

### 3.5.4 Virveldeformasjoner hos oppdrettslaks

Atlanterhavslaks er en anadrom fisk. Den klekker og vokser opp i ferskvann som parr, for så å gjennomgå en rekke atferdsmessige, fysiologiske og morfologiske forandringer og vandre ut i saltvann som smolt om våren, ett–seks år etter klekking. Endringene som finner sted kalles smoltifisering og styres av variasjonen i daglengde. Denne kunnskapen brukes i oppdrett til å styre smoltifiseringstidspunktet hos atlanterhavslaks. Oppdrettslaks settes ut i sjøen enten som høst- eller vårs smolt. Høstsmolt produseres ved å manipulere lysperioden, slik at laksen tror den gjennomgår vinter og vår tidligere enn naturlig vinter og vår. Det gjør at høstsmolten smoltifiserer og kan settes i sjøen om høsten, samme året som den klekker. Vårsmolt produseres uten bruk av kunstig lys, og den smoltifiserer og settes i sjøen den påfølgende våren.

Per Gunnar Fjelldal

per.gunnar.fjelldal@imr.no

Ulla Nordgarden

ulla.nordgarden@imr.no

Tom Hansen

tom.hansen@imr.no

Høstsmolt har et høyere innslag av virveldeformasjoner enn vårs smolt når fisken har nådd slaktestørrelse. Den vanligste deformasjonen er sammentrykte ryggvirvler, spesielt i haleregionen (Figur 3.5.4.1). Dette skyldes at vekstretningen i ryggvirvlens endestykker forandres (Figur 3.5.4.2). Det har tidligere vært foreslått at forandret mekanisk påvirkning eller betennelsesreaksjoner kan føre til utvikling av sammentrykte ryggvirvler hos oppdrettslaks. Forsøk ved Havforskningsinstituttet, Matre viser en klar sammenheng mellom mineralinnhold og morfologi i ryggvirvler fra oppdrettslaks. Ryggvirvelen hos individer med lavt mineralinnhold er mer sammentrykte enn ryggvirvlene til individer med høyt mineralinnhold (Figur 3.5.4.3).

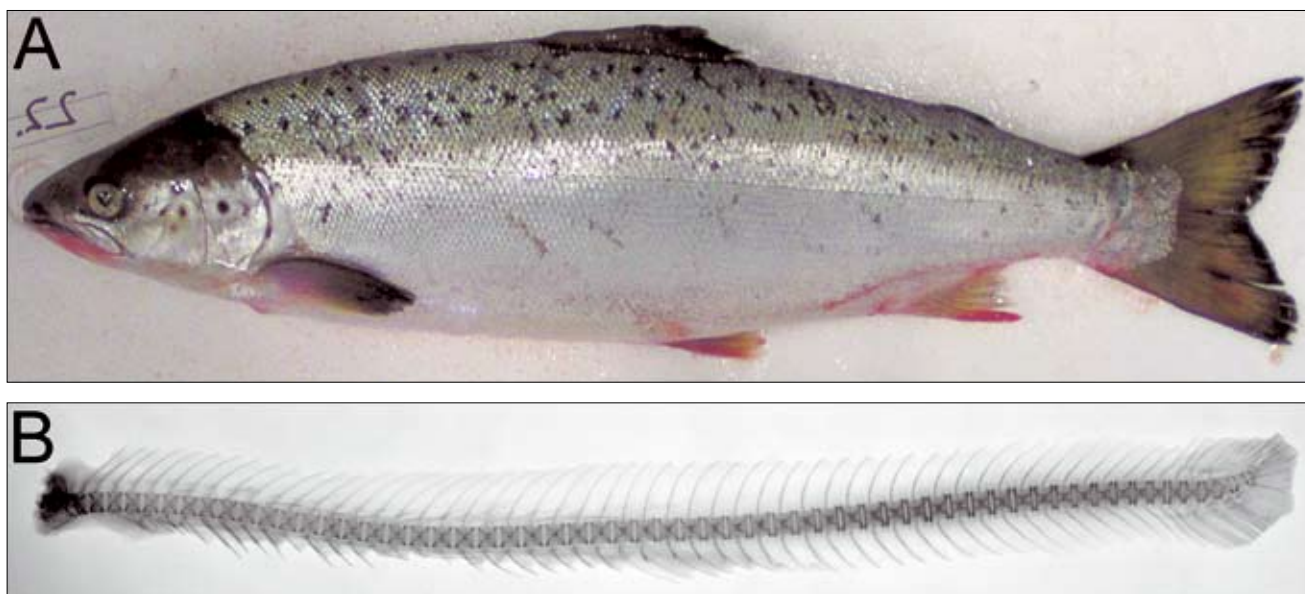
#### Funn i virvelsøylen hos høstsmolt

Eksperimentelle studier gjennomført ved Matre har vist at hos både høst- og vårs smolt vokser halevirvlene mer enn de andre virvlene under smoltifiseringen (Figur 3.5.4.4). Dette ble også observert i villaks

og kan være en biologisk tilpasning til økt svømmeaktivitet. I ferskvann er parren stasjonær og holder seg mye av tiden i ro ved bunnen, mens laks i saltvann jakter i de frie vannmassene.

Selv om høst- og vårs smolt hadde likt vekstmønster i virvelsøylen under smoltifiseringen, ble det funnet betydelige forskjeller i ryggvirvlens oppbygning og sammen-setning. Høstsmoltens ryggvirvler hadde lavere mineralinnhold og mekanisk styrke, noe som kan forklare at høstsmolt har høyere risiko for å utvikle virveldeformasjoner. Vi vet at beinmineralisering er en relativt lang prosess. Når beinet vokser avsettes først proteiner (mest kollagen) på beinets overflate, deretter inkorporeres mineraler, hovedsakelig kalsium og fosfor, i den nydannende proteinstrukturen. På grunnlag av dette formulerte vi en hypotese om at rask vekst kan øke risikoen for utvikling av virveldeformasjoner hos høstsmolt.

For å undersøke sammenhengen mellom vekstshastighet og beinmineralisering gjennomførte vi et forsøk med individmerket høstsmolt. Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom rask vekst og lavt mineralinnhold innad i denne gruppen. Derimot fant vi at de individene som vokste best, hadde høyest mineralinnhold.



**Figur 3.5.4.1**

Høstsmolt (33 cm, 733 gram) med sammentrykte ryggvirvler i haleregionen.

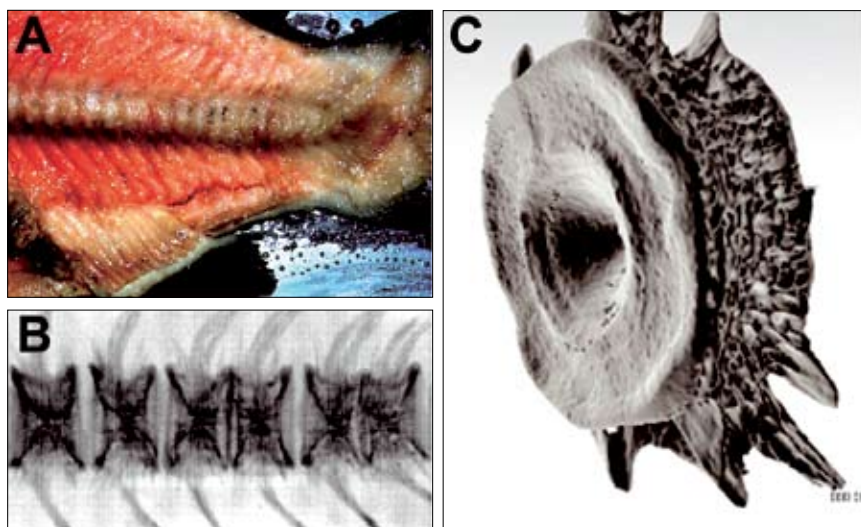
(A) Fotografi.

(B) Røntgenfotografi.

*Underyearling smolt with compressed vertebrae in the tail region.*

*(A) Photography.*

*(B) Radiography.*



**Figur 3.5.4.2**

Forkortede ryggvirvler hos oppdrettslaks.

(A) Fotografi av haleregionen hos laks med forkortede virvler. (B) Røntgenfotografi av haleregionen hos laks med forkortede virvler. (C) Mikro-CT-skanning av en forkortet virvel. Vekstmønsteret er normalt inntil virvelen har nådd en viss størrelse, deretter stagnerer lengdevæksten og virvelen får en flat form.

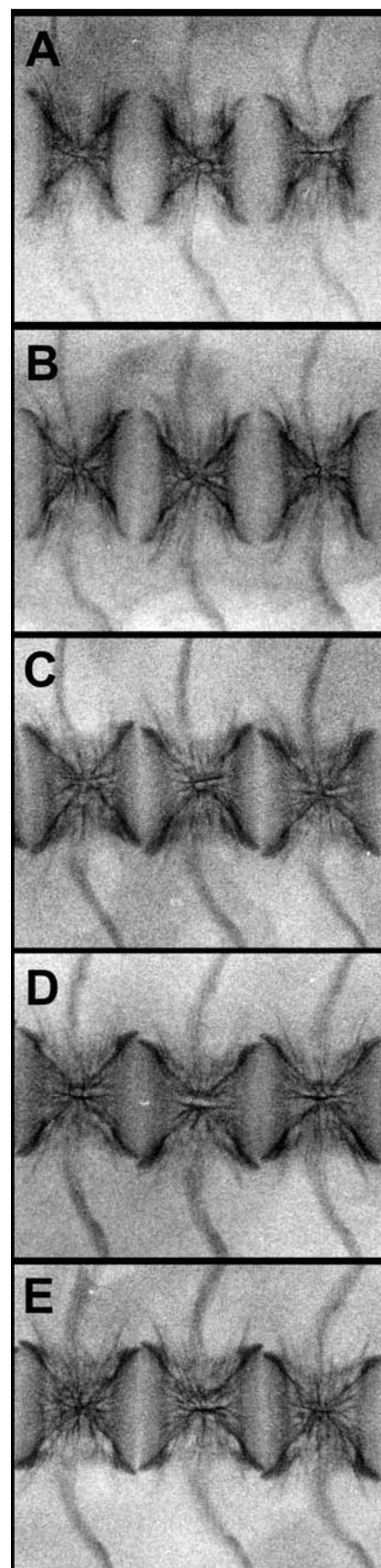
*Compressed vertebrae in cultured salmon. (A) Photography showing the tail region of a salmon with compressed vertebrae. (B) Radiography of the tail region of a salmon with compressed vertebrae. (C) Micro-CT scan of a compressed vertebrae. The pattern of growth is normal until the vertebrae reaches a certain size, thereafter the longitudinal growth stops and the vertebra develops a compressed morphology.*

#### Flere mulige årsaker

Det mest påfallende var at de individene som utviklet lavt mineralinnhold i ryggvirvlene, hadde lavere vektøkning de seks første ukene i saltvann enn de individene som utviklet høyt mineralinnhold. Dette kan være et resultat av lavere appetitt i denne perioden. I saltvann får laks tilført rikelig med kalsium fra vannet, mens fosfor må tilføres via fôret. Det kan derfor tenkes at lavt forinntak i den tidlige sjøvannsperioden påvirker beinmineralisering hos laks. I våre forsøk viste derimot analyser at høstsmolten hadde høyt innhold av fosfor og kalsium i blodplasma. Det kan tyde på at fosfor fra dietten ikke var en begrenset faktor, men at mineraliseringen av bein gikk langsomt.

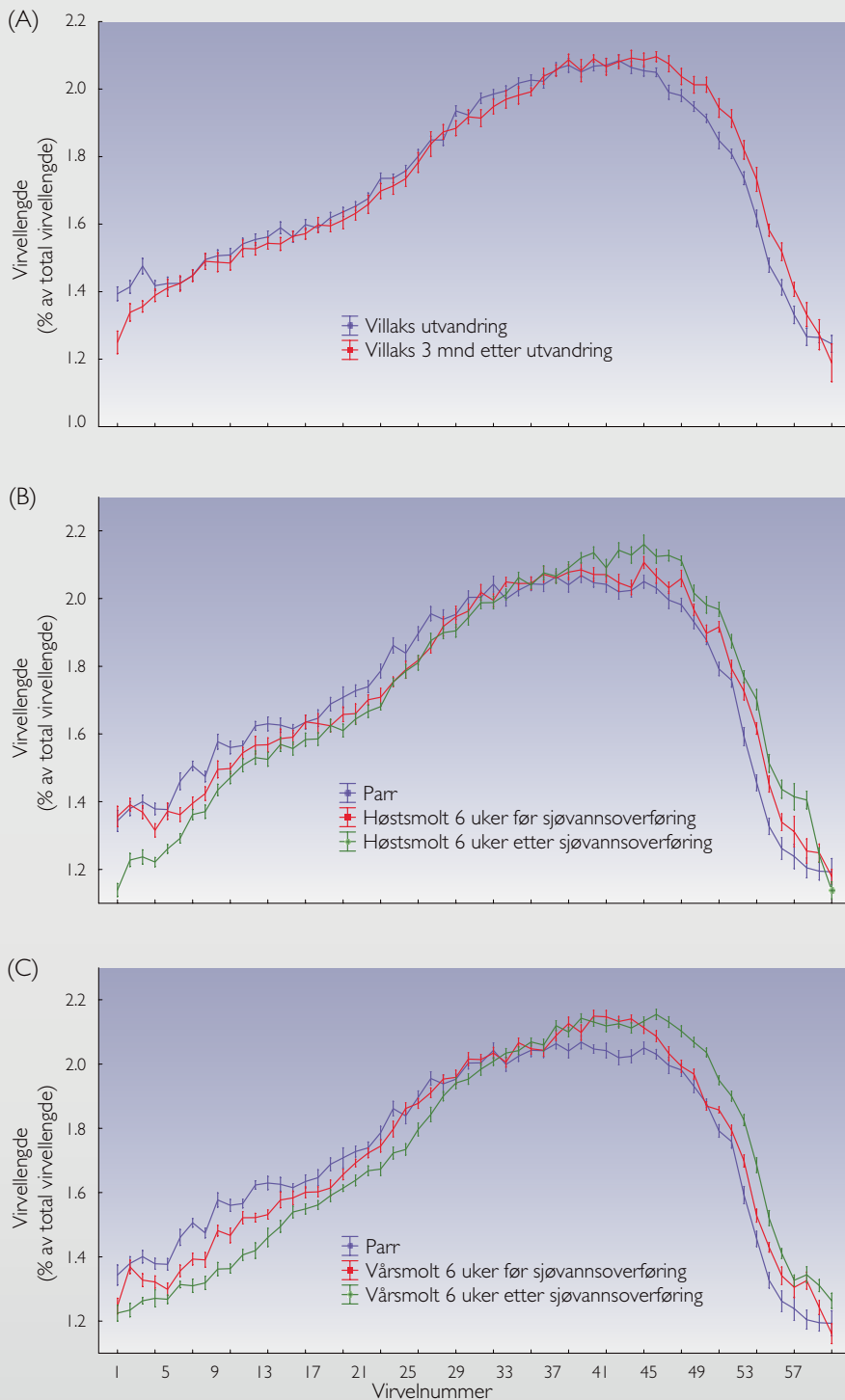
Alternativt kan det være snakk om økt remodellering i skjelettet. Remodellering innebærer nedbrytning og oppbygning av bein og fører til frigjøring av kalsium og fosfor til blodet. Langsom beinmineralisering kan være et resultat av at gener som koder for proteiner som er involvert i mineralisering blir nedregulert. I forsøkene som ble utført fant vi en nedregulering av genet som koder for reseptoren til det insulinlignende veksthormonet (insulinlike growth factor-I, IGF-I), som er målt i ryggvirvler fra høstsmolt. Hormonet har vist seg å påvirke beinmineralisering hos pattedyr.

Pågående forsøk ved Havforskningsinstituttet Matre har som mål å øke kunnskapen om de faktorer som bidrar til å regulere mineraliseringshastigheten i ryggvirvler hos høstsmolt. Hensikten er at dette igjen kan brukes til å forbedre produksjonen av høstsmolt.



**Figur 3.5.4.3**

Røntgenfotografi av ryggvirvler fra oppdrettslaks med forskjellig mineralinnhold (prosent mineralvekt i forhold til tørrvekt) i ryggvirvlene. (A) 33 %. (B) 37 %. (C) 41 %. (D) 44 %. (E) 47 %. *Radiography of vertebrae from cultured salmon with different vertebral mineral content (percent mineral weight of dry weight). (A) 33 %. (B) 37 %. (C) 41 %. (D) 44 %. (E) 47 %.*



**Figur 3.5.4.4**

Regional vekst i virveløylen under smoltifisering hos villsmolt (A), høstsmolt (B) og vårsmolt (C). Resultatene viser hvor mange prosent lengden av hver ryggvirvel (virvel nummer 1–58) utgjør av total lengden til alle ryggvirvlene. In Atlantic salmon, the vertebral column displays regional growth during smoltification. (A) Wild smolt. (B) Underyearling smolt. (C) Yearling smolt. The y-axis shows how many percent the length of each vertebra (vertebrae (V) number 1–58) make up of the total length of all the vertebrae ( $\sum V1-58$ ). The x-axis shows vertebral number.

#### Vertebral deformities in cultured Atlantic salmon

In the culture of the Atlantic salmon, the prevalence of vertebral deformities is higher among underyearling than yearling smolt. Experimental studies carried out at the Institute of Marine Research have demonstrated that underyearling smolt show the same pattern of growth in the vertebral column during the parr-smolt transformation as yearling and wild smolt. However, the vertebrae of yearling smolt had lower mechanical strength and mineral content. At first we suggested that this was related to growth rate, i.e. underyearling smolt grows much more rapidly than yearling smolt.

When studying the relationship between rapid growth and low mineralisation of vertebral bone within a group of individually tagged yearling smolt, no such relationship was established. In contrast, the individuals with the highest growth rate had the highest vertebral mineral content. The individuals with the lowest mineral content had the lowest weight gain during the first six weeks after transfer to seawater, suggesting that low mineralisation may be linked to low appetite and phosphorous supply. However, the underyearling smolt had high plasma concentrations of calcium and phosphorous, which may suggest that low mineralisation was related to low mineralisation rate. Furthermore, the underyearling smolt had a decrease in the expression of the receptor for insulin-like growth factor-I (IGF-I) in the bone of the vertebrae during the early seawater phase. IGF-I has been shown to be related to bone mineralisation in mammals.