

Conventional roentgenograms of the cervical spine in anteflexion and retroflexion : a new method to optimize their clinical significance

Citation for published version (APA):

Majoie, H. J. M. (1998). *Conventional roentgenograms of the cervical spine in anteflexion and retroflexion : a new method to optimize their clinical significance*. Universiteit Maastricht.

Document status and date:

Published: 01/01/1998

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Chapter 10.

Summary

Neck pain, with or without neurological signs of spinal cord or nerve root compression is very common: about 30% of the population suffers from pain in the neck on at least one occasion during their working life. Imaging studies aim to depict the cause of the complaints, but quite often fail to do so. Frequently, morphological changes are found that may also be present in individuals without complaints and sometimes no abnormalities are found at all. These studies are almost exclusively focussed on qualitative information. The present study focusses on the quantitative information provided by so-called function x-rays of the cervical spine: lateral x-rays made in maximal anteflexion and in maximal retroflexion.

A computer-assisted measuring technique is developed to analyse kinematically the function x-rays of a group of healthy individuals ($n=112$) and of three groups of patients: one group suffering from cervical myelopathy ($n=25$) and two groups suffering from a herniated cervical disc at level C_5-C_6 ($n=28$), and at level C_6-C_7 , respectively ($n=48$).

The present study focusses on two issues:

- are kinematic studies of the cervical spine clinically relevant
- do kinematic studies of the cervical spine have clinical significance for the individual patient

Chapter 2 elucidates some anatomical aspects of the cervical spine, which are considered relevant for the present study.

Chapter 3 discusses the results of imaging techniques commonly used for the diagnosis of patients with cervicobrachialgia.

Myelography and/or CT-myelography provide the best diagnostic information on patients with radiculopathy, but these procedures are invasive. MR imaging is a non-invasive alternative, but it often demonstrates the inability to make a distinction between a soft disc and a bony spur as the cause of nerve root compression. In these cases additional plain x-rays or CT are useful.

Plain x-rays predict the onset of spinal cord compression in cervical myelopathy when the AP diameter of the spinal canal is less than 12.5 mm. When the cross-sectional area of the spinal cord is reduced by 30% or more, or when the cross-sectional area of the spinal cord is 60 mm^2 or less on MR or CT-myelography, long tract signs will start to develop. Intramedullary areas with increased signal intensities on T_2 -weighted MR images indicate the region of maximal cord compression.

Despite sophisticated CT and MR imaging techniques, which are mainly morphologically oriented, the cause of cervicobrachialgia remains unexplained in about 10-20% of the patients.

The kinematic behaviour of the cervical spine has been extensively studied in order to gather additional information. A review of these studies is presented in chapter 4. The benefits for the individual patient, however, are still scant if present at all. Therefore, function x-rays of the cervical spine are not used as a routine for diagnostic purposes. One reason why kinematic studies have not resulted in the development of diagnostic tools with clinical significance for individual patients might be that the attention is almost exclusively focussed on the properties of single segments of motion, disregarding the fact that the spine behaves as an integrated chain of motion segments and as a complete structure. Another reason might be found in the large variances of observations, which are mainly physiological.

The present study puts emphasis on the quantitative data obtained from function x-rays of the cervical spine. On both the anteflexion and retroflexion x-ray film, 43 predefined landmarks are identified and marked with a pencil. These markings serve to calculate the values of a large number of kinematic variables. A specific software programme was written to enable the present kinematic analyses.

Motion can be analysed in two different ways: the Cartesian method and the R-centre method.

The Cartesian method describes displacements in an x-, y-, z- coordinate system as rotations about and/or linear displacements along these axes. The R-centre method describes any displacement of a rigid body in one plane, though actually resulting from combined rotations and linear displacements, as if it results from pure rotation only about one axis perpendicular to that plane.

Acknowledging the concept of the cervical spine as a complete and integrated structure, a number of derived kinematic variables which pay tribute to this notion are defined ($n=39$).

The concept of the R-zero line is introduced. This line describes the kinematic mid-position of the cervical spine between anteflexion and retroflexion, representing the situation in which the cervical spine as a whole has consumed half the amount of rotations and linear displacements required to carry out the anteflexion-retroflexion manoeuvre. The other derived variables are divided into sum-variables and ratio-variables. The sum-variables refer to summation of variables (summation of all segments of one variable or summation in clusters of several segments of that

variable). The ratio-variables refer to the ratio of segmental translation and segmental rotation, respectively, and to the ratio of segmental rotation and sumrotation. In all, 77 basic variables and 39 derived variables are defined. The influence of age and gender is also taken into account.

An observer variability study has been carried out to evaluate the accuracy of the measurements and to identify different types of error (Chapter 6).

Kinematic studies of the spine are commonly evaluated with techniques of univariate analysis, meaning that the attention is focussed on the effect of one single variable on the mean values of different study groups. Differences between the patient groups with respect to age and gender and the effect of age and gender on the values of observations of the defined variables are analysed. Differences between the study groups with respect to the values of observations of the respective variables are analysed too. The correlations between the values of observations of the respective kinematic variables are calculated.

The logistic regression procedure, a technique of multivariate analysis, enables us to select a limited number of variables containing (nearly) all diagnostic information present in the study groups. The values of the selected variables allow one to calculate the diagnostic probability of a particular outcome being true or false. This dichotomy true versus false, can also be read as healthy versus patient or as myelopathy versus herniated disc etc. The values of each continuous variable are recoded and assigned to one of three equally sized categories or tertiles: low, median or high values. Next, the logistic regression coefficient is calculated for each tertile. Using the logistic regression procedure in order to select variables with diagnostic significance poses two particular problems. The first problem has to do with the possible collinearity between several variables within the data set. To handle this problem an arbitrarily chosen threshold for the odds ratios is introduced: when the value of 10 is exceeded, the selection procedure stops. The second problem can be described as data dredging. One might put all measured values of all variables of C_0 down to C_7 through the logistic regression procedure in one go. If one does this, the output might be the result of pure chance. To minimise this risk, we examine the data systematically, practising eight different strategies. The results of all strategies are evaluated with respect to the discriminating performance of the selected subsets of variables. The strategy, which performed best, is finally selected.

The observed values of the selected subset of variables serve to calculate the diagnostic probability for an individual with respect to one of two diagnosis groups. The quality of this probabilistic diagnosis is presented by the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve.

The diagnostic probability is a priori 47%. At a probability level of 50%, 84% of the allocations to one of the study groups is correct. At a probability level of 70%, 85% of all allocations are correct. And at a diagnostic probability level of 90% still 70% of the allocations are correct. It is also demonstrated that increasing values of the calculated diagnostic probabilities are accompanied by higher positive diagnostic values meaning that the number of correct allocations to the 'non-reference' group increases.

All patient groups are characterised by a decrease in mobility of the cervical spine. They are furthermore inclined to an anteflexion posture and a decrease of cervical lordosis.

An unequal distribution of the R-Centres-C₇ is found along the R-Zero line, which is no longer straight. This means that the respective motion segments do not contribute equally to motions of the cervical spine, and also that these motion segments are not identically orientated with respect to C₇ in these groups.

All groups demonstrate that the cervical spine behaves as an integrated structure: structural changes at one level affect the kinematic behaviour of the other motion segments. A kinematic analysis of function x-rays of the cervical spine should, therefore, take into account all motion segments.

Finally, the results of the split-sample method demonstrate that the quality of calculated probabilistic diagnoses of future subjects will be about the same as presented in this study, provided that the mixture of patient populations and methods of investigation remain the same.

Samenvatting

Pijn in de nek, al dan niet met tekenen van ruggemerg- of wortelcompressie is een veel voorkomende klacht. Gemiddeld 1 op de 3 mensen heeft gedurende zijn of haar arbeidsverleden wel eens last gehad van dit soort neklachten. Beeldvormende technieken leveren een belangrijke bijdrage aan de klinische diagnostiek omdat hiermee zicht verkregen kan worden op de oorzaak van de klachten.

Diagnostische procedures zijn echter niet altijd bevredigend. De oorzaak kan gelegen zijn in het feit dat de verkregen beelden met name kwalitatief beoordeeld worden en nauwelijks kwantitatief.

In deze studie wordt een meetmethode geïntroduceerd waarmee sagittale anteflexie- en retroflexie opnamen kwantitatief worden geanalyseerd. Deze opnamen zijn gemaakt van een controle groep (n=112) en van drie patiëntengroepen (n=101): van patiënten met een cervicale myelopathy (n=25), van patiënten met een HNP op het niveau C₅-C₆ (n=28) en van een groep patiënten met een HNP op het niveau C₆-C₇ (n=48).

Centraal in deze studie staan de volgende vragen:

- hebben kinematische studies van de halswervelkolom klinische betekenis
- hebben kinematische studies van de halswervelkolom diagnostische betekenis voor de individuele patiënt

De anatomische aspecten die voor deze studie relevant worden geacht zijn beschreven in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 worden de beeldvormende technieken beschreven die bij patiënten met cervico-brachialgie gangbaar zijn.

Bij patiënten met radiculopathie wordt myelografie al dan niet gecombineerd met CT onderzoek beschouwd als onderzoeks-modaliteit van eerste keuze. Dit onderzoek is echter invasief. MRI is een niet-invasief alternatief. Echter, met MRI is het onderscheid tussen een benige of weke delen compressie moeilijk te maken. In die gevallen kan CT aanvullende informatie geven.

Cervicale myelopathie door compressie van het myelum wordt waarschijnlijk wanneer de AP diameter van het cervicale kanaal op de gewone overzichtsfoto kleiner is dan 12,5 mm. Lange baan verschijnselen ontstaan wanneer de oppervlakte van het myelum op dwars doorsnede weergegeven met CT-myelografie of MRI- afneemt met 30% of meer, of wanneer

dit oppervlak minder dan 60 mm^2 bedraagt. Ter plaatse van de medullaire compressie kunnen intramedullaire gebieden ontstaan met verhoogde signaal intensiteit op de T_2 gewogen MRI opname.

Ondanks deze moderne veelal morfologisch georiënteerde technieken kan in 10-20% van de patiënten met een cervicobrachialgie geen oorzaak van de klachten worden aangetoond.

Functiefoto's van de halswervelkolom kunnen de besproken statische beelden aanvullen. Het kinematisch gedrag van de halswervelkolom is uitgebreid bestudeerd (hoofdstuk 4). Ondanks de grote hoeveelheid data die deze studies hebben opgeleverd zijn de consequenties voor de individuele patiënt gering gebleven en spelen functiefoto's dus geen rol van betekenis in de klinische diagnostiek. Een van de redenen zou kunnen zijn dat kinematische studies zich doorgaans richten op het gedrag van afzonderlijke bewegingssegmenten. Hiermee gaat men voorbij aan het feit dat de wervelkolom zich gedraagt als één geheel van geïntegreerde bewegingssegmenten. Een andere oorzaak ligt mogelijk in de grote natuurlijke variatie van kinematische grootheden en in de onnauwkeurigheid van de metingen.

De huidige studie legt de nadruk op de kwantitatieve informatie die verkregen kan worden door functiefoto's van de halswervelkolom kinematisch te analyseren met behulp van gecomputeriseerde methode. Op zowel de ante- als op de retroflexiefoto's worden 43 herkenningpunten volgens protocol gemarkeerd. Aan de hand van deze markeringen worden de waarden van een groot aantal variabelen bepaald. Het inlezen van de markeringen en het berekenen van de variabelen gebeurt met behulp van een computer die is voorzien van specifiek ontwikkelde software.

In hoofdstuk 5 worden een aantal afgeleide variabelen gedefinieerd. Deze variabelen berusten op het inzicht dat de cervicale wervelkolom beweegt als een geïntegreerd geheel dat is samengesteld uit afzonderlijke bewegingssegmenten. Er zijn twee methoden om standveranderingen van een voorwerp in de ruimte vast te leggen: de zgn. Cartesiaanse methode en de zgn. R-centrum methode. Met de Cartesiaanse methode worden standveranderingen vastgelegd in een x-, y-, en z- coördinatenstelsel als rotaties rond deze assen al dan niet gecombineerd met lineaire verplaatsingen langs die assen. Met de R-centrum methode worden verplaatsingen beschreven van een lichaam in een vlak alsof deze verplaatsingen uitsluitend het gevolg zijn van rotaties rond één punt, het R-centrum. De R-centrum methode maakt het mogelijk een zogenaamde R-nullijn te construeren. Deze lijn weerspiegelt de middenpositie van de halswervelkolom tussen anteflexie en retroflexie in. In die positie is de helft van alle rotaties en de helft van alle lineaire verplaatsingen uitgevoerd die nodig zijn om van anteflexie naar retroflexie te bewegen of vice versa. Andere afgeleide variabelen geven de som

weer van een basale variabele met betrekking tot verschillende bewegingssegmenten te samen of geven de verhouding weer tussen lineaire verplaatsing en rotatie op segmentaal niveau respectievelijk de verhouding tussen segmentale rotatie en somrotaties. In totaal worden 77 basale variabelen en 39 afgeleide variabelen gedefinieerd. Ook wordt gekeken naar de invloed van leeftijd en geslacht.

Om een indruk te krijgen over de reproduceerbaarheid van de meetresultaten is een zogenaamde 'observer variance' studie uitgevoerd (hoofdstuk 6).

In kinematische studies is het gebruikelijk om univariante analyses uit te voeren. Verschillen tussen de patiënten groepen met betrekking tot leeftijd en geslacht, en de invloed van leeftijd en geslacht op de verschillende variabelen is geanalyseerd. Verder is nagegaan in hoeverre verschillen bestaan in waarden van afzonderlijke variabelen tussen de patiëntengroepen. Ook is de samenhang tussen de afzonderlijke variabelen bestudeerd door de correlatie-coëfficiënten te berekenen.

Behalve deze univariate analyses zijn ook multivariate analyses uitgevoerd, en wel met de statistische techniek van logistische regressie. Met deze techniek kan een selecte groep van variabelen worden geïdentificeerd die – als groep – nagenoeg alle diagnostische informatie bevat die aanwezig is in de studiegroepen. Met behulp van die geselecteerde variabelen wordt vervolgens een z.g. regressie-vergelijking opgesteld. Deze regressie-vergelijking dient om de kans te berekenen of een bepaalde uitkomst waar is of niet waar (behoort een individu tot de controlegroep of tot de patiëntengroep, tot de patiënten met het klinisch beeld van cervicale myelopathie of hernia, tot patiënten met een HNP C₅-C₆ of met een HNP C₆-C₇). Bij de uitvoer van deze procedure moet rekening gehouden worden met de invloed van extreem hoge of extreem lage meetwaarden van de variabelen (uitbijters), met mogelijke collineariteit tussen de verschillende variabelen, en met missers die kunnen optreden wanneer grote hoeveelheid variabelen tegelijk wordt geanalyseerd ('data dredging'). De meetwaarden van de variabelen worden daarom gerecodeerd in drie min of meer gelijke groepen van hoge, gemiddelde, en lage waarden. Verder wordt de procedure van selectie van variabelen afgebroken wanneer de bijbehorende odds ratios onbetrouwbaar hoog (of laag) worden (arbitrair gekozen grenswaarde van de odds ratio=10). De logistische regressie methode wordt stapsgewijs uitgevoerd. Variabelen worden allereerst op grond van een bepaalde strategie gegroepeerd: in totaal zijn acht strategieën gedefinieerd en dus acht groepen van variabelen samengesteld. Deze acht groepen, of clusters, van variabelen worden afzonderlijk geanalyseerd. Vervolgens worden de variabelen die uit deze clusters worden geselecteerd samengevoegd en aan een

eindanalyse onderworpen. Met de regressie-coëfficiënten van de variabelen die in deze laatste analyse worden geselecteerd wordt een regressie-vergelijking ofwel 'probabilistic diagnosis rule' opgesteld. Met deze 'probabilistic diagnosis rule' worden voor ieder individu de kansen berekend te behoren bij de verschillende diagnose-categoriën: hij wordt uiteindelijk toegewezen aan de diagnose-categorie waarvoor de hoogste kans is berekend. De diagnostische waarde wordt tevens uitgedrukt in de sensitiviteit, specificiteit en diagnostische waarde van een dergelijke berekende kans, en wordt grafisch weergegeven in zogenaamde ROC curven. Ook wordt nader ingegaan op de karakteristieken van de verschillende diagnose-groepen aan de hand van de meetwaarden van de uiteindelijk geselecteerde variabelen.

De kans om aan de correcte patiënten-groep toegewezen te worden is a-priori 47%. Bij een berekende kans van 50% blijkt 84% van de individuen correct toegewezen. Bij een berekende kans van 70% zijn 85% van de toewijzingen correct en bij een berekende kans van 90% zijn nog steeds 70% van alle toewijzingen juist. Tevens blijkt dat de positieve diagnostische waarde direct samenhangt met de grootte van de berekende kans op een bepaalde diagnose: deze stijgt wanneer de kans groter is, en neemt af bij kleinere kans.

De bestudeerde onderzoeksgroepen laten een karakteristiek kinematisch patroon zien. Bij gezonde individuen liggen de R-centra- C_7 van C_6 tot en met C_3 op gelijke afstand van elkaar. De afstanden tussen de R-centra- C_7 van C_3 tot en met C_0 zijn eveneens aan elkaar gelijk maar zijn iets groter dan de afstanden tussen de R-centra van C_6 tot en met C_3 . Dit betekent dat de betreffende bewegingssegmenten gelijkelijk bijdragen aan bewegingen van de halswervelkolom. De lijn die de R-centra- C_7 verbindt wordt de R-nullijn genoemd. Bij gezonde individuen is de R-nullijn recht waaruit volgt dat de opeenvolgende bewegingssegmenten identiek georiënteerd zijn ten opzichte van C_7 . Alle patiënten-groepen tonen een verminderde mobiliteit waarbij de halswervelkolom neigt naar anteflexie en de cervicale lordose afneemt. De R-nullijn is niet meer recht en de R-centra- C_7 zijn op ongelijke afstand van elkaar gelokaliseerd op deze lijn.

De halswervelkolom gedraagt zich in de vier onderzoeksgroepen als één geïntegreerd geheel: structurele veranderingen op één niveau beïnvloeden het kinematisch gedrag van de andere niveaus. Wanneer functiefoto's van de halswervelkolom dan ook worden gebruikt voor diagnostische doeleinden is het noodzakelijk om alle bewegingssegmenten kinematisch te analyseren.

De resultaten van de 'split sample' analyse tenslotte, tonen aan dat de resultaten van de huidige studie reproduceerbaar zijn.