

**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Σχολή Μηχανικών  
Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής**

**Έκθεση Προόδου 3<sup>ου</sup> Έτους (11/2020 – 11/2021) Υποψήφιου Διδάκτορα**

**ΛΙΑΣΚΟΣ ΜΕΛΕΤΙΟΣ  
Αριθμό Μητρώου: ΔΜΒ. 1803**

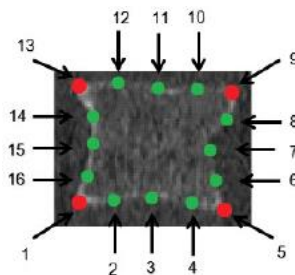
**Τίτλος: Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνων Ορθοπεδικού Ενδιαφέροντος**

Επιβλέπων: Ασβεστάς Παντελεήμων

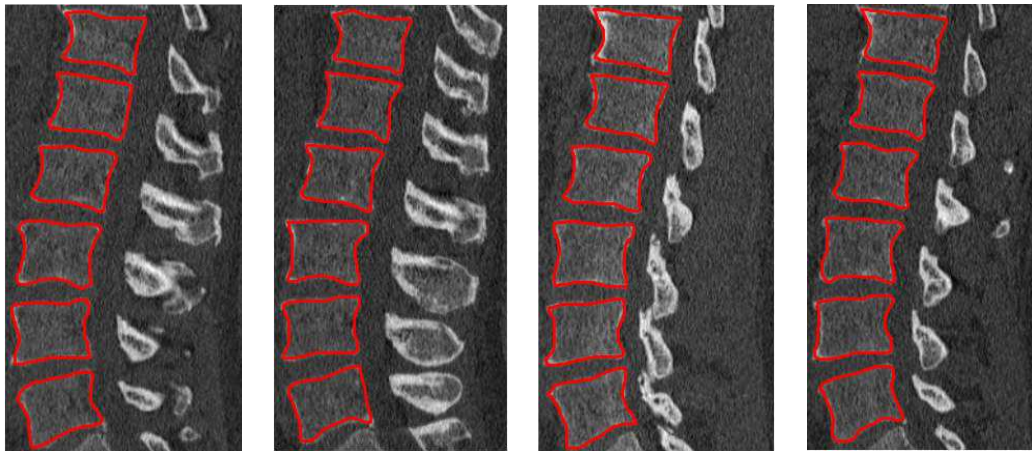
Μέλη Συμβουλευτικής επιτροπής: Ασβεστάς Παντελεήμων, Κωστόπουλος Σπυρίδων, Ματσόπουλος  
Γεώργιος

Κατά τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> (11/2020 – 11/2021) πραγματοποιήθηκε η παρακάτω εργασία, όπου και δημοσιεύτηκε σε περιοδικό. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την εξαγωγή των περιγραμμάτων σπονδύλων, μεσοσπονδύλιου δίσκου (ΜΔ) και του καναλιού των νεύρων (ΚΝ) από εικόνες σπονδυλικής στήλης οσφυϊκής μοίρας. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι από αξονική τομογραφία (CT) και μαγνητική τομογραφία (MRI). Χρησιμοποιήθηκαν οι σπόνδυλοι από τις εικόνες CT για την εκπαίδευση active shape model (ASM) και οι εικόνες από MR για την εύρεση των περιγραμμάτων του ΜΔ και του ΚΝ. Με αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιείται ένα σύνολο εικόνων CT για τη δημιουργία του μοντέλου, το οποίο στη συνέχεια εφαρμόζεται σε πολλές διαφορετικές εικόνες MR.

Η ανάπτυξη του ASM στην εικόνα CT γίνεται επιλέγοντας αρχικά χειροκίνητα σημεία στην περιφέρεια του σπονδύλου. Σε κάθε σπόνδυλο επιλέγονται 4 κύρια σημεία στις γωνίες του και άλλα 12 σημεία στο σώμα του (Εικόνα 1). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία αρχική τοποθέτηση των περιγραμμάτων σπονδύλων στην εικόνα CT (Εικόνα 2).

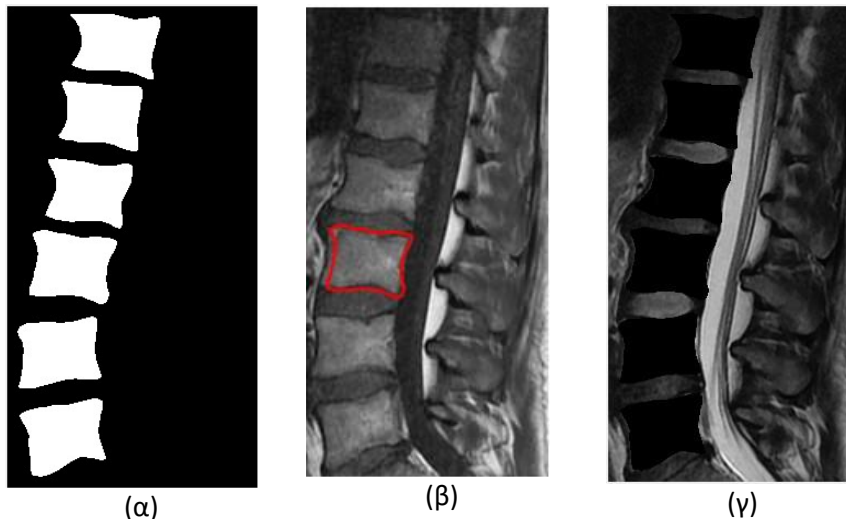


Εικόνα 1. Επιλογή σημείων για τη δημιουργία περιγράμματος σπονδύλου.



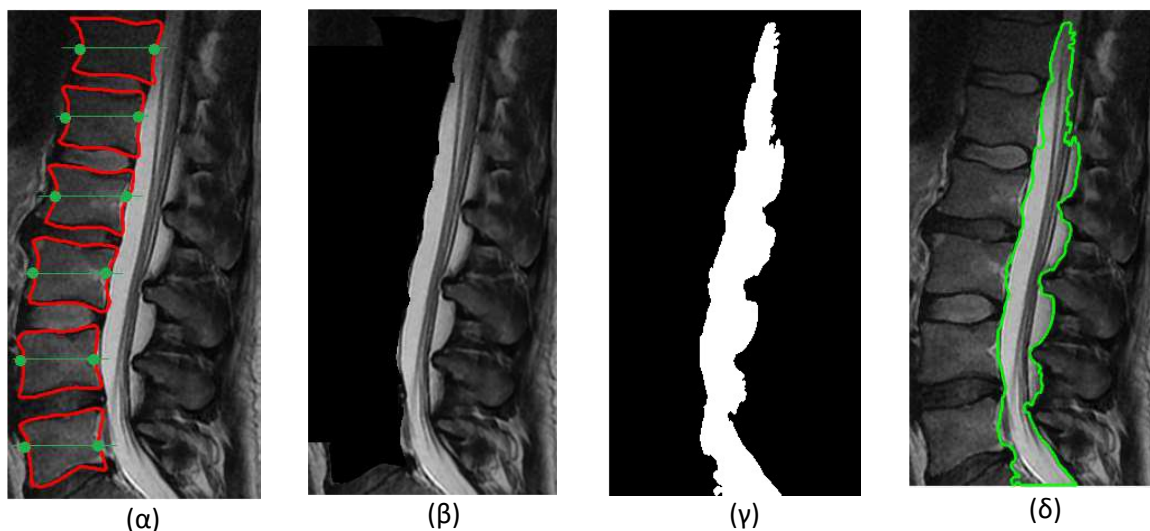
Εικόνα 2. Παραδείγματα χειροκίνητου σχεδιασμού των περιγραμμάτων σπονδύλων σε εικόνες CT για την εκπαίδευση του ASM.

Με βάση αυτά τα περιγράμματα, αναπτύσσεται το ASM που δίνει τις τελικές θέσεις των περιγραμμάτων και κατ' επέκταση των σπονδύλων στην εικόνα CT (Εικόνα 3(α)). Τα περιγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του ASM μοντέλου που δίνει τα περιγράμματα των σπονδύλων στην T1 εικόνα MRI (Εικόνα 3(β)). Οι σπόνδυλοι από την T1 εικόνα MR προβάλλονται στην T2 εικόνα MR (Εικόνα 3(γ)).



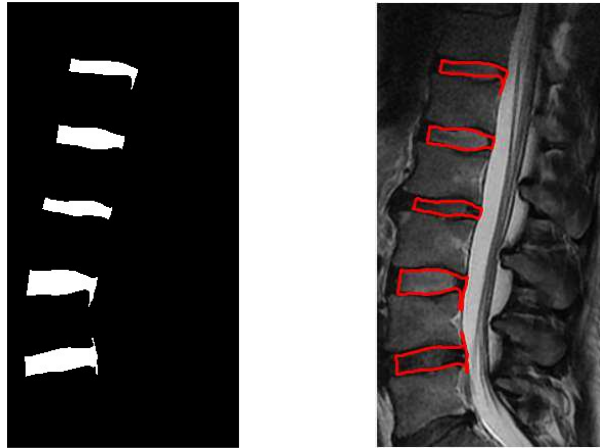
Εικόνα 3. (α) Σπόνδυλοι από την εικόνα CT. (β) Παράδειγμα εφαρμογής ASM για την ανίχνευση περιγράμματος σπονδύλου σε T1 εικόνα MR. (γ) Προβολή σπονδύλου (μαύρο χρώμα) από την T1 εικόνα στην T2 εικόνα.

Στη συνέχεια, βρίσκεται το περίγραμμα από το KN. Ξεκινώντας από τα κέντρα των σπονδύλων, ορίζονται οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα, καθένα από τα οποία ορίζει δύο σημεία αναφοράς, στην αριστερή και τη δεξιά πλευρά κάθε σπονδύλου (Εικόνα 4(α)). Τα σημεία αναφοράς στη δεξιά πλευρά κάθε σπονδύλου παρεμβάλλονται, δημιουργώντας μια λωρίδα. Η περιοχή στα αριστερά αυτής της λωρίδας απορρίπτεται (Εικόνα 4(β)) και εκτελείται κατωφλίωση Otsu [1] με τρία επίπεδα γκρι στο υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, προκειμένου να εξαχθεί το όριο του KN. Τα δύο επίπεδα γκρι αντιστοιχίζονται στο φόντο (μαύρο) και το τρίτο επίπεδο γκρι εκχωρείται στο KN (Εικόνα 4(γ)). Τα εξαγόμενα όρια KN απεικονίζονται στην Εικόνα 4(δ).



Εικόνα 4. Εξαγωγή περιγράμματος KN. (α) προβαλλόμενοι σπόνδυλοι, τμήματα οριζόντιων γραμμών (πράσινες γραμμές) και σημεία αναφοράς (πράσινοι κύκλοι), (β) σημεία αναφοράς παρεμβάλλονται γραμμικά και η αριστερή περιοχή απορρίπτεται, (γ) το αποτέλεσμα της κατωφλίωσης Otsu, (δ) εξαγόμενο περίγραμμα (πράσινο χρώμα).

Τέλος απομονώνουμε το ΜΔ στην εικόνα T2, αφαιρώντας όλες τις προηγούμενες ανατομικές δομές που έχουν βρεθεί (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Εύρεση ΜΔ, με κόκκινο απεικονίζεται το περίγραμμά του.

Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε σε δύο σύνολα δεδομένων: (1) ένα σύνολο δεδομένων που έχει χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενη εργασία της ομάδας μας [2] και θα αναφέρεται ως DS1. Το DS1 αποτελείται από 7 ζεύγη εικόνων CT και MR με 98 εικόνες. Το μέγεθος των εικονοστοιχείων και το πάχος της τομής ήταν μεταξύ 0,33–0,37 mm και 1,5–3 mm για CT και 0,47–0,55 mm και 3–4 mm για MRI, αντίστοιχα. Αυτό το σύνολο δεδομένων είναι δημόσια διαθέσιμο (<http://spineweb.digitalimaginggroup.ca>), (2) ένα σύνολο δεδομένων που θα αναφέρεται ως DS2 και αποτελείται από εικόνες MR από 9 άτομα με συνολικά 35 τομές. Τα μεγέθη εικονοστοιχείων ήταν σε εύρος 0,46-0,87 mm και το πάχος τομής είναι 4 mm. Οι εικόνες και των δύο συνόλων δεδομένων ελήφθησαν για κλινικούς σκοπούς. Αντίστοιχα, αυτές οι εικόνες απεικονίζουν παραδείγματα σχετικών παθολογιών, όπως ο εκφυλισμένος δίσκος, η δισκοκήλη και η στένωση του σπονδυλικού σωλήνα. Δύο μετρικές (Συντελεστής Dice **Error! Reference source not found.** και απόσταση Hausdorff [3]) χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της απόδοσης της μεθόδου σε σχέση με τη χειροκίνητη τμηματοποίηση από ειδικό ιατρό

Συγκρίσεις με μεθόδους τμηματοποίησης CT και MRI οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η προτεινόμενη μέθοδος παρέχει μια αξιόπιστη εναλλακτική λύση για την εξαγωγή ορίων σπονδύλων, ΜΔ και ΚΝ (Πίνακας 1, 2, 3). Στις εικόνες 7, 8, 9 παρουσιάζονται αποτελέσματα της μεθοδολογίας από διαφορετικούς ασθενείς.

Πίνακας 1. Σύγκριση τμηματοποίησης των σπονδύλων από εικόνες CT.

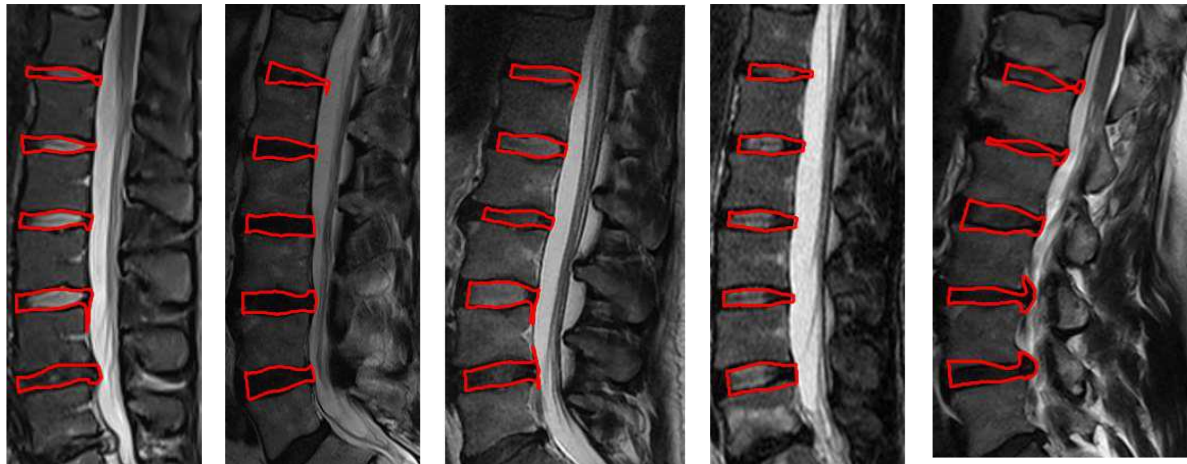
Μέθοδος	Μέση τιμή συντελεστή Dice (%) $\pm$ TA	Μέση τιμή απόστασης Hausdorff (mm) $\pm$ TA
Hille et al. [5]	86.0 $\pm$ 3.9	6.9 $\pm$ 1.1
Zukic et al. [6]	79.3 $\pm$ 5.0	9.9 $\pm$ 2.6
Liaskos et al. [2] (DS1)	94.8 $\pm$ 1.8	4.4 $\pm$ 1.6
Proposed (DS1)	93.9 $\pm$ 2.7	5.1 $\pm$ 1.9
Proposed (DS2)	94.2 $\pm$ 2.5	4.8 $\pm$ 1.8
MRI-trained variant (DS2)	86.5 $\pm$ 4.2	6.4 $\pm$ 2.5

Πίνακας 2. Σύγκριση τμηματοποίησης του ΜΔ από εικόνες T2.

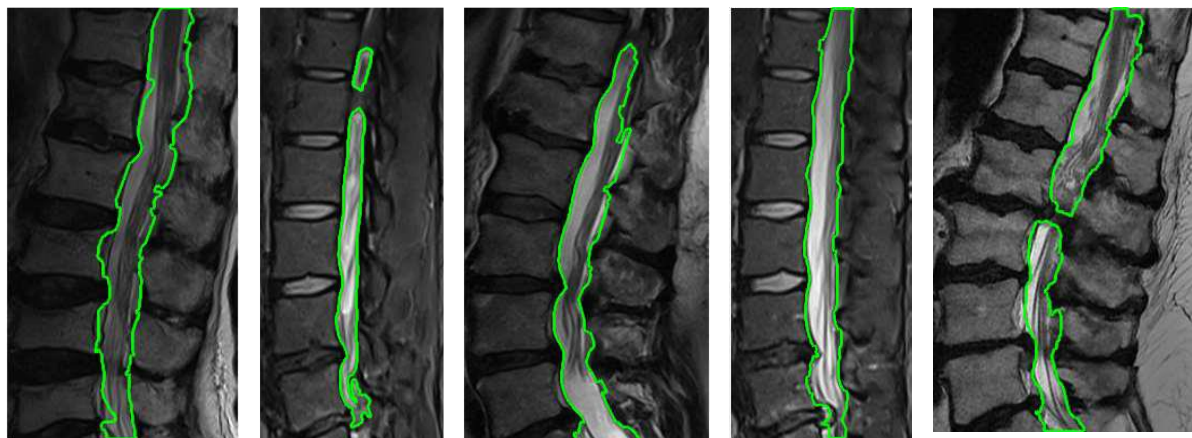
Μέθοδος	Μέση τιμή συντελεστή Dice (%) $\pm$ TA	Μέση τιμή απόστασης Hausdorff (mm) $\pm$ TA
Wang and Forsberg [8]	90.0 $\pm$ 2.6	4.7 $\pm$ 0.9
Chen et al. [9]	88.4 $\pm$ 3.7	4.7 $\pm$ 1.4
Korez et al. [10]	91.5 $\pm$ 2.3	4.4 $\pm$ 0.7
Liaskos et al. [2] (DS1)	86.3 $\pm$ 2.1	4.5 $\pm$ 0.8
Proposed (DS1)	85.9 $\pm$ 0.1	3.7 $\pm$ 0.1
Proposed (DS2)	84.4 $\pm$ 0.2	4.5 $\pm$ 0.1
MRI-trained variant (DS2)	78.4 $\pm$ 1.9	5.9 $\pm$ 1.6

**Πίνακας 3.** Σύγκριση τμηματοποίησης του ΚΝ από εικόνες T2.

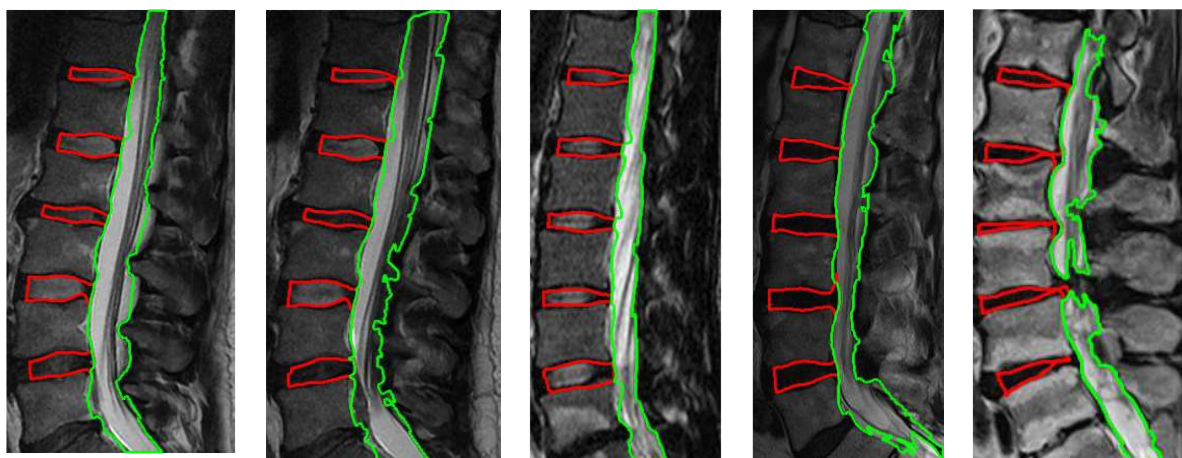
Μέθοδος	Μέση τιμή συντελεστή Dice (%) $\pm$ TA	Μέση τιμή απόστασης Hausdorff (mm) $\pm$ TA
Gaonkar et al. [11]	84.0 $\pm$ 0.1	7.9 $\pm$ 9.4
Proposed (DS1)	80.25 $\pm$ 0.13	6.46 $\pm$ 5.74
Proposed (DS2)	80.3 $\pm$ 0.1	3.7 $\pm$ 0.7
MRI-trained variant (DS2)	72.8 $\pm$ 2.1	5.8 $\pm$ 2.4



**Εικόνα 7.** Ένδειξη ΜΔ, σε διαφορετικούς ασθενείς.



**Εικόνα 8.** Ένδειξη ΚΝ, σε διαφορετικούς ασθενείς.



**Εικόνα 9.** Συνδυασμός του ΜΔ και του ΚΝ σε μία εικόνα.

Σε αντίθεση με τις υπάρχουσες συνδυαστικές απεικονιστικές τεχνικές, η προτεινόμενη δεν εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα ζευγών εικόνων CT/MR, τα οποία συνήθως δεν λαμβάνονται από τον ίδιο ασθενή. Επιπλέον, σε αντίθεση με τις υπερσύγχρονες μεθόδους που βασίζονται σε βαθιά μάθηση, δεν εξαρτάται από μεγάλο όγκο δεδομένων εκπαίδευσης. Η προτεινόμενη μέθοδος απαιτεί περιορισμένη παρέμβαση του χρήστη.

Δημοσιεύτηκε στο παρακάτω περιοδικό:

Meletios Liaskos, Michalis A. Savelonas, Pantelis A. Asvestas, Dimitrios Papageorgiou, George K. Matsopoulos "Vertebrae, IVD and spinal canal boundary extraction on MRI, utilizing CT-trained active shape models", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 16 2201-2214 (2021).

## Αναφορές

- [1] Otsu, N (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Syst. Man. Cyber.* 9, 62–66.
- [2] Liaskos M, Savelonas M, Asvestas PA, Lykissas M, Matsopoulos GK (2020) Bimodal CT/MRI-based segmentation method for intervertebral disc boundary extraction. *Information* 11(9):448.
- [3] Taha AA, Hanbury A (2015) Metrics for evaluation 3D medical image segmentation: analysis, selection, and tool. *BMC Med Imag*, pp 15:29.
- [4] Huttenlocher D, Klanderma G, Rucklidge W (1993) Comparing images using the Hausdorff distance. *IEEE Trans Patt Anal Mach Intell* 15(9):850–863.
- [5] Hille G, Saalfeld S, Serowy S, Tönnies K (2018) Vertebral body segmentation in wide range clinical routine spine MRI data. *Comp Meth Prog Biomed* 155:93–99.
- [6] Zukic D, Vlasák A, Egger J, Horínek D, Nimsky C, Kolb A (2014) Robust detection and segmentation for diagnosis of vertebral diseases using routine MR images. *Comput Graph Forum* 33(6):190–204.
- [7] Andrade IL, Glocker B (2015) Complementary classification forests with graph-cut refinement for ivd localization and segmentation. In: *Proceedings of the MICCAI workshop and challenge on computational methods and clinical applications for spine imaging 2015*.
- [8] Wang C, Forsberg D (2015) Segmentation of intervertebral discs in 3D MRI data using multi-atlas based registration. In: *Proceedings of the MICCAI workshop and challenge on computational methods and clinical applications for spine imaging*, pp 101–110.
- [9] Chen H, Dou Q, Wang X, Heng PA (2015b) Deepseg: Deep segmentation network for intervertebral disc localization and segmentation. In: *Proceedings of the MICCAI workshop and challenge on computational methods and clinical applications for spine imaging*.
- [10] Korez R, Ibragimov B, Likar B, Pernus F, Vrtovec T (2015) Deformable model-based segmentation of intervertebral discs from MR spine images by using the SSC descriptor. In: *Proceedings of the MICCAI workshop and challenge on computational methods and clinical applications for spine imaging*, pp 111–118.
- [11] Gaonkar B, Villaroman D, Beckett J, Ahn C, Attiah M, Babayan D, Villablanca JP, Salamon N, Bui A, Macyszyn L (2019) Quantitative analysis of spinal canal areas in the lumbar spine: an imaging informatics and machine learning study. *AJNR Am J Neuroradiol* 40(9):1586–1591.