

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/189



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J7-2246
Naslov projekta	Avtomatska analiza CT in MR slik hrbtenice
Vodja projekta	6857 Franjo Pernuš
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4650
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	312 Univerzitetni klinični center Ljubljana
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	7 INTERDISCIPLINARNE RAZISKAVE
Družbeno-ekonomski cilj	07. Zdravje

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.06
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.06 Zdravstveni inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Sodoben način življenja, ki pretežno zahteva dejavnosti v sedečem položaju, ter vse večje težave ljudi s prekomerno telesno težo se odražajo v naraščajočem številu hrbteničnih in s hrbtenico povezanih obolenj. S trenutnim znanjem o fizičnih ter biomehanskih lastnostih hrbtenice je nemogoče natančno napovedati rezultate različnih terapij, saj je rutinsko odkrivanje ter kvantitativno vrednotenje številnih hrbteničnih obolenj še vedno precej

omejeno. Po drugi strani pa sodobne, predvsem tridimenzionalne (3D) tehnike zajemanja slik omogočajo kakovosten vpogled v anatomijo hrbtenice. Tehnika računalniške tomografije (CT) je primerna za opazovanje hrbteničnih kosti, medtem ko tehnika magnetne resonance (MR) omogoča vpogled v mehka tkiva in je torej primerna za opazovanje medvretenčnih ploščic, hrbtenjače ter korenin živcev, ki izhajajo iz hrbtenjače. Razvoj sodobnih tehnik avtomatskega kvantitativnega vrednotenja medicinskih slik lahko torej pripomore k natančnejši medicinski diagnozi ter načrtovanju učinkovitejših strategij zdravljenja hrbteničnih obolenj in sledenju učinkov zdravljenja oziroma napredovanja bolezni. Eden izmed najpomembnejših parametrov za vrednotenje hrbteničnih deformacij je rotacija vretenc. Natančno določanje rotacije vretenc ima namreč pomembno vlogo pri zdravljenju hrbteničnih deformacij, določanju referenčnih vrednosti za normalna in bolezenska stanja hrbtenice ter pri boljšem razumevanju mehanizmov nastajanja in napredovanja deformacij. Rutinsko kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc na podlagi medicinskih slik je podvrženo številnim napakam, saj smo ljudje pri interpretaciji slik v smislu sposobnosti odkrivanja in diagnosticiranja obolenj omejeni zaradi naših nesistematičnih iskalnih vzorcev, podobnih značilnosti nekaterih normalnih in bolezenskih stanj ter zaradi velike naravne biološke variabilnosti človeške anatomije. Po drugi strani pa tehnične omejitve, kot so na primer prisotnost šuma v slikah, specifične lastnosti posamezne slikovne tehnike ali spremenljiv položaj bolnika med samim zajemom slik, predstavljajo dodaten vir napak. V tem raziskovalnem projektu smo se posvetili načrtovanju, razvoju ter vrednotenju izvirnih avtomatskih postopkov za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc v 3D. Za primerjavo novo razvitih postopkov z obstoječimi postopki smo načetovali in razvili tudi standardizirano validacijsko metodologijo, ki je temeljila na določanju validacijskega nabora slik, validacijskih postopkov, validacijskega protokola in validacijske metrike, ter tako dosegli kakovostno, objektivno ter ponovljivo vrednotenje rotacije vretenc.

ANG

Present-day sedentary lifestyle and overweighting problems are reflected in an increased number of spine and spine-related diseases. Current understanding of physical and biomechanical properties of the spine is inadequate to predict the exact outcomes of various treatment strategies as the identification and quantitative evaluation of many spinal diseases by routine examinations are difficult. On the other hand, qualitative insight into the spine anatomy is possible by state-of-the-art image acquisition techniques, especially three-dimensional (3D) ones. Computed tomography (CT) is appropriate for observing bones and other dense structures of the spine, while magnetic resonance (MR) imaging allows examination of soft tissues, such as intervertebral discs, spinal cord and nerve roots. Further developments in automatic quantitative evaluation of spine parameters from medical images may therefore improve medical diagnosis, the design of more effective treatment strategies, and assessment of the effects of these strategies. Vertebral rotation is one of the most important parameters of spinal deformity. Its precise quantitative measurement is important for the treatment of spinal deformities, the determination of reference values in normal and pathological conditions, and for a better understanding of the progression mechanisms of the deformities. However, routine quantitative evaluation of vertebral rotation from medical images is difficult and error-prone. The human capability of such evaluation is limited due to our non-systematic search patterns, similar characteristics of normal and pathological conditions, and by the large natural biological variability of human anatomy. On the other hand, technical limitations, such as the presence of image noise, distinctive characteristics of imaging techniques and variable positioning of the patient during image acquisition, also represent a major source of variability that may conceal the actual geometrical relationship between anatomical structures and introduce evaluation errors. In this research project we focused on the design, development and validation of automated techniques for quantitative evaluation of vertebral rotation in 3D. For the comparison of newly developed techniques to the existing ones, we designed a standardized validation methodology, which was based on the determination of a validation image database, validation techniques, validation protocol and validation metrics, so as to achieve a qualitative, objective and repeatable evaluation of vertebral rotation.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Raziskovalna hipoteza, ki smo jo zastavili v prijavi projekta, je trdila, da je na osnovi avtomatske analize tridimenzionalnih (3D) slik hrbtenice mogoče objektivno vrednotiti rotacijo vretenc, ki predstavlja enega izmed najpomembnejših parametrov za sklepanje o hrbteničnih deformacijah. V predlaganem raziskovalnem projektu smo načetovali, razvili ter vrednotili izvirne avtomatske (samodejne) postopke za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc v 3D ter rezultate primerjali z referenčnimi vrednostmi rotacije. V primerjavi z obstoječimi metodami, ki so ročne ali polavtomatske, so razvite metode popolnoma avtomatske in

temeljijo na 3D analizi anatomskih lastnosti hrbtenice. Za primerjavo novo razvitih postopkov z obstoječimi postopki smo v sklopu raziskav načtovali in razvili tudi standardizirano validacijsko metodologijo, ki temelji na določanju validacijskega nabora slik, validacijskih postopkov, validacijskega protokola in validacijske metrike. Na ta način smo dosegli kakovostno, objektivno ter ponovljivo vrednotenje rotacije vretenc.

V letu 2009 smo začeli s preučevanjem ustrezne validacijske metodologije, ki je omogočila standardizirano primerjavo različnih postopkov vrednotenja prečne rotacije vretenc. V ta namen smo izčrpno preučili vso obstoječo literaturo s področja kvantitativnega vrednotenja rotacije vretenc in ukrivljenosti hrbtenice. Postopke smo tudi medsebojno primerjali ter pridobili podatke o njihovi uporabnosti ter variabilnosti. Sledil je izbor slik vretenc, katere smo vključili v študijo vrednotenja rotacije. Rezultate smo strnili v dva pregledna znanstvena članka, ki sta bila objavljena v revijah z visokim faktorjem vpliva (1. četrtina). Najprej smo izbrali 28 slik, zajetih s slikovno tehniko računalniške tomografije (CT), pri čemer je bilo 14 vretenc skoliočnih, 14 pa normalnih. Vretenca so se nahajala med prvim prsnim (T1) in drugim ledvenim (L2) vretencem. Poleg tega smo izbrali tudi 28 slik, zajetih s slikovno tehniko magnetne resonance (MR), pri čemer je bilo 14 vretenc skoliočnih, 14 pa normalnih. Vretenca so se nahajala med četrtim prsnim (T4) in petim ledvenim (L5) vretencem. Validacijski nabor slik je bil tako sestavljen iz 3D slik 56 vretenc, zajetih tako s CT kot z MR slikovno tehniko, ki so predstavljala tako normalne kot bolezenske primere, kot tudi različne anatomije vretenc (med prvim prsnim in zadnjim ledvenim vretencem). Validacijski nabor slik je bil torej ustrezno velik in ustrezno biološko raznolik za potencialno pridobivanje statistično relevantnih zaključkov. Za kvantitativno vrednotenje prečne rotacije vretenc smo izbrali štiri uveljavljene metode, in sicer metodo po Aaro in Dahlborn, metodo po Ho in dr., metodo po Krismer in dr. ter metodo po Göçen in dr. Vse našteje metode temeljijo na ročnem določanju izbranega števila značilnih anatomskih točk v prečnih prerezih slik vretenca. Na podlagi izbranih slik ter izbranih metod smo izdelali namensko programsko opremo, ki omogoča ročno določanje značilnih anatomskih točk na predpisanih slikah v predpisanem vrstnem redu, pri čemer se izbere opazovalca ter serijo določanja vrednosti. Vse skupaj sestavlja validacijski protokol, ki ostaja nespremenjen pri posameznem opazovanju oziroma ročnem določanju prečne rotacije vretenc. Programska oprema omogoča izbiro poljubnega opazovalca ter izbiro poljubne serije opazovalca, rezultate določanje rotacije vretenc pa shrani v obliki elektronske baze podatkov. Za opazovalce, ki bodo določali rotacijo vretenc z razvito programsko opremo, smo določili osebe s čimbolj raznolikim znanjem iz obdelave slik in anatomije, in sicer podiplomskega študenta biomedicinske tehnike, raziskovalca na področju medicinskih slikovnih tehnik, ter ortopedskega kirurga, pri čemer smo sodelovali s soizvajalko raziskovalnega projekta – Ortopedska klinika na Univerzitetnem kliničnem centru Ljubljana. Vsi opazovalci so bili tudi vpeljeni v uporabo razvite programske opreme, in sicer so vadili na manjšem izboru testnih slik. Vpeljava opazovalcev v uporabo programske opreme je namreč bistvenega pomena za pridobivanje zanesljivih meritev o prečni rotaciji vretenc.

V letu 2010 smo po programu nadaljevali z izvedbo raziskovalnega projekta. Vsi opazovalci so bili uspešno vpeljeni v uporabo namenske programske opreme, ki omogoča ročno določanje značilnih anatomskih točk na izbranih slikah z namenom kvantitativnega vrednotenja prečne rotacije vretenc. Izbrani opazovalci so potem na validacijskem naboru slik ročno določili rotacije vretenc glede na metodo po Aaro in Dahlborn, metodo po Ho in dr., metodo po Krismer in dr. ter metodo po Göçen in dr. Vsi opazovalci so postopek ponovili dvakrat, pri čemer je bilo med obema ponovitvama vsaj dva tedna premora. Pridobljeni rezultati so bili zbrani ter ovrednoteni na podlagi validacijske metrike, in sicer je bila na osnovi statistične porazdelitve rezultatov pridobljena ocena variabilnosti posameznega opazovalca ter variabilnosti med različnimi opazovalci. Ocene so bile podane v obliki standardnega odklona (SD), srednje absolutne razlike (MAD), koeficienta korelacije (ICC) in koeficienta variacije (CV) vrednosti. Za povečanje točnosti in natančnosti določanja rotacije vretenc smo razvili avtomatski računalniški postopek, ki določi rotacijo vretenca na podlagi vrednotenja simetrije pripadajočih delov anatomske strukture vretenca. Poleg tega je bil razviti avtomatski postopek načrtovan tako, da je z njim mogoče določati rotacijo vretenca v dveh dimenzijah (2D), torej v izbranih prerezih CT in MR slik, ter v 3D, torej v CT in MR slikah kot celoti. Razviti postopek smo najprej testirali na simuliranih slikah, pri čemer smo preverili njegovo funkcionalnost ter preučevali izbiro pripadajočih anatomskih struktur vretenca, funkcije simetrije vretenca ter optimizacijske algoritme. Izpopolnjeni avtomatski postopek smo končno testirali na realnih slikah vretenc, in sicer na istih slikah, na katerih so opazovalci določali rotacijo vretenc ročno, saj je to omogočalo primerjavo razvitega računalniškega postopka z obstoječimi postopki. Pridobili smo ocene za variabilnost posameznega opazovalca ter za variabilnost med različnimi opazovalci pri določanju začetnih vrednosti avtomatske metode (inicializacija) kot tudi variabilnost med metodami (primerjava vsake metode z vsako). Na podlagi ocen variabilnosti posameznega opazovalca (ponovljivost) ter variabilnosti med različnimi opazovalci (zanesljivost) smo

identificirali najbolj ponovljivo in najbolj zanesljivo ročno metodo ter jo primerjali z avtomatsko metodo. Avtomatska metoda je bila namreč še bolj ponovljiva in bolj zanesljiva od "najboljše" ročne metode. Rezultate smo strnili v dva znanstvena članka, ki sta bila objavljena v revijah z visokim faktorjem vpliva (1. in 2. četrtina).

V letu 2011 smo po programu nadaljevali z izvedbo raziskovalnega projekta, in sicer smo kvantitativno vrednotenje prečne rotacije vretenc razširili tudi na kvantitativno vrednotenje stranske in čelne rotacije vretenc. Ponovno smo izbrali iste opazovalce, ki so dvakrat ročno določili značilne anatomske točke na 56 slikah vretenc. Ročno določanje značilnih anatomskih točk je bilo osnovano na identifikaciji vogalov telesa vretenca v sredinskem stranskem in sredinskem čelnem prerezu CT oz. MR slike vretenca. Na podlagi teh točk so se določile tangente na vretenčne krovne plošče (enakovredne Cobbovemu kotu v prečnih prerezih oz. modificiranemu Cobbovemu kotu v stranskih prerezih) ter tangente na steno telesa vretenca (enakovredne ti. sprednjim in zadajšnjim tangentam v stranskih prerezih po metodah Harrison in dr. ter Schuler in dr.). Nakloni dobljenih tangent so torej predstavljali stranske oz. čelne rotacije vretenca v pripadajočih ravninah. Poleg ročnega določanja smo na podlagi predhodno razvitega računalniškega postopka določili stransko ter čelno rotacijo vretenc tudi avtomatsko, in sicer tako v dvodimenzionalnih (2D) prerezih (sredinskih CT oz. MR prerezih), kot tudi v tridimenzionalnih (3D) slikah (prostorninske CT oz. MR slike). Za avtomatsko določanje rotacije je bilo potrebno računalniški postopek samo inicializirati približno v središču opazovanega telesa vretenca. Vse opisane postopke so opazovalci ponovili dvakrat, pri čemer je bilo med vsakim določanjem točk dva tedna premora. Pridobljene rezultate smo ovrednotili s pomočjo statistične analize ter na ta način ocenili variabilnost posameznega opazovalca (pri ročnem določanju točk oz. inicializaciji avtomatske metode), variabilnost med različnimi opazovalci (pri ročnem določanju točk oz. inicializaciji avtomatske metode) ter variabilnost med metodami (različne ročne in avtomatska metoda). Avtomatska metoda se je skoraj v vseh primerih izkazala kot bolj ponovljiva in zanesljiva od "najboljše" ročne metode, razen v določenih primerih MR slik, saj so v le-teh meje med kostnimi strukturami in mehkim tkivom velikokrat slabo ločljive. Rezultate smo strnili v štiri znanstvene članke, od katerih sta bila dva objavljena oz. sprejeta v objavo v reviji z visokim faktorjem vpliva (1. četrtina), dva članka pa sta še v postopku recenzije. Ker smo želeli izboljšati določanje rotacije vretenc (predvsem v primeru MR slik) in ker je bil eden izmed ciljev projekta tudi raziskovanje možnosti za izboljšanje/nadgradnjo na novo razvitih avtomatskih postopkov za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc, smo razvili novo metodo za parametrično modeliranje telesa vretenca v 3D, tako v CT kot tudi v MR slikah. Postopek temelji na modeliranju oblike telesa vretenca s pomočjo geometrijskih teles imenovanih superkvadrniki. Osnovno obliko telesa vretenca v 3D smo najprej opisali s preprostim superkvadrnikom v obliki eliptičnega valja. V ta eliptični valj smo nato vnašali izbrane deformacije, ki ustrezajo kliničnemu opisu normalnih in bolezenskih deformacij telesa vretenca. To so npr. konkavnost vretenčnih krovnih plošč, naklon vretenčnih krovnih plošč, konkavnost sten telesa vretenca, oblika osnovne ploskve telesa vretenca, naraščajoča velikost telesa vretenca ter torzija telesa vretenca. Vse te deformacije so bile matematično modelirane z vnašanjem parametrov v model, kar pomeni, da smo lahko te deformacije tudi kvantitativno ocenili. Potrebno je bilo določiti tudi optimizacijsko metriko, da smo lahko predlagani model uspešno prilegali vretencem tako v CT kot tudi v MR slikah. Čeprav smo se zaenkrat omejili le na modeliranje, ima opisani model telesa vretenca v 3D velik potencial. Rotacijo vretenc v vseh treh ravninah lahko namreč določimo na podlagi torzije telesa vretenca, naklona vretenčnih krovnih plošč in naklona stene telesa vretenca. Po drugi strani pa bi lahko s pomočjo takega 3D modela določali stopnjo in obliko hujših deformacij telesa vretenca, ki nastanejo pri ti. vretenčnih zlomih zaradi različnih razlogov – eden izmed njih je zagotovo osteoporoza. Modeliranje telesa vretenca z opisanim modelom v 3D tega je bilo predstavljeno v članku v reviji z visokim faktorjem vpliva (1. četrtina).

V letu 2012 smo se osredotočili na razširjanje rezultatov, poleg tega pa smo izkušnje iz področja raziskovanja geometrijskih parametrov hrbtenice (ukrivljenost, rotacija) prenesli tudi na področje medenice. V sodelovanju z Inštitutom za slikovne znanosti in Ortopedskim oddelkom na Univerzitetnem medicinskem centru v Utrechtu na Nizozemskem smo razvili avtomatski postopek za določanje najbolj pomembnega geometrijskega parametra medenice, ti. naklon medenice (ang. pelvic incidence). Postopek smo preizkusili na 370 CT slikah medenice, pri čemer smo posebno pozornost namenili enakomernemu zastopanju spolov ter starostnih razredov znotraj teh 370 subjektov. Rezultate merjenja geometrijskih parametrov medenice smo predstavili v dveh člankih v revijah s faktorjem vpliva (1. In 2. četrtina), pregled postopkov merjenja geometrijskih parametrov medenice v članku v reviji z visokim faktorjem vpliva (1. četrtina), trije članki so pa še v postopku recenzije.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Zastavljeni cilji raziskovalnega projekta:

- za leto 2009 so bili "Načrtovanje standardizirane validacijske metodologije za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc", "Izbor vretenc iz CT in MR slik hrbtenice, ki bodo vključene v validacijski nabor slik", "Izbor ter natančna določitev validacijskih postopkov skupaj s kritično presojo njihovih prednosti in omejitev", "Natančna določitev validacijskega protokola - vrstni red validacijskih slik ter validacijskih postopkov", "Razvoj namenske programske opreme, ki bo omogočala opazovalcem uporabo standardizirane validacijske metodologije", "Izbor opazovalcev, ki bodo ročno ovrednotili rotacijo vretenc z uporabo predlagane standardizirane validacijske metodologije" ter "Vpeljava izbranih opazovalcev v uporabo programske opreme".
- za leto 2010 so bili "Ročno vrednotenje rotacije vretenc s strani opazovalcev z uporabo razvite programske opreme", "Zbiranje rezultatov ročnega določanja rotacije vretenc z uporabo predlagane validacijske metrike", "Načrtovanje novih avtomatskih postopkov za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc", "Testiranje razvitih postopkov na simuliranih slikah z namenom preverjanje njihove funkcionalnosti", "Testiranje razvitih postopkov na realnih slikah vretenc, pridobljenih na osnovi CT in MR slik hrbtenice" ter "Primerjava razvitih postopkov z obstoječimi računalniško podprtimi postopki".
- za leto 2011 so bili "Primerjava razvitih postopkov z obstoječimi računalniško podprtimi postopki", "Primerjava obstoječih ter na novo razvitih postopkov za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc", "Kritična presoja rezultatov primerjave", "Razširitev (dopolnitev) baze CT in MR slik", "Raziskovanje možnosti za izboljšanje/nadgradnjo razvite standardizirane validacijske metodologije" ter "Raziskovanje možnosti za izboljšanje/nadgradnjo na novo razvitih avtomatskih postopkov za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc". Izmed vseh ciljev smo opustili le "Razširitev (dopolnitev) baze CT in MR slik", saj se je izkazalo, da je obstoječa dovolj velika. Za potrebe modeliranja telesa vretenca s superkvadrki v 3D smo pridobili novo bazo CT slik 682 vretenc.
- za leto 2012 so bili "Razširjanje rezultatov. Objavljanje v revijah z visokim faktorjem vpliva". Poleg tega smo področje raziskovanja razširili na preučevanje geometrijskih parametrov medenice.

Na področju preučevanja rotacije vretenc je bilo sprejetih v objavo 6 člankov v revijah s faktorjem vpliva (1. in 2. četrtina), 2 članka pa sta še v postopku recenzije. Na področju modeliranja telesa vretenc so bili sprejeti v objavo 3 članki v revijah s faktorjem vpliva (1. četrtina). Na področju preučevanja geometrijskih parametrov medenice so bili sprejeti v objavo 3 članki v revijah s faktorjem vpliva (1. in 2. četrtina), 3 članki pa so še v postopku recenzije. Glede na poročilo o realizaciji projekta ter število člankov (12 sprejetih, 5 v recenziji) ocenjujemo, da smo vse zastavljene raziskovalne cilje dosegli in celo preseгли.

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

V letu 2012 ni prišlo do sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	6949204
	Vir:	COBISS.SI
	Naslov	Pregled postopkov za kvantitativno vrednotenje ukrivljenosti hrbtenice
		<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
		A review of methods for quantitative evaluation of spinal curvature
	Opis	Predstavljena študija združuje pregled obstoječih metod za kvantitativno vrednotenje ukrivljenosti hrbtenice na podlagi medicinskih slik ter povzema ključne znanstvene objave na tem področju. Služi lahko kot pripomoček pri vpeljavi novih raziskovalcev na področje ter tudi kot vir informacij za preučevanje obstoječih in razvijanje novih metod in strategij vrednotenja. Ključni problemi vrednotenja ter napotki, podprti z rezultati pregleda, so ravno tako podani.
		<i>SLO</i>

		ANG	The aim of this paper is to provide a complete overview of the existing methods for quantitative evaluation of spinal curvature from medical images, and to summarize the relevant publications, which may not only assist in the introduction of other researchers to the field, but also be a valuable resource for studying the existing methods or developing new methods and evaluation strategies. Key evaluation issues and future considerations, supported by the results of the overview, are also discussed.
	Objavljeno v		Springer; European spine journal; 2009; Vol. 18, no. 5; str. 593-607; Impact Factor: 1.956; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.383; A': 1; WoS: RT, TC; Avtorji / Authors: Vrtovec Tomaž, Pernuš Franjo, Likar Boštjan
	Tipologija		1.02 Pregledni znanstveni članek
2.	COBISS ID	6949460	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Pregled postopkov za kvantitativno vrednotenje prečne rotacije vretenc
		ANG	A review of methods for quantitative evaluation of axial vertebral rotation
	Opis	SLO	Kvantitativno vrednotenje prečne rotacije vretenc je ključnega pomena za določanje referenčnih vrednostih ter za razumevanje mehanizmov napredovanja deformacij hrbtenice. Študija združuje pregled obstoječih metod za kvantitativno vrednotenje prečne rotacije vretenc na medicinskih slikah ter povzema ključne objave na tem področju. Služi lahko za preučevanje obstoječih in razvijanje novih strategij vrednotenja. Obravnavane metode so razdeljene na metode za vrednotenje prečne rotacije vretenc v 2D in v 3D slikah. Ključni problemi vrednotenja, podprti z rezultati pregleda, so ravno tako podani.
		ANG	Quantitative evaluation of axial vertebral rotation is essential for the determination of reference values and for understanding the mechanisms of the progression of spinal deformities. The review addresses existing methods for quantitative evaluation of axial vertebral rotation from medical images along with all relevant publications, which may provide a resource for studying existing or developing new evaluation strategies. Key evaluation issues, supported by the results of the review, are also discussed.
	Objavljeno v		Springer; European spine journal; 2009; Vol. 18, no. 8; str. 1079-1090; Impact Factor: 1.956; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.383; A': 1; WoS: RT, TC; Avtorji / Authors: Vrtovec Tomaž, Pernuš Franjo, Likar Boštjan
	Tipologija		1.02 Pregledni znanstveni članek
3.	COBISS ID	7707220	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Analiza štirih ročnih in računalniške metode za merjenje prečne rotacije vretenc v CT slikah
		ANG	Analysis of four manual and a computerized method for measuring axial vertebral rotation in computed tomography images
	Opis	SLO	V tej raziskavi smo določali prečno rotacijo normalnih in skoliočnih vretenc v CT slikah na podlagi vrednotenja treh opazovalcev ob uporabi različnih ročnih ter računalniških (vrednotenje simetrije vretenca v 2D ter 3D) metod. Računalniške metode so bile najbolj skladne z metodo po Aaro in Dahlborn, ki se je izkazala za najbolj ponovljivo in zanesljivo ročno metodo. Nizka povprečna variabilnost posameznega opazovalca ter variabilnost med različnimi opazovalci računalniških metod nakazuje, da je določanje prečne rotacije vretenc na podlagi simetrije struktur vretenca ponovljivo in zanesljivo.
			In this study, axial vertebral rotation of 14 normal and 14 scoliotic vertebrae was measured in CT images by three observers using different

		ANG	manual and computerized (evaluation of vertebral symmetry in 2D and in 3D) methods. The computerized methods were most consistent with the method of Aaro and Dahlborn, which also proved to be the most reproducible and reliable manual method. The low overall intraobserver variability and interobserver variability of the computerized method indicate that the symmetry-based determination of axial vertebral rotation is reproducible and reliable.
	Objavljeno v		Medical Dept., Harper & Row Publishers.; Spine; 2010; Vol. 35, no. 12; str. E535-E541; Impact Factor: 2.510; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.377; A': 1; WoS: RT, TC; Avtorji / Authors: Vrtovec Tomaž, Vengust Rok, Likar Boštjan, Pernuš Franjo
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	7586132	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Določanje prečne rotacije vretenc v MR slikah: primerjava štirih ročnih in računalniške metode
		ANG	Determination of axial vertebral rotation in MR images: comparison of four manual and a computerized method
	Opis	SLO	V tej raziskavi smo določali prečno rotacijo 14 normalnih in 14 skoliotičnih vretenc v MR slikah na podlagi vrednotenja treh opazovalcev ob uporabi štirih ročnih ter dveh računalniških (vrednotenje simetrije vretenca v 2D ter v 3D) metod. Metoda po Aaro in Dahlborn se je pokazala kot ročna metoda z največjo zanesljivostjo posameznega opazovalca kot tudi med različnimi opazovalci, poleg tega je pa tudi najbolj skladna z računalniškimi metodami, ki so lahko učinkovite alternative za ponovljivo in zanesljivo določanje prečne rotacije vretenc.
		ANG	Axial vertebral rotation of 14 normal and 14 scoliotic vertebrae from MR images was determined by three observers using four manual methods and a computerized method, which were based on the evaluation of vertebral symmetry in 2D and in 3D. The method of Aaro and Dahlborn proved to be the manual method with the highest intra-observer and inter-observer reliabilities, and was also most in agreement with the computerized method, indicating it to be an efficient alternative for repeatable and reliable axial vertebral rotation measurements.
	Objavljeno v		Springer; European spine journal; 2010; Vol. 19, no. 5; str. 774-781; Impact Factor: 1.994; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.377; WoS: RT, TC; Avtorji / Authors: Vrtovec Tomaž, Pernuš Franjo, Likar Boštjan
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	8373332	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Ročno ter računalniško-podprto merjenje stranskega naklona vretenc v računalniško tomografskih slikah
		ANG	Manual and computerized measurement of sagittal vertebral inclination in computed tomography images
	Opis	SLO	Za merjenje stranskega naklona vretenc (SVI) v obliki hrbtenične ukrivljenosti oz. segmentnega naklona v stranskih rentgenskih projekcijah je bilo doslej predlaganih veliko število metod. Sistematična analiza ročnih ter računalniško-podprtih metod merjenja v stranskih prerezih računalniško tomografskih (CT) slik pa še ni bila opravljena. V tej študiji smo sistematično merili SVI za 28 vretenc v CT slikah, pri čemer so trije opazovalci uporabili šest ročnih ter dve računalniško-podprti metodi. Ročne meritve so bile opravljene z ročnim določanjem vogalov vretenčnega telesa v stranskih prerezih, ki so določali premice SVI (zgornje in spodnje tangente, sprednje in zadajšnje tangente, premice med vretenčnimi ploščicami in med vretenčnimi stenami) glede na referenčne navpične ali

		<p>vodoravne premice. Računalniško-podprte meritve so bile pridobljene z ročnim določanjem centra vretenčnega telesa, ki je služil kot začetna vrednost za avtomatsko metodo za določanje SVI na podlagi iskanja ravnin največje simetrije vretenčnih teles v dveh (2D) in treh dimenzijah (3D). Premice med vretenčnimi stenami so se izkazale za najbolj ponovljivo in zanesljivo metodo (1.0 stopinje in 1.4 stopinje standardne deviacije, SD). Računalniško-podprte meritve v 3D so bile še bolj ponovljive in zanesljive (0.9 stopinje in 1.3 stopinje SD) ter tudi najbolj skladne z premicami med vretenčnimi stenami (2.1 stopinje SD in 1.7 stopinje srednje absolutne razlike, MAD). V smislu hitrosti in prijaznosti do uporabnika predstavljajo računalniško-podprte meritve ustrezno alternativo ročnim meritvam.</p>
	ANG	<p>A number of methods were proposed to measure sagittal vertebral inclination (SVI) in lateral radiographic projections in the form of spinal curvature or segmental angulation. A systematic analysis of the manual and computerized measurements in sagittal computed tomography (CT) cross-sections has not been performed yet. In this study, SVI was systematically evaluated for 28 vertebrae in CT images by three observers using six manual and two computerized measurements. Manual measurements were obtained in sagittal cross-sections by manually identifying the vertebral body corners, which defined the lines of SVI (superior and inferior tangents, anterior and posterior tangents, mid-endplate and mid-wall lines) against reference horizontal or vertical lines. Computerized measurements were obtained by manually identifying the vertebral centroids, which initialized an automated method that evaluated SVI by searching for the planes of maximal symmetry of vertebral bodies in two dimensions (2D) and in three dimensions (3D). The mid-wall lines proved to be the most reproducible and reliable manual measurements (1.0 degree and 1.4 degrees standard deviation, SD). The computerized measurements in 3D were more reproducible and reliable (0.9 degrees and 1.3 degrees SD) and also most consistent with the mid-wall lines (2.1 degrees SD and 1.7 degrees mean absolute difference, MAD). In terms of speed and operator-friendliness, the computerized measurements may represent an adequate alternative to manual measurements.</p>
Objavljeno v		Medical Dept., Harper & Row Publishers.; Spine; 2011; Vol. 36, no. 13; str. E875-E881; Impact Factor: 2.078; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.451; WoS: RT, TC; Avtorji / Authors: Vrtovec Tomaž, Likar Boštjan, Pernuš Franjo
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	256118016 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Vrednotenje parametrov hrbtenice in medenice na podlagi tridimenzionalnih medicinskih slik</p> <p><i>ANG</i> Evaluation of spinal and pelvic parameters from three-dimensional medical images</p>
		<p>Kvantitativno vrednotenje morfoloških parametrov, ki opisujejo hrbtenico in medenico, tako kot so čelni naklon vretenca (CVI), stranski naklon vretenca (SVI), prečna rotacija vretenca (AVR) ali naklon medenice (PI), je pomembno za potrjevanje diagnoze, postavljanje prognoze ter sprejemanje odločitev zdravljenja bolezni, povezanih s hrbtenico in medenico. Vsebinska te knjige je osredotočena na vrednotenje parametrov hrbtenice in medenice na podlagi tridimenzionalnih (3D) medicinskih slik. Ukrivljenost hrbtenice, rotacija vretenca in stranski naklon medenice so bili kvantitativno</p>

Opis	SLO	<p>ovrednoteni iz slik, zajetih z računalniško tomografijo (CT) in magnetno resonanco (MR), na podlagi obstoječih in novih ročnih in računalniško-podprtih merilnih metod. Pridobljeni rezultati so bili nato analizirani z vidika variabilnosti, ki jo v merjenje doprinese posamezna metoda in posamezni opazovalec. Čeprav so ročne metode merjenja še vedno zelo uporabljane, so računalniško-podprte metode precej hitrejše ter manj odvisne od opazovalca, saj temeljijo na postopkih za obdelavo in analizo slik.</p> <p>Ponovljivost in zanesljivost sta ravno tako višji takrat, kadar so parametri merjeni v 3D slikah, ne pa v dvodimenzionalnih slikah, po drugi strani pa so 3D slike bolj zahtevne z vidika dostopnosti, manipulacije in interpretacije. Kljub temu pa 3D slike pomagajo zdravnikom pri postavljanju bolj natančnih diagnoz in načrtovanju bolj učinkovitih strategij zdravljenja hrbteničnih in medeničnih obolenj. Metode za računalniško-podprto diagnozo se neprestano razvijajo ter dodatno pripomorejo k učinkoviti interpretaciji naraščajočega števila medicinskih slikovnih informacij.</p>
	ANG	<p>Quantification of morphological parameters that describe the spine and pelvis, such as the coronal vertebral inclination (CVI), sagittal vertebral inclination (SVI), axial vertebral rotation (AVR) or pelvic incidence (PI), is valuable for ascertaining diagnosis, determining prognosis, and guiding treatment decisions related to spinal and pelvic deformities. This book concentrates on the evaluation of spinal and pelvic parameters from three-dimensional (3D) medical images. Spinal curvature, vertebral rotation and sagittal pelvic alignment were quantitatively evaluated from computed tomography (CT) and magnetic resonance (MR) images by existing and novel manual and computerized measurement methods, and the results were analyzed in terms of the variability introduced by methods and observers. Although manual measurements are still widely used, computerized measurements that apply image processing and analysis techniques are considerably faster and less observer-dependent. The reproducibility and reliability are higher when parameters are evaluated from 3D than two-dimensional images, but 3D images are more demanding in terms of availability, manipulation and interpretation. However, 3D images help clinicians making more accurate diagnosis and planning more effective treatment strategies for spinal and pelvic deformities, while methods for computer-assisted diagnosis are constantly being developed to aid in the interpretation of the increasing amount of medical image information.</p>
Šifra	F.03 Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
Objavljeno v	[T. Vrtovec]; 2011; VIII, 239 str.; Avtorji / Authors: Vrtovec Tomaž	
Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
2. COBISS ID	262692096	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Avtomatska analiza vretenčnih deformacij v tridimenzionalnih medicinskih slikah
	ANG	Automated analysis of vertebral deformations in three-dimensional medical images
Opis	SLO	<p>Med tehnikami za analizo tridimenzionalnih (3D) medicinskih slik hrbtenice, razgradnja ne samo izboljša prikazovanje vretenč, ampak priskrbi tudi pogoje za zanesljivo in natančno merjenje vretenčnih deformacij v njihovem naravnem 3D prostoru. Vpliv opazovalca na proces razgradnje lahko izločimo s pomočjo avtomatske inicializacije, ki omogoča ocenjevanje velikosti in položaja vretenca v sliki. Ta doktorska disertacija se osredotoča na načrtovanje, razvoj in vrednotenje metod za natančno in zanesljivo analizo deformacij vretenčnega telesa v 3D medicinskih slikah. Z namenom potrjevanja klinične uporabnosti so metode tudi primerjane s klinično uveljavljenimi metodami, ki se uporabljajo za vrednotenje vretenčnih deformacij v dvodimenzionalnih (2D) medicinskih slikah.</p>

		ANG	Among the techniques for analysis of three-dimensional (3D) spine images, segmentation does not only improve the visualization of vertebrae, but also provides means for reliable and accurate measurement of vertebral deformations in their natural 3D space. The observer's influence from the segmentation process can be excluded with automatic initialization that provides an estimation of the size, location and position of the vertebra in the image. This thesis concentrates on the design, development and validation of methods for accurate and reliable analysis of vertebral body deformations that are based on automated detection and segmentation of the vertebral body in 3D medical images. To verify the clinical applicability, the methods are compared with clinically established methods used for the evaluation of vertebral deformations in two-dimensional (2D) medical images.
	Šifra	D.09	Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v	[D. Štern]; 2012; XIV, 2, 96 str.; Avtorji / Authors: Štern Darko	
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
3.	COBISS ID	7298388	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Avtomatska razpoznavna vretenc v tridimenzionalnih slikah hrbtenice
		ANG	Automated detection of vertebrae in three-dimensional spine images
	Opis	SLO	Predstavili smo popolnoma samodejen postopek za določanje hrbteničnih krivulj ter središč vretenčnih teles in medvretenčnih ploščic v slikah, pridobljenih s tehniko računalniške tomografije (CT) in magnetne resonance (MR). Razvite metode temeljijo na analizi geometrijskih lastnosti hrbteničnih struktur ter značilnosti CT in MR slik, ovrednotili pa smo jih na 29 CT in 13 MR slikah ledvenega dela hrbtenice. Povprečna razdalja med dobljenimi in referenčnimi hrbteničnimi krivuljami je bila 1.8 +/- 1.1 mm, med dobljenimi in referenčnimi središči vretenčnih teles in medvretenčnih ploščic pa 2.8 +/- 1.9 mm, večjih razlik med rezultati za CT, T1-utežene MR in T2-utežene MR slike pa ni bilo mogoče zaznati. Poznavanje položaja hrbtenične krivulje, središč vretenčnih teles in središč medvretenčnih ploščic je pomembno za analizo hrbtenice, saj se lahko predlagani postopek uporabi za inicializacijo drugih postopkov za označevanje ali razgradnjo vretenc.
		ANG	We presented a completely automated algorithm for the detection of spinal centerlines and the centers of vertebral bodies and intervertebral discs in images acquired by computed tomography (CT) and magnetic resonance (MR) imaging. The developed methods are based on the analysis of the geometry of spinal structures and the characteristics of CT and MR images and were evaluated on 29 CT and 13 MR images of lumbar spine. The overall mean distance between the obtained and the ground truth spinal centerlines and centers of vertebral bodies and intervertebral discs were 1.8 +/- 1.1 mm and 2.8 +/- 1.9 mm, respectively, and no considerable differences were detected among the results for CT, T1-weighted MR and T2-weighted MR images. The knowledge of the location of the spinal centerline and the centers of vertebral bodies and intervertebral discs is valuable for the analysis of the spine. The proposed method may therefore be used to initialize the techniques for labelling and segmentation of vertebrae.
	Šifra	D.10	Pedagoško delo
	Objavljeno v	[D. Štern]; 2009; 73 str.; Avtorji / Authors: Štern Darko	
	Tipologija	2.09 Magistrsko delo	
4.	COBISS ID	8186708	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Določanje geometrijskih parametrov vretenca in endproteze medvretenčne ploščice na podlagi rentgenskih slik ledvene hrbtenice

	ANG	Determination of geometric parameters of the vertebrae and the intervertebral disc prosthesis from the radiographic images of the lumbar spine
Opis	SLO	Določanje geometrijskih parametrov vretenca in endoproteze medvretenčne ploščice ledvene hrbtenice je pomembno za ocenjevanje poteka in uspešnosti zdravljenja po vstavitvi totalne endoproteze medvretenčne ploščice ledvene hrbtenice. Iskani geometrijski parametri v tem diplomskem delu so kot med krovnicama ploščama vretenc, ki oklepata medvretenčno ploščico oziroma endoprotezo, kot med krovnicama ploščama endoproteze ter normirana razdalja med središčnima točkama krovnic plošč vretenca. Geometrijske parametre smo določali na rentgenskih slikah ledvene hrbtenice bolnikov, in sicer ročno ter z računalniškimi metodami. Rezultati so podani skupaj s statistično analizo.
	ANG	The determination of vertebral and intervertebral disc endoprosthesis geometrical parameters of the lumbar spine is important for evaluating the process and outcomes of the treatment after total endoprosthesis implantation. The searched geometrical parameters in this work are the angle between vertebral endplates in contact with the disc or endoprosthesis, the angle between endoprosthesis plates and the normalized distance between the central points of vertebral endplates. We determined the geometrical parameters on radiographic images of lumbar spine using manual and computerized methods. The results are presented together with statistical analysis.
Šifra	D.10 Pedagoško delo	
Objavljeno v	[L. Jakopič]; 2011; III, 50 f.; Avtorji / Authors: Jakopič Luka	
Tipologija	2.11 Diplomsko delo	

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Znanstvenih rezultatov projektne skupine iz naslova raziskovalnega projekta ter z njim povezanimi raziskovalnimi dejavnostmi je več, kot jih navaja pod točka 7. (obrazec omogoča vpis največ 5ih). Dodatno so bili sprejeti v objavo naslednji članki:

1. T. Vrtovec, B. Likar in F. Pernuš. Manual and computerized measurement of coronal vertebral inclination in MR images: a pilot study. *Clinical Radiology*, 2013. [FV: 1.952 (2011); 2. četrtina]
2. D. Štern, V. Njagulj, B. Likar, F. Pernuš in T. Vrtovec. Quantitative vertebral morphometry based on parametric modeling of vertebral bodies in 3D. *Osteoporosis International*, 2013. [doi:10.1007/s00198-012-2089-4] [FV: 4.580 (2011); 1. četrtina]
3. T. Vrtovec, M. Janssen, B. Likar, R. Castelein, M. Viergever in F. Pernuš. A review of methods for evaluating the quantitative parameters of sagittal pelvic alignment. *The Spine Journal*, 12 (5):433-446, 2012. [doi:10.1016/j.spinee.2012.02.013] [FV: 3.290 (2011); 1. četrtina]
4. T. Vrtovec, M. Janssen, F. Pernuš, R. Castelein in M. Viergever. Analysis of pelvic incidence from three-dimensional images of a normal population. *Spine*, 37(8):E479-E485, 2012. [doi:10.1097/BRS.0b013e31823770af] [FV: 2.078 (2011); 2. četrtina]
5. T. Vrtovec, M. Janssen, F. Pernuš, R. Castelein in M. Viergever. Pelvic incidence: analysis in three dimensions. *Journal of Bone and Joint Surgery, British Volume*, 94-B(suppl. XLIV):107, 2012. [FV: 2.832 (2011); 1. četrtina]
6. D. Štern, B. Likar, F. Pernuš in T. Vrtovec. Parametric modelling and segmentation of vertebral bodies in 3D CT and MR spine images. *Physics in Medicine and Biology*, 56(23):7505-7522, 2011. [doi:10.1088/0031-9155/56/23/011] [FV: 2.829 (2011); 1. četrtina]

7. D. Štern, B. Likar, F. Pernuš in T. Vrtovec. Automated detection of spinal centrelines, vertebral bodies and intervertebral discs in CT and MR images of lumbar spine. *Physics in Medicine and Biology*, 55(1):247-264, 2010. [doi:10.1088/0031-9155/55/1/015] [FV: 3.056 (2010); 1. četrtina]

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Na osnovi rezultatov raziskav tega projekta ter na osnovi preteklih raziskav, se je raziskovalna skupina uveljavila kot ena vodilnih na področju avtomatske analize slik hrbtenice in vretenc. Zato pričakujemo, da bodo rezultati raziskav deležni velikega zanimanja raziskovalcev in bodo prispevali k razvoju znanosti. Najpomembnejše pa bi bilo, če bi raziskovalni rezultati koristili predvsem bolnikom, zdravnikom in družbi.

Raziskovalni rezultati tega projekta se odražajo v 12 izvornih znanstvenih člankih, ki so bili objavljeni večinoma v revijah iz 1. četrtine revij na področju ter številnih predstavitev na mednarodnih konferencah. Kakovost revij, v katerih so članki objavljeni, je povezana z večjo prepoznavnostjo v znanstvenem okolju in je odskočna deska za sodelovanje z domačimi ter tujimi znanstvenimi inštitucijami:

1. T. Vrtovec, B. Likar in F. Pernuš. Manual and computerized measurement of coronal vertebral inclination in MR images: a pilot study. *Clinical Radiology*, 2013. [FV: 1.952 (2011); 2. četrtina]

2. D. Štern, V. Njagulj, B. Likar, F. Pernuš in T. Vrtovec. Quantitative vertebral morphometry based on parametric modeling of vertebral bodies in 3D. *Osteoporosis International*, 2013. [doi:10.1007/s00198-012-2089-4] [FV: 4.580 (2011); 1. četrtina]

3. T. Vrtovec, M. Janssen, B. Likar, R. Castelein, M. Viergever in Franjo Pernuš. A review of methods for evaluating the quantitative parameters of sagittal pelvic alignment. *The Spine Journal*, 12(5):433-446, 2012. [doi:10.1016/j.spinee.2012.02.013] [FV: 3.290 (2011); 1. četrtina]

4. T. Vrtovec, M. Janssen, F. Pernuš, R. Castelein in M. Viergever. Analysis of pelvic incidence from three-dimensional images of a normal population. *Spine*, 37(8):E479-E485, 2012. [doi:10.1097/BRS.0b013e31823770af] [FV: 2.078 (2011); 2. četrtina]

5. T. Vrtovec, M. Janssen, F. Pernuš, R. Castelein in M. Viergever. Pelvic incidence: analysis in three dimensions. *Journal of Bone and Joint Surgery, British Volume*, 94-B(suppl. XLIV):107, 2012. [FV: 2.832 (2011); 1. četrtina]

6. T. Vrtovec, B. Likar in F. Pernuš. Manual and computerized measurement of sagittal vertebral inclination in computed tomography images. *Spine*, 36(13):E875-E881, 2011. [doi:10.1097/BRS.0b013e3181fe0aab] [FV: 2.078 (2011); 2. četrtina]

7. D. Štern, B. Likar, F. Pernuš in T. Vrtovec. Parametric modelling and segmentation of vertebral bodies in 3D CT and MR spine images. *Physics in Medicine and Biology*, 56(23):7505-7522, 2011. [doi:10.1088/0031-9155/56/23/011] [FV: 2.829 (2011); 1. četrtina]

8. T. Vrtovec, R. Vengust, B. Likar in F. Pernuš. Analysis of four manual and a computerized method for measuring axial vertebral rotation in computed tomography images. *Spine*, 35(12):E535-E541, 2010. [doi:10.1097/BRS.0b013e3181cb8d2b] [FV: 2.510 (2010); 1. četrtina]

9. D. Štern, B. Likar, F. Pernuš in T. Vrtovec. Automated detection of spinal centrelines, vertebral bodies and intervertebral discs in CT and MR images of lumbar spine. *Physics in Medicine and Biology*, 55(1):247-264, 2010. [doi:10.1088/0031-9155/55/1/015] [FV: 3.056 (2010); 1. četrtina]

10. T. Vrtovec, F. Pernuš in B. Likar. Determination of axial vertebral rotation in MR images: comparison of four manual and a computerized method. *European Spine Journal*, 19(5):774-781, 2010. [doi:10.1007/s00586-010-1340-y] [FV: 1.994 (2010); 2. četrtnina]

11. T. Vrtovec, F. Pernuš in B. Likar. A review of methods for quantitative evaluation of axial vertebral rotation. *European Spine Journal*, 18(8):1079-1090, 2009. [doi:10.1007/s00586-009-0914-z] [FV: 1.956 (2009); 1. četrtnina]

12. T. Vrtovec, F. Pernuš in B. Likar. A review of methods for quantitative evaluation of spinal curvature. *European Spine Journal*, 18(5):593-607, 2009. [doi:10.1007/s00586-009-0913-0] [FV: 1.956 (2009); 1. četrtnina]

ANG

Based on the results of this basic research project and past research efforts, the research group has been recognized as one of the leading groups in the field of automatic analysis of vertebrae and spine images. We expect that the research results will receive attention from other researchers and have a strong impact in the field. The most important thing would be for the results to have a beneficial impact on the patients, medical doctors, and society.

The research results of this project are reflected in 12 original scientific papers, and most of them were published in peer-reviewed journals from the top 25% of journals in the corresponding research field, and presented at several internationally established conferences. The quality of the journals, in which the papers were published, is related to the recognition in the scientific area, and it represents a strong starting point for collaboration with scientific institutions home and abroad:

1. T. Vrtovec, B. Likar and F. Pernuš. Manual and computerized measurement of coronal vertebral inclination in MR images: a pilot study. *Clinical Radiology*, 2013. [IF: 1.952 (2011); 2nd quartile]

2. D. Štern, V. Njagulj, B. Likar, F. Pernuš and T. Vrtovec. Quantitative vertebral morphometry based on parametric modeling of vertebral bodies in 3D. *Osteoporosis International*, 2013. [doi:10.1007/s00198-012-2089-4] [IF: 4.580 (2011); 1st quartile]

3. T. Vrtovec, M. Janssen, B. Likar, R. Castelein, M. Viergever and Franjo Pernuš. A review of methods for evaluating the quantitative parameters of sagittal pelvic alignment. *The Spine Journal*, 12(5):433-446, 2012. [doi:10.1016/j.spinee.2012.02.013] [IF: 3.290 (2011); 1st quartile]

4. T. Vrtovec, M. Janssen, F. Pernuš, R. Castelein and M. Viergever. Analysis of pelvic incidence from three-dimensional images of a normal population. *Spine*, 37(8):E479-E485, 2012. [doi:10.1097/BRS.0b013e31823770af] [IF: 2.078 (2011); 2nd quartile]

5. T. Vrtovec, M. Janssen, F. Pernuš, R. Castelein and M. Viergever. Pelvic incidence: analysis in three dimensions. *Journal of Bone and Joint Surgery, British Volume*, 94-B(suppl. XLIV):107, 2012. [IF: 2.832 (2011); 1st quartile]

6. T. Vrtovec, B. Likar and F. Pernuš. Manual and computerized measurement of sagittal vertebral inclination in computed tomography images. *Spine*, 36(13):E875-E881, 2011. [doi:10.1097/BRS.0b013e3181fe0aab] [IF: 2.078 (2011); 2nd quartile]

7. D. Štern, B. Likar, F. Pernuš and T. Vrtovec. Parametric modelling and segmentation of vertebral bodies in 3D CT and MR spine images. *Physics in Medicine and Biology*, 56(23):7505-7522, 2011. [doi:10.1088/0031-9155/56/23/011] [IF: 2.829 (2011); 1st quartile]

8. T. Vrtovec, R. Vengust, B. Likar and F. Pernuš. Analysis of four manual and a computerized method for measuring axial vertebral rotation in computed tomography images. *Spine*, 35(12):E535-E541, 2010. [doi:10.1097/BRS.0b013e3181cb8d2b] [FV: 2.510 (2010); 1st quartile]

9. D. Štern, B. Likar, F. Pernuš and T. Vrtovec. Automated detection of spinal centrelines,

vertebral bodies and intervertebral discs in CT and MR images of lumbar spine. *Physics in Medicine and Biology*, 55(1):247-264, 2010. [doi:10.1088/0031-9155/55/1/015] [IF: 3.056 (2010); 1st quartile]

10. T. Vrtovec, F. Pernuš and B. Likar. Determination of axial vertebral rotation in MR images: comparison of four manual and a computerized method. *European Spine Journal*, 19(5):774-781, 2010. [doi:10.1007/s00586-010-1340-y] [IF: 1.994 (2010); 2nd quartile]

11. T. Vrtovec, F. Pernuš and B. Likar. A review of methods for quantitative evaluation of axial vertebral rotation. *European Spine Journal*, 18(8):1079-1090, 2009. [doi:10.1007/s00586-009-0914-z] [IF: 1.956 (2009); 1st quartile]

12. T. Vrtovec, F. Pernuš and B. Likar. A review of methods for quantitative evaluation of spinal curvature. *European Spine Journal*, 18(5):593-607, 2009. [doi:10.1007/s00586-009-0913-0] [IF: 1.956 (2009); 1st quartile]

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Po zaključku temeljnega raziskovalnega programa lahko ocenimo, da so rezultati raziskav pomembni za Slovenijo. Koristi za gospodarstvo in družbo so predvsem naslednje:

- Koristi v smislu rezultatov: Rezultati raziskovalnega projekta so pomembno prispevali k napredku znanosti v Sloveniji na področju biomedicinske tehnike. Področje biomedicinske tehnike postaja predvsem zaradi staranja prebivalstva pomembno področje raziskav in razvoja, kar bo zahtevalo tudi ustanovitev študijskih programov biomedicinske tehnike. Glede na velikost projekta je veliko število objav v uglednih revijah ter prispevkov na mednarodno uveljavljenih konferencah pripomoglo k povečani prepoznavnosti Slovenije na znanstveno-raziskovalnem področju. To se neposredno in hitro odraža v članstvu uredniških odborov mednarodnih revij, članstvu v programskih odborih velikih konferenc, predavanjih na tujih univerzah, članstvu v komisijah za oceno in zagovor doktorskih disertacij na tujih uglednih univerzah, zanimanju tujih študentov za doktorski študij v okviru laboratorija (trenutno so v laboratoriju trije tuji študenti), vabilih za skupne projekte, obiskih tujih strokovnjakov, zanimanju velikih podjetij s področja medicinske tehnologije, itn.

- Koristi v smislu klinične uporabnosti: Rezultate raziskovalnega projekta bi potencialno lahko povezali z uporabo v kliničnem okolju. Predlagana standardizirana validacijska metodologija ter predlagani avtomatski postopki za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc so primerni za implementacijo kot namenska programska oprema, ki bi lahko zdravnikom olajšala delo pri vrednotenju rotacije vretenc. Modeliranje vretenčnih teles v 3D na podlagi superkvadrikov se je izkazalo kot metoda, ki je sposobna bolje razlikovati zdrava od deformiranih vretenčnih teles v primerjavi z uveljavljenimi metodami. S pomočjo te metode bi bilo načeloma možno tudi detektirati znake osteoporoze ter nadzirati napredovanje te bolezni, kot tudi napovedati morebitne zlome vretenčnega telesa. Koristi od tega bi imeli tako bolniki, zdravstveno osebje in torej v splošnem tudi družba.

- Tržno zanimivi produkti: Razvita standardizirana validacijska metodologija, avtomatski postopki za kvantitativno vrednotenje rotacije vretenc ter avtomatski postopek za modeliranje oblike vretenčnih teles v 3D se lahko implementirajo in tržijo kot samostojna namenska programska oprema, kot del obstoječih programskih paketov za analizo medicinskih slik ali pa kot del programske opreme naprav za CT in MR zajemanje slik. V tem smislu smo že navezali stike z velikimi proizvajalci programske in strojne medicinske opreme.

- Razvoj kadrov: Rezultati raziskovalnega projekta so nedvomno prispevali k povečanju znanja ter izboljšanju spretnosti raziskovalcev, ki so bili s projektom neposredno ali pa le delno povezani. Zaradi aktualne in zanimive teme projekta, kot tudi zaradi znanja in izkušenj raziskovalne skupine, ki se je povečalo, pričakujemo, da bodo naslednje raziskave privabile nove talentirane raziskovalce.

- Krepitev inštitucijskih zmožnosti: Predlagani raziskovalni projekt je delno omogočil tudi oskrbo

z novimi ter izboljšanje oziroma prenovo obstoječih komponent strojne opreme, programske opreme, literature ter administrativnih in upravljaljskih sistemov.

- Povečano in učinkovitejše sodelovanje: Na osnovi projekta so se vzpostavila nova (npr. Ortopedska klinika, KCLJ) in okrepila obstoječa sodelovanja (npr. Univerza v Utrechtu, Nizozemska), ki bodo posledično prispevala k učinkovitejšemu sodelovanju v prihodnosti.

- Viri sredstev: Za raziskovalce, kot tudi za organizacijo, kjer so se raziskave odvijale, se bo povečala sposobnost pridobivanja novih finančnih, tehničnih in organizacijskih virov za prihodnje raziskovalne projekte.

ANG

The following specific benefits for Slovenia can be identified:

- Benefits in terms of the results: The results of the research project had a direct impact on the state of science in Slovenia in the fields of biomedical engineering, which is becoming an important research and development field and in the near future also a field of higher education. The large number of publications, in respect to the funding of the project, in top peer reviewed journals and international conferences helped to increase the reputation of Slovenia as the country with high-quality research. The number and quality of publications are directly and immediately reflected in: editorial boards memberships, membership in PC committees of international conferences, invited talks at universities and companies abroad, memberships on PhD evaluation and defense committees at recognized universities, interest of foreign students in PhD studies at our university (during the project we have attracted three such students), invitations to participate at common projects, visits of recognized experts in the field, interest of foreign companies in the field of medical imaging for our work, etc.

- Benefits in terms of clinical applicability: The results of the research project can be potentially applied in a clinical environment. The developed standardized validation methodology and automated methods for quantitative evaluation of vertebral rotation are adequate for implementation as a dedicated computer program, which could ease the work of clinicians evaluating vertebral rotation. By modeling vertebral bodies in 3D with superquadrics, it is possible to better discriminate between normal and deformed vertebral bodies when compared to established methods. By using this method, it is in general possible to detect the signs of osteoporosis and monitor the progression of this disease, as well as predict eventual vertebral fractures. Such an approach could be beneficial to patients, clinicians and, finally, to the society.

- Product marketing: The developed standardized validation methodology, and the automatic techniques for quantitative evaluation of vertebral rotation and modeling the shape of vertebral bodies in 3D can be implemented and marketed as a stand-alone dedicated computer program, as a part of existing medical image analysis program packages, or as a part of CT and MR imaging systems. In this respect we have already established contacts with leading medical imaging software and hardware companies.

- Human resources development: The abilities and skills of the researchers fully or partially connected to the research project have significantly improved. Besides the direct transfer of knowledge from academia to industry, knowledge is also transferred through the well trained and highly motivated young researchers who worked on the project and decided to find a job in industry after obtaining their degree. Because of the highly relevant and interesting research topic and the expertise of the research team, it is expected that future projects will attract new talented researchers.

- Strengthening of the institutional capacities: The research project contributed to the capability of acquiring new and reconditioning, improving and renovating the existing elements of hardware, software, literature, and administrative and management systems.

- Increased and more effective collaboration: Working relationships between different individuals and institutions, whether they were directly related to the research or not, established new (e.g. University Medical Centre Ljubljana, Slovenia) and strengthened old collaborations (e.g. Utrecht University, the Netherlands), which might lead to more effective

future collaborations.

- Funding resources: The researchers as well as the organizations involved in the research increased their capabilities of receiving new funding in terms of financial, technical and organizational resources for possible future research projects.

**11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni**

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26 Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27 Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28 Priprava/organizacija razstave		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29 Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30 Strokovna ocena stanja		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31 Razvoj standardov		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32 Mednarodni patent		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33 Patent v Sloveniji		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

--

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.03.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj						
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete						
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj						
G.07	Razvoj družbene infrastrukture						
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva						
G.09.	Drugo:						

Komentar

--

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer			
1.	Naziv			
	Naslov			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra		
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
	Ocena			

14.Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

V letu 2012 je bil v revijo Osteoporosis International (faktor vpliva 4.580, 1. četrtina) sprejet članek, v katerem smo se osredotočili na klasifikacijo zdravih ter deformiranih (zlomljenih) vretenčnih teles na podlagi vrednosti parametrov, pridobljenih z modeliranjem vretenčnih teles s superkvadrki v 3D. Klasifikacijo smo izvedli na 682 vretencih (454 zdravih, 228 zlomljenih) ter dodatno preverili sposobnost klasificiranja na 140 vretencih (94 zdravih, 46 zlomljenih). Skupno smo torej predlagani postopek klasifikacije ovrednotili na 822 vretencih v slikah, zajetih z računalniško tomografijo (CT). Rezultate klasifikacije smo primerjali tudi z obstoječim uveljavljenim postopkom in ugotovili, da predlagani postopek boljše razločuje med zdravimi in deformiranimi vretenci, poleg tega pa lahko z njim ugotavljamo tudi morfološko obliko ter stopnjo zloma vretenčnega telesa. Postopek je torej zanimiv za diagnosticiranje in napovedovanje zlomov vretenčnih teles pri bolnikih z osteoporozo.

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Franjo Pernuš

ŽIG

Kraj in datum: Ljubljana 13.3.2013

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/189

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot pripomoček/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

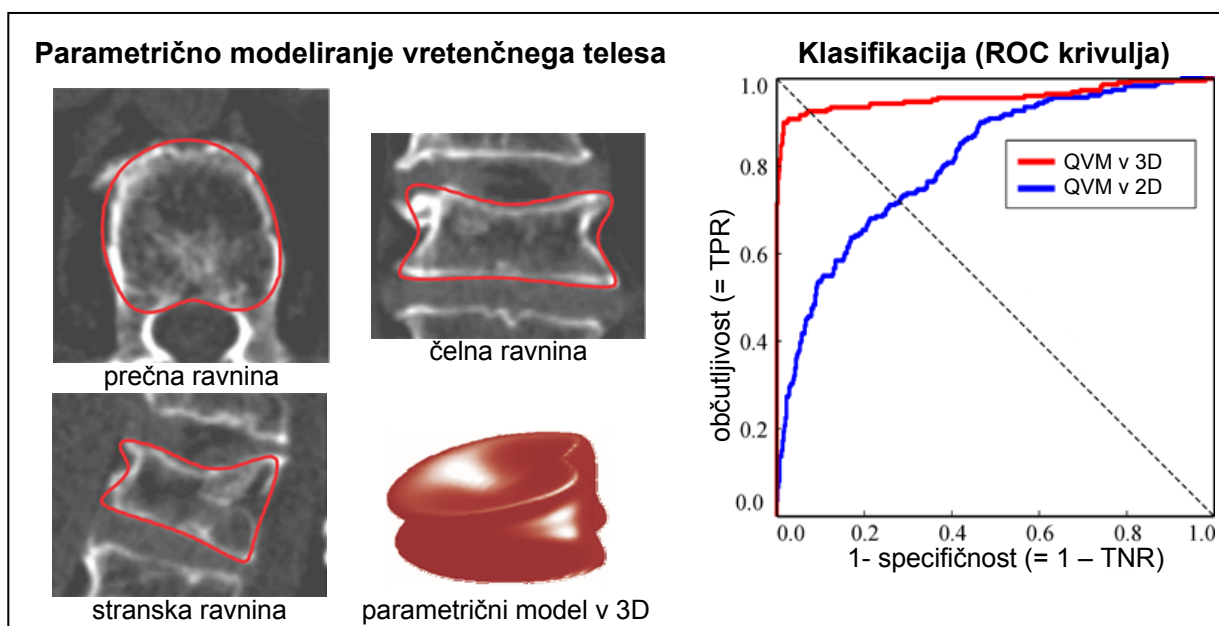
Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00

D8-1F-C8-E0-23-3C-41-B7-8F-B8-68-BB-47-0F-F2-E7-E5-72-29-ED

TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

Področje: 2.06 Zdravstveni inženiring

Kvantitativna morfometrija vretenca na podlagi parametričnega modeliranja vretenčnih teles v 3D. Vir: Quantitative vertebral morphometry based on parametric modeling of vertebral bodies in 3D, Osteoporosis International [doi:10.1007/s00198-012-2089-4]



Napovedovanje in ugotavljanje zlomov vretenčnih teles na podlagi rentgenskih slik je zaradi projekcijske narave slik ter variabilnosti oblik vretenc zelo zahtevno. Po drugi strani pa tridimenzionalne (3D) slike, pridobljene s tehniko računalniške tomografije (CT), omogočajo natančno vrednotenje vretenčnih deformacij in zlomov. Na podlagi avtomatskega parametričnega modeliranja vretenčnega telesa v 3D so klinično pomembne lastnosti oblike vretenčnega telesa predstavljene s parametri modela, kvantitativno morfometrijo vretenca (QVM) v 3D pa nato dosežemo s statistično klasifikacijo. QVM v 3D smo ovrednotili na 454 zdravih in 228 zlomljenih vretenčnih telesih, pri čemer je bila občutljivost 92,5% pri specifičnosti 7,5% ter pripadajoči točnosti 92,5% in natančnosti 86,1%. Parametri oblike v 3D, ki najbolj razlikujejo med zdravimi in zlomljenimi vretenčnimi telesi, so višina ter naklon in konkavnost obeh krovnih plosč vretenčnega telesa. Poleg učinkovitega in objektivnega razločevanja med zdravimi in zlomljenimi vretenčnimi telesi, je mogoče ugotoviti tudi morfološko obliko zloma (klinasta, (bi)konkavna ali zdrobljena) ter stopnjo zloma (1, 2 ali 3) vretenčnega telesa. Avtomatski postopek je torej pomemben tako za diagnosticiranje kot za napovedovanje zlomov vretenčnih teles pri bolnikih z osteoporozo.