

Cervikalcolumnas anatomi

Sammendrag

Bakgrunn. Kunnskap om halsvirvelsøylen anatomi og biomekanikk er blitt aktualisert på grunn av hyppig forekomst av nakkeslengskader i trafikken. Dessverre ender slike skader ikke sjelden i retten, og den sakkyndige legens kunnskaper om nakkens anatomi og biomekanikk blir derfor særlig viktig for en medisinsk korrekt vurdering av den aktuelle skaden.

Materiale og metode. Artikkelen bygger på et ikke-systematisk litteratursøk i PubMed med et skjønsmessig utvalg av artikler basert på egen erfaring innen feltet, samt egne kunnskaper som professor i anatomi.

Resultater. Halsvirvelsøylen er særlig sårbar for krefter som virker på tvers av lengdeaksen. Stabiliteten er hovedsakelig ivaretatt av bløtdelene. Bløtdelsskader (spesielt i ligamenter og mellomvirvelskiver) kan føre til instabilitet og periostal reaksjon med senere nydanning av bein.

Fortolkning. Halsvirvelsøylen er en relativt svak og utsatt del av kroppen. Man bør vurdere lokale, avgrensede nydannelser med samtidig skivereduksjon kun innen ett segment som tegn på reell skade.

Per Holck

per.holck@medisin.uio.no
 Institutt for medisinske basalfag
 Avdeling for anatomi
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1105 Blindern
 0317 Oslo

Nesten alle pattedyr – både de med lang og de med kort hals, som for eksempel giraffen og hvalen – har samme antall halsvirvler som *Homo sapiens*. Anatomikunnskap om denne delen av kroppen er viktig for å forstå hvilke krefter halsvirvelsøylen kan tåle, hvilke skademekanismer som kan virke inn og gi symptomer, og for å kunne forklare og adekvat behandle pasienter med skader i denne del av kroppen.

De sju halsvirvlene (vertebrae cervicales) C1–C7 er blant de mest sårbare områdene i kroppen vår, både som aksialt skjelett og som en forholdsvis svak bærer av det omtrent 5 kg tunge hodet, med nær kontakt til sentralnervesystemet. Den form som virvlene og deres leddforbindelser har fått fra naturens side hos menneskene, gjør dem mer ustabile og i større grad utsatt for skader enn f.eks. hos primatene (1). I denne artikkelen forklares dette ved å belyse de anatomiske forholdene i halsvirvelsøylen utvikling og oppbygning.

Materiale og metode

Grunnlaget for denne artikkelen er et ikke-systematisk litteratursøk i PubMed med skjønsmessig utvalg av artikler, basert på forfatterens erfaring som praktiserende lege, samt på hans egne kunnskaper innen feltet som professor i anatomi.

Utviklingen av halsvirvelsøylen

Hos alle virveldyr danner ryggstrengen eller notokord (chorda dorsalis) akselen for utviklingen av skjelettet. Her begynner utviklingen av virvelsøylen og de omtrent 43 somittene som dannes omkring ryggstrengen fra slutten av tredje embryouke (2). Omtrent samtidig dannes det ektodermale neuralrøret som senere utvikles til ryggmargen. Fra somittene utvikles ca. 34 sklerotomer, idet det første oksipitale og de fleste koksigeale somittpar forsvinner (3). Sklerotomcellene vandrer i medial retning fra hver side av ryggstrengen, omgir denne og forbinder seg med hverandre, slik at hver halvdel av de tilstøtende cellegruppene forenes. Fra fjerde embryouke dannes det en spalte i hvert skle-

rotomsegment som deles i to: én kranial halvdel med mindre tett cellestruktur som blant annet gir opphav til bindevev og skive, og én kaudal halvdel med tettere cellestruktur som også gir opphav til virvelbuen og ryggtaggene (4).

Intersegmentspaltene forsvinner ved at den kaudale halvdel av hvert sklerotom smelter sammen med den neste kraniale halvdel. Dette gir plass til spinalnerven røtter mellom virvlene. Den kraniale halvdel av øverste cervikale sklerotom danner skallens basis sammen med de oksipitale sklerotomene (2). Av den grunn har vi åtte cervikale spinalnerver, men sju cervikale virvler. Under denne prosessen tilbakedannes notokord gradvis, men gjenfinnes som rudimenter i mellomvirvelskivens nucleus pulposus.

Ved begynnelsen av andre fostermåned begynner bruskdanningen av virvelsøylen, mens den første beindanningen begynner omtrent en måned senere. Beindanningen i atlas begynner i massa lateralis, mens osteogenesen inntreffer forholdsvis sent i fremre og bakre bue: først omkring tre-fireårsalderen er den bakre buen lukket (4). I den fremre buen er ikke denne prosessen avsluttet før i sjuv-åtteårsalderen. Man ser ikke sjelden anatomiske varianter i atlas med manglende beindanning baktill, og det kan forekomme at hele atlas eller deler av den er smeltet sammen med skallens basis (5). Noen ganger kan den øvre del av dens axis vandre oppover og feste seg på forsiden av foramen magnum (såkalt basilar invaginasjon).

De elementene som danner virvelbuen, ryggtaggene og tverrtaggene, vokser i dorsal og lateral retning ut fra virvellegemene. Mens den fremre delen av tverrtaggene tidlig skilles fra vertebralmassen i torakalde-

Hovedbudskap

- Halscolumna hos menneske er særlig sårbar for krefter som virker på tvers av lengdeaksen
- Stabiliteten er hovedsakelig ivaretatt av bløtdelene (ligamenter, skiver, muskler etc.)
- Periostale senreaksjoner etter skader vil føre til forkalkninger som kan gi endrede romforhold for sentralnervesystemet

len, hvor de utvikler seg til ribbnein, skjer ikke dette i cervicalcolumna. Her kan det av og til dannes såkalte halsribber på en eller begge sider av C7. Heller ikke i lumbaldelen skilles tverrtagganlegget fra corpus; tverrtaggene kalles derfor her processus costarii.

Hos småbarn er oksipitalkondylene delt i en mindre fremre og en større bakre del som vanligvis forenes i løpet av sjuende leveår. Sikre kjønnsforskjeller kan ikke ses i denne delen av skjelettet.

Os odontoideum

Skallebasis, atlas og axis danner et utviklingsmessig kompleks, hvorav særlig C2 er spesiell. Den dannes endokondralt av fem eller seks ossifikasjonssentre: corpus, to nevralbuer og dens axis i to halvdelar, foruten (som oftest) en liten ossikkel på toppen av dens. Ved fødselen er dens skilt fra corpus ved en synkondrose, vanligvis frem til femseksårsalderen (4).

Dens kan være hypoplastisk eller mangle helt, og det kan forekomme at den er ufullstendig forbundet med corpus av C2 og danne et såkalt os odontoideum. Etiologien til en slik variant har vært omdiskutert, og både genetiske og mekanisk-traumatiske årsaker har vært lansert (6). Som oftest er tilstanden uten symptomer, og prevalensen av os odontoideum er derfor usikker.

Likevel kan det forekomme cervikal myelopati, torticollis eller nevrovaskulære tilstander i forbindelse med os odontoideum, især når det radiologisk kan påvises instabilitet av densosikkelen. Slik instabilitet ses hyppigst i anterior-posterior retning, dvs. i sagittalplanet, men hos noen kan instabiliteten forekomme i alle plan (7).

Os odontoideum er blitt inndelt i to anatomiske former: ortotopisk når osikkelen beveger seg sammen med den fremre atlasbuen, og dystopisk når osikkelen er festet til fremre rand av foramen magnum. Ved forekomst av os odontoideum kan fremre atlasbue ofte ses å være hypertrofisk (8), noe den ikke er ved densfrakturer.

Virvlens ledd og bevegelser

De «typiske» halsvirvlene finner vi fra C3 til C7. De to øverste kalles «atypiske» på grunn av sin avvikende form. Virvellegemet (corpus vertebrae) utgjør det bærende elementet i virvelsøylen. Til baksiden av virvellegemene fester virvelbuen (arcus vertebralis) seg og danner ryggmargskanalen. Buen deles i en fremre del – roten eller pedikkelen (pediculus arcus) mellom corpus og fasettleddet – og en bakre, avflatet del (lamina arcus) som går over i den skråttstilte ryggtaggen (processus spinosus). I halsvirvelsøylen er denne vanligvis spaltet ytterst (unntatt på C7), iallfall hos omtrent tre firedeler av den europeiske befolkningen, sjeldnere hos for eksempel afrikanere (1). C7 kalles gjerne vertebra prominens på grunn av spinosens fremstikkende posisjon. Gjennom tverrtaggene C1–C6 går vertebralisarteriene opp mot

hjernen (fra a.subclavia). I overgangen mellom pediklene og buen finner vi de zygoapofyseale ledd eller fasettledd (processus articularis), som er ekte/synoviale ledd kledd med hyalin brusk. To vender oppover og to vender nedover, de «henger» på hverandre som takstein og danner bevegelige forbindelser mellom virvlene.

Mens corpus er av spongiøst bein, er pediklene, fasettleddene og buene i hovedsak av kompakt bein og tåler derfor belastninger i betydelig grad. Intervertebralhullene (foramina intervertebralia) dannes av pediklene til to og to nabovirvler.

Atlantookspitalleddet, mellom C1 og skallebasiskondylene, er et eggledd med minimal rotasjonsevne. C1 dreier derfor sammen med hodet. I stedet tillater C0–C1-leddet ekstensjon/fleksjon av hodet (derfor også kalt «ja-leddet»), samt i noen grad bevegelse til hver side. De øvrige fasettledd er plane, skråttstilte ledd som muliggjør glidebevegelse i alle retninger, ca. 3–7° til hver side (9). Lateralfleksjonen er forbundet med samtidig rotasjon.

Det er nærmest horisontale leddflater mellom C1 og C2, i motsetning til hos menneskeapene, hvor de skrår ca. 45° nedover i lateral retning slik at C1 blir liggende som en stabil «ring» utenpå C2 (1). I begge tilfeller tillater atlantoaksialleddet rotasjon, og kalles derfor «nei-leddet». Leddkapselen er tynn og vid, og med kraftige synoviale folder som noen ganger kan legge seg inn i leddspalten (5). Vekten av hodet (pluss halsmuskulaturens tonus/kontraksjonskraft) fordeles på atlantookspitalleddene, overføres til de to atlantoaksialleddene, og derfra til mellomvirvelskiven C2–C3. Axis blir derfor et element i halsvirvelsøylen hvor de laterale kreftene sentraliseres (fig 1).

Nakkens virvellegemer skiller seg fra de øvrige i virvelsøylen ved at øvre dekkplate er U-formet, med en oppstikkende kant (processus uncinatus) på hver side. Det gir den enkelte virvel sidestøtte, og de oppstikkende kantene danner et slags synovialledd (unkovertebralledd) med den ovenforliggende virvelen. Kantene mangler hos småbarn, men begynner å utvikle seg fra seksårsalderen (4). Det er mulig at «leddene» bidrar til å styre nakkens rotasjonsbevegelser ved den oppreiste gangen hos menneskene, for de mangler hos dyr som bærer halsen fremover og hvor «rotasjonen» er en bevegelse fra side til side for å kunne se i lateral retning. Dersom høyden på mellomvirvelskivene reduseres, enten ved skade eller ved gradvis fysiologisk aldersforandring av brusken, kommer processus uncinatus i direkte kontakt med den ovenforliggende virvelen, og unkovertlebralleddsartrose kan oppstå.

Mens virvellegemene er bærende, er de skråttstilte fasettleddene styrende for bevegelsen mellom virvlene. De motstår sagittale krefter *bakfra* (mens det ved tilsvarende krefter *forfra* kun er ligamentene som holder igjen), med unntak av dens axis, som

stikker opp bak fremre bue på C1. Dens danner et synovialt ledd mot C1 i en grop (fovea dentis) på innsiden av buen. Den bakre flaten artikulterer med et tversgående ligament (ligamentum transversum atlantis) som danner et ekte ledd, idet ligamentet har en hinne av fiberbrusk som artikulasjonsflate. Den sidestøtten som processus uncinatus representerer, gjelder ikke for C1, som kun har en viss sidestøtte i fovea dentis ved hjelp av ligamentene omkring. Det gjør atlantoaksialleddet særlig sårbart ved krefter som virker sideveis og bakfra, mens de øvrige delene av cervicalcolumna i mindre grad tåler krefter som virker forfra.

Ligamentene

Halscolumnas ligamenter er forskjellige, både i form, funksjon og styrke. Øverst mellom skallens basis og atlasbuene, både på ventral- og dorsalsiden, finner vi en membranliknende kapsel, membrana atlantooccipitalis anterior & posterior. Den bakre membranen er tynnere, og kan revne ved brå fremoverleng av hodet, for eksempel ved en frontalkollisjon. Gjennom den går a. vertebralis og n. suboccipitalis. Tilsvarende er det mellom C1- og C2-buene en membran, membrana atlantoaxialis anterior og den tynnere membrana atlantoaxialis posterior. Deretter er det mellomvirvelskivene som danner kontakten fortil og ligamentum flavum som (sammen med ligamentum nuchae) danner buekontakten baktil. Ligamentum flavum er i nakken tynnere enn ellers i ryggsoylen (10). Nakkeligamentet (ligamentum nuchae), fra protuberantia occipitalis externa til C7 (hvor det fortsetter som ligamentum supraspinale), er et dobbelt fibroelastisk intermuskulært septum som dels tjener som feste for nakkemusklene, dels som støtte for hodet ved fleksjon, sammen med ligamentum flavum.

Forbindelsen forsterkes ved de langsgående ligamentene: ligamentum longitudinale anterius på forsiden, og ligamentum longitudinale posterius på baksiden av virvellegemene. Mens det førstnevnte er smalt i øvre del, har det bakre båndet en betydelig bredde i cervicalcolumna, hvor det er forbundet med membrana tectoria. Forsøk har ikke kunnet påvise signifikante forskjeller mellom de ulike ligamentenes stivhet (11). Det fremre ligamentet er særlig fast forbundet med mellomvirvelskivene og kanten av virvelcorpora, løsere til den konkave siden av corpus, og en overstrekkning (for eksempel ved whiplashmekanisme) kan føre til en skiveruptur (fig 2). På sidene er virvlene forbundet med korte bindevevsfibre.

Det fremre ligamentet har forbindelse med en stram fascie (lamina prevertebralis) i flere lag som kler fremsiden av virvlene. En skade av ligamentet (for eksempel ved en whiplashmekanisme) vil kunne forårsake blødning som brer seg som en tynn «film» mellom fascielagene og er vanskelig å oppdage, selv ved MR-undersøkelser.

En særlig betydning har alarligamentene (ligamenta alaria). De går fra siden av dens axis og fester seg på innsiden av oksipital-kondylene. Dette er bånd av fast bindevev med lite elastiske fibre (12), ca. 10–12 mm lange (10), og de karakteriseres ofte bare som «kraftige» (5, 10). De stabiliserer C0–C2-komplekset og bremser alle hodets bevegelser, men er særlig utsatt for skade ved ukontrollert rotasjon av hodet (13). Forsøk in vitro har påvist at alarligamentene kan motstå en kraft på 200 newton (N), mens transversalligamentet kan tåle ca. 350 N (14). Ligamentum apicis dentis, som er en rest etter notokord og går fra spissen av dens og til kanten av clivus, har knapt noen stabiliserende evne.

Dens holdes på plass mot fovea dentis av det stramme ligamentum transversum som inngår i det korsformede ligamentum cruciforme. Også alarligamentene bidrar til å holde dens axis på plass i den grunne leddpannen. Denne leddforbindelsen er likevel meget fast, og det må anses som en følge av ligamentskade dersom dens beveger seg sideveis eller bakover i forhold til fremre atlasbue (12). Disseksjoner viser at det selv hos spedbarn er en meget stabil forbindelse mellom dens og atlasbuen, og at alarligamentene er like tykke, men kortere enn det man ser hos voksne, og antakelig relativt kraftigere.

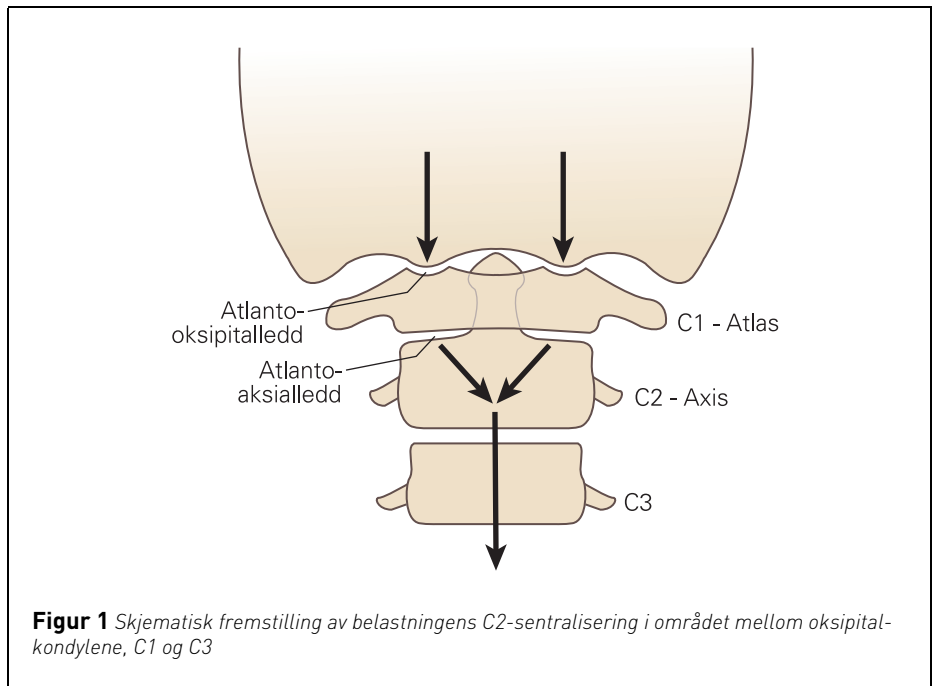
Instabilitet kan forekomme etter trafikk-skader, men også ved patologiske forhold, så som medfødt misdannelse av dens (os odontoidum), ved Ehlers-Danlos' sykdom og ved alvorlige grader av revmatoid artritt (15). Også Downs syndrom kan være forbundet med instabilitet (16).

Mellomvirvelskivene

Mellomvirvelskivene (disci intervertebrales) danner uekte ledd (synkondroser) mellom virvlene, med unntak av C1–C2. Til sammen utgjør de omtrent 25% av ryggstøylens lengde. Skivehøyden varierer og står i forhold til den naturlige bevegeligheten mellom de enkelte virvlene; derfor er de forholdsvis lave i torakaldelen hvor bevegeligheten begrenses av ribbeina og brystbeinet. Skivene er avaskulære, med unntak av den ytre overflaten, og ernæres ved diffusjon gjennom den trabekulære beinsubstansen på de tilstøtende virvlene (10).

Mellomvirvelskivene dannes ved separasjon av sklerotomene og er bygd opp av lameller, først av hyalin brusk, siden av fiberbrusk. Et hyalint brusksjikt persisterer mot virvellegemenes dekkplater.

I cervicalcolumna er mellomvirvelskivene formet annerledes enn i resten av ryggstøylen. De er spaltet på sidene, omtrent som en todelt lagkake. Spaltene finnes ikke hos småbarn, men dannes først fra åtte-ti-årsalderen og synes å utvikle og forandre seg gjennom hele livet. Spalten kan gå gjennom hele skiven, hvilket medfører at nucleus pulposus forholdsvis lett kan presses ut og for-



Figur 1 Skjematisk fremstilling av belastningens C2-sentralisering i området mellom oksipital-kondylene, C1 og C3

deles over et større område enn i de øvrige virvelavsnitt (fig 3).

Spaltene bidrar til nakkens bevegelighet, men siden de dukker først opp omkring C3–C5-nivået, hvor vi finner den sterkeste lordosen og belastningen i halsen (5), har det vært antydning at de er uttrykk for sprekkdannelse på grunn av belastning (5, 17). Imidlertid finnes de hos alle mennesker, og fiberretningen viser at hvert av de to lagene danner en separat, fysiologisk enhet (fig 4). Etter hvert dannes det bindevev på sidene, lik en leddkapsel som lukker spaltene lateralt.

Blodforsyning og innervasjon

Den øverste delen av halsvirvelsøylen er omgitt av et arterielt nett. I C3-nivået går det parvise blodkar av fra a. vertebralis til forsiden og baksiden av virvlene, og danner anastomoser med karene rundt dens axis, til dels via ligamentene, ofte sammen med grener fra a. cervicalis profunda og a. cervicalis ascendens (10, 18). Den rikelige blodtilførselen gjør at en densfraktur ikke nødvendigvis nekrotiserer.

Hodets stilling og bevegelser har betydning for blodgjennomstrømningen i den enkelte arterie. Eksempelvis vil rotasjon av hodet føre til redusert blodgjennomstrømning i motsatt sides vertebralarterie, mens fleksjon og ekstensjon ikke vil skape noen endring (18). Vanligvis vil dette ikke ha klinisk betydning, siden området er rikelig forsynt med anastomoser.

Gjennom hvert intervertebralhull (foramen intervertebrale) går det en blandet spinalnerve som deler seg i en bakre og en fremre gren, samt mindre spinale arterier og vener. Meningeale nerver (nn. sinuvertebrales) forsyner epiduralrommet og de langsående ligamentene. Intervertebralledningene innerveres av dorsale spinale grener (rami

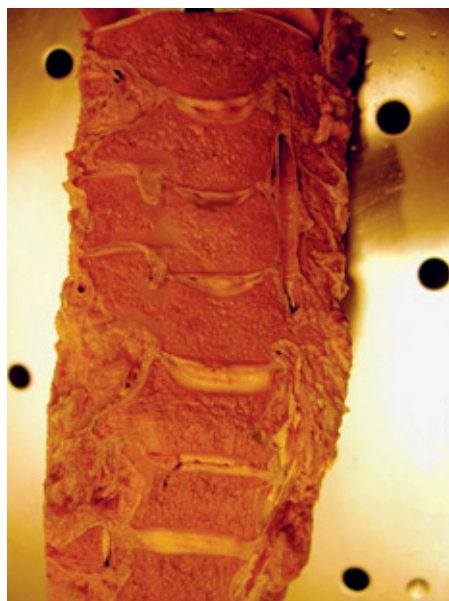
posteriores), en medial og en lateral del. De mediale delene innnerverer kapselen, m. semispinalis, mm. multifides, spinalligamentene og et lite hudområde i ryggens midtlinje. De laterale delene innnerverer ryggmuskulaturen lateralt for midtlinjen (19).

Skader

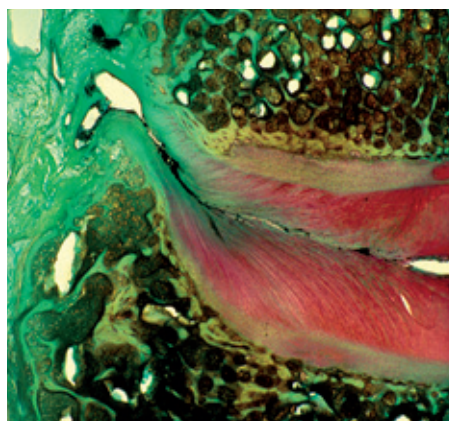
Skader i cervicalcolumna er relativt hyppige. Ofte ses lokale forandringer – skive-reduksjoner, kalkpåleiringer etc. i ett eller to



Figur 2 Sagittalt snitt gjennom cervicalcolumna (anatomisk preparat) som viser ruptur av mellomvirvelskiven som følge av nakkeslengrelatert skade på fremre longitudinale ligament. Foto P. Holck



Figur 3 Frontalsnitt gjennom cervikalcolumna (anatomisk preparat) med tydelige spalter i mellomvirvelskivene. Foto P. Holck



Figur 4 Frontalsnitt gjennom cervical mellomvirvelskive med tydelig forskjellig fiberretning i retning mot spalten. Preparatet er produsert og tillatt gjengitt av professor James R. Taylor, Australian Neuromuscular Research Institute, Nedlands, Australia

virvelavsnitt – som en følge av eldre skader. Å knytte radiologiske forandringer til en bestemt hendelse kan derfor være vanskelig. Det er imidlertid viktig å utspørre pasienten på en slik måte at adekvat informasjon fremkommer, da slike eldre skader gjerne bidrar til å forverre et akutt traume (20, 21). Det er ikke tilstrekkelig å spørre om aktuelle skader eller episoder fra kort tid tilbake, dersom det foreligger et cervikobrakialt syndrom med nakke-, skulder- og armsmerter. Mange pasienter tenker ikke på at skader som skjedde for flere tiår siden, for eksempel en hjernerystelse, samtidig kan ha påvirket halscolumna og derfor har sammenheng med sensymptomene.

Ligamentene som bidrar til nakkens stabilitet er lite elastiske, og det er in vitro påvist irreversible forandringer i vevet dersom alarligamentene strekkes 5–8 % utover sin normale form (5, 22). Kollagenfibrene tåler

riktignok jevnt strekk, men i mindre grad rykk, som når man sliter over en hyssing. Ved vurdering av et mulig skadepotensial bør det minnes om formelen for kraftens impuls, hvor produktet av kraft og tid er lik produktet av masse og hastighet ($Kt = mv$). Kraftimpulsen – og dermed skadepotensialet – øker når tiden forkortes. Et hode (5 kg) som retarderes fra for eksempel 20 km/t (ca. 5,5 m/s) til stillstand i løpet av 1/10 sekund representerer en så vidt stor kraftimpuls at en ligamentskade ved denne hastigheten er teoretisk mulig (5). En kollisjon i 50 km/t (ca. 14 m/s) skjer i omtrent samme hastighet som et fritt fall på 10 m. En slik transversal krafteffekt vil også kunne skade nakkeligamentene hos barn (NB: shaken babies!). Det er samtidig viktig å være oppmerksom på eventuelle fasettleddsskader, da disse utsettes for store krefter ved nakkeslengrelatert hyperekstensjon (23).

Strukturene som passerer gjennom intervertebralhullene er ekstremt sårbare ved skader. Siden mellomvirvelskivene og de langsgående ligamentene, det vil si de bestanddelene i cervikalcolumna som er mest utsatt, er fast forbundet med virvlenes beinhinne (periost), vil skader på disse kunne føre til en periostal reaksjon med gradvis nydanning av bein. Noen annen kilde til ny beindanning er det ikke. Siden osteogenesis er en langsom prosess, vil røntgenbilder av ferske skader sjelden vise forandringer (utenom brudd). I løpet av få år vil imidlertid osteofytter ses i de områdene hvor skade kan ha skjedd, særlig der hvor de langsgående ligamentene har sin utbredelse, ofte med innsnevring av intervertebralhullene («liping»). En reduksjon av skivehøyden vil redusere høyden i intervertebralhullet tilsvarende. På grunn av innholdet av elastiske fibre, vil ligamenta flava i mindre grad forårsake tilsvarende nydanning av bein (24).

Man bør vurdere lokale, avgrensede nydannelser med samtidig skivereduksjon kun innen ett segment som tegn på reell skade. Siden man neppe «eldes» lokalt i halsvirvelsøylen, er «alderbetiget slitasje» sjelden en god forklaring på slike røntgenfunn.

Oppgitte interessekonflikter: Ingen

Litteratur

1. Aiello L, Dean C. An introduction to human evolutionary anatomy. London: Academic Press, 1990.
2. Larsen WS. Human embryology. New York: Churchill Livingstone, 1997.
3. Sadler TW. Langman's Embryologi. København: Munksgaard, 2001.
4. Scheuer L, Black S. The juvenile skeleton. London: Elsevier Academic Press, 2004.
5. Tillman B, Töndury G, red. Rauber/Kopsch: Anatomie des Menschen. Lehrbuch und Atlas. Bd. I, Bewegungsapparat. Stuttgart: Thieme Verlag, 1987.
6. Fielding JW, Hensinger RN, Hawkins RJ. Os odontoidum. J Bone Joint Surg 1980; 62: 376–83.
7. Truumees E. Os odontoidum. www.emedicine.com/orthoped/topic424.htm. [16.12.2008].
8. Holt RG, Helms CA, Munk PL et al. Hypertrophy of C1 anterior arch: useful sign to distinguish os odontoidum from acute dens fracture. Radiology 1989; 177: 207–9.

9. Panjabi MM, Crisco JJ, Munk PL et al. Mechanical properties of the human cervical spine as shown by three-dimensional load-displacement curves. Spine 2001; 26: 2692–700.
10. Gray's Anatomy. 38. utg. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1995.
11. Przybylski GJ, Carlin GJ, Patel PR et al. Human anterior and posterior ligaments possess similar tensile properties. J Orthop Res 1996; 14: 1005–8.
12. Saldinger P, Dvorak J, Rahn BA et al. Histology of the alar and transverse ligaments. Spine 1990; 15: 257–61.
13. Crisco JJ, Panjabi MM, Dvorak J. A model of the alar ligaments of the upper cranial spine in axial rotation. J Biomech 1991; 24: 607–14.
14. Dvorak J, Schneider E, Saldinger P et al. Biomechanics of the craniocervical region: the alar and transverse ligaments. J Orthop Res 1988; 6: 452–61.
15. Maeda T, Saito T, Harimaya K et al. Atlantoaxial instability in neck retraction and protrusion positions in patients with rheumatoid arthritis. Spine 2004; 29: 757–62.
16. Koutures CG, Simpson CD. Atlantoaxial injury and dysfunction. www.emedicine.com/sports [5.1.2008].
17. Benninghoff A, Drenckhahn D. Anatomie. Bd. 1. 17. utg. München: Urban & Fischer, 2008.
18. Ombregt L, Bisschop P, ter Veer HJ. A system of orthopaedic medicine. 2. utg. London: Churchill-Livingstone, 2003.
19. Yoganandan N, Pintar F. Frontiers in whiplash trauma, clinical & biomechanical. Amsterdam: IOS Press, 2000.
20. Gargan MF, Bannister GC. Long-term-prognosis of soft-tissue injuries of the neck. J Bone Joint Surg Br 1990; 75: 901–3.
21. Khan S, Bannister G, Gargan M et al. Prognosis following a second whiplash injury. Injury 2000; 31: 249–51.
22. Dvorak J, Dvorak V, Gilliar W et al. Musculoskeletal manual medicine. Diagnosis and treatment. Stuttgart: Thieme, 2008.
23. Benzel EC. Biomechanics of spine stabilization. Stuttgart: Thieme, 2001.
24. Nakagawa H, Mikawa Y, Watanabe R. Elastin in the human posterior longitudinal ligament and spinal dura. A histologic and biochemical study. Spine 1994; 19: 2164–9.

Manuskriptet ble mottatt 26.2. 2009 og godkjent 22.10. 2009. Medisinsk redaktør Are Brean.