

# huisarts en weten- schap

MAANDBLAD VAN HET  
NEDERLANDS HUISARTSEN  
GENOOTSCHAP



## *Stabiliteit en beweging betrokken op de wervelkolom\**

DOOR DR. A. HUSON\*\*

Wanneer men zich in het geheel eigen karakter van de lumbale wervelkolom wat bouw en functie betreft verdiept, dient steeds voorop te blijven staan dat het hierbij gaat om een gedeelte van de wervelkolom, terwijl de wervelkolom zelf weer een onderdeel is van de romp. Alleen bezien in het kader van dat „geheel” kan een dergelijke beschouwing het perspectief krijgen waarom het is begonnen. Zelfs kan het van belang blijken te zijn om het gezichtsveld bepaald niet alleen tot de menselijke wervelkolom te beperken.

Een en ander kan onmiddellijk worden toegelicht aan het eerste en beste - en wellicht meest opvallende - kenmerk van de lumbale wervelkolom: het ontbreken van ribben. Want met het noemen van dit overigens negatieve kenmerk moet in één adem worden gezegd dat dit niet uitsluitend voor de lumbale wervelkolom geldt, omdat eigenlijk alleen maar de thoracale wervels vrije ribben dragen, hetgeen ten aanzien van de lumbale wervelkolom om een nadere situatiebepaling vraagt.

Globaal gesproken kan men van de overige regionen van de wervelkolom, voorzover ook zij worden gekenmerkt door de afwezigheid van ribben, het volgende vaststellen. De halswervelkolom als typische verbinding tussen hoofd en romp en de staartwervelkolom - voor zover de staart niet als rudiment in de romp is opgenomen - vallen beide eigenlijk buiten de romp in engere zin. De sacrale wervelkolom, die wel deel uitmaakt van de romp, heeft onder blokvorming een hechte relatie verworven tot de bekkengordel. Derhalve kan men van de lumbale wervelkolom dus vaststellen, dat

deze als onderdeel van de wervelkolom de ribloze verbinding vormt tussen twee andere rompgebieden, namelijk het vrij massieve en onbeweeglijke bekken enerzijds en de weliswaar ten opzichte van het bekken meer beweeglijke, maar toch relatief stijve thorax anderzijds.

Een vergelijking van borst en buik in functioneel opzicht ligt thans voor de hand. Daarbij vallen drie aspecten op: de ademhaling, de relatie van de romp tot de extremiteiten en de constructieve versterking van de romp zelf.

Het feit dat de thoraxwand door middel van ribben verstijfd wordt, hangt ongetwijfeld samen met de ademhaling, aangezien de blijvende ontplooiing van de long mede hiervan afhankelijk is. Bovendien houdt de borstkas het diafragma uitgespannen, hetgeen de aandacht richt op de betekenis die de anderzijds uitsluitend musculuze en daarom juist soepele buikwand voor het mechanisme van de longventilatie heeft: een soepelheid, die kennelijk niet alleen tegemoet komt aan het wisselende volume van de spijsverteringsorganen.

Verder bezit de romp een relatie tot de extremiteiten en het kan geen verwondering wekken, dat hierbij aan het zeer stevige bekken en de relatief stijve thorax een belangrijke rol is toebedeeld.

Het bekken vormt met de onderste extremiteiten een hechte functionele eenheid, zelfs in die mate, dat de spieren tussen bekken en extremiteit tot binnenin het bekken kunnen reiken (musculus iliopsoas, musculus piriformis en musculus obturator internus). Tegelijkertijd is de situatie echter dusdanig dat met uitzondering van de musculus psoas de grenzen van het bekken in craniale richting niet worden overschreden.

De schoudergordel daarentegen, is als een „juk”

\* Voordracht gehouden tijdens de Boerhaave-cursus Lendepijn, maart 1968 te Leiden.

\*\* Lector in de anatomie, Laboratorium voor Anatomie en Embryologie, Rijksuniversiteit, Leiden.

om de romp heen gebouwd, hetgeen enerzijds de bewegingsvrijheid van de bovenste extremiteit aanmerkelijk vergroot, en anderzijds de borstholte als de „de longen bevattende ruimte” ongemoeid laat. De verstijfde borstwand biedt over zijn gehele oppervlak houvast aan de uitgebreide schoudermusculatuur, die de zo beweeglijke bovenste extremiteit met de romp moet verbinden, waarbij de ribben bij uitstek worden benut. Via de sterke fascia thoracodorsalis reikt deze aanhechting zelfs tot ver buiten het thoracale gebied, namelijk tot aan - maar ook in dit geval niet voorbij - de craniale bekkenrand. Het is daarbij, zoals reeds werd opgemerkt, opvallend dat, in tegenstelling tot de situatie bij het bekken, de spieren zich niet binnen de thorax begeven.

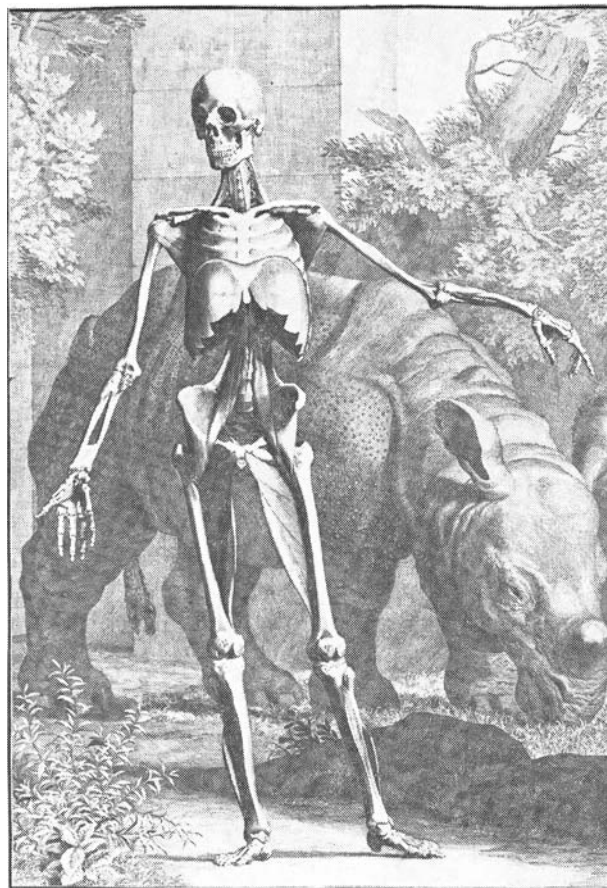
Tenslotte moet nog de rompwandversteviging door middel van de ribben worden genoemd. Dit kan het beste worden geïllustreerd met een voorbeeld, dat tevens past in een eerbiedwaardige anatomische traditie, namelijk de afbeelding van Albinus (figuur 1). Diende Camper's neushoorn blijkt Albinus' toelichting slechts „om de beschouwer (van zijn anatomische prenten) enige aangename ogenblikken te verschaffen”, ons strekt hij tevens tot lering, zoals uit figuur 2 moge blijken, waar ook de neushoorn tot op het skelet is ontkleed. Opvallend is de zeer korte lumbale wervelkolom en het grote aantal ribben dat de rompwand van deze kolossale tweetonners - en dit geldt ook voor de olifant en het nijlpaard - kennelijk helpt versterken. Maar er is meer: de rompwand blijkt ook in ander opzicht een grote rol te kunnen spelen bij de stabilisatie van de romp.

Dat de mens rechtop gaat mag naar zijn eigen mening een indrukwekkende fylogenetische prestatie heten - die overigens blijkens het thema van deze Boerhaavekursus „Lendepijn” niet geheel ongestraft is gebleven - de op vier poten steunende horizontale romp der viervoeters wordt tegenwoordig door tal van onderzoekers als een in functioneel opzicht niet minder grote uitdaging gezien.

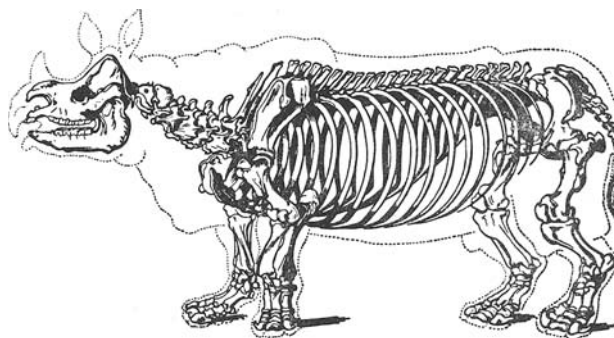
Men behoeft dan niet alleen te denken aan de zojuist ter sprake gebrachte dierlijke kolossen, ook andere uitersten bestaan: bijvoorbeeld de teckel, die evenals de mens een hoge tol aan lendepijn betaalt.

Wat de stabiliteit van zowel de horizontale als de verticale romp in zijn geheel betreft, in beide gevallen speelt ongetwijfeld de wervelkolom een belangrijke rol, ook al wordt deze rol nogal eens verkeerd geïnterpreteerd en daarmee eigenlijk overschat. In deze voorstelling van zaken beschouwt men de wervelkolom als een zware horizontale balk of als een verticale mast, waaraan de romp is opgehangen. Met een dergelijke balk- of mastconstructie is de gelede opbouw van de wervelkolom, die immers bestaat uit een afwisseling van benige wervellichamen en voornamelijk uit bindweefsel bestaande tussenwervelschijven, moeilijk te verenigen. Deze opbouw suggereert namelijk het bestaan

Figuur 1. Uit: B. S. Albinus. *Tabulae sceleti et musculorum corporis humani*. Lugd. Bat. 1747.



Figuur 2. Skelet van een neushoorn. Uit: J. Z. Young. *The life of vertebrates*. Oxford University Press, 1962.



van twee functionele eigenschappen: enerzijds een zekere buigzaamheid en anderzijds een op axiale druk afgestemde belastbaarheid. Beide eigenschappen zijn vooral af te leiden uit de bouw van de tussenwervelschijf, die zeker bij jonge mensen mag worden vergeleken met een onder spanning gevuld waterkussen, dat vervorming toelaat en dat de daarbij optredende spanningen zoveel mogelijk in gelijkmatig over de dekplaten van de wervellichamen verdeelde drukspanningen omzet. Dat ook de

wervellichamen op het weerstand bieden aan axiale drukbelasting zijn gebouwd, kon onder andere met verschillende vernuftige modellen aanneemelijk worden gemaakt (*Schlüter*).

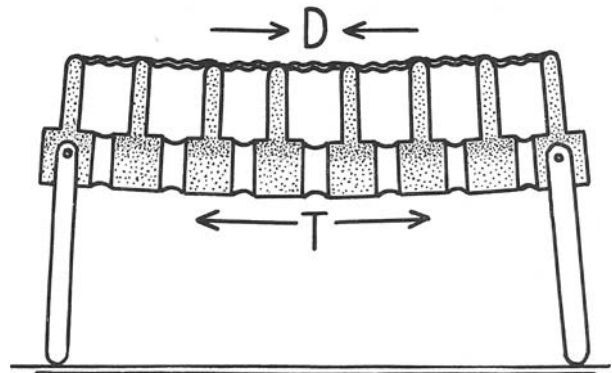
Bij de mens met zijn verticale wervelkolom lijkt deze constructie nogal voor de hand liggend, maar bij de viervoetige dieren met hun horizontale wervelkolom doet deze situatie misschien wat bevreemdend aan. *Slijper* heeft al eens opgemerkt dat vele viervoetige dieren zich voor korte of lange tijd met hun romp plegen op te richten. In dit opzicht is het verschil tussen de wervelkolom van de bipede mens en die van viervoetige dieren waarschijnlijk in het geheel niet zo principiëel. Ook in dit opzicht zal daarom een nadere functionele analyse van de wervelkolom van het viervoetige dier bijzonder leerzaam blijken te zijn. Vooral *Slijper* in Nederland en *Kummer* in Duitsland hebben voor dit probleem hernieuwd aandacht gevraagd. Aan twee schema's kan een en ander worden toegelicht.

In het eerste schema (*figuur 3*) kan worden aangetoond hoe een horizontale - als balk fungerende - wervelkolom zou worden belast, indien de wervelkolom de enige dragende structuur zou zijn. De aan de onderzijde gelegen en bij uitstek drukvaste wervellichamen zouden in dat geval vooral op trek (T) worden belast, terwijl het dorsaal gelegen, juist trekvaste systeem van bogen en doornuitsteeksels met daartussen gespannen ligamenten, vooral aan drukbelasting (D) zou worden blootgesteld. Dit lijkt een hoogst onwaarschijnlijke situatie.

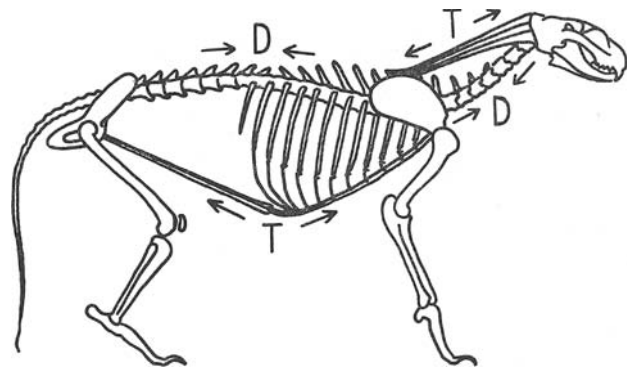
Uit *figuur 4* kan worden afgeleid hoe het patroon van de belasting principiëel verandert wanneer men andere factoren in de analyse betreft. In dit schema wordt de wervelkolom beschouwd als een kyfotische boog, gespannen door ventraal gelegen spieren en banden die een overwegend longitudinale vezelrichting hebben. Thans komt een veel aannemelijker patroon van druk- en trekbelasting voor de dag. Nu zijn het de wervellichamen die door druk worden belast!

Men moet erop letten, dat de situatie bij de hals ten opzichte van de romp juist omgekeerd is: de hals, die de vooruitstekende en soms zware kop moet dragen, wordt slechts aan één zijde ondersteund en moet daarom lordotisch zijn gekromd. Tegelijkertijd bezit de hals in het ligamentum nuchae aan de dorsale zijde een bijzonder trekvaste verankering. Door deze eenzijdige ondersteuning kan de drukbelasting van de halswervellichamen - vooral bij een lange hals - aanmerkelijk groter worden dan de belasting van de wervellichamen in de romp, hetgeen in een opvallend verschil in grootte van de wervellichamen in hals en romp zijn aanpassing vindt. Een goed voorbeeld van deze aanpassing levert de dromedaris (*figuur 5*). Men lette op de halswervels, die in vergelijking met de rompwervels bijzonder fors zijn, terwijl de rompwervels zelf weinig in grootte verschillen. Ook bij de mens bestaat een dergelijke aanpassing: de bij

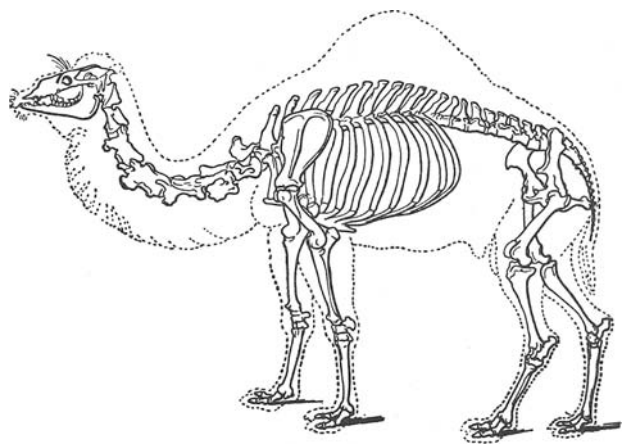
*Figuur 3. Schema van een horizontale, belaste wervelkolom (D= drukspanningen, T=trekspanningen).*



*Figuur 4. Skelet van een viervoetig roofdier (D= drukspanningen, T=trekspanningen).*



*Figuur 5. Skelet van een dromedaris. Uit: J. Z. Young. The life of vertebrates. Oxford University Press, 1962.*



de opgerichte wervelkolom in caudale richting steeds toenemende belasting van de wervels door het lichaamsgewicht, gaat ook hier samen met een geleidelijk in grootte toenemen van de wervellichamen (*figuur 6*).

Men kan zich afvragen of het door *Slijper* en

*Kummer* voor viervoetige dieren uitgewerkte model ook op de menselijke romp van toepassing is. Hoewel de belasting van de wervelkolom dankzij de verticale lichaamshouding ongetwijfeld anders aangrijpt, speelt ook hier de rompwand waarschijnlijk een niet te onderschatten rol. Immers ook bij de mens kan de rompwand door contractie van spieren worden verstijfd en men heeft ingezien - onder anderen *Bartelink* heeft hierop gewezen - dat de daardoor verhoogde intra-abdominale druk een grote bijdrage kan leveren in de ontlasting van de wervelkolom. Vooropgesteld zij, dat elke stabilisering van de wervelkolom door ligamenten en spieren, zoals bijvoorbeeld door de *musculus erector trunci*, een vergroting van de axiale belasting van de wervelkolom met zich zal brengen die des te sterker zal zijn naarmate de hoek waaronder de spieren op de wervelkolom aangrijpen, kleiner is.

Zo hebben onder anderen *Morris*, *Lucas* en *Bresler* getracht nauwkeurig te schatten, hoe hoog de spanningen kunnen zijn die optreden in de *musculus erector trunci* en in de tussenwervelschijf L<sub>5</sub>-S<sub>1</sub> bij een proefpersoon, die vanuit een gebukte houding ongeveer 90 kg optilt. Aannemend dat er een evenwichtssituatie bestaat en gegeven de grootte van de deelgewichten van hoofd, hals, armen en romp en het opgetilde gewicht, benevens de afstanden waarop deze krachten ten opzichte van de discus L<sub>5</sub>-S<sub>1</sub> aangrijpen, hebben zij berekend dat de spanning in de *musculus erector trunci* ongeveer 840 kg zou moeten zijn, waardoor een totale druk van ruim 900 kg op de tussenwervelschijf zou worden uitgeoefend.

Bovendien hebben zij de tijdens dit experiment optredende intra-abdominale druk rechtstreeks door middel van een sonde gemeten en tegelijkertijd de activiteit van de buikspieren elektromyo-

grafisch geregistreerd. Met behulp van deze gegevens hebben zij geschat hoe groot de opwaartse kracht zou kunnen zijn die, opgewekt door de als een stevig opgeblazen ballon werkende buikholte ingeklemd tussen bekken en diafragma, de wervelkolom zou kunnen ontlasten. Het effect van dit mechanisme zou zijn, dat de totale druk die wordt uitgeoefend op de tussenwervelschijf L<sub>5</sub>-S<sub>1</sub>, in bovengenoemd experiment tot ongeveer 600 kg zou verminderen, dus een vermindering van ongeveer 30 procent.

Men moet bij deze verbazingwekkend hoge waarden bedenken dat het bij dit experiment om een fysieke grenssituatie gaat: in een dergelijke houding 90 kg optillen is voor de meeste mensen geen alledaagse bezigheid. Bovendien zijn dit piekbelastingen. Het lichaam kan juist zulke piekbelastingen, mits binnen bepaalde grenzen, uitstekend verdragen, terwijl het minder goed tegen een - niet eens hoge - ononderbroken belasting bestand is. Daarbij komt nog, dat de genoemde waarden afhankelijk zijn van een aantal door de auteurs voor hun berekeningen gemaakte schattingen en veronderstelde uitgangspunten.

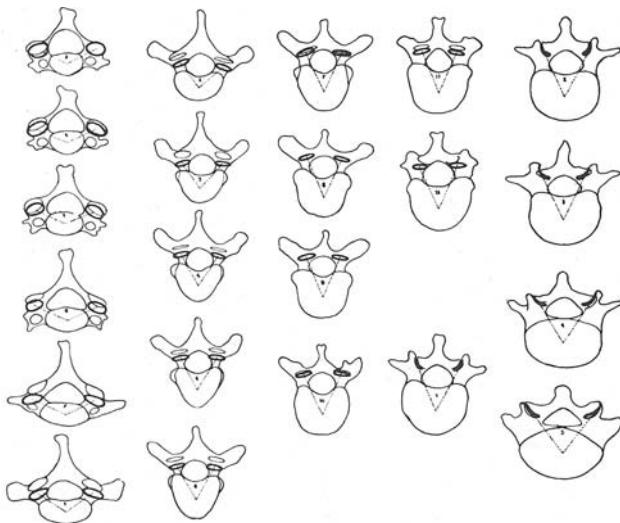
*Bartelink* heeft de discus intervertebralis in een postmortaal experiment op zijn belastbaarheid onderzocht, hij kwam tot een lagere maximale belastbaarheid. Hoe dit ook zij, ook door directe drukmetingen aan de nucleus pulposus is toch wel waarschijnlijk geworden dat deze waarden in elk geval hoog zullen zijn. Het lijkt overigens niet onmogelijk, dat de in dit voorbeeld aan de intra-abdominale druk toegeschreven ontlasting van de wervelkolom, in wezen nog groter is.

In het tijdens de experimenten geregistreerde elektromyogram kon niet worden gedifferentieerd tussen de *musculi obliqui* enerzijds en de *musculus transversus* anderzijds.

Functioneel bestaat evenwel een groot verschil tussen deze spieren, zoals ook *Bartelink* reeds heeft opgemerkt. De *musculi obliqui* kunnen de intra-abdominale druk slechts verhogen onder gelijktijdige tractie aan de thorax. Zij belasten dus tegelijkertijd de wervelkolom. De *musculus transversus* daarentegen zou de intra-abdominale druk kunnen verhogen met aanmerkelijk minder tractie op de thorax. Dit zou in overeenstemming kunnen zijn met de eigenlijk nogal geringe activiteit van de *musculi obliqui*, zoals deze door de auteurs tijdens het tillen werd geregistreerd, althans in vergelijking met de te registreren activiteit bij een willekeurig opgewekte maximale contractie van deze spieren.

Het behoeft overigens nauwelijks betoog, dat de *musculus rectus* met zijn longitudinale vezelbeloop weinig kan bijdragen aan een verhoging van de intra-abdominale druk. Contractie van de spier belast de wervelkolom door tractie aan de ribben en hiermede is in overeenstemming, dat de spier bij een willekeurig opgewekte buikpers slechts zeer geringe activiteit in het elektromyogram verradt. Ook *Morris*, *Lucas* en *Bresler* vonden bij hun ex-

*Figuur 6. Bovenaanzicht van een serie menselijke wervels (C<sub>3</sub>-L<sub>5</sub>).*



perimenten, dat de musculus rectus pas bij het tillen van grote lasten duidelijk merkbaar actief werd.

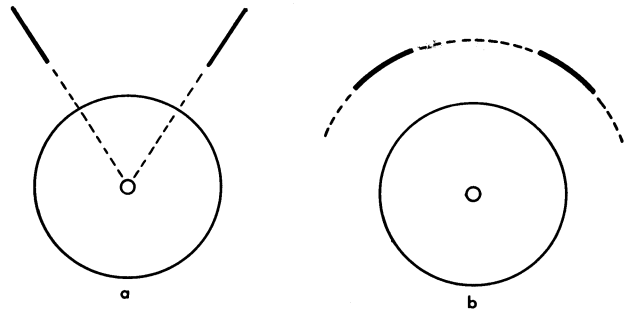
Zoals reeds werd opgemerkt, heeft men de in de tussenwervelschijf optredende druk zelfs rechtstreeks gemeten. *Nachemson en Morris* vermelden hierover een aantal interessante gegevens. De hoogste drukken werden geregistreerd bij zittende proefpersonen (ongeveer 92 tot 180 kg), daarop volgde in belasting het staan (ongeveer 85 tot 150 kg) en tenslotte registreerde men de laagste waarden tijdens het liggen. Gemiddeld lagen de waarden gemeten bij het staan 30 procent beneden die gemeten bij het zitten, terwijl liggen de waarden ten opzichte van zitten met gemiddeld 50 procent deed dalen. Een opblaasbaar corset om de romp deed de gemeten drukken met gemiddeld 25 procent verminderen, hetgeen de ontlasting van de wervelkolom door de ballonwerking van de intra-abdominale druk goed demonstreert. Hiermede in tegenpraak lijkt de door dezelfde onderzoekers vermelde waarneming, dat bij een aantal van hun proefpersonen de in de discus opgemeten druk hoger werd tijdens de proef van Valsalva.

Voor het merkwaardige verschil in de gemeten drukken bij zitten en staan kunnen een aantal mogelijkheden ter verklaring worden aangevoerd. Ten eerste kan bij het staan zonder veel inspanning een evenwichtssituatie voor de romp worden bereikt, waarbij de zwaartelij n door de (lumbale) wervelkolom valt, zodat de wervelkolom hoofdzakelijk door het lichaamsgewicht en weinig door spieren wordt belast. Elektromyografisch onderzoek, waarbij zeer weinig spieractiviteit werd gemeten, heeft dit betrekkelijk moeiteloze staan meer dan eens bevestigd. Bij het zitten daarentegen verdwijnt dikwijls de lordose uit de lumbale wervelkolom, vooral bij het voorover gebogen zitten op een kruk, zoals in de onderhavige proeven wellicht het geval was in verband met de noodzaak om een naald in de discus te steken teneinde de druk in de nucleus pulposus te kunnen registreren.

In deze zithouding komt de zwaartelij n vóór de wervelkolom te vallen en nu moet de musculus erector trunci de wervelkolom ten opzichte van het bekken in evenwicht houden. Dit heeft onvermijdelijk ten gevolge, dat de daartoe in de musculus erector trunci opgeroepen spanning nu óók de wervelkolom axiaal belast. Het is om deze reden jammer, dat de auteurs geen gegevens over de zithouding van hun proefpersonen hebben verstrekt, zodat zij in dit opzicht niet geheel aan een kritische evaluatie van hun experimenten zijn toegekomen. Voorts zal in het algemeen bij dit voorover gebogen zitten, waarbij van de buikspieren weinig activiteit wordt gevegd, ook nauwelijks sprake zijn van een ontlasting van de wervelkolom door een verhoogde intra-abdominale druk.

Bij zulke experimenten blijkt telkens weer dat onze kennis, juist van de meest elementaire factoren die het samenspel van discus, wervels en spieren bepalen, nog uiterst onvolledig is.

Figuur 7. Schema van het radiaire type gewrichtsvlak (a) en van het circulaire type (b).



Tenslotte nog enige opmerkingen over de bewegingsmogelijkheden van de wervelkolom: ook hierbij treft men met de viervoeters gemeenschappelijke aanpassingen aan. De buigzame wervelkolom laat in principe diverse bewegingen toe, maar deze blijken op een zeer bepaalde wijze over de wervelkolom te zijn verdeeld.

*Virchow* heeft reeds gewezen op het bestaan van twee typen gewrichtsvlakken voor de tussenwervelgewrichten. Elk type heeft ten aanzien van de bewegingsmogelijkheden zekere consequenties. Met het schema van *figuur 7* kan dit duidelijk worden gemaakt. De cirkels stellen schematisch de wervellichamen voor, de lijntjes markeren de stand van de gewrichtsvlakken. Links ziet men het zogenaamde radiaire type (*figuur 7a*) en rechts het zogenaamde circulaire type (*figuur 7b*). Alleen dit laatste type laat rotatie onbelemmerd toe, het radiaire type daarentegen maakt rotatie bijna onmogelijk.

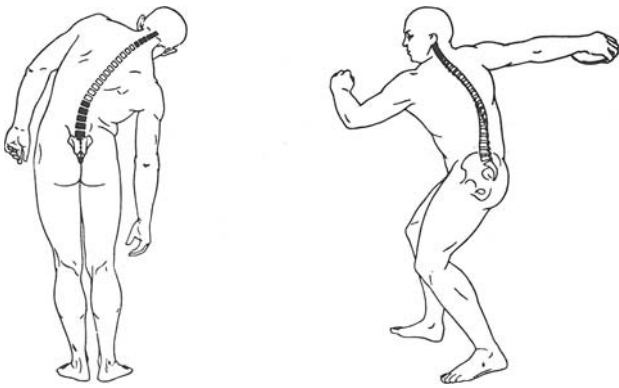
Nu blijken in het algemeen bij de gewervelden slechts de ribdragende wervels over circulaire vlakken te beschikken, terwijl men de radiaire vlakken veelal bij de ribloze wervels aantreft. Even merkwaardig is in dit verband het door *Virchow* bij zoogdieren opgemerkte feit, dat de zo karakteristieke musculi rotatores breves voornamelijk in het thoracale gebied, dus bij de wervels met circulaire vlakken voorkomen. Wat de menselijke wervelkolom betreft laat zich de standsverandering van de gewrichtsvlakken bij de thoracolumbale overgang fraai uit *figuur 6* aflezen.

In de *figuren 8 en 10* worden de bewegingsmogelijkheden van de menselijke wervelkolom schematisch weergegeven. Voor het lumbale gebied kunnen deze als volgt worden samengevat.

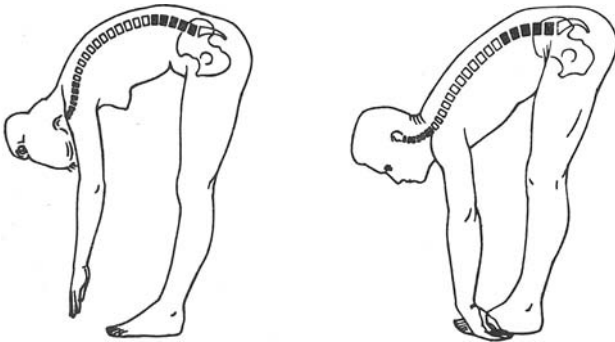
- Matige zijdelingse buiging en praktisch geen rotatie (*figuur 8*).
- Geringe buiging voorover, dat wil zeggen een nauwelijks aangeduide kyfose als maximale stand (*figuur 9*).
- Een flinke buiging achterover, dat wil zeggen een aanzienlijke versterking van de lordose als maximale stand (*figuur 10*).

Opvallend is, dat de bewegingen in de gehele wervelkolom sterk eenzijdig zijn gericht en wel in die zin, dat de „fysiologische krommingen” welis-

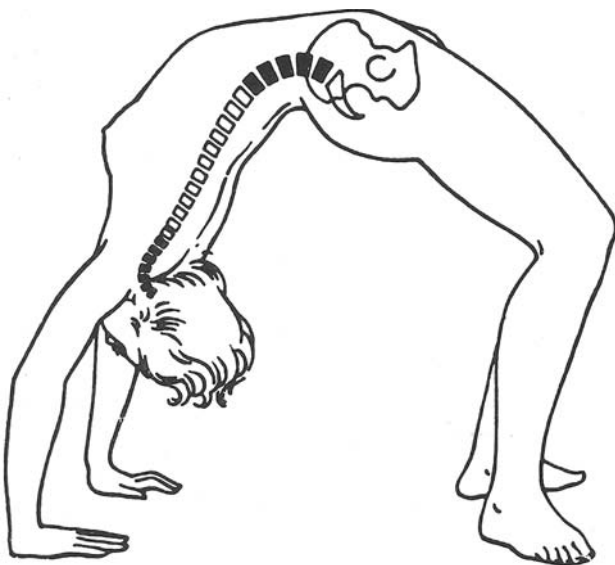
*Figuur 8. Bewegingsmogelijkheden van de wervelkolom. Uit: A. H. M. Lohmann. Vorm en beweging. Oosthoek, Utrecht, 1967.*



*Figuur 9. Bewegingsmogelijkheden van de wervelkolom. Uit: A. H. M. Lohmann. Vorm en beweging. Oosthoek, Utrecht, 1967.*



*Figuur 10. Bewegingsmogelijkheden van de wervelkolom. Uit: A. H. M. Lohmann. Vorm en beweging. Oosthoek, Utrecht, 1967.*



waar kunnen worden geaccentueerd, maar niet in hun tegendeel kunnen overgaan. Dit is overigens een verschijnsel, dat merkwaardigerwijs ten opzichte van bepaalde uitgangsposities van bijna alle gewrichten geldt.

Bleken de buikspieren reeds bij de stabilisatie van de wervelkolom een belangrijke rol te kunnen spelen, het behoeft nauwelijks betoog, dat zij bij de bewegingen van de wervelkolom niet minder belangrijk zijn. Men mag bij deze bewegingen derhalve niet alleen maar denken aan de musculus erector trunci. Het grote aantal spieren met scheve vezelrichting wijst bovendien erop hoe groot het aandeel van de draaiende bewegingen, al of niet gecombineerd met zijdelingse bewegingen, in het totale bewegingsspel van de romp is. Zulke spiersystemen met schief vezelbeloop, bestaande uit verschillende spieren, zetten zich als ware sjerpen over de romp voort tot in de extremiteiten en de hals. Daarbij kunnen zij deel uitmaken van verschillende lagen - oppervlakkige of diepe - en van verschillende topografische gebieden.

Benninghoff heeft in zijn leerboek enkele suggestieve afbeeldingen van dergelijke systemen gegeven. Men kan dit systeem bijvoorbeeld volgen vanuit de muscoli rhomboidei aan één zijde, langs de musculus serratus anterior en de musculus obliquus abdominis externus terzelfder zijde tot in de musculus obliquus abdominis internus van de andere zijde, of vanuit de musculus pectoralis major aan één zijde via de musculus obliquus abdominis internus van de andere zijde tot in de abductoren (musculus gluteus medius) aan die zijde.

Zo zijn wij weer teruggekomen bij ons uitgangspunt, dat voor een beschouwing van de lumbale wervelkolom steeds de functie van de gehele wervelkolom richtinggevend moet zijn, terwijl ook de wervelkolom zelf moet worden bezien in de totaliteit van de romp. Elke functionele analyse, maar ook elk klinisch onderzoek en elke therapeutische benadering wordt met deze totaliteit geconfronteerd. Hiermede dient dus rekening te worden gehouden.

Dit uitgangspunt, gesteld aan het begin van deze beschouwingen, wekte toen wellicht de indruk van het intrappen van een open deur, hopenlijk heeft het thans aan inhoud en betekenis gewonnen.

- Bartelink, D. L. (1957) J. Bone Jt Surg. 39B, 718-725.
- Benninghoff, A. Lehrbuch der Anatomie. Band I. Lehmanns, München/Berlin, 1939.
- Kummer, B. Bauprinzipien des Säugerskeletes. Thieme, Stuttgart, 1959.
- Morris, J. M., D. B. Lucas en B. Bresler (1961) J. Bone Jt Surg. 43A, 327-351.
- Nachemson, A. en J. M. Morris (1964) J. Bone Jt Surg. 46A, 1077-1092.
- Schlüter, K. Form und Struktur des normalen und des pathologisch veränderten Wirbels. Hippokrates, Stuttgart, 1965.
- Slijper, E. J. (1946) Verh. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Afd. Nat. Tweede sectie. Dl. 42; 5, 1-128.
- Virchow, H. (1914) Anat. Anz. 46, 129-137 (Ergänzungsheft).