



Gassbablesyke hos fisk

– årsak og betydning

Alf Seljenes Dalum

Forsker, DVM Ph.d.





Ytre faktorer

- Vannet og luftlommen over vannet

Viktige fysiske prinsipper bak gassboblepsyke:

Differensialtrykk (ΔP) og totalgassmetning ($TGP\%$):

$$TGP\% = \frac{BP + \Delta P}{BP} \times 100$$

$$\Delta P = TGP - BP$$

$$TGP = p_{O_2}^l + p_{N_2}^l + p_{Ar}^l + p_{CO_2}^l + p_{H_2O}^l$$

$$BP = p_{O_2}^g + p_{N_2}^g + p_{Ar}^g + p_{CO_2}^g + p_{H_2O}^g$$

ΔP det vi måler med totalgassmålere

Så når kan gassboblepsyke oppstå?

$TGP = BP$ ($\Delta P = 0$): likevekt

$TGP < BP$ ($\Delta P < 0$): undermettet

$TGP > BP$ ($\Delta P > 0$): overmettet

$TGP\%$ = totalgassmetning
 BP = baromertrisk trykk
 ΔP = differensialtrykk
 TGP = totalgasstrykk
 p^l = gasstrykk i vann - gasstensjon
 p^g = gasstrykk i luftlomme over vann

Så hvordan kan gassboblesyke oppstå:

Faktorer som påvirker differensialtrykk (ΔP) ved normalt atmosfærisk trykk:

$$\Delta P = TGP - BP$$

$$TGP = p_{O_2}^l + p_{N_2}^l + p_{Ar}^l + p_{CO_2}^l + p_{H_2O}^l$$

$$BP = p_{O_2}^g + p_{N_2}^g + p_{Ar}^g + p_{CO_2}^g + p_{H_2O}^g$$

$$TGP\% = \frac{BP + \Delta P}{BP} \times 100$$

ΔP det vi måler med totalgassmålere

Ytre faktorer som kan påvirke dette:

- Oppvarming av vann
- Blanding av vann med ulike temperaturer
- Innsug av luft
- Fotosyntese (alger) og gassproduserende bakterier
- Isdannelse
- Blanding av vann med ulik salinitet

$TGP\%$ = totalgassmetning
 BP = baromertrisk trykk
 ΔP = differensialtrykk
 TGP = totalgasstrykk
 p^l = gasstrykk i vann - gasstensjon
 p^g = gasstrykk i luftlomme over vann

Så hvordan kan gassboblesyke oppstå:

Faktorer som påvirker differensialtrykk (ΔP)

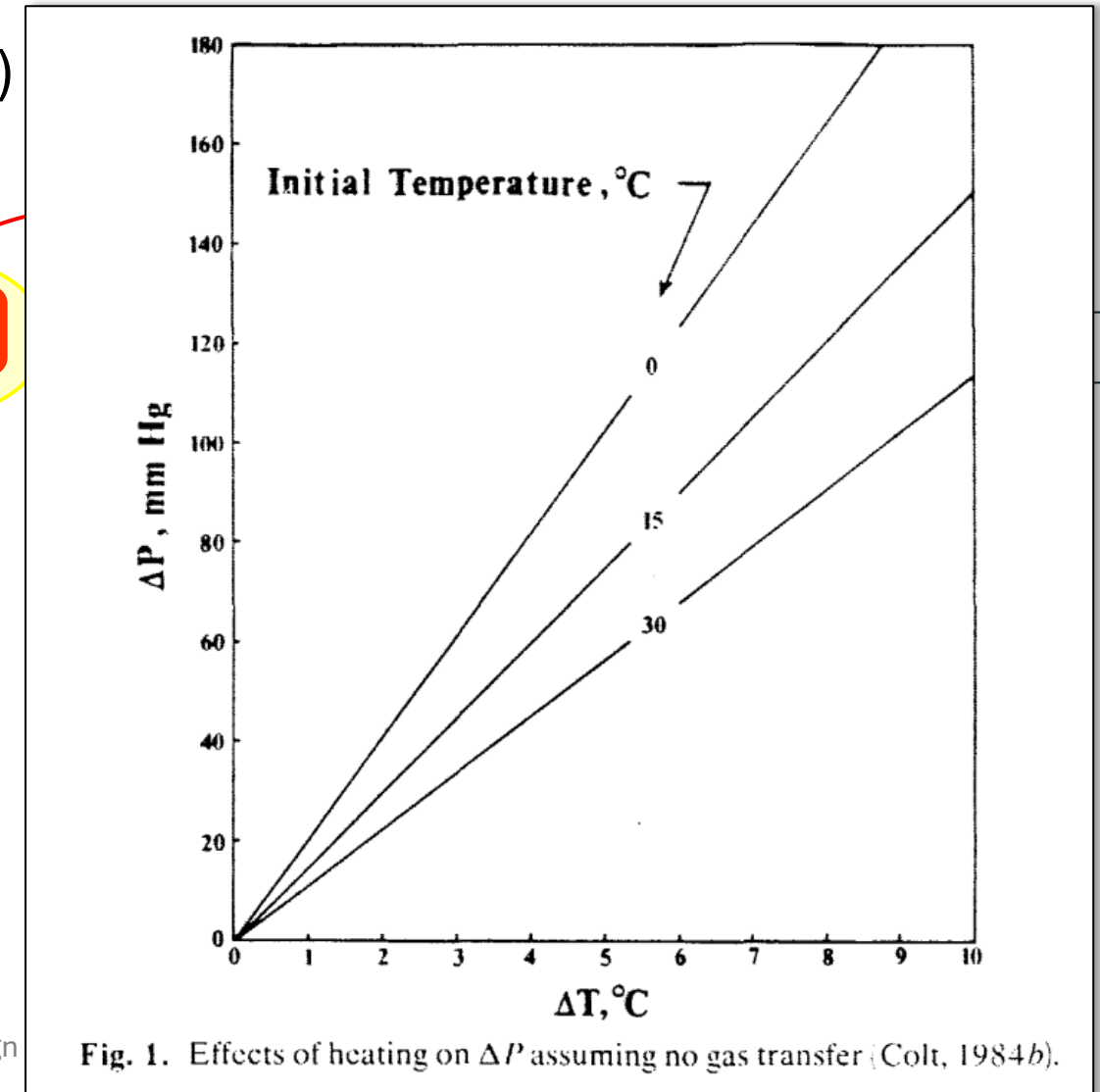
$$TGP\% = \frac{BP + \Delta P}{BP} \times 100$$

$$\Delta P = TGP$$

Ytre faktorer som kan påvirke dette:

- Oppvarming av vann
 - Løseligheten av gasser i vann avtar med økende temperatur
 - Effekten på ΔP er større jo lavere utgangstemperatur

Illustrasjon: Colt (1986): Gas Supersaturation - Impact on the Design and Operation of Aquatic Systems



Så hvordan kan gassboblesyke oppstå:

Faktorer som påvirker differensialtrykk (ΔP) ve

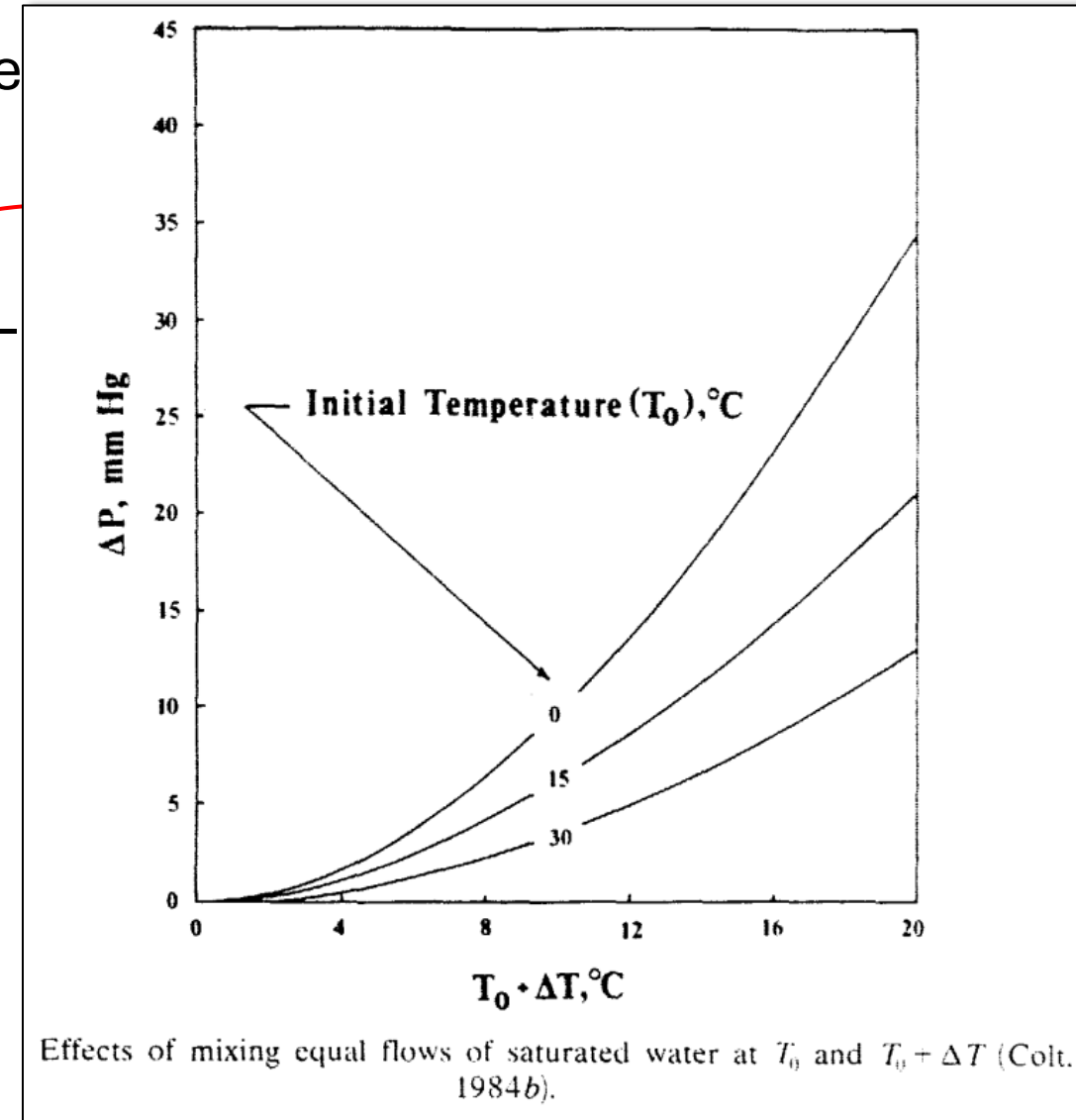
$$TGP\% = \frac{BP + \Delta P}{BP} \times 100$$

$$\Delta P = TGP$$

Ytre faktorer som kan påvirke dette:

- Blanding av vann med ulike temperaturer:
 - Ikke-lineær sammenheng

Illustrasjon: Colt (1986): Gas
Supersaturation - Impact on the Design
and Operation of Aquatic Systems



Så hvordan kan gassboblepsyke oppstå:

Regulering av lufttrykket (BP) over vannspeilet - *TRYKKFALLSYKE*:

$$TGP\% = \frac{BP + \Delta P}{BP} \times 100$$

$$\Delta P = TGP - BP$$

$$TGP = p_{O_2}^l + p_{N_2}^l + p_{Ar}^l + p_{CO_2}^l + p_{H_2O}^l$$

$$BP = p_{O_2}^g + p_{N_2}^g + p_{Ar}^g + p_{CO_2}^g + p_{H_2O}^g$$

ΔP det vi måler med totalgassmålere

Ved trykkfall/ undertrykk i luftlommen over vannspeilet vil ha momentan effekt på $TGP\%$ i vannet og i fisken. Aktuell situasjon:

- Transport av fisk ved hjelp av undertrykk/ sug i settefiskanlegg og brønnbåter

Og hva med overtrykk?

$TGP\%$ = totalgassmetning
 BP = baromertrisk trykk
 ΔP = differensialtrykk
 TGP = totalgasstrykk
 p^l = gasstrykk i vann - gasstension
 p^g = gasstrykk i luftlomme over vann

Alle gasser teller!

Husk at alle gasser kan gi gassboblesyke, så lenge ΔP er over 0:

- En misforståelse som henger igjen fra 1910 om at det kun er nitrogen som har betydning for gassboblesyke
- Eksempler:
 - En høyt tensjon av nitrogen ($p_{N_2}^l$) kan kompenseres av en tilsvarende lav tensjon av de andre gassene i vannet, og kan gi $\Delta P < 0$
 - En høy tensjon av oksygen ($p_{O_2}^l$) som gir en $\Delta P > 0$ kan danne grunnlag for gassboblesyke

$$\Delta P = \boxed{TGP} - \boxed{BP}$$

$$TGP = p_{O_2}^l + p_{N_2}^l + p_{Ar}^l + p_{CO_2}^l + p_{H_2O}^l$$

$$BP = p_{O_2}^g + p_{N_2}^g + p_{Ar}^g + p_{CO_2}^g + p_{H_2O}^g$$

...men:
sammensetningen
av de ulike typene
gasser ER viktig!!!

*BP = baromertrisk trykk
 ΔP = differensialtrykk
 TGP = totalgasstrykk
 p^l = gasstrykk i vann - gasstensjon
 p^g = gasstrykk i luftlomme over vann*

Viktige fysiske prinsipper bak gassboblepsyke:

Differensialtrykk (ΔP) og det barometriske trykket (BP) altså viktig, men vanndybden er også en avgjørende faktor:

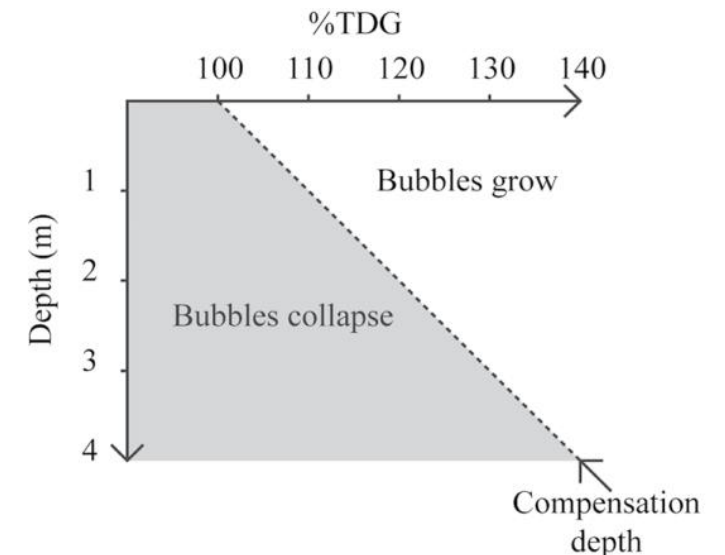
KOMPENSASJONSDYP

$$\Delta P_{uncomp} = \Delta P - \rho g Z$$

ΔP_{uncomp} = ukompensert differensialtrykk
 ΔP = differensialtrykk
 ρg = hydrostatisk trykk av vann (mmHg/m)
 Z = dybde vann (m)

Økende vanndybde (Z) og hydrostatisk trykk (ρg) vil altså *beskytte* mot utvikling av gassboblepsyke:

- Dette er en luksus som fisk i oppdrettsmiljø nødvendig vis ikke har tilgang til
- Viktig å vurdere både i konstruksjoner og operasjonell drift



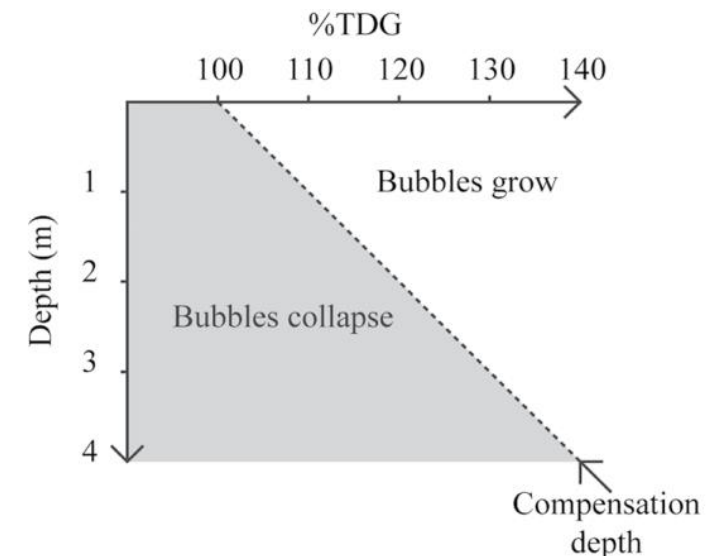
Illustrasjon: Pleizier et al. (2021): A simple chamber design for calibrating Weiss saturoimeters and recommendations for measuring and reporting total dissolved gases

Viktige fysiske prinsipper bak gassboblepsyke:

OPPSUMMER: ytre risikofaktorer for at fisk utvikler gassboblepsyke:

- i) *Totalgassmetning (TGP%)*
- ii) *Fiskens posisjon i vannsøylen*
- iii) *Tiden fisken eksponeres mot gassovermetning*

$$\Delta P_{uncomp} > 0$$



Illustrasjon: Pleizier et al. (2021): A simple chamber design for calibrating Weiss saturoimeters and recommendations for measuring and reporting total dissolved gases



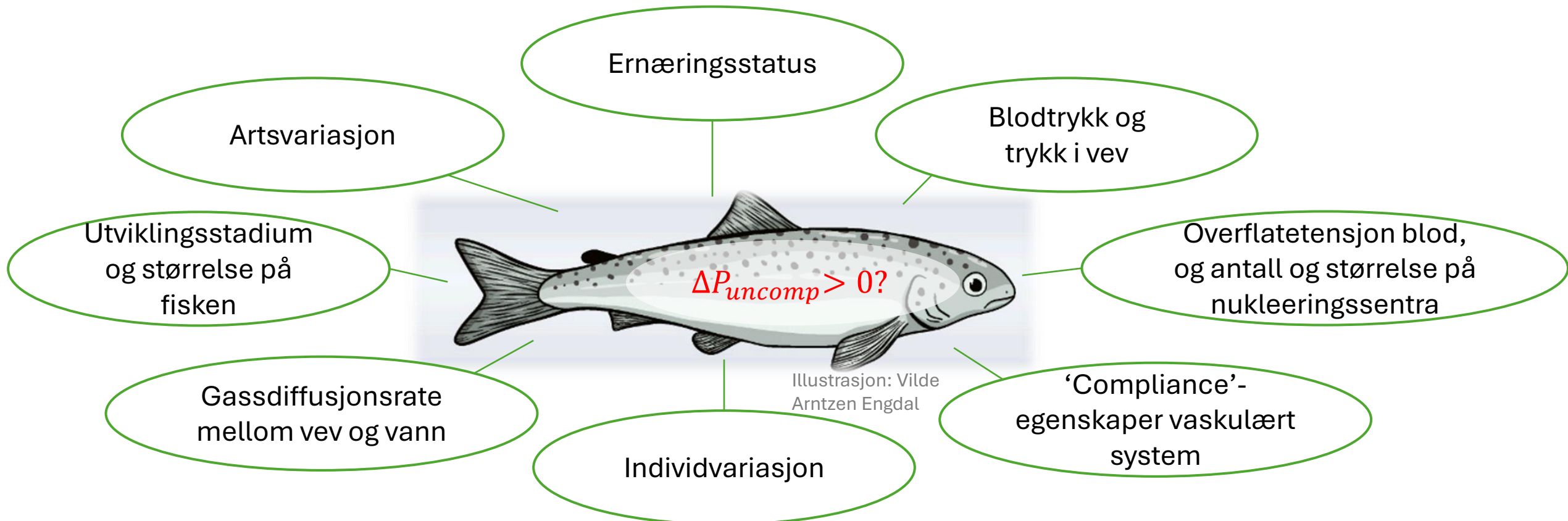
Indre faktorer

som påvirker utvikling av gassbablesyke,
og mulig klinikk

Hva avgjør om fisken faktisk får gassboblepsyke?

Viktige faktorer ved fisken som spiller inn:

- Absolutt krav: Det ukompenserte differensialtrykket inne i fisken må være større enn 0
- Rekke kompliserte biologiske prosesser inne i fisken virker inn



Hva avgjør om fisken faktisk får gassboblepsyke?

Trykkfallsyke versus gassovermetning ved atmosfærisk trykk:

- Trykkfallsyke kombinert «ytre» og «indre» overmetning: momentan prosess
- Gassovermetning ved atmosfærisk trykk «ytre overmetning»; avhengig av transport av gass over biologiske membraner inn i fisken

Endring i omgivelse og tiden fisken eksponeres mot dette!

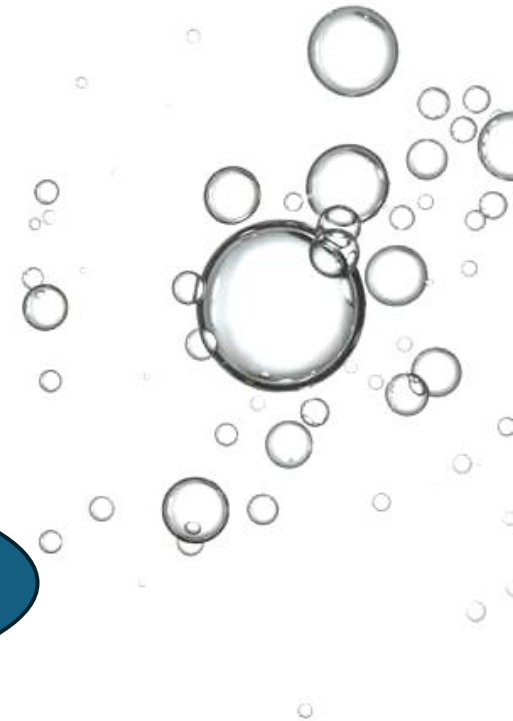
- Innstilling av likevekter avgjørende, både mellom miljø og fisk, men også mellom vev inne i fisken
 - «Raske» og «trege» vev

Utløsende effekt:

- Bobledannelse energikrevende prosess; fiskens blod kan i teorien være overmettet uten at det felles ut bobler!

Utløsende effekt

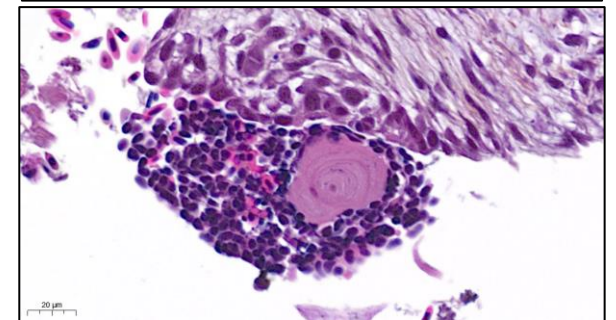
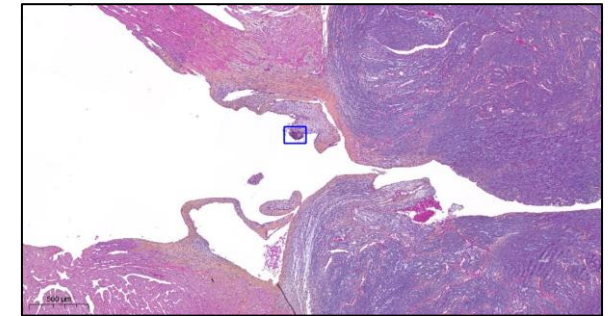
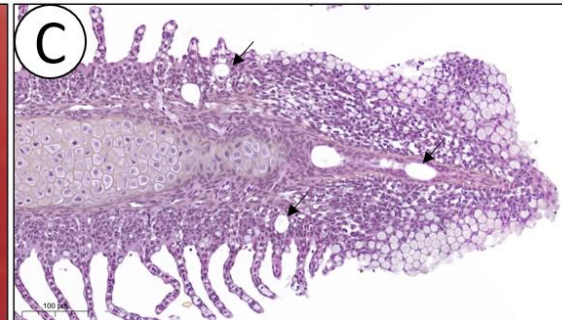
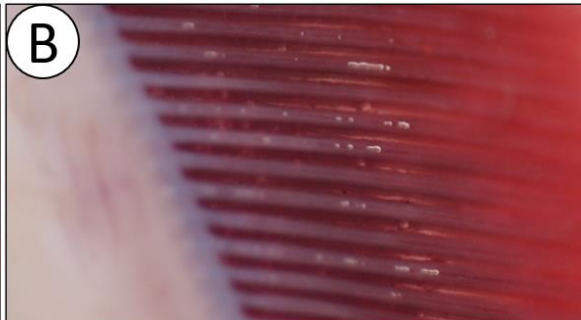
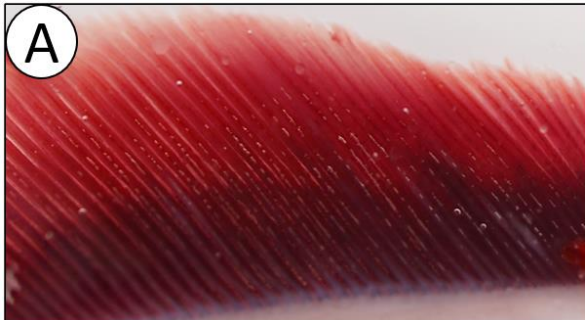
- bobledannelsen energikrevende



Akutt gassboblepsyke og diagnostikk:

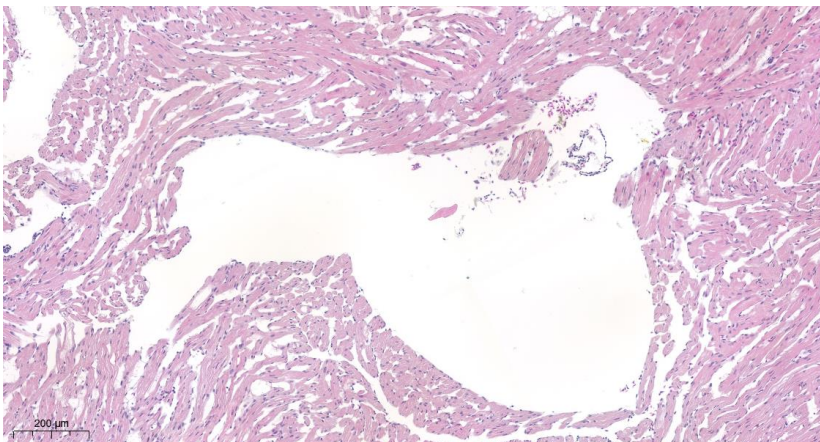
Krevende disiplin: må være der det skjer, når det skjer!

- Bobledannelser i systemisk sirkulasjon forbudet med akutt død – gjerne før vevsresponser rekker å utvikle seg!
 - Kan se bobledannelser i perifere vev...
 - ...men kan også ha akutt dødelighet med obstruksjon av hjerteklaffer uten ytre synlige tegn



Akutt gassboblepsyke og diagnostikk:

Krevende disiplin: må være der det skjer, når det skjer!

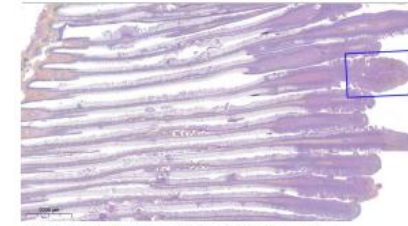


Histologi:

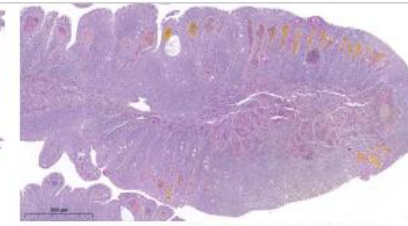
Små-funn som regnes som uspesifikke og som i seg selv ikke kan forklare dødelighet...

PCR:

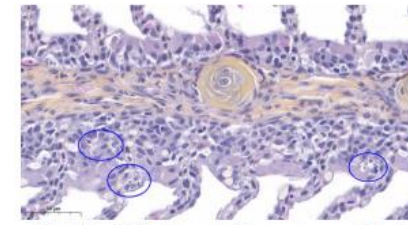
Ingen påvisning av infeksjøs agens



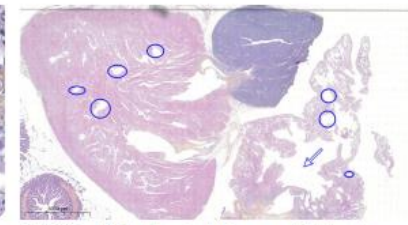
A: GJELLE: oversiktsbilde som viser filament-klubbing.



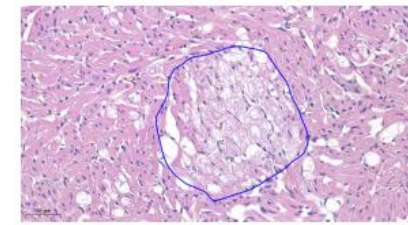
A: GJELLE, FILAMENTER: detaljer fra hyperplasi av epitel rundt degenererte og nekrotiske pillarceller i lameller; merk pigmentavleiringer som mistenkes å kunne tilskrives nedbrutte blodceller.



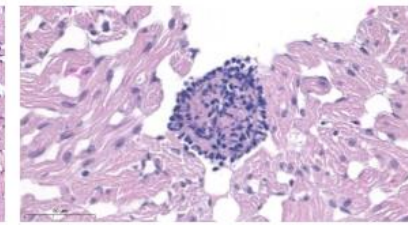
A: GJELLE, FILAMENTER: eksempel på forekomst av apoptotiske/nekrotiske celler med fragmentert kromatin: årsak og betydning ukjent.



A: HJERTE: multifokal dilatasjon i atrium og ventrikel som kan samsvare med bobbedannelser som observert makroskopisk.



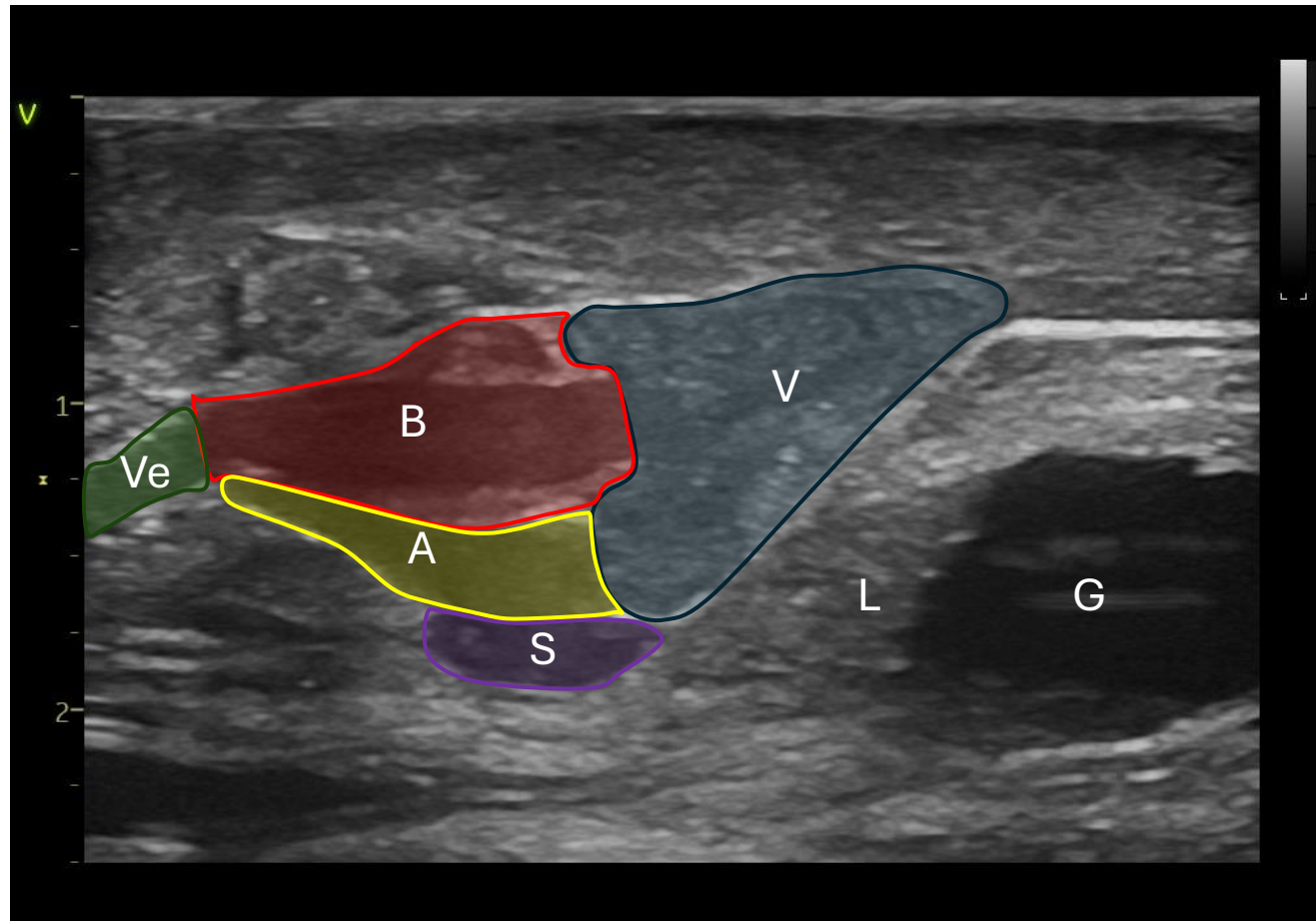
A: HJERTE, VENTRIKKEL (STR. KOMPAKTUM): eksempel på forekomst av myokard-degenerasjon.



A: HJERTE, VENTRIKKEL (STR. SPONGIOSUM): eksempel på forekomst av trombedannelse.

Akutt gassboblepsyke og diagnostikk:

Introduksjon ultralyd:



Utviklet scoringssystem:

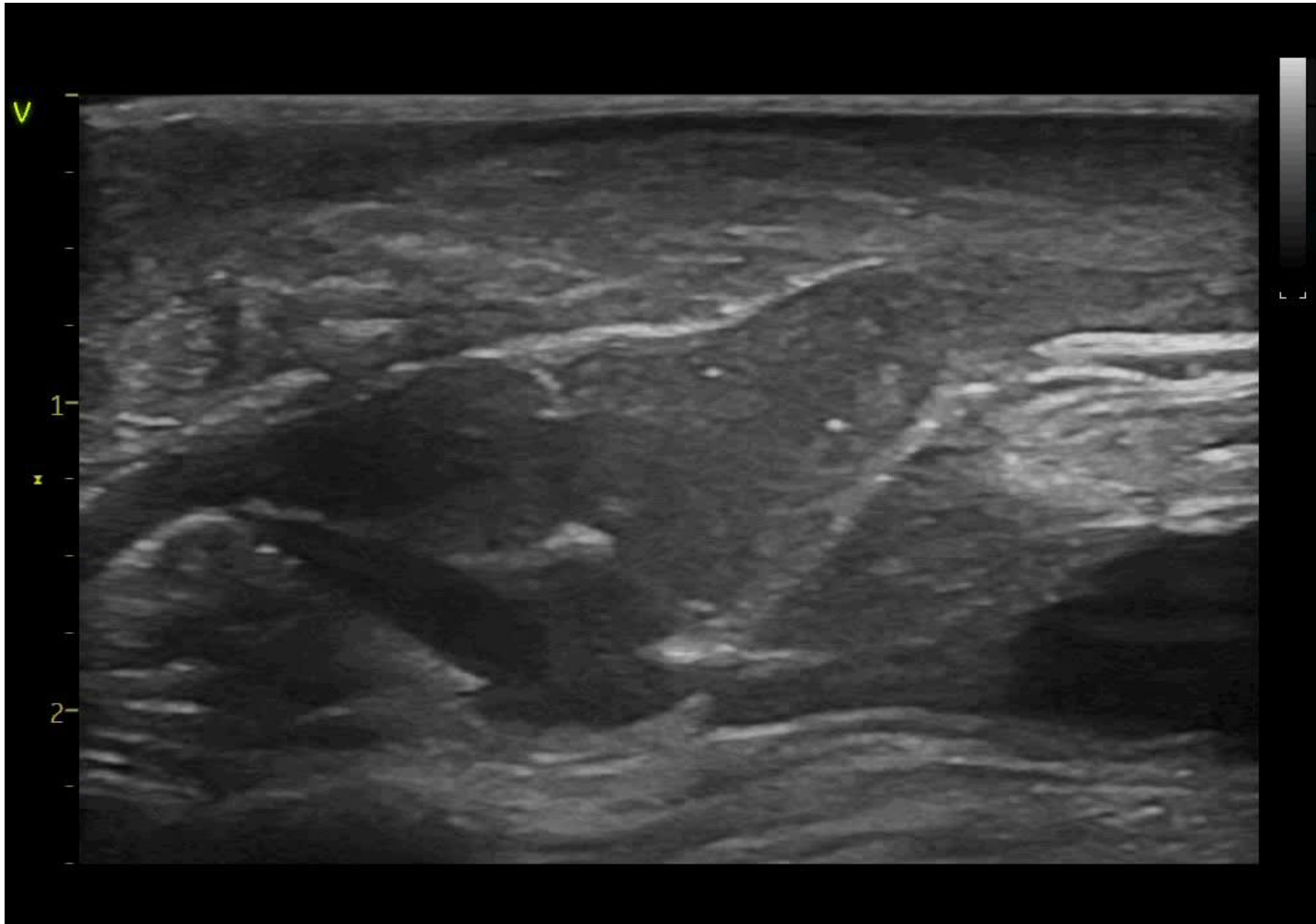
Grade	Observations
0	No observable bubbles
I	Occasional bubbles
II	At least one new bubble every four cardiac cycles
III	At least one new bubble every cardiac cycle
IVa	More than one bubble in every cardiac cycle
IVb	More than three bubbles in every cardiac cycle
IVc	Near whiteout, individual bubbles still discerned
V	Whiteout: individual bubbles cannot be discerned

Tab. 2: Table 2: Modified Eftedal and Brubakk (mEB) scale used for evaluating and quantifying gas bubble load in the heart.

G: galleblære
L: lever
S: sinus venosus
A: atrium
V: ventrikkel
B: bulbus arteriosus
Ve: ventralaorta

Akutt gassboblepsyke og diagnostikk:

Krevende disiplin: må være der det skjer, når det skjer!



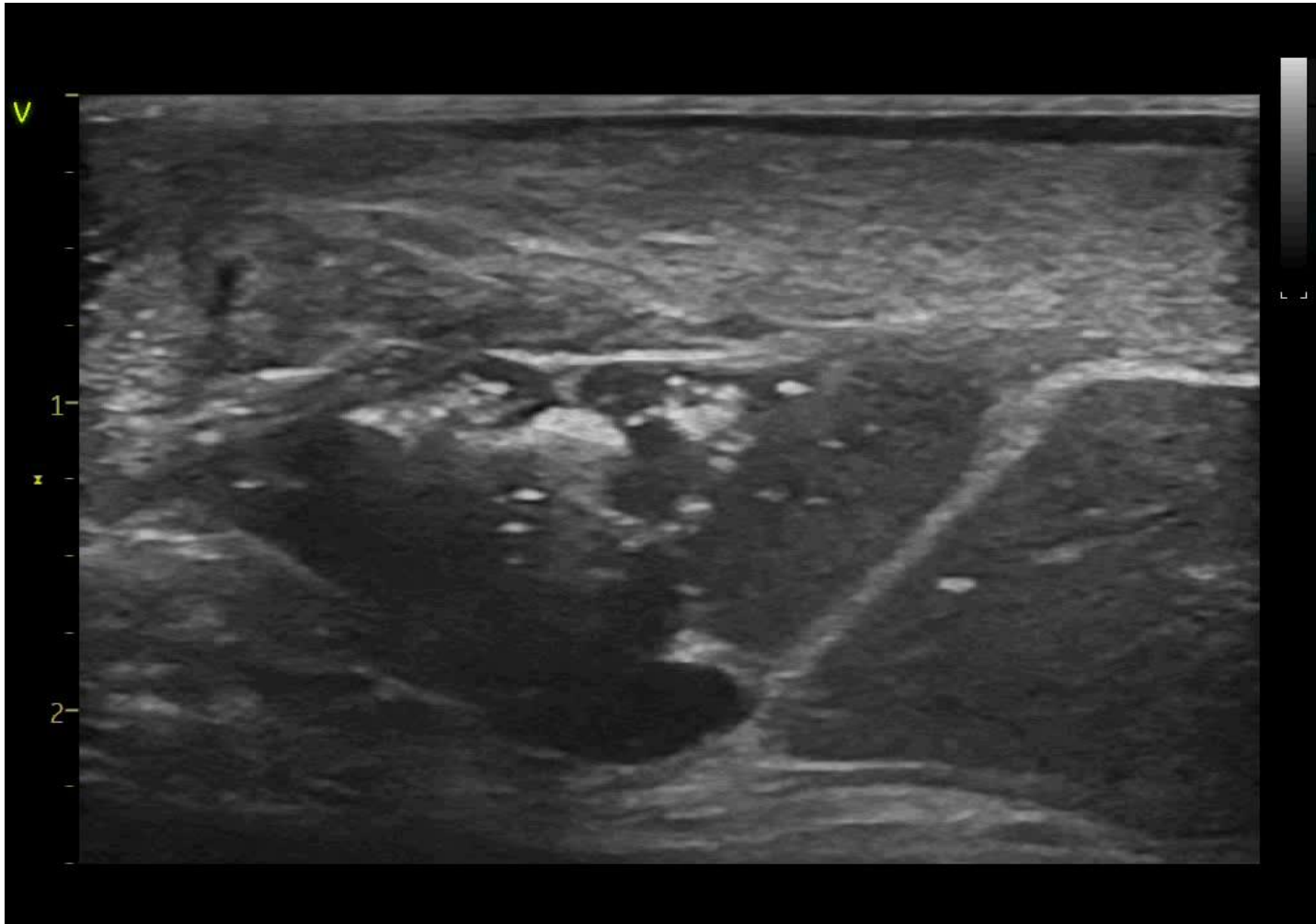
Eksempel score 3

Grade	Observations
0	No observable bubbles
I	Occasional bubbles
II	At least one new bubble every four cardiac cycles
III	At least one new bubble every cardiac cycle
IVa	More than one bubble in every cardiac cycle
IVb	More than three bubbles in every cardiac cycle
IVc	Near whiteout, individual bubbles still discerned
V	Whiteout: individual bubbles cannot be discerned

Tab. 2: Table 2: Modified Eftedal and Brubakk (mEB) scale used for evaluating and quantifying gas bubble load in the heart.

Akutt gassboblepsyke og diagnostikk:

Krevende disiplin: må være der det skjer, når det skjer!



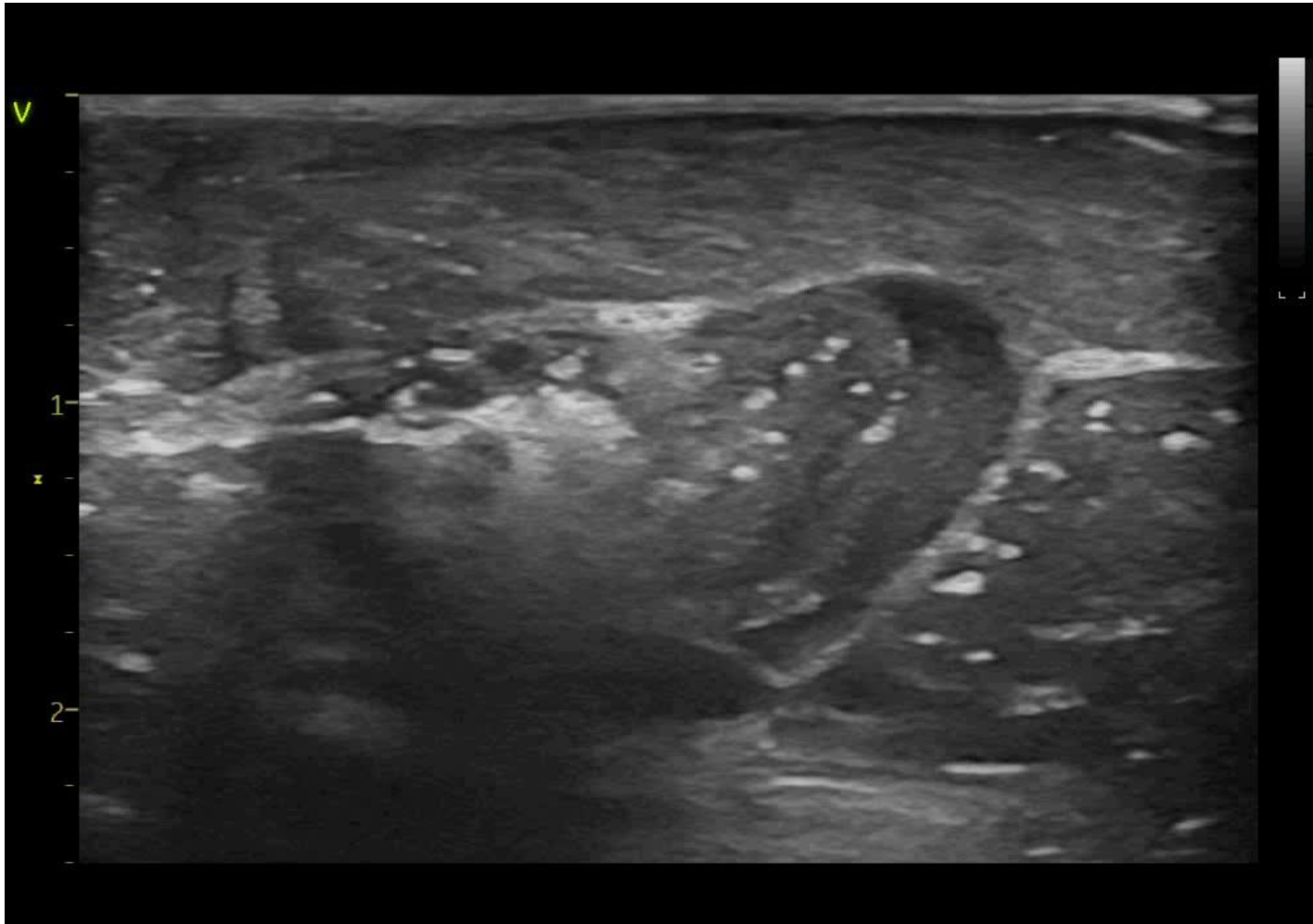
Eksempel score 4C

Grade	Observations
0	No observable bubbles
I	Occasional bubbles
II	At least one new bubble every four cardiac cycles
III	At least one new bubble every cardiac cycle
IVa	More than one bubble in every cardiac cycle
IVb	More than three bubbles in every cardiac cycle
IVc	Near whiteout, individual bubbles still discerned
V	Whiteout: individual bubbles cannot be discerned

Tab. 2: Table 2: Modified Eftedal and Brubakk (mEB) scale used for evaluating and quantifying gas bubble load in the heart.

Akutt gassboblepsyke og diagnostikk:

Krevende disiplin: må være der det skjer, når det skjer!



Eksempel score 5

Grade	Observations
0	No observable bubbles
I	Occasional bubbles
II	At least one new bubble every four cardiac cycles
III	At least one new bubble every cardiac cycle
IVa	More than one bubble in every cardiac cycle
IVb	More than three bubbles in every cardiac cycle
IVc	Near whiteout, individual bubbles still discerned
V	Whiteout: individual bubbles cannot be discerned

Tab. 2: Table 2: Modified Eftedal and Brubakk (mEB) scale used for evaluating and quantifying gas bubble load in the heart.

Kronisk gassboblepsyke og diagnostikk:

Også krevende disiplin: sub-letale nivåer av gassovermetning kan gi seg utslag i klinisk sykdom flere uker til måneder etter skadelig eksponering:

- Kan få bobledannelser i perifere vev
 - Synlig i vev som finner, munnslimhinne og ganetak, gjellefilamenter m.m.
- Nedsatt eller tap av blodsirkulasjon kan gi lokale vevsskader og –vevsdød
 - Nekroser og forkortede gjellefilament
 - Sårskader i hud med sekundære bakterielle infeksjoner
 - Øyeskader
 - Deformiteter gjellelokk m.m.
- Kan resultere i lavgrad forøkt dødelighet over lange perioder – vanskelig å diagnostisere!



Kronisk gassboblepsyke og diagnostikk:

Også krevende disiplin: sub-letale nivåer av gassovermetning kan gi seg utslag i klinisk sykdom flere uker til måneder etter skadelig eksponering:

- Filamentklubbing:



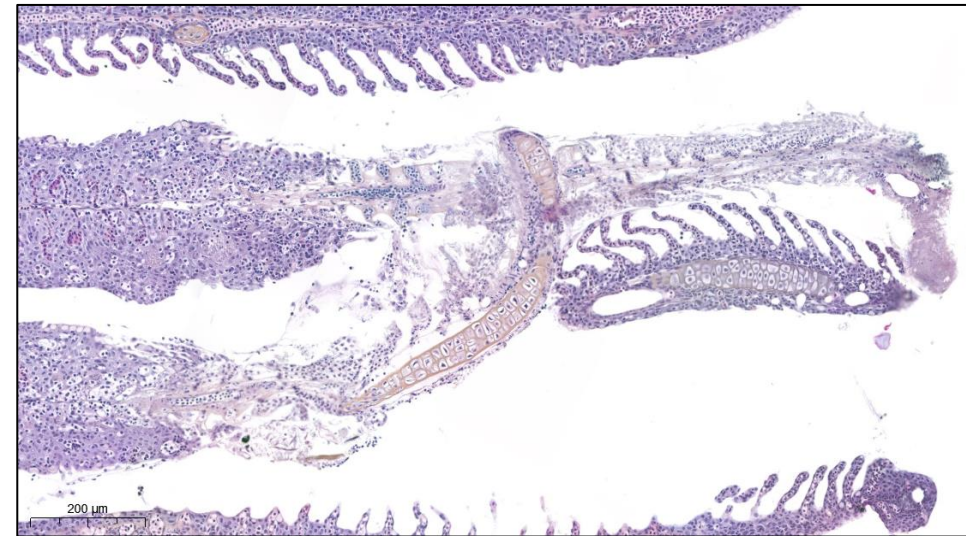
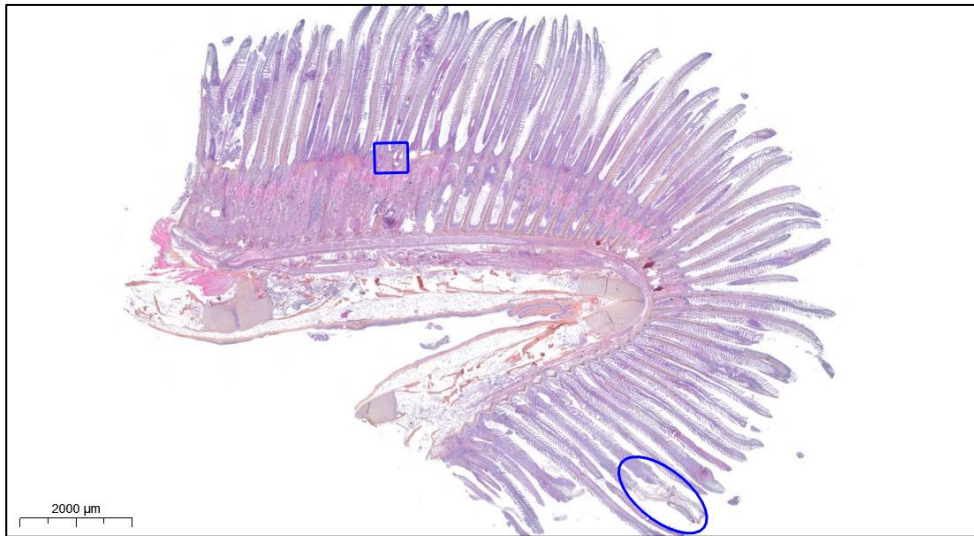
**Tap av
filamentets
vekstsone**



Kronisk gassboblepsyke og diagnostikk:

Også krevende disiplin: sub-letale nivåer av gassovermetning kan gi seg utslag i klinisk sykdom flere uker til måneder etter skadelig eksponering:

- Bakteriell gjelleinfeksjon:



Kronisk gassboblepsyke og diagnostikk:

Også krevende disiplin: sub-letale nivåer av gassovermetning kan gi seg utslag i klinisk sykdom flere uker til måneder etter skadelig eksponering:

- Forkortede gjellefilament: mulig mekanisme

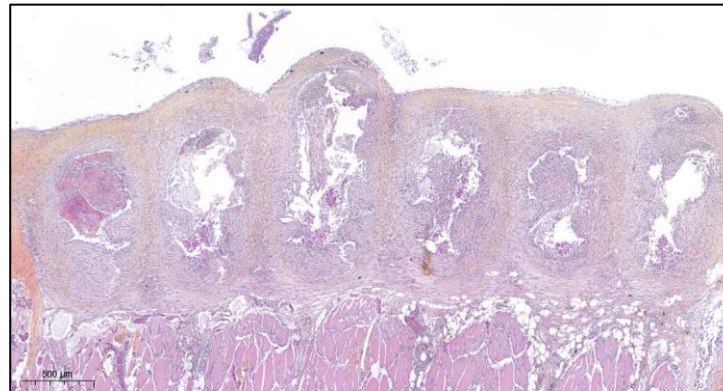
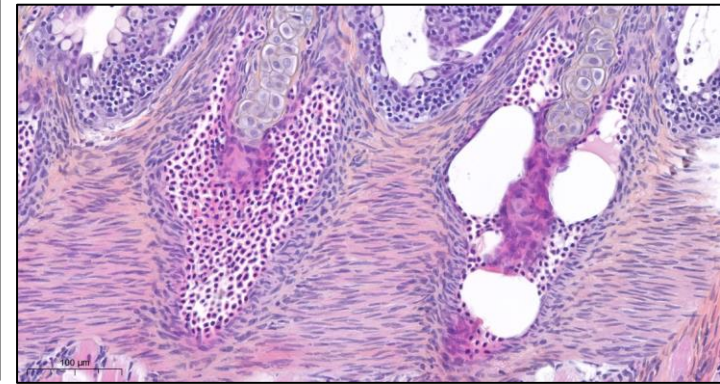
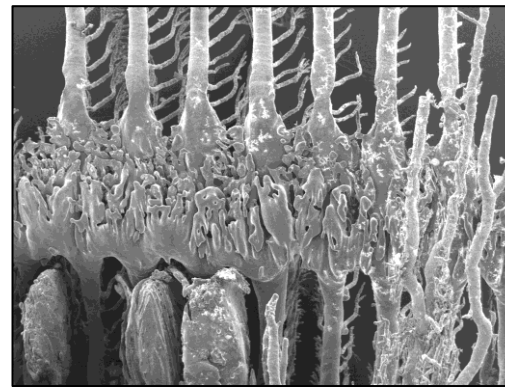
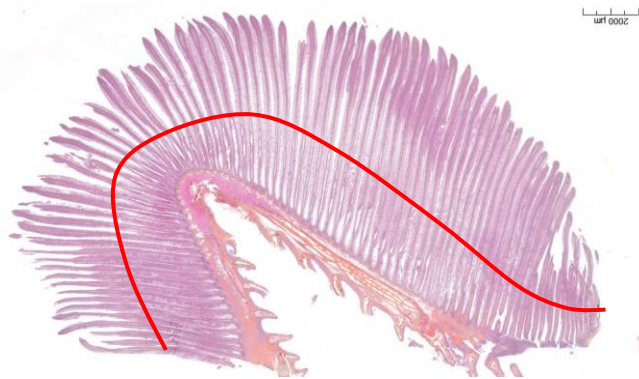
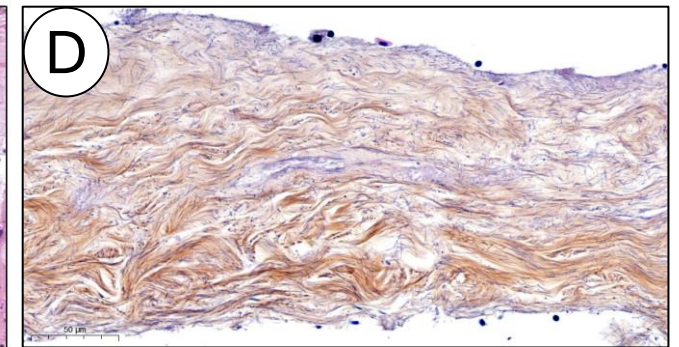
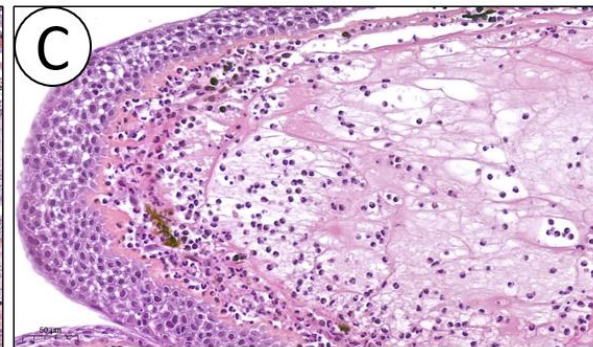
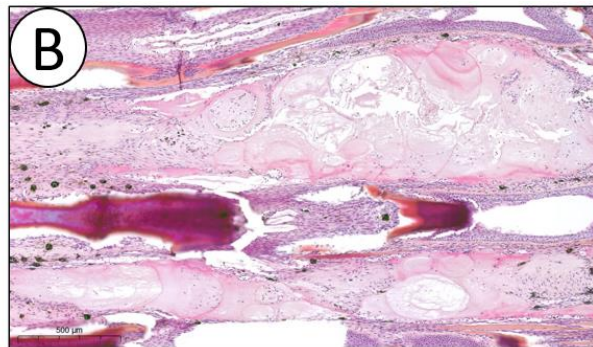
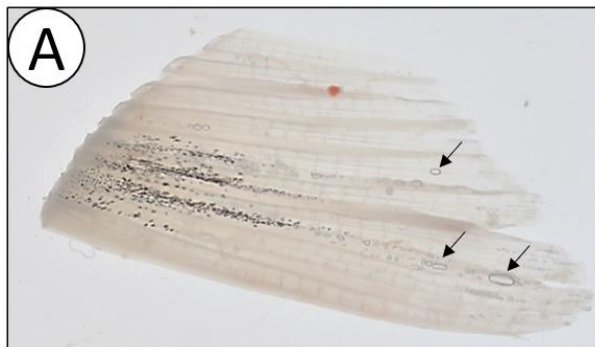
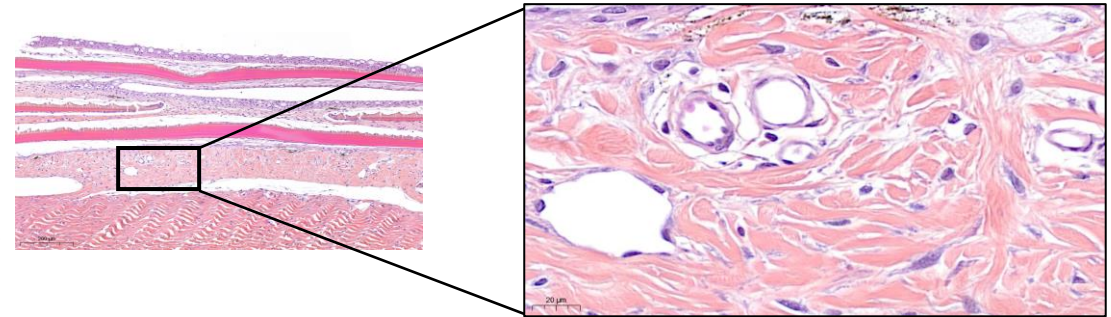
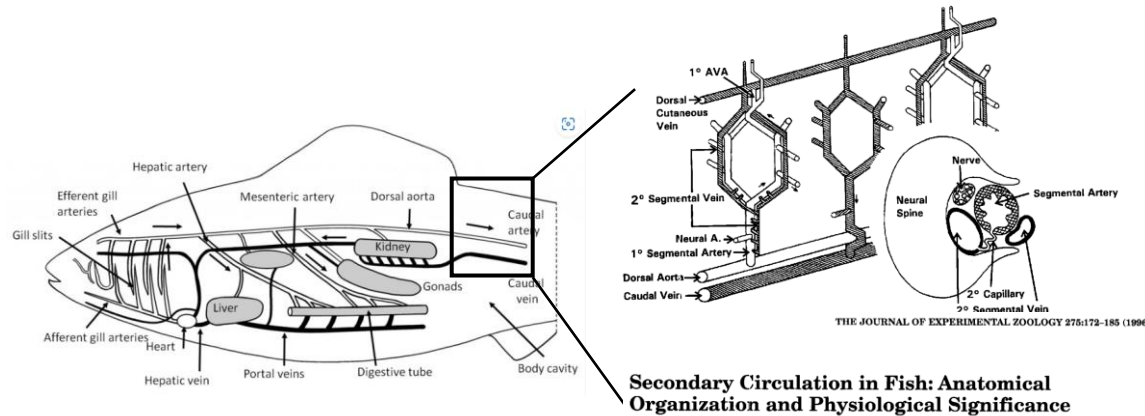


Foto: Kari Kaasen McDougall

Kronisk gassboblepsyke og diagnostikk:

Også krevende disiplin: sub-letale nivåer av gassovermetning kan gi seg utslag i klinisk sykdom flere uker til måneder etter skadelig eksponering:

- Sårskader i hud: sekundærinfeksjoner med blanding av bakterier



Kronisk gassboblepsyke og diagnostikk:

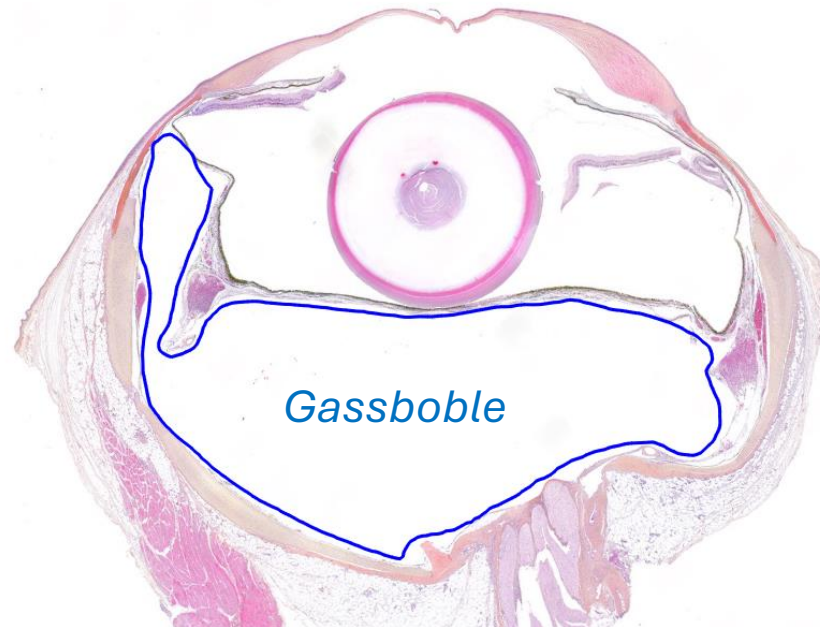
Krevende disiplin: sub-letale nivåer av gassovermetning kan gi seg utslag i klinisk sykdom flere uker til måneder etter skadelig eksponering:

- Øyeskader: gassbobler i øye

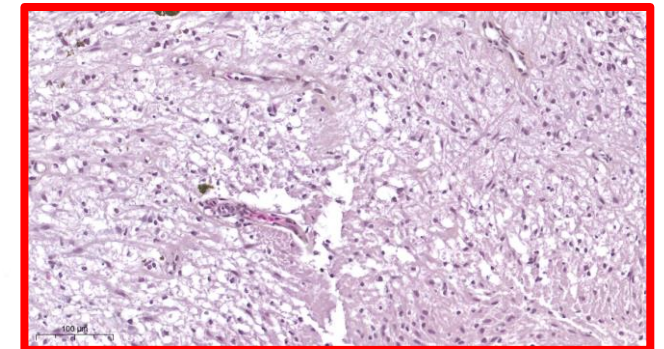
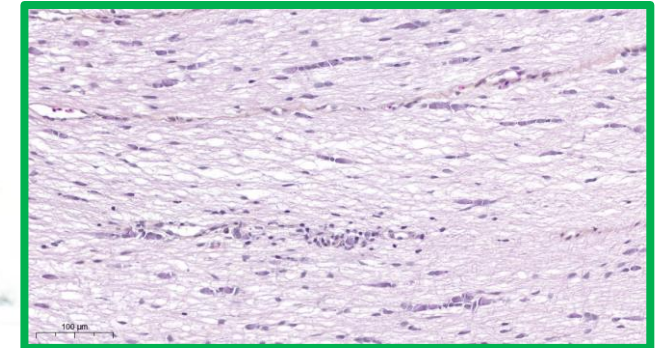


Foto: Fredrik Agerup Winger

2000 µm



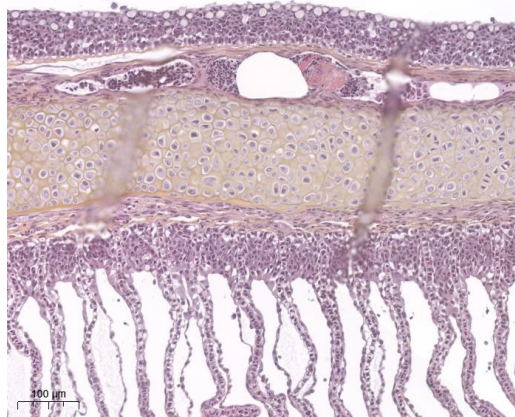
N. opticus hos fisk med normalt øye



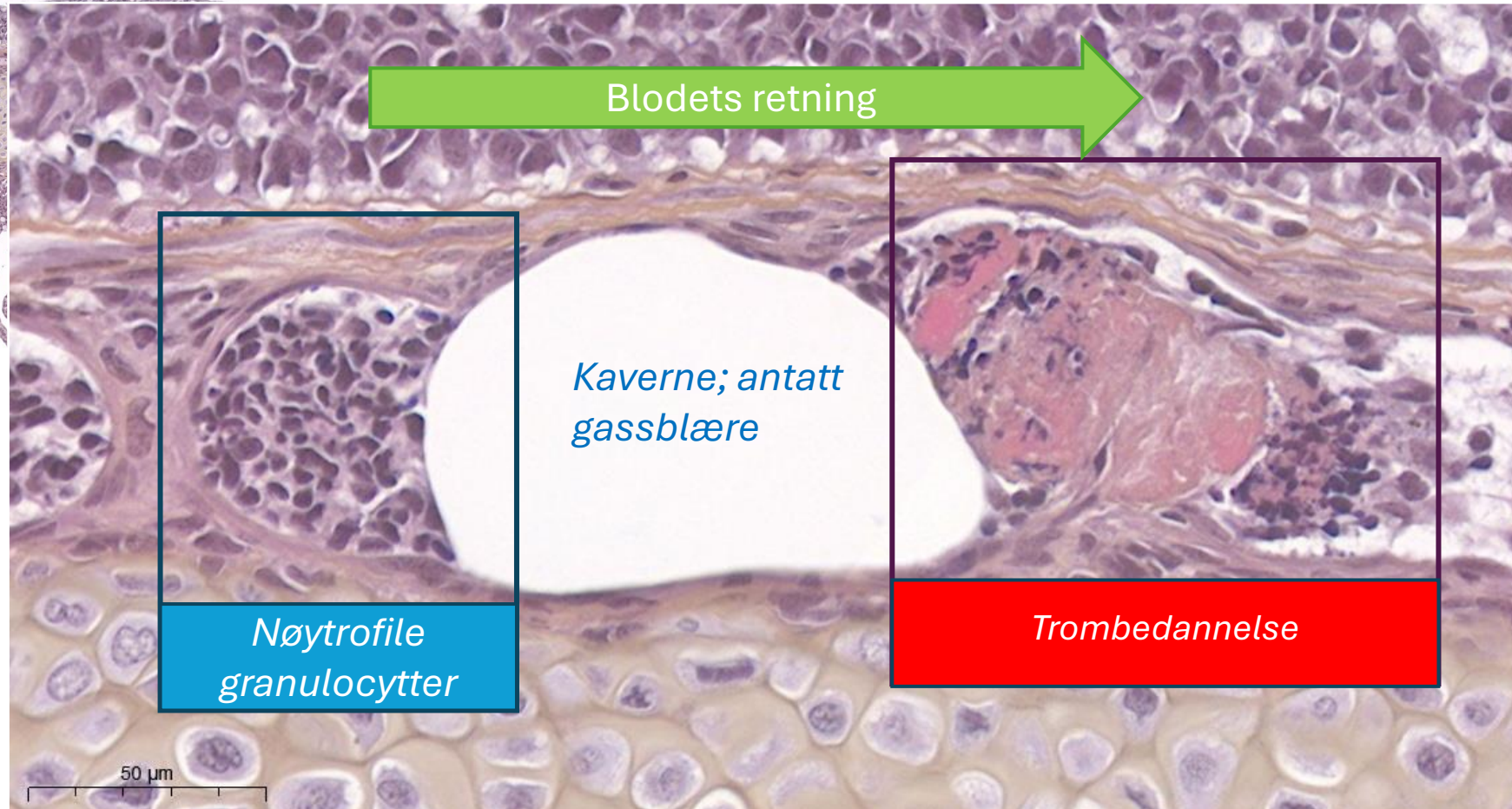
N. opticus hos fisk med gassboble

Kronisk gassboblepsyke og diagnostikk:

Krevende disiplin: sub-letale nivåer av gassovermetning kan gi seg utslag i klinisk sykdom flere uker til måneder etter skadelig eksponering:



MEKANISME: Skader på endotel om følge av gassembolier, med påfølgende anoksiske skader, aktivering av immunsystem og trombedannelser



Totalgassmetning i praksis



Hvordan kan vi forholder oss til gassmetning i praksis?

Måler gassmetning i vann ved hjelp av totalgassmålere:

- Gjøres ved membrandiffusjons-metoden
- Apparatet består av to trykkmålere
- Differansen mellom de to trykkene er ΔP
 - Gasstrykket målt i væsken minus gasstrykket målt i gassfasen over

Rapporter både som absolutt trykk (ΔmmHg), %TDG og BP

$TGP = BP$ ($\Delta P = 0$): likevekt
 $TGP < BP$ ($\Delta P < 0$): undermettet
 $TGP > BP$ ($\Delta P > 0$): overmettet

$$TGP\% = \frac{BP + \Delta P}{BP} \times 100$$

$$\Delta P = TGP - BP$$

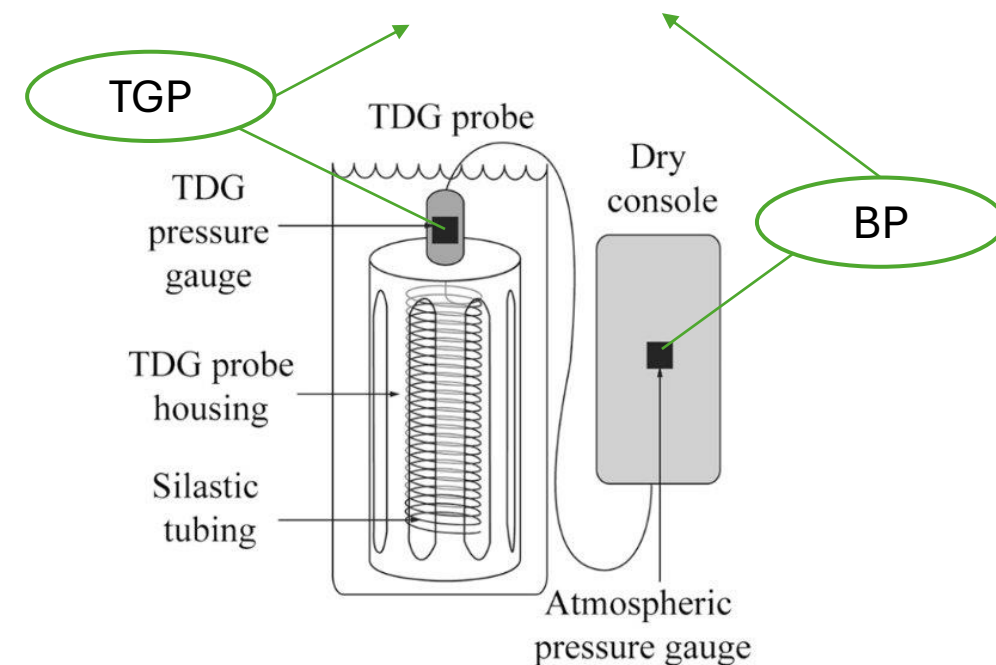


Figure 1. Schematic of the typical Weiss saturometer for measuring total dissolved gas supersaturation.

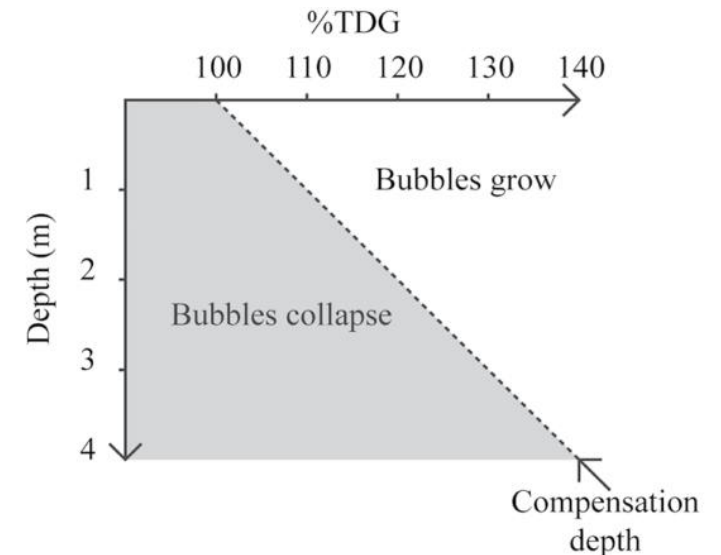
Illustrasjon: Pleizier et al. (2021): A simple chamber design for calibrating Weiss saturometers and recommendations for measuring and reporting total dissolved gases

Hvordan kan vi forholde oss til gassmetning i praksis?

Måler gassmetning i vann ved hjelp av totalgassmålere:

- Viktig feilkilde ved måling av gassmetning i vann er bobledannelse på overflaten av proben i vannet. Dette kan unngås ved:
 - Bevegelse av proben for å hindre tilhefting av gassbobler
 - Vannstrøm over proben som skyller av bobler
 - Holde måleren under kompensasjonsdypet
- Fukt på innsiden av den semipermeable silikonmembranen:
 - Viktig å tørke proben godt mellom hver bruk
- Målingene krever tid!

Bruk dedikerte totalgassmålere!
Kalibrering og vedlikehold viktig!



Illustrasjon: Pleizier et al. (2021): A simple chamber design for calibrating Weiss saturoimeters and recommendations for measuring and reporting total dissolved gases



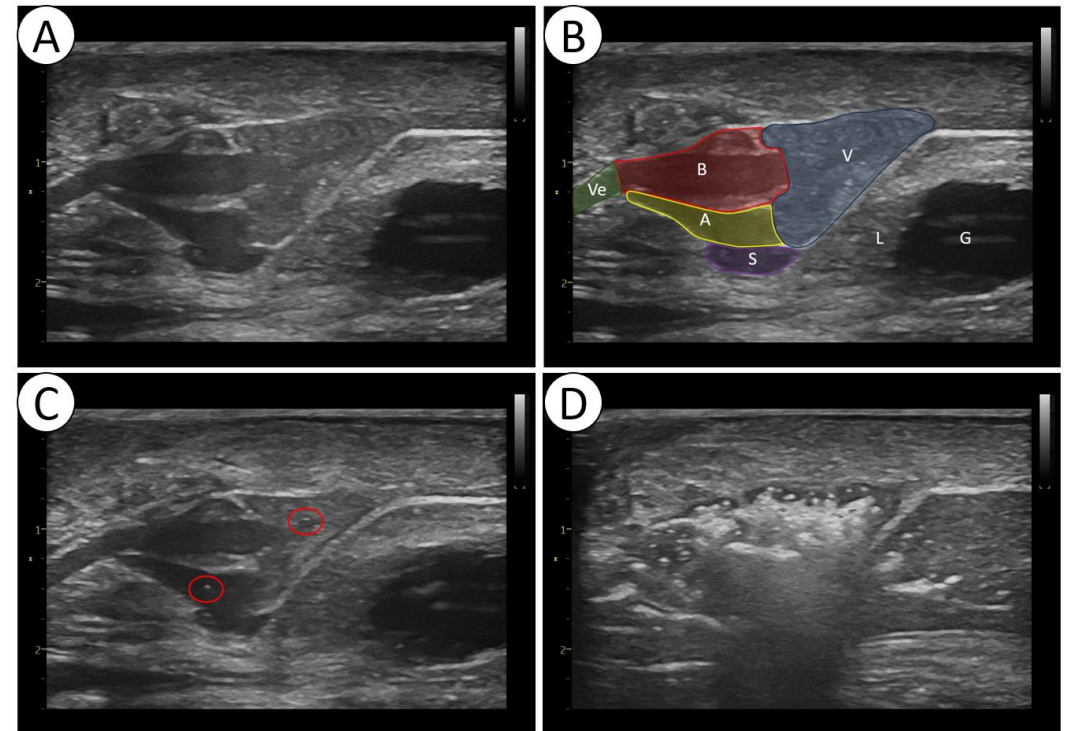
IKKE
GLEM Å
RUST!

Oppsummering og
veien videre

Oppsummering og veien videre:

Vi må få økt bevissthet rundt gasser i vann:

- Nye produksjonsløsninger må risiko-vurderes med tanke på fare for TGP%
- Alle gasser teller!!!
- Vi må finne grenseverdier for toleranse:
 - Størrelse på fisk/ utviklingsstadier
 - Tid for eksponering
 - Grad av eksponering
 - «Utløsende faktor»
- Klinik og diagnostiske verktøy, inklusive måling av gasser i vann



Bruk av ultralyd i klinisk praksis på fisk

Tusen takk for oppmerksomheten!



...og takk til ukjent
gatekunstner i
Tromsø by