mellom FEV1/ FVC som uttrykkes i %. Kraften i utpusten. Denne parameteren er mest sensitiv ved obstruksjon og angis i liter per minutt. PEF er også særlig egnet for astma- pasienter da den påviser døgnvariasjoner.

Disse resultatene er representert på en graf som volumer, og kombinasjoner av disse volumene betegner lungekapasitet og kan brukes som et diagnostisk verktøy og til å overvåke pasienter med lungesykdommer (Lamb mfl., 2020).

Framstillingen kan utføres ved å enten plote tid i sekunder på x-aksen og volumet i liter på y-aksen, eller ved å plote volum på x-aksen og luftstrømningshastigheten på y-aksen. Figur 5 viser et eksempel på resultat på en spirometrisk undersøkelse utført på en frisk person. Her er volumet plottet på x-aksen og hastigheten på y-aksen. Maksimal ekspirasjonsstrøm ser vi øverst i figuren. Under x-aksen er det utånding som måles mens over den er det utånding som måles.



Figur 9: Eksempel på resultat fra en spirometrisk undersøkelse (British lung foundation, 2020)

## 2.4. Lungesykdommer

Spirometri kan bidra i diagnostisering av flere lungesykdommer, blant annet kronisk obstruktiv lungesykdom (KOLS), astma, cystisk fibrose og lungekreft. I kapittel 2.4.1 blir de mest vanlige lungesykdommene ved lungepoliklinikken på HUS nærmere omtalt.

### 2.4.1. Kronisk obstruktiv lungesykdom (KOLS)

Kronisk obstruktiv lungesykdom (KOLS) er en samledefinisjon på kronisk bronkitt og emfysem, hvor begge tilstandene ofte opptrer samtidig.

**Kronisk bronkitt:** er en tilstand som varer og gjentas i relativt lang tid, særlig hos røykere. Den defineres som hoste med oppspytt som vedvarer i minst tre måneder eller mer per år, i to påfølgende år. Sykdommen diagnostiseres på bakgrunn av pasientens symptomer, ikke på bakgrunn av karakteristiske vevsforandringer. Sykdommen rammer sjeldent ikke-røykere, så de aller fleste sykdomstilfeller rammer røykere, hvor det skyldes tobakksrøyking. De nedre luftveier blir da irritert av røykingen, noe som utvikler en kronisk betennelsesreaksjon med ødem og slimsekresjon, hvor bronkier og bronkioler kan bli tette av slimplugger. Den glatte muskulaturen i de små bronkiegrenene trekker seg sammen på grunn av de kroniske irritasjonene. Sammentrekningen fører til at luftveier snevrer seg inn. Alt dette fører til hemming av luftstrømmen. Sykdommens symptomer er hoste med slimete oppspytt og tung pust. Spirometri regnes som en god metode for påvisning av nedsatt luftstrømhastighet ved utpust (Bertelsen, 2011, s.126).

**Emfysem:** er en lungesykdom som kjennetegnes med ødeleggelse av alveolvegger som medfører sammenslåing av alveoler til større enheter og tap av elastiske fibre i lungevevet. Forandring av anatomiske egenskaper innebærer at det blir redusert av lungenes elastiske egenskaper, noe som gir nedsatt luftstrømhastighet ved utpust. Ødeleggelsen av alveolveggene fører til at kapasitet for gassutveksling blir redusert og dermed svekket oksygentilførsel til blodet. Utløsende faktoren for sykdommen er skadelig effekt av tobakksrøyking. Dessuten kan arvelig mangel på enzymet alfa-1-antitrypsin bidrar til alveolskaden (Bertelsen 2011, s.126).

### 2.4.2. Astma

Astma er en kronisk betennelse eller irritasjonstilstand i luftveiene, noe som fører til innsnevring av de små bronkiegrenene, hvor luftstrømhastighet reduseres. Innsnevring av de små bronkiegrenene skyldes sammentrekning av den glatte muskulaturen, økt slimproduksjon og slimhinneødem. Symptomer ved anfall er hvesende, tung eller pipende pust. Årsaker som

kan utløse astma er inhalasjon av stoffer eller partikler i luften som husstøvmidd, dyrehår eller pollen (Bertelsen, 2011, s.125).

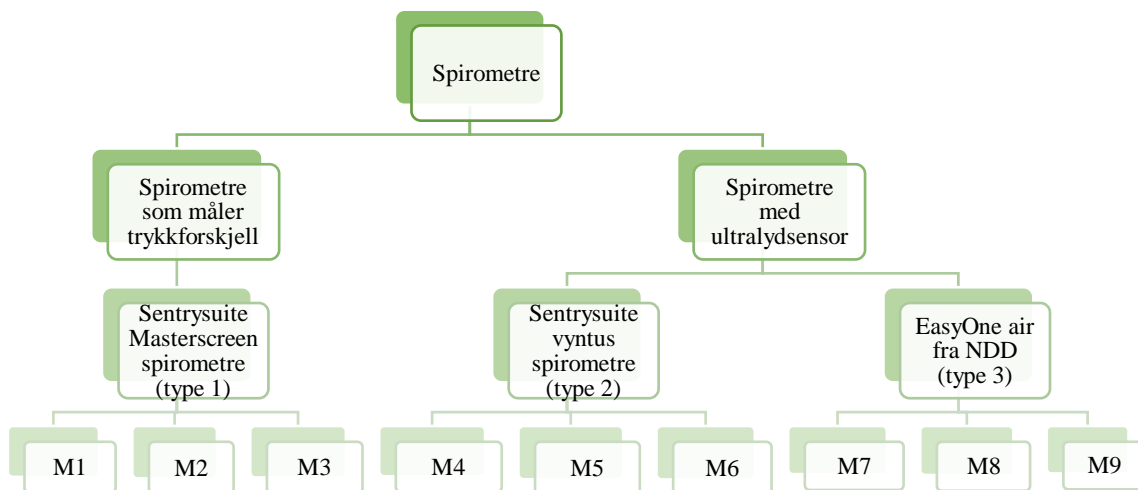
Astma blir diagnostisert ved hjelp av pasientens sykehistorie og funn ved legeundersøkelse. I tillegg til lungefunksjonsprøve (spirometri), der målingen bestemmer lungevolumet og hastigheten på luftstrømmen ut av lungene. Typisk for astma er redusert strømhastighet (Bertelsen, 2021).

### 3.0. Materiale

I dette prosjektet ble ni instrumenter testet. Tre av instrumentene måler trykkforskjell, disse fikk navnene M1, M2 og M3. Seks av instrumentene har ultralydsensor, og disse fikk navnene M4, M5, M6, M7, M8 og M9. Dette er illustrert i figur 10.

#### 3.1. Benyttede spirometre

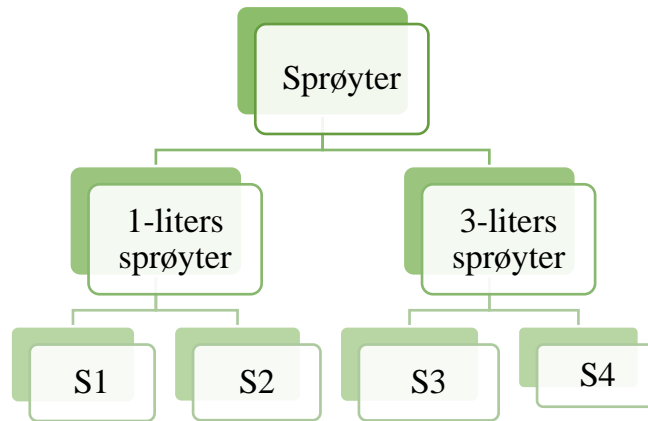
- Sentriesuite Masterscreen pneumotach. Produsent: Vyaire Medical
- Sentriesuite Vyntus. Produsent: Vyaire Medical
- EasyOne Air med ultralydsensor. Produsent: New diagnostic design (NDD)



Figur 10: Spirometre som er brukt i prosjektet.

### 3.2. Sprøyter

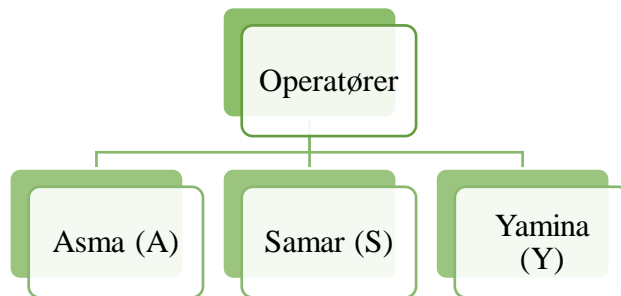
På grunn av den pågående COVID-19 pandemien, ble ikke testene utført av frivillige forsøkspersoner, men ble erstattet med fire ulike sprøyter (Figur 11). To av de er 1-literssprøyter, S1 og S2, og de to andre sprøytene er 3-literssprøyter, S3 og S4.



*Figur 11: Sprøyter som ble benyttet.*

### 3.3. Operatører

Tre operatører utførte testene i dette prosjektet, Yamina (Y), Asma (A) og Samar (S) (Figur 12).



*Figur 12: Operatører som utførte testene.*

## 4.0. Metode

### 4.1. Kalibrering av spirometre

Kalibrering er prosedyren som brukes for å validere at instrumentet er innenfor kalibreringsgrensene, f.eks. +/- 3,5% av referanseverdi. Instrumenter som ikke klarer kalibreringsgrensene krever en ny kalibrering eller vedlikehold av utstyr, for at instrumentet skal kunne gi reelle resultater. Kalibrering av instrumenter må utføres daglig.

Til volumkalibreringen av spirometre blir 3-literssprøyte brukt. Disse sertifiserte sprøytene må ha en nøyaktighet på +/- 15% eller +/- 0,5% av hele skala (15 ml for en 3-literssprøyte)

Kalibrering av instrumentene blir utført to ganger daglig for Sentrysuite Masterscreen spirometre og Sentrysuite Vyntus spirometre. EasyOne Air spirometre er forhåndskalibrert og krever kun en daglig verifisering av instrumentene (Miller mfl., 2005, s.322).

### 4.2. Utførelse av en spirometrisk test

Man begynner med å koble sammen sprøyten som skal benyttes til spirometeret. Man kobler på albuestykket, silikonadapter og bakteriefilter (Figur 13).



*Figur 13: 3- literssprøyte. (Ghezali, 2021)*

Når pumpen er koblet til spirometeret kan testen startes ved å føre pumpestempelet raskt frem og tilbake. Resultatene visualiseres i programmet SentrySuite etter endt test.

### 4.3. Statistiske metoder

For å kunne sammenligne instrumentene ble forsøkene randomisert og ulike statistiske beregninger og tester brukt for å undersøke dataene; deskriptive statistiske beregninger, normalfordeling og paret t-test. Bland Altman plott ble brukt for grafisk framstilling av resultatene. Disse er nærmere beskrevet i kapittel 4.3.1.- 4.3.5.

#### 4.3.1. Randomisering

Ettersom man har ni instrumenter og fire sprøyter, ble det totalt 36 tester daglig. Forsøkene ble gjentatt i totalt fem dager. Først ble forsøkene randomisert, det vil si tilfeldiggjort med tanke på rekkefølge på operatør, instrument, sprøyte, trykk og temperatur. Målet med randomisering er å eliminere tilfeldige forskjeller. På denne måten unngår man for eksempel at samme operatør utfører en spirometrisk undersøkelse på samme instrument til samme tid hver dag. Randomisering ble utført i Excel ved hjelp av randomiseringsfunksjonen (RAND). Se vedlegg 1a.

#### 4.3.2. Deskriptive statistiske beregninger

Deskriptiv statistikk er en spesifikk metode som brukes til å beregne, beskrive og oppsummere innsamlede data på en logisk måte (Vetter, 2017).

Deskriptiv statistikk ble brukt til å bestemme om dataene er symmetrisk fordelt eller ikke. For å vurdere symmetri, ble median og gjennomsnitt sammenlignet. Når median og gjennomsnitt tilnærmet like, kan man konkludere med at dataene er symmetriske (Helbæk, 2016, s.37).

Deskriptiv statistikk ble utført i Excel ved å markere gjennomsnittet av de tre parallellene, 36 test daglig, og prosessere de. Følgende kommandostreng ble fulgt:

Data → Dataanalyse → Deskriptiv statistikk

#### 4.3.3. Normalfordeling

Normalfordeling er den viktigste sannsynlighetsfordelingen i statistikk, fordi den danner grunnlaget for usikkerhetsberegninger i analytisk kjemi og andre empiriske vitenskaper (Helbæk, 2016, s.58).

Man kan konkludere med at dataene er normalfordelt, dersom korrelasjonskoeffisient  $R$  er tilnærmet 1.

Først ble gjennomsnittet av de parallelle instrumentmålingene beregnet. Deretter regnet man ut differansen mellom gjennomsnittene fra to forskjellige instrumenter om gangen. Dette ble

utført for 1-literssprøytene og 3- literssprøytene hver for seg. Deretter ble deskriptiv statistikk (4.3.2) beregnet for differansene for å finne medianen og standardavviket. Medianen og standardavviket ble brukt til å beregne sannsynlighet for normalfordeling. For å lage normalfordelingsplott, ble differansen plottet på y-aksen, og sannsynlighet for normalfordeling ble plottet på x-aksen.

Funksjonen for normalfordeling inneholder følgende:

- **X:** Verdien du ønsker fordelingen for.
- **Median:** Den matematiske median for fordelingen.
- **Standardavvik:** Standardavviket til fordelingen.
- **Kumulativ:** En logisk verdi som bestemmer funksjonens form. (Microsoft, 2021)

Normalfordelingen ble utført ved hjelp av Excel, ved å markere differanse og sannsynlighet for normalfordeling, og bruke følgende kommandostreng:

Data → Dataanalyse → Regresjon

#### 4.3.4. Paret t- test

En t-test er en statistisk test som brukes til å sammenligne gjennomsnittet av to grupper. Det er en av de mest brukte statistiske hypotesetestene.

T-test kan deles inn i to typer; t-test som kan brukes når de to gruppene under sammenligning er uavhengige av hverandre, og paret t-test som kan brukes når de to gruppene som sammenlignes er avhengige av hverandre. Hvis det ikke er noe forskjell mellom instrumentene, vil forskjellen i resultatene være nær null (Kim, 2015).

Etttersom dataene som ble brukt i dette prosjektet er antatt symmetriske og normalfordelte, ble det konkludert med å utføre paret t-test. Paret t-test ble brukt til å undersøke om det er signifikans forskjell mellom instrumentene. Verdiene som ble brukt er gjennomsnitt av de tre parallellene for hvert instrument (3-L og 1-L). Verdiene som ble sammenlignet er P- og t-observator.

Ved bruk av paret t-test ble følgende hypotese testet:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$ , forventningsverdier er like, ingen signifikant forskjell mellom instrumentene

- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ , forventningsverdier er forskjellige; det er signifikant forskjell mellom instrumentene.

Paret t-test ble utført i Excel, Hypotesen utføres ved å bruke kommandostrengen:

Data → Dataanalyse → T-test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg.

Tabell 4 viser en oversikt over instrumentene som ble sammenlignet; sammenligning av like instrumenter, sammenligning av ulike instrumenter og sammenligning av de forskjellige instrumenttyper.

Tabell 4: Oversikt over alle instrumenter som ble sammenlignet.

Paret t-test mellom instrument			Paret t-test mellom instrumenttyper
Ulike instrument	Ulike instrument	Like instrument	Type 1 og type 2
M1 og M4	M3 og M6	M1 og M2	Type 1 og type 3
M1 og M5	M3 og M7	M1 og M3	Type 2 og type 3
M1 og M6	M3 og M8	M2 og M3	
M1 og M7	M3 og M9	M4 og M5	
M1 og M8	M4 og M7	M4 og M6	
M1 og M9	M4 og M8	M7 og M8	
M2 og M4	M4 og M9	M7 og M9	
M2 og M5	M5 og M6	M8 og M9	
M2 og M6	M5 og M7		
M2 og M7	M5 og M8		
M2 og M8	M5 og M9		
M2 og M9	M6 og M7		
M3 og M4	M6 og M8		
M3 og M5	M6 og M9		

#### 4.3.5. Bland Altman plott

Bland Altman plott er en grafisk framstilling som brukes til å sammenligne to metoder som måler samme parameter. I dette prosjektet sammenlignet man ulike instrumenter som måler FVC. Plottene indikerer om det er signifikant forskjell mellom to metoder. Dette kan sees visuelt hvis tilnærmet alle punkt ligger enten over eller under 0-linjen.

I dette prosjektet ble det laget Bland Altman plott manuelt da Excel ikke har en funksjon for dette. Følgende verdier ble beregnet (Purcell, 2016):

- Bias: gjennomsnittverdi av differanse
- SD: standardavvik
- Lower LOA: bias – 1,96\*SD
- Upper LOA: bias + 1,96\*SD



## 5.0. Resultat

### 5.1. Symmetri

Deskriptiv statistikk ble brukt til å bestemme om dataene fra de ulike dagene var symmetrisk fordelt eller ikke.

Tabell 5 viser et eksempel på deskriptiv statistikk for dataene fra dag 1. Resultatene viser at dataene er symmetrisk fordelt da median og gjennomsnitt er tilnærmet like. Se Vedlegg 1b for symmetriberegning for de resterende dagene.

Gjennomsnitt: samlet gjennomsnitt av alle daglige gjennomsnitt (av parallelle målinger)

Median: medianen av alle daglige gjennomsnitt

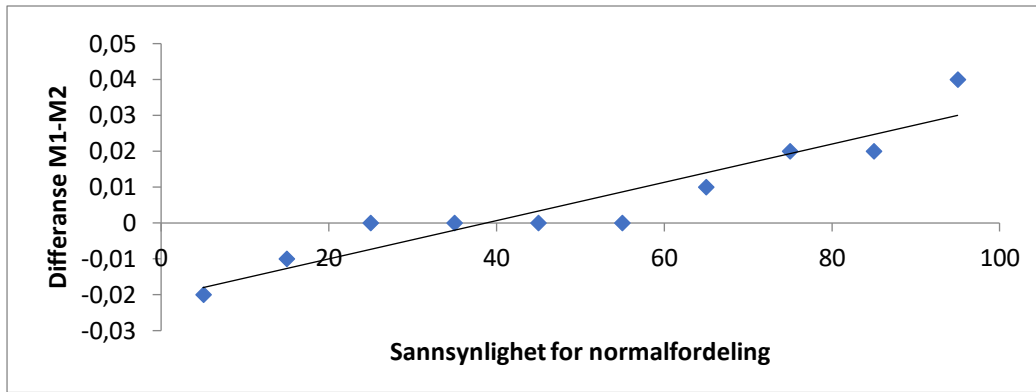
Antall: refererer til antall tester per dag (36)

*Tabell 5: Deskriptiv statistikk for dataene fra dag 1.*

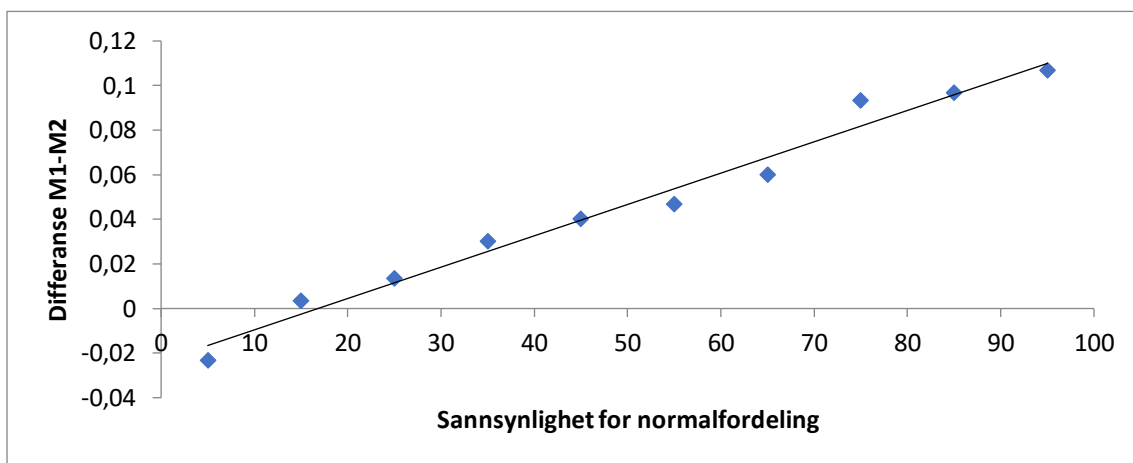
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>2,070925926</b>
<b>Median</b>	2,051666667
<b>Antall</b>	36

### 5.2. Normalfordeling

Videre ble det undersøkt om dataene var normalfordelt ved hjelp av normalfordelingsfunksjonen i Excel, hvor sannsynlighet for normalfordeling ble plottet på x-aksen, og differanse ble plottet på y-aksen (4.3.3.). Figur 14 og 15 viser eksempler på normalfordelingsplottene for differanse mellom instrumentene M1 og M2 ved bruk av 1 og 3-literssprøytene (S1-S4). For resten av utførte normalfordelingsplott se Vedlegg 2.



Figur 14: Normalfordelingsplott for differansen mellom gjennomsnittene for instrumentene M1 og M2 ved bruk av 1- literssprøyter.



Figur 15: Normalfordelingsplott for differansen mellom gjennomsnittene for instrumentene M1 og M2 ved bruk av 3-literssprøyter.

### 5.3. Paret t-test

Paret t-test ble brukt for å sammenligne de forskjellige spirometre. Følgende hypotese ble satt opp (Kristensen, 2018):

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, \text{ forventningsverdier er like}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2, \text{ forventningsverdier er forskjellige.}$$

Signifikansnivå:  $\alpha = 5\% = 0,05$

Forkast  $H_0$  hvis:  $|T| > t_{\alpha/2} \quad P < \alpha$

$$|T| > 2,145 \quad P < 0,05$$

Resultatene for paret t-test er presentert i tabell 6. Verdiene som ble benyttet for å måle signifikansforskjell, t-Stat, p-verdi og t-kritisk, er listet.

Tabell 6: Oversikt over resultater for parat t-test mellom alle instrumenter, både like og med ulike sensorer ved bruk av Excel.

Metode	T-Stat	P- verdi	T-kritisk	Signifikant forskjell
M1 og M2 (1-L)	1,107	0,296	2,262	Nei
M1 og M2 (3-L)	3,429	0,007	2,262	Ja
M1 og M3 (1-L)	0,860	0,412	2,262	Nei
M1 og M3 (3-L)	2,095	0,065	2,262	Nei
M1 og M4 (1-L)	2,343	0,043	2,262	Ja
M1 og M4 (3-L)	4,207	0,002	2,262	Ja
M1 og M5 (1-L)	3,595	0,005	2,262	Ja
M1 og M5 (3-L)	6,434	0,0001	2,262	Ja
M1 og M6 (1-L)	2,409	0,03	2,262	Ja
M1 og M6 (3-L)	6,409	0,0001	2,262	Ja
M1 og M7 (1-L)	13,416	0,00000029	2,262	Ja
M1 og M7 (3-L)	2,813	0,02	2,262	Ja
M1 og M8 (1-L)	10,578	0,0000022	2,262	Ja
M1 og M8 (3-L)	0,921	0,381	2,262	Nei
M1 og M9 (1-L)	10,854	0,0000018	2,262	Ja
M1 og M9 (3-L)	3,651	0,005	2,262	Ja
M2 og M3 (1-L)	0,066	0,948	2,262	Nei
M2 og M3 (3-L)	0,1500	0,884	2,262	Nei
M2 og M4 (1-L)	1,032	0,328	2,262	Nei
M2 og M4 (3-L)	9,387	0,00000604	2,262	Ja
M2 og M5 (1-L)	2,400	0,03	2,262	Ja
M2 og M5 (3-L)	9,087	0,0000078	2,262	Ja
M2 og M6 (1-L)	1,706	0,122	2,262	Nei
M2 og M6 (3-L)	11,628	0,000001	2,262	Ja
M2 og M7 (1-L)	12,6501	4,91E-07	2,2622	Ja
M2 og M7 (3-L)	1,695835	0,1241533	2,262	Nei
M2 og M8 (1-L)	8,450154867	1,42563E-05	2,262	Ja
M2 og M8 (3-L)	2,076923077	0,067601463	2,262	Nei
M2 og M9 (1-L)	11,74913842	9,21622E-07	2,262	Ja
M2 og M9 (3-L)	0,522838456	0,613712579	2,262	Nei
M3 og M4 (1-L)	1,124586339	0,289861858	2,262	Nei
M3 og M4 (3-L)	8,3939690	1,50456E-05	2,262	Ja
M3 og M5 (1-L)	2,01582369	0,074623418	2,262	Nei
M3 og M5 (3-L)	9,337755	6,310E-06	2,262	Ja
M3 og M6 (1-L)	1,724461	0,1187122	2,262	Nei
M3 og M6 (3-L)	8,63859	1,19239E-05	2,262	Ja
M3 og M7 (1-L)	14,8729	1,2146E-07	2,262	Ja
M3 og M7 (3-L)	0,946212	0,3687502	2,262	Nei

M3 og M8 (1-L)	9,43349	5,801E-06	2,262	Ja
M3 og M8 (3-L)	1,4443340	0,1825411	2,262	Nei
M3 og M9 (1-L)	13,25358	3,289E-07	2,262	Ja
M3 og M9 (3-L)	0,325820	0,7520081	2,262	Nei
M4 og M5 (1-L)	1,0650015	0,314612	2,262	Nei
M4 og M5 (3-L)	1,3333022	0,215194078	2,262	Nei
M4 og M6 (1-L)	0,2316274	0,8220079	2,262	Nei
M4 og M6 (3-L)	2,141327	0,0608897	2,262	Nei
M4 og M7 (1-L)	11,529227	1,082E-06	2,262	Ja
M4 og M7 (3-L)	7,3333333	4,405E-05	2,262	Ja
M4 og M8 (1-L)	9,153	7,44E-06	2,262	Ja
M4 og M8 (3-L)	5,733	2,80E-04	2,262	Ja
M4 og M9 (1-L)	9,00	8,54E-06	2,262	Ja
M4 og M9 (3-L)	8,311	1,63E-05	2,262	Ja
M5 og M6 (1-L)	-1,1	2,97E-01	2,262	Nei
M5 og M6 (3-L)	-0,599	0,563	2,262	Nei
M5 og M7 (1-L)	5,221	0,00054	2,262	Ja
M5 og M7 (3-L)	8,741	1,08E-05	2,262	Ja
M5 og M8 (1-L)	6,669	9,17E-05	2,262	Ja
M5 og M8 (3-L)	5,543	0,000359	2,262	Ja
M5 og M9 (1-L)	7,159	5,31E-05	2,262	Ja
M5 og M9 (3-L)	12,079	7,28E-07	2,262	Ja
M6 og M7 (1-L)	11,73	9,28E-07	2,262	Ja
M6 og M7 (3-L)	7,82	2,65E-05	2,262	Ja
M6 og M8 (1-L)	7,76	2,81E-05	2,262	Ja
M6 og M8 (3-L)	6,42	0,00012	2,262	Ja
M6 og M9 (1-L)	10,55	2,28E-06	2,262	Ja
M6 og M9 (3-L)	7,73	2,89E-05	2,262	Ja
M7 og M8 (1-L)	1	0,3434364	2,262	Nei
M7 og M8 (3-L)	-0,75	0,47123979	2,262	Nei
M7 og M9 (1-L)	2,57	0,03011713	2,262	Ja
M7 og M9 (3-L)	1,36	0,206581	2,262	Nei
M8 OG M9 (1-L)	0,74	0,47507092	2,262	Nei
M8 og M9 (3-L)	1,38	0,19807682	2,262	Nei

### 5.3.1. Paret t-test for instrumenter med lik sensor

Først ble like spirometre med samme type sensor sammenlignet, det vil si det ble sammenlignet mellom spirometre som måler trykkforskjell, og videre mellom spirometre med ultralydsensor. Se tabell 6 og vedlegg 3a, 3b, 3c og 4 for alle paret t-test-resultater.

Tabell 7 viser resultat av t-test for M1 og M3 (Sentrysuite Masterscreen spirometre) som måler trykkforskjell. Der kan man se at det er ingen signifikant forskjell mellom de to instrumentene, fordi t-obs (t-stat) er mindre enn t-kritisk og p-verdi er større enn  $\alpha$  (0,05).

Tabell 7: Resultat av paret t-test for M1 og M3 som måler trykkforskjell ved bruk av 1-literssprøyter, ved bruk av Excel.

T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg		
	M1- 1 Liter	M3- 1 Liter
<b>Gjennomsnitt</b>	1,053	1,04833333
<b>Varians</b>	0,00010235	8,4568E-05
<b>Observasjoner</b>	10	10
<b>Antatt avvik mellom gjennomsnittene</b>	0	
<b>fg</b>	9	
<b>t-Stat</b>	0,86019352	
<b>P(T&lt;=t) tosidig</b>	0,41200986	
<b>T-kritisk, tosidig</b>	2,26215716	

Tabell 8 viser resultat av t-test mellom M4 og M5 (Sentrysuite Vyntus spirometre) som har ultralydsmålesensor. Siden t-obs er mindre enn t-kritisk og p-verdi er større enn  $\alpha$ , kan man anta at det er ingen signifikant forskjell mellom de to instrumentene.

Tabell 8: Resultat av paret t-test for M4 og M5 som har ultralyd målesensor, ved bruk av 3-literssprøyter, ved bruk av Excel.

T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg		
	M4- 3 Liter	M5 - 3 Liter
<b>Gjennomsnitt</b>	3,168	3,18233333
<b>Varians</b>	0,00212889	0,00114827
<b>Observasjoner</b>	10	10
<b>Antatt avvik mellom gjennomsnittene</b>	0	
<b>fg</b>	9	
<b>t-Stat</b>	-1,3333022	
<b>P(T&lt;=t) tosidig</b>	0,21519408	
<b>T-kritisk, tosidig</b>	2,26215716	

Tabell 9 viser resultat av t-test mellom M7 og M9 (EasyOne Air) som har ultralydsmålesensor. Resultatene viser at t-obs er større enn t-kritisk og p-verdi er mindre enn  $\alpha$ , det vil si at det er en signifikant forskjell mellom de to instrumentene med ultralydssensor.

*Tabell 9: Resultat av paret t-test for instrument M7 og M9 som har ultralydsmålesensor, ved bruk av 1-literssprøyter, ved bruk av Excel.*

<b>T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg</b>		
	<i>M7- 1 liter</i>	<i>M9- 1 liter</i>
<b>Gjennomsnitt</b>	0,994	0,982
<b>Varians</b>	9,33333E-05	0,00019556
<b>Observasjoner</b>	10	10
<b>Antatt avvik mellom gjennomsnittene</b>	0	
<b>fg</b>	9	
<b>t-Stat</b>	2,57142857	
<b>P(T&lt;=t) tosidig</b>	0,03011713	
<b>T-kritisk, tosidig</b>	2,26215716	

### 5.3.2. Paret t-test for instrumenter med ulik sensor

Instrumenter med ulike typer målesensor ble sammenlignet ved bruk av paret t-test, se vedlegg 3a, 3b og 3c. Sammenligning ble utført mellom instrument som har trykkforskjell målesensor og instrument som har ultralydsmålesensor. Tabell 10 viser resultat av paret t-test mellom M1 (trykkforskjell målesensor) og M5 (ultralydsmålesensor, Sentriesuite Vyntus). Resultatene viser at det er en signifikant forskjell mellom de to instrumentene, fordi t-obs er større enn t-kritisk og p-verdi er mindre enn  $\alpha$ .

*Tabell 10: Resultat av paret t-test for M1 (trykkforskjell målesensor) og M5 (ultralydsmålesensor, ved bruk av 3-literssprøyter, ved bruk av Excel.*

<b>T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg</b>		
	<i>M1 - 3 Liter</i>	<i>M5 - 3 Liter</i>
<b>Gjennomsnitt</b>	3,10566667	3,18233333
<b>Varians</b>	0,00026185	0,00114827
<b>Observasjoner</b>	10	10
<b>Antatt avvik mellom gjennomsnittene</b>	0	
<b>fg</b>	9	
<b>t-Stat</b>	-6,4342832	
<b>P(T&lt;=t) tosidig</b>	0,00012033	
<b>T-kritisk, tosidig</b>	2,26215716	

Tabell 11 viser resultat av t-test mellom M2 (trykkforskjell målesensor) og M9 (ultralydsmålesensor, EasyOne Air). Resultatene viser at t-obs er mindre enn t-kritisk og p-

verdi er større enn  $\alpha$ , derfor er det ingen signifikant forskjell mellom de to instrumentene ved bruk av 3-L sprøyter.

Tabell 11: Resultater av paret t-test mellom M2 (trykkforskjell målesensor) og M9 (ultralydsmålesensor, ved bruk av 3-literssprøyter).

<b>T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg</b>		
	<i>M2 - 3-Liter</i>	<i>M9 - 3-Liter</i>
<b>Gjennomsnitt</b>	3,059	3,067
<b>Varians</b>	0,00240753	0,00089
<b>Observasjoner</b>	10	10
<b>Antatt avvik mellom gjennomsnittene</b>	0	
<b>fg</b>	9	
<b>t-Stat</b>	-0,5228385	
<b>P(T&lt;=t) tosidig</b>	0,61371258	
<b>T-kritisk, tosidig</b>	2,26215716	

Tabell 12 viser resultat av paret t-test mellom M6 (Sentrysuite Vyntus) og M9 (EasyOne air, NDD) ved bruk av 1-L sprøyter. Begge instrumentene har ultralydsmålesensor, men måler på forskjellige måter (se kap.2.2.2.2.). Resultatene viser at det er signifikant forskjell mellom de to instrumentene, siden t-obs er større enn t-kritisk og p-verdi er mindre enn  $\alpha$ .

Tabell 12: Resultater av paret t-test mellom M6 og M9, ved bruk av 1-literssprøyter.

<b>T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg</b>		
	<i>M6- 1 liter</i>	<i>M9- 1 liter</i>
<b>Gjennomsnitt</b>	1,04066667	0,982
<b>Varians</b>	0,00012543	0,00019556
<b>Observasjoner</b>	10	10
<b>Antatt avvik mellom gjennomsnittene</b>	0	
<b>fg</b>	9	
<b>t-Stat</b>	10,5515621	
<b>P(T&lt;=t) tosidig</b>	2,2847E-06	
<b>T-kritisk, tosidig</b>	2,26215716	

### 5.3.3. Paret t-test for instrumenter med ulik sensor på gruppenivå (type 1, 2 og 3)

Det ble utført paret t-test mellom de tre ulike instrumenttypene (se figur 10). Resultatene er presentert i tabell 13.

Resultatene viser at det er signifikant forskjell ( $t\text{-obs} > t\text{-kritisk}$ ) mellom de tre typene, unntatt mellom type 1 og type 3 ved bruk av 3-literssprøyter. Det vil si at det er signifikant forskjell mellom type 1 og type 2, type 1 og type 3 (med 1-L) og type 2 og type 3.

Tabell 13: Oversikt over alle resultater for parett-test mellom ulike instrumenttyper.

Metode	Testobservator	T-kritisk	P- verdi	Signifikant forskjell
Type 1 og type 2 (1-L)	4,636	2,262	0,0012	Ja
Type 1 og type 2 (3-L)	20,206	2,262	8,29E-09	Ja
Type 1 og type 3 (1-L)	20,542	2,262	7,1E-09	Ja
Type 1 og type 3 (3-L)	0,349	2,262	0,734	Nei
Type 2 og type 3 (1-L)	16,195	2,262	5,78E-08	Ja
Type 2 og type 3 (3-L)	10,826	2,262	0,00000184	Ja

Tabell 14 viser resultat av parett-test mellom type 2 (Sentrysuite Vyntus) og type 3 (EasyOne Air) ved bruk av 1- literssprøyter.

Tabell 14: Resultat av parett-test mellom type 2 og type 3 ved bruk av 3-literssprøyter, ved bruk av Excel.

<b>T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg</b>		
	<i>Type 2, 3-L</i>	<i>Type 3, 3-L</i>
<b>Gjennomsnitt</b>	3,180333333	3,078666667
<b>Varians</b>	0,001208244	0,001027654
<b>Observasjoner</b>	10	10
<b>Antatt avvik mellom gjennomsnittene</b>	0	
<b>fg</b>	9	
<b>t-Stat</b>	10,82648615	
<b>P(T&lt;=t) tosidig</b>	1,84069E-06	
<b>T-kritisk, tosidig</b>	2,262157163	



#### 5.4. Bland Altman plott

Bland Altman plott ble laget for alle instrumenter som viste signifikante forskjeller ved paret t-test. Standardavvik og BIAS som ble brukt til å lage Bland Altman plott, samt signifikansforskjell, viser tabell 15. Se vedlegg 3a, 3b, 3c og 4 for de øvrige Bland Altman plottene.

*Tabell 15: Viser oversikt over beregnede parametere for Bland Altman plott mellom alle instrumenter.*

Instrument	Standardavvik	BIAS	Signifikansforskjell
M1 og M2 (3-L)	0,0430	0,0467	M1 > M2
M1 og M4 (1-L)	0,0162	0,012	M1 > M4
M1 og M4 (3-L)	0,0469	-0,0623	M1 < M4
M1 og M5 (1-L)	0,0182	0,0207	M1 > M5
M1 og M5 (3-L)	0,0377	-0,0767	M1 < M5
M1 og M6 (1-L)	0,0175	0,0133	M1 > M6
M1 og M6 (3-L)	0,0419	-0,085	M1 < M6
M1 og M7 (1-L)	0,0141	0,06	M1 > M7
M1 og M7 (3-L)	0,0288	0,0257	M1 > M7
M1 og M8 (1-L)	0,0200	0,067	M1 > M8
M1 og M9 (1-L)	0,0210	0,072	M1 > M9
M1 og M9 (3-L)	0,0335	0,0387	M1 > M9
M2 og M4 (3-L)	0,0367	-0,109	M2 < M4
M2 og M5 (1-L)	0,0193	0,0147	M2 > M5
M2 og M5 (3-L)	0,0429	-0,1233	M2 < M5
M2 og M6 (3-L)	0,0358	-0,1317	M2 < M6
M2 og M7 (1-L)	0,0128	0,0540	M2 > M7
M2 og M8 (1-L)	0,0216	0,0610	M2 > M8
M2 og M9 (1-L)	0,0168	0,0660	M2 > M9
M3 og M4 (3-L)	0,0381	0,1066	M3 < M4
M3 og M5 (3-L)	0,0388	0,121	M3 < M5
M3 og M6 (3-L)	0,0449	0,1293	M3 < M6
M3 og M7 (1-L)	0,0109	0,0543	M3 > M7
M3 og M8 (1-L)	0,0198	0,0613	M3 > M8
M3 og M9 (1-L)	0,015	0,0663	M3 > M9
M4 og M7 (1-L)	0,0124	0,048	M4 > M7
M4 og M7 (3-L)	0,036	0,088	M4 > M7
M4 og M8 (1-L)	0,019	0,055	M4 > M8
M4 og M8 (3-L)	0,0436	0,079	M4 > M8
M4 og M9 (1-L)	0,0211	0,06	M4 > M9
M4 og M9 (3-L)	0,0384	0,101	M4 > M9
M5 og M7 (1-L)	0,0238	0,0393	M5 > M7
M5 og M7 (3-L)	0,037	0,1023	M5 > M7
M5 og M8 (1-L)	0,022	0,0463	M5 > M8
M5 og M8 (3-L)	0,0532	0,0933	M5 > M8
M5 og M9 (1-L)	0,0227	0,0513	M5 > M9
M5 og M9 (3-L)	0,0302	0,1153	M5 > M9
M6 og M7 (1-L)	0,0126	0,0467	M6 > M7
M6 og M7 (3-L)	0,0447	0,1107	M6 > M7

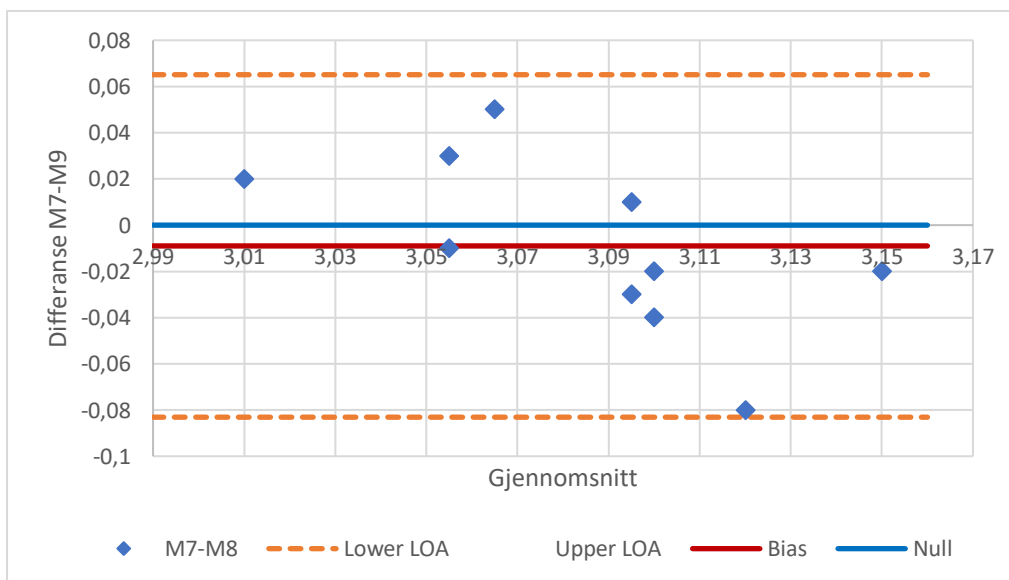
M6 og M8 (1-L)	0,0219	0,0537	M6 > M8
M6 og M8 (3-L)	0,0501	0,1017	M6 > M8
M6 og M9 (1-L)	0,0176	0,0587	M6 > M9
M6 og M9 (3-L)	0,0505	0,1237	M6 > M9
M7 og M9 (1-L)	0,0148	0,012	M7 > M9

#### 5.4.1 Sammenligning av instrumenter med lik sensor

Ved sammenligning av spirometre innen samme type, ble følgende avdekket:

- Type 1: Ingen signifikante forskjeller mellom M1, M2 og M3 med unntak av M1 og M2 (3-literssprøyter).
- Type 2: Ingen signifikante forskjeller mellom M4, M5 og M6.
- Type 3: Ingen signifikante forskjeller mellom M7, M8 og M9 med unntak av M7 og M9 (1-literssprøyter).

Figur 16 viser Bland Altman plott (differanseplott) for instrumenter av type 3, M7 og M9, ved bruk av 3-literssprøyter. Punktene er fint fordelt over og under 0- linjen, noe som bekrefter at det er ingen signifikant forskjell mellom måledataene.

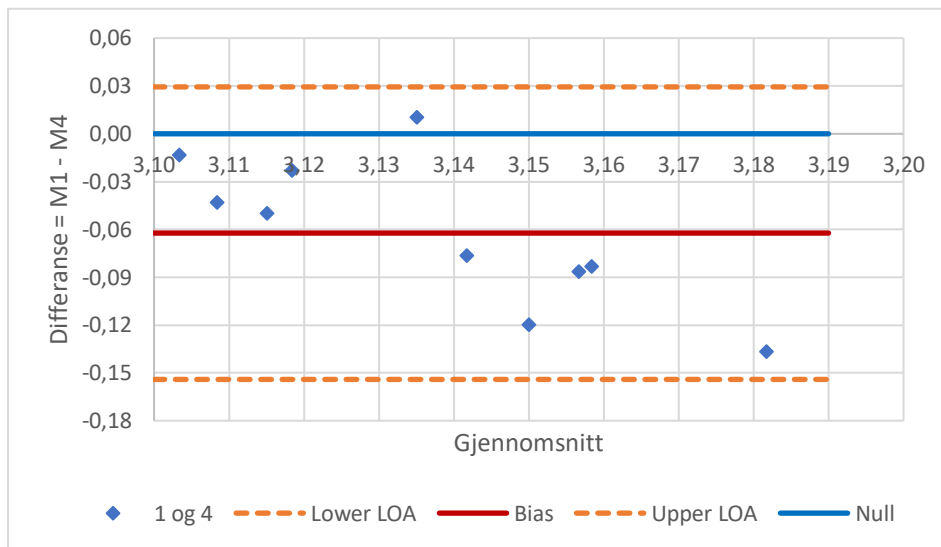


Figur 16: Bland Altman plott mellom M7 og M9, ved bruk av 3-literssprøyter. Gjennomsnitt av de to instrumentene ble plottet langs X-aksen og differansen (forskjellen mellom gjennomsnitt verdier for M7 og M9) ble plottet på y-aksen. Spredning og fordeling av målepunktene over og under nulllinjen. Alle punktene er innenfor 95% konfidensintervallet.

## 5.4.2 Sammenligning av instrumenter med ulik sensor

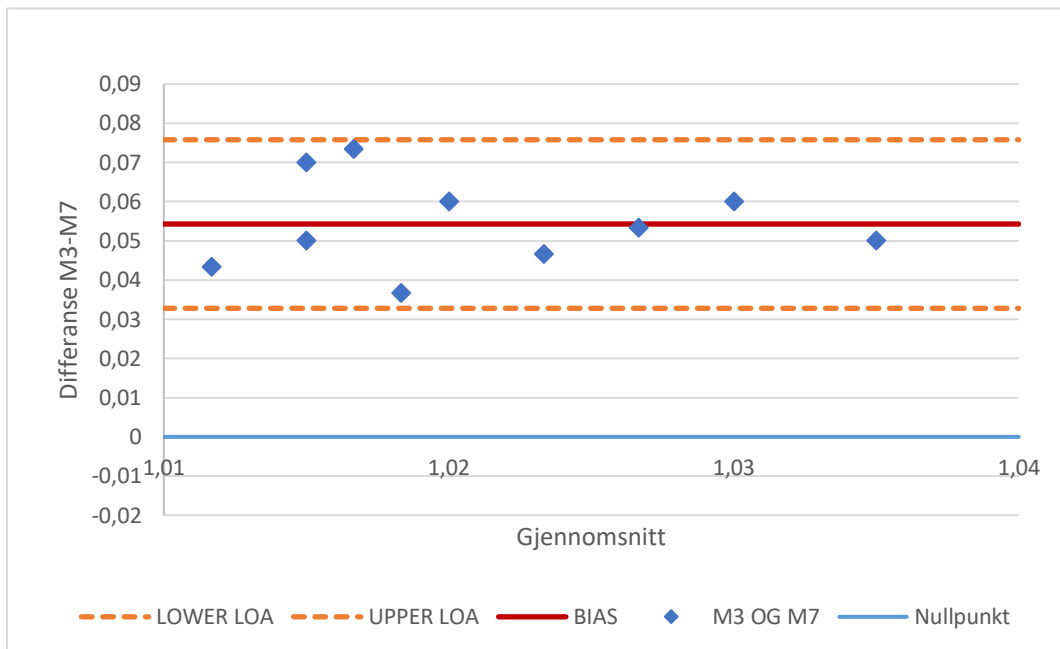
### 5.4.2.1. Plott som viser måleverdiene innenfor 95% konfidensintervallet med spredning.

Figur 17 viser resultat på Bland Altman plott mellom M1, et instrument som måler trykkforskjell og M4, et instrument med ultralydsenor, hvor alle måleverdiene ligger innenfor 95% konfidensintervallet. Alle måleverdiene er under null unntatt måleverdien for dag 5. Det betyr at instrument M1 måler lavere verdier enn instrument M4. Den samme fordelingen av måleverdier gjelder for følgende plott: M1 og M5, M1 og M6, M2 og M4, M2 og M5 samt for M2 og M6 ved bruk av 3-literssprøyter.



Figur 17: Bland Altman plott mellom M1 og M4, ved bruk av 3-literssprøyter. Gjennomsnitt av de to instrumentene ble plottet langs X-aksen og differansen mellom de to instrumentene ble plottet langs Y-aksen. Alle måleverdiene ligger innenfor 95% konfidensintervallet og er mindre enn null (unntatt måleverdi for dag 5), det indikerer at M1 måler lavere verdier enn M4 ved bruk av 3-literssprøyter.

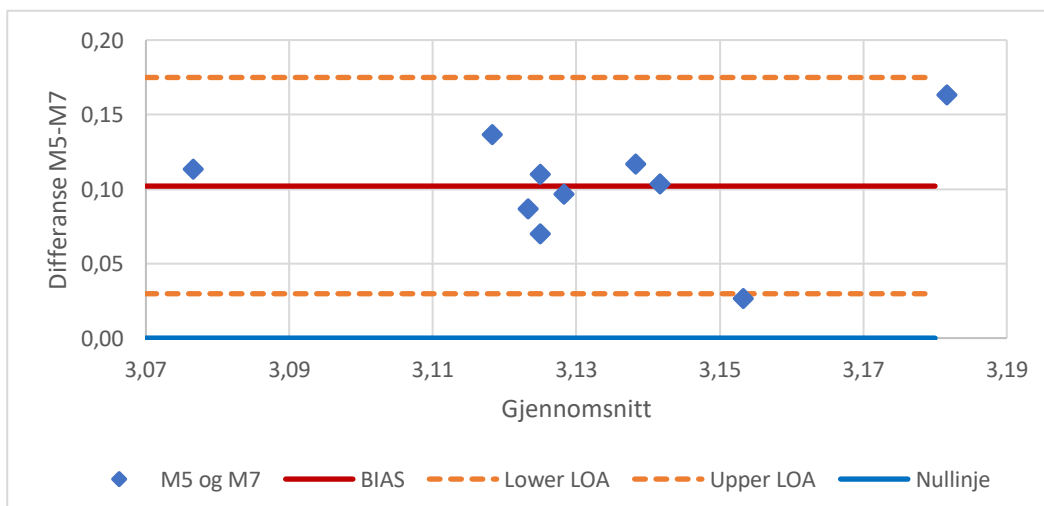
Figur 18 viser et resultat på Bland Altman plott hvor alle måleverdiene ligger innenfor 95% konfidensintervallet. Plottet viser lav tilfeldig variasjon. Det samme viser følgende plott: M1-M4, M1-M5 (1-L), M2-M5, M2-M6 (3-L), M2-M7, M2-M9, M3-M4, M3-M6, M3-M7, M3-M9, M4-M7, M4-M8 (3-L), M4-M9, M5-M7 (1-L), M5-M8, M5-M9, M-M7, M6-M9 og M7-M9.



Figur 18: Bland Altman plott mellom M3 og M7 ved bruk av 1-literssprøyter. Gjennomsnitt av de to instrumentene ble plottet langs X-aksen og differansen mellom de to instrumentene ble plottet langs Y-aksen. Alle måleverdiene ligger innenfor 95% konfidensintervallet.

#### 5.4.2.2. Plott som viser lav spredning.

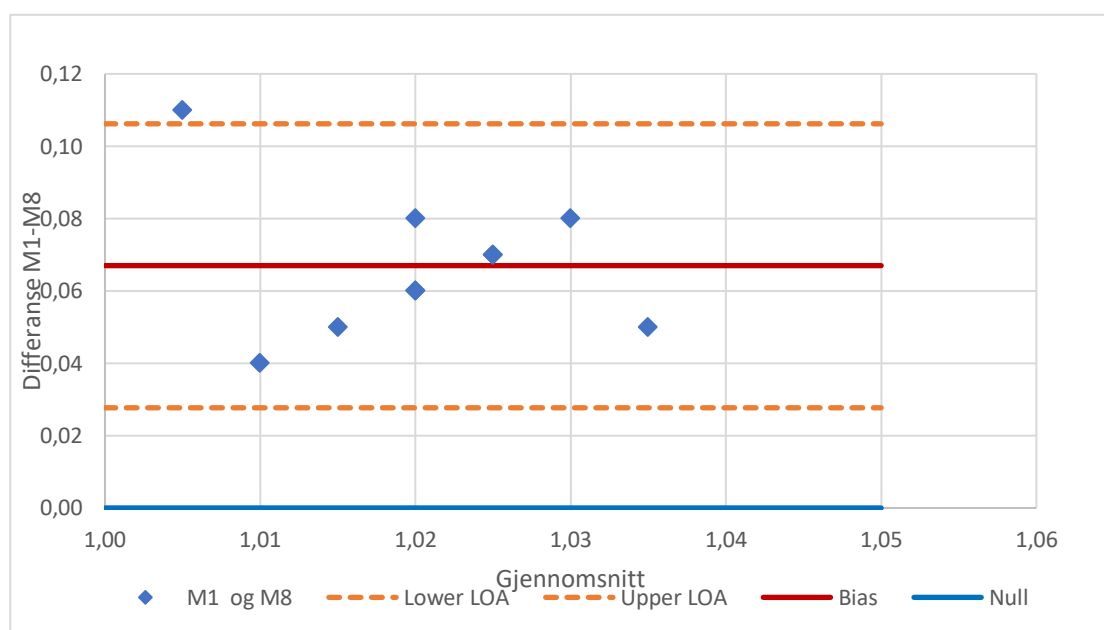
Figur 19 viser resultat på Bland Altman plott hvor alle måleverdiene ligger innenfor 95% konfidensintervallet, men har lav spredning, siden de fleste punktene er nær hverandre. Lik trend sees i følgende plott: M1-M5 (3-L), M1-M8 (1-L), M5-M7 (3-L) og M6-M8 (1-L).



Figur 19: Bland Altman plott mellom M5 og M7 ved bruk av 3-literssprøyter. Gjennomsnitt av de to metodene ble plottet langs X-aksen og differansen mellom de to metodene ble plottet langs Y-aksen. Alle måleverdiene ligger innenfor 95% konfidensintervallet.

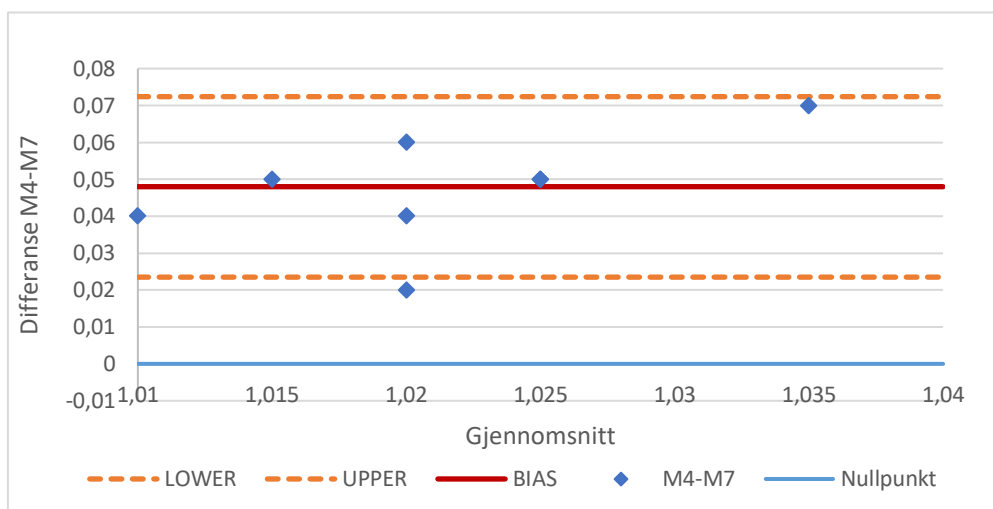
#### 5.4.2.3. Plott som viser punkt utenfor 95% konfidensintervallet.

Figur 20 viser resultat på Bland Altman plott for M1, som har trykkmålingssensor og M8, som har ultralydsensor. Den har ett punkt utenfor upper LoA. Følgende instrumenter har lik trend: M1 og M6 (3 L), M1 og M7 (3 L), M1 og M8 (1 L), M3 og M8 (1 L), M3 og M5 (3 L), M2 og M9 (1 L), M2 og M8 (1 L) og M2 og M7 (1 L).



Figur 20: Bland Altman plott for M1 og M8 ved bruk av 1-literssprøyter, hvor differansen ble plottet langs y-aksen, og gjennomsnittet langs x-aksen. Plottet viser åtte punkter på grunn av sammenfallende punkter i samme verdi (0.06,1.02). Alle måleverdier ligger innenfor 95 % konfidensintervallet og over null, unntatt måleverdi for dag 1 som ligger utenfor, hvor den er høyere enn upper LoA.

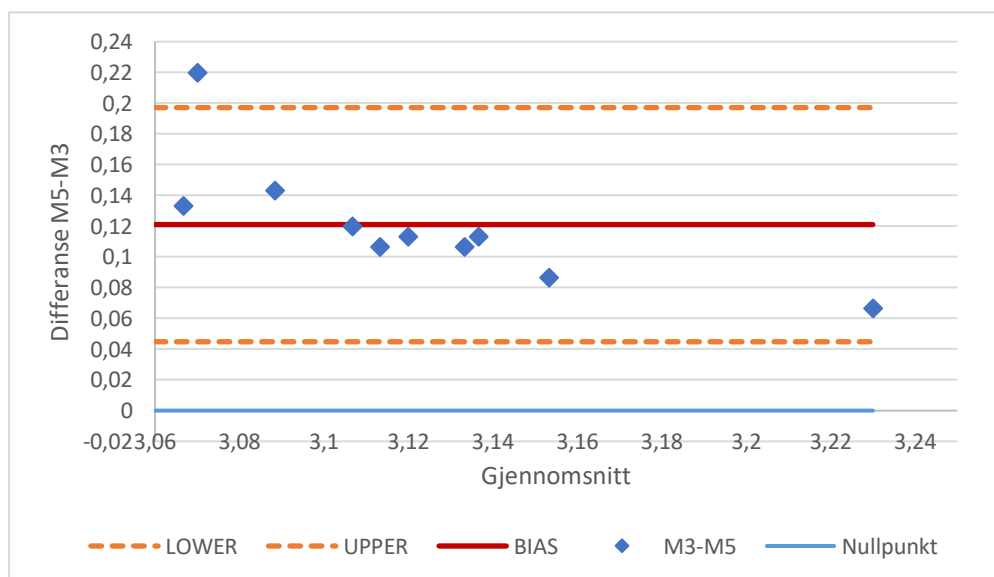
Figur 21 viser et Bland Altman plott for M4 og M7, som har ett punkt under lower LoA. Følgende instrumenter har lik trend: M5 og M7 (3 L), M6 og M8 (1 L), M4 og M7 (1L), M3 og M6 (3 L), M1 og M7 (1 L), M1 og M4 (1 L) og M1 og M5 (3 L).



Figur 21: Bland Altman plott for M4 og M7 ved bruk av 1-literssprøyter, hvor differansen ble plottet langs y-aksen, og gjennomsnittet langs x-aksen. Plottet viser åtte av ti punkter på grunn av sammenfallende punkter i samme verdier (0.05, 1.02) og (0.05,1.03). Alle måleverdier ligger innenfor 95 % konfidensintervallet og er over null, unntatt måleverdi for dag 1 som ligger utenfor, hvor den er lavere enn lower LoA.

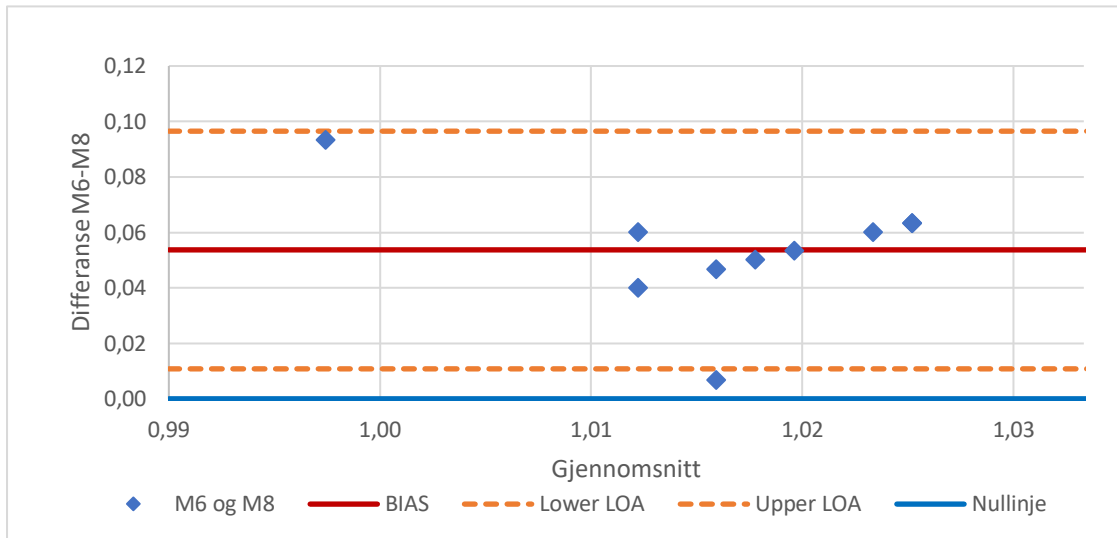
#### 5.4.2.4. Plott som viser synkende/stigende trend.

Figur 22, Bland Altman plott for M3 og M5 ved bruk av 3-literssprøyter, viser synkende differanseverdier som assosieres med stigning av gjennomsnittlig måleverdier som er plottet på x-aksen. Følgende instrumenter har lik trend: M1 og M2, M1 og M4 (3 L) og M6 og M8 (3 L).



Figur 22: Bland Altman plott for M3(Sentrysuite Masterscreen) og M5 (Sentrysuite Vyntus) ved bruk av 3- litersssprøyter. hvor differansen ble plottet langs y-aksen og gjennomsnittet langs x-aksen. Alle måleverdier ligger innenfor 95 % konfidensintervallet (unntatt dag 4) og er over null. Plottet viser at målepunktene gir avtagende verdier.

Figur 23 viser Bland Altman plottet for M6 og M8 (1L). Plottet viser stigning av differanseverdier som assosieres med stigning av gjennomsnittlig måleverdier som er plottet på x-aksen.



Figur 23: Bland Altman plott for M6 og M8 ved bruk av 1-literssprøyter, hvor differansen ble plottet langs y-aksen og gjennomsnittet langs x-aksen. Plottet viser åtte av ti punkter på grunn av sammenfallende punkter i samme verdier (1.02, 0.06) og (1.02, 0.05). Alle måleverdiene ligger innenfor 95 % konfidensintervallet (unntatt måleverdi for dag 1) og over null. Plottet viser økende trend i målepunktene.

#### 5.4.3 Sammenligning av instrumenter med ulike sensor på gruppenivå (type 1, 2 og 3)

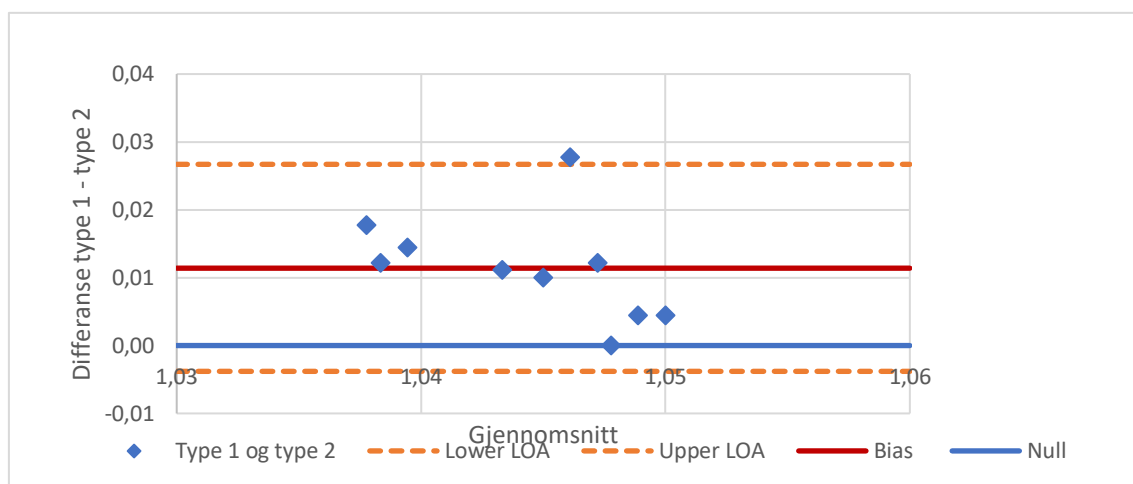
Bland Altman plott som ble utført mellom de tre ulike instrumenttypene (Sentrysuite Masterscreen (type1), Sentrysuite Vyntus (type 2) og EasyOne Air (type3)) viser stort sett signifikante forskjeller mellom instrumenttypene. Unntaket er type 1 og type 3 (3-literssprøyte) som viser ingen signifikant forskjell. Type 1 viser signifikant høyere verdier enn type 2 som igjen viser signifikant høyere enn type 3, med noen unntak. Detaljerte resultater sees i tabell 16.

Tabell 16: Oversikt over resultater for Bland Altman plott mellom ulike instrumenttyper.

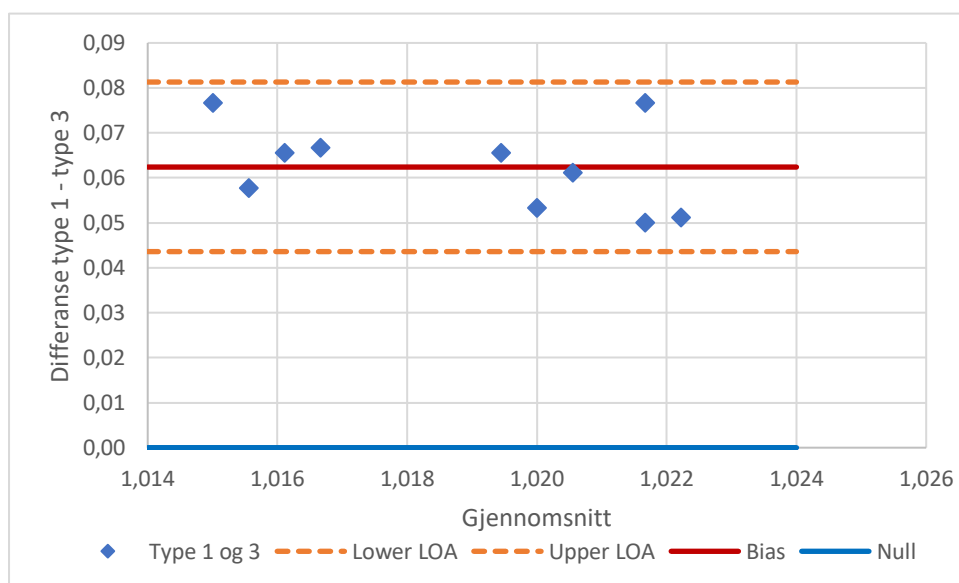
Instrument	Standardavvik	BIAS	Signifikans forskjell
Type 1 og type 2 (1-L)	0,0078	0,0114	Type 1 > type 2
Type 1 og type 2 (3-L)	0,0164	-0,105	Type 1 < type 2
Type 1 og type 3 (1-L)	0,0096	0,0624	Type 1 > type 3

Type 2 og type 3 (1-L)	0,01	0,05	Type 2 > type 3
Type 2 og type 3 (3-L)	0,0297	0,10	Type 2 > type 3

Figurene 24-27 nedenfor viser Bland Altman plott for de tre forskjellige instrumenttypene.

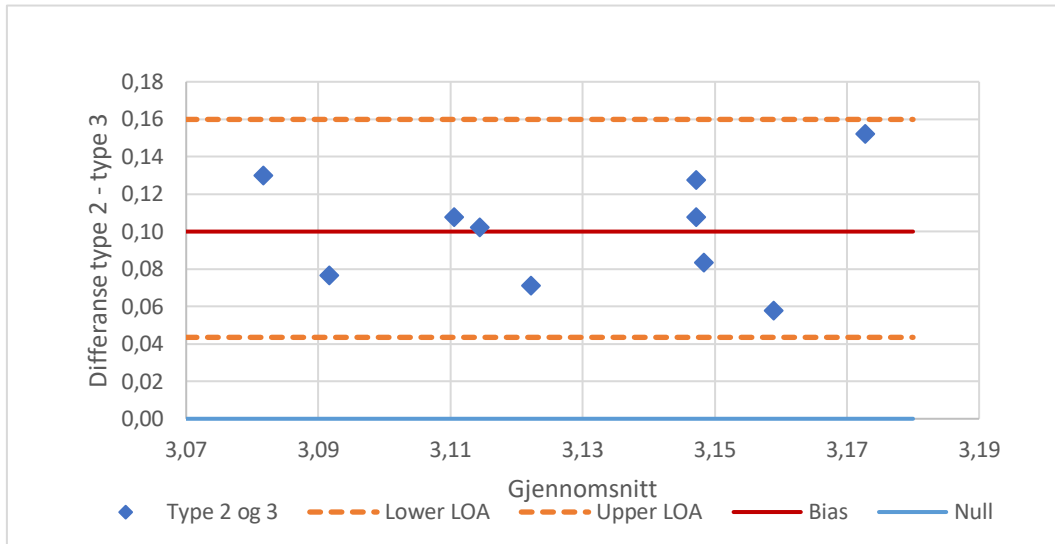


Figur 24: Bland Altman plott for type 1 (Sentrysuite Masterscreen) og type 2 (Sentryscreen Vyntus) ved bruk av 1-literssprøyter, hvor differansen ble plottet langs y-aksen og gjennomsnittet langs x-aksen. Alle måleverdiene ligger innenfor 95 % konfidensintervallet (unntatt måleverdi for dag 1) og over null. Plottet viser at målepunktene gir avtagende verdier.

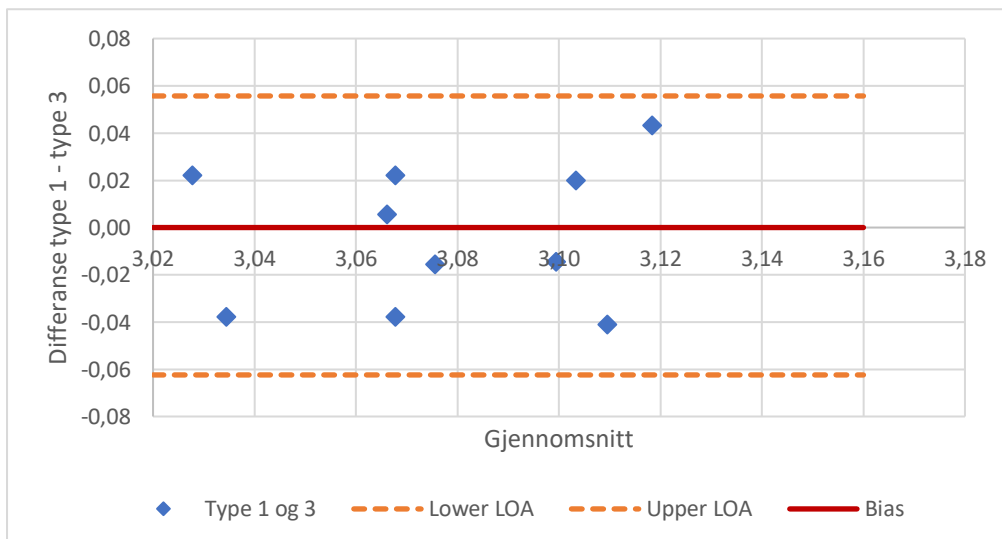




Figur 25: Bland Altman plott for type 1 (Sentrysuite Masterscreen) og type 3 (EasyOne Air) instrumenter ved bruk av 1-literssprøyter hvor differansen ble plottet langs y-aksen og gjennomsnittet langs x-aksen. Alle måleverdiene ligger innenfor 95 % konfidensintervallet og over null.



Figur 26: Bland Altman plott for type 2 (Sentrysuite Vyntus) og type 3 (EasyOne Air) instrumenter ved bruk av 3-literssprøyter. hvor differansen ble plottet langs y-aksen og gjennomsnittet langs x-aksen. Alle måleverdiene ligger innenfor 95 % konfidensintervallet og over null.



Figur 27: Bland Altman plott for type 1 (Sentrysuite Masterscreen) og type 3 (EasyOne air) ved bruk av 3-literssprøyter, hvor differansen ble plottet langs y-aksen og gjennomsnittet langs x-aksen. Figuren viser ingen signifikant forskjell. Alle måleverdiene ligger innenfor 95 % konfidensintervallet og er fint fordelt over og under null.

## 6.0. Diskusjon

### 6.1. Deskriptiv statistikk

Deskriptiv statistikk viste at alle dataene i de ni instrumentene var symmetrisk fordelt. Dette anslås fordi det ble funnet at verdiene for gjennomsnitt og median var tilnærmet like, og var utgangspunktet for å anslå videre om dataene var normalfordelt.

### 6.2. Normalfordeling

Normalfordeling av dataene viste at korrelasjonskoeffisienten  $R$  var tilnærmet en, og man antok derfor at dataene var normalfordelte. Dette kunne bekreftes visuelt i normalfordelingsplottene. Dermed kunne en gå videre og utføre paret  $t$ -test, en parametrisk test.

### 6.3. Paret $t$ -test

Paret  $t$ -test ble brukt til å påvise signifikante avvik mellom instrumentene. Der det er ingen signifikant forskjell mellom målingene mellom to instrumenter betyr det at instrumentene måler likt. Dette ble vurdert ut ifra  $t$ -obs og  $p$ -verdi. I dette tilfelle er  $t$ -obs mindre enn  $t$ -kritisk, og  $P$ -verdi er større enn  $\alpha$  (0,05). Dersom  $t$ -obs som er større enn  $t$ -kritisk og  $P$ -verdi mindre enn  $\alpha$  (0,05) tyder det på at det er signifikant forskjell mellom instrumentene.

Paret  $t$ -test resultatene (tabell 6 og tabell 13) viser signifikante forskjeller mellom de fleste instrumenter, med unntak av instrumenter som har samme type sensor. Det er forventet at like instrument viser liten signifikans forskjell. Bland Altman plott ble laget for å bekrefte funnene i paret  $t$ -tester.

### 6.4. Bland Altman plott

Bland Altman plott ble kun laget for paret  $t$ -test resultater som viste signifikante forskjeller mellom instrumentene. Resultater fra Bland Altman plottene viser at M1 gir høyere måleverdier enn de andre instrumentene (unntatt noen tilfeller der M1 gir lavere måleverdier ved bruk av 3-literssprøyter; M1-M4, M1-M5 og M1-M6). Måleverdiene ligger også innenfor

95% konfidensintervallet (unntatt dag 1 for M1-M7 og M1-M8). En årsak til dette kan skyldes systematisk forskjell i måleinstrument eller sprøyter. M2 gir lavere måleverdier enn M4, M5 ved bruk av 3-literssprøyte og M6, mens M2 gir høyere måleverdier enn for de resterende instrumenter.

Ut ifra figur 20 kan vi se at punktene på plottet ligger innenfor 95 % konfidensintervallet, unntatt målverdi for dag 1, som er høyere enn upper LoA. Alle punktene ligger over null og alle differansene er positive, noe som tyder på at instrumentet M1 gir høyere verdier enn instrumentet M8. Det er ikke noe signifikant øking eller reduksjon av differanseverdier som er forbundet med stigning av gjennomsnittlig måleverdier (x-aksen), derfor kan vi avgjøre om det er et volumavhengig avvik i plottet.

Ut ifra Figur 21 ser vi at punktene i plottet ligger innenfor 95 % konfidensintervallet, unntatt måleverdi for dag 1, som er lavere enn lower LoA. Alle punktene ligger over null og alle differansene er positive, noe som tyder på at instrument M4 gir høyere verdier enn instrument M7.

#### 6.5. Begrensninger og feilkilder

Randomiseringen som ble utført ved oppstart av prosjektet hadde til hensikt å unngå at samme operatør utfører en spirometrisk undersøkelse på samme instrument til samme tid hver dag. Men på grunn av logistikk (noen instrument var opptatt i korte eller lengre perioder) ble det gjort endring i de daglige randomiserte oppsettene for testing. Dette førte til at det ble opphopning av målinger ved bruk av det aktuelle instrumentet.

I tillegg var det problemer med 1- literssprøytene som ikke var helt tette. Silikonadapteren for S1 ble derfor byttet i løpet av dag 1, mens den for S2 ble byttet ut på dag 2. Dette skiftet av utstyr kan forklare noe av målingene som er utenfor 95% konfidensintervallet.

En annen faktor som kan forklare punkter utenfor 95% konfidensintervallet, i dag 1, er manglende teknikk og trening i utføring av testene. Noen av parallellene fra dag 1 har større avvik og spriker generelt mer enn parallellene fra de andre dagene.

Faktorene over kan ha påvirket resultatene, særlig når det er signifikante forskjell til stede i instrumentet. Et eksempel er ved sammenligning innad samme type (se kapittel 5.4.1). En annen begrensning er brukervennligheten til Bland Altman plott ved bruk av Excel. Plottene ble laget manuelt og visualiseringen ble ikke alltid like god på grunn av sammenfallende punkter og ulik inndeling av tall i x-aksen. Til tross for begrensningene er det ingen tvil om at

de ulike instrumenttypene måler ulikt, særlig type 3 instrumenter måler signifikant forskjellig enn type 1 og type 2. Dette kan være et nyttig hjelpemiddel for leger ved vurdering av spirometriske prøvesvar ved Lungeavdelingen på HUS.

#### 6.6. Videre arbeid

Resultatene i dette prosjektet ga store signifikante forskjeller mellom spirometre ved Lungeavdelingen på HUS. Det kan være interessant å undersøke nærmere årsaker til funnene. For eksempel kan man undersøke sprøytene og kvalitetssikre de med tanke på nøyaktighet og mulige defekter (lekkasjer).

En lignende studie som ble utført ved Lungeavdelingen (Aardal, mfl. 2017) viste også at EasyOne Air spirometre måler lavere enn andre typer instrumenter, noe som stemmer overens med våre resultater.

Det kan gjøres videre undersøkelser på denne type instrument og årsak til lavere verdier.

#### 6.7 Konklusjon

Spirometrene som ble undersøkt i dette prosjektet viser stort sett signifikante forskjeller ved sammenligning mellom typer instrument, men lite signifikante forskjeller mellom instrumenter fra samme type.

Instrumentene i type 2 (Sentrysuite Vyntus) viser ingen signifikant forskjell innbyrdes. Instrumentene i type 1 (Sentrysuite Masterscreen) og type 3 (EasyOn Air) viser ingen signifikante forskjeller med unntak av M1 og M2 (3literssprøyter) og M7 og M9 (1-literssprøyter).

Ved sammenligning mellom ulike typer instrument måler type 1 høyere enn type 2 og 3 ved bruk av 1- literssprøyter. Type 2 måler igjen høyere enn type 3 ved 1-literssprøyter.

Type 2 peker seg ut ved bruk av 3- literssprøyter da den måler høyere enn både type 1 og type 3. Det ble ikke observert signifikant forskjell mellom type 1 og type 3 ved bruk av 3-literssprøyter.

## 7.0. Referanser

- Bertelsen, B.I. (2011) *Patologi Menneskets sykdommer*. 2.utg. Oslo: Gyldendal Akademisk.
- Jonph, D.F. (2008) Spirometers, *Breathe*, 4(3), s.251-254. Tilgjengelig fra: <https://breathe.ersjournals.com/content/breathe/4/3/251.full.pdf> (Hentet: 23 mars 2021).  
*European Spirometry Driving Licence (2014)*, ERS Spirometry Training Programme.
- Gerbase, M.W. mfl. (2013) Agreement between spirometers: a challenge in the follow-up of patients and populations?, *Respiration*, 85(6), s.505-514. DOI: [10.1159/000346649](https://doi.org/10.1159/000346649)
- Helbæk, M. (2011) *Statistikk for kjemikere*. 1.utg. Bergen: Fagbokforlaget.
- Johnston, R. (2014) Pneumotach accuracy, i *PFT BLOG*. Tilgjengelig fra: <https://www.pftforum.com/blog/pneumotach-accuracy/#more-72> (Hentet: 23. mars 2021).
- Kim, T.K. (2015) T test as a parametric statistic, *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(6), S. 540-546. DOI: <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>
- Kristensen, Ø. (2018) *Excel – Hypotesetest – Paret T-test – Dataanalyse*. Tilgjengelig fra: [https://www.youtube.com/watch?v=srlrLU6KfiY&ab\\_channel=%C3%98rjanKristensen](https://www.youtube.com/watch?v=srlrLU6KfiY&ab_channel=%C3%98rjanKristensen) (hentet: 25.mars.2021)
- Lamb, K., Theodore, D. og Bhutta, B.S. (2021) Spirometry, *StatPearls*. Tilgjengelig fra: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560526/> (Hentet: 23. mars 2021).
- Lilly og Fleisch pneumotachograph* (u.å.) [Fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.spirometry.guru/methods.html#top> Hentet: 23. mars 2021).
- Liou, T.G. og Kanner, R. E. (2009) *Spirometry*, *Clin Rev Allergy Immunol*. Tilgjengelig fra: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19347610/> (Hentet: 23. mars 2021).
- Miller, M.R. mfl. (2005) Standardization of Spirometry, *European Respiratory Journal*, 26(2), s.319-338. DOI: [10.1183/09031936.05.00034805](https://doi.org/10.1183/09031936.05.00034805)
- Microsoft (2021) *Norm. Fordeling (funksjon)*. Tilgjengelig fra: <https://support.microsoft.com/nb-no/office/norm-fordeling-funksjon-edb1cc14-a21c-4e53-839d-8082074c9f8d> (Hentet:14. mars 21).

*Normalt spirometrisk resultat* (u.å.) [Fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.blf.org.uk/support-for-you/breathing-tests/spirometry-and-reversibility?fbclid=IwAR35B63qTMmQPXolKhW3DmlCDBt6nzUUNk3crbBQigL5ROluMLmKRUI9WUo> (Hentet: 23. mars 2021).

Ponce, M.C. og Sharma, S. (2020) Pulmonary Function Tests, *StatPearls*. Tilgjengelig fra: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482339/> (Hentet: 23. mars 2021).

Purcell, S. (2016) *Bland Altman Plots in Excel*. Tilgjengelig fra: [Bland Altman Plots in Excel - YouTube](#) (Hentet: 25.mars.2021)

Skjønsberg, O.H. (2020) Astma, i *Store medisinske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/astma> (Hentet: 21. februar 2021).

Skjønsberg, O.H. (2017) Lungefunksjonsprøver, i *Store medisinske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/astma> (Hentet: 23. mars 2021).

*Tørt spirometer* (u.å.) [Fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.mentone-educational.com.au/physiology-equipment/spirometers/portable-dry-spirometer> (Hentet: 23 mars 2021).

Vetter, T.R. (2017) Descriptive Statistics: Reporting the Answers to the 5 Basic Questions of Who, What, Why, When, Where, and Sixth, So What?, *Anesthesia & Analgesia*, 125(5), s.1797-1802. Doi: 10.1213/ANE.00000000000002471

*Vått spirometer* (u.å.) [Fotografi]. Tilgjengelig fra: <http://csmbio.csm.jmu.edu/biology/danie2jc/respiration.htm> (Hentet: 23. mars 2021).

Aardal, M. mfl (2017) A pilot study of hot-wire, ultrasonic and wedge-bellows spirometer inter- and intra-variability. *UIB*. Tilgjengelig fra: <https://bora.uib.no/bora-xmlui/handle/1956/18290> (Hentet: 23. mars 2021)

## 8.0. Vedlegg

Vedlegg 1a: Randomiseringsoppsett

Vedlegg 1b: Resultat på målinger dag 1-5 og symmetriberegning

Vedlegg 2: Normalfordeling

Vedlegg 3a: Paret T- test og Bland Altman plott, del 1

Vedlegg 3b: Paret T- test og Bland Altman plott, del 2

Vedlegg 3c: Paret T- test og Bland Altman plott, del 3

Vedlegg 4: Paret t- test og Bland Altman plott for ulike typer instrumenter