

Experimentální Analýza Napětí 2005

SIMULATION OF INTERVERTEBRAL MOBILITY AND FORCES INTERACTIONS

M. Otáhal¹, S. Otáhal², M. Sochor³

Keywords: Spine, Biomechanics, Mathematical model, Kinematics, Joint clearance, Control

Morfologická složitost páteře je evidentní. Složitý systém vazů a svalů vymezuje meziobratlovou kinematiku. Jejich strukturální redundance je zřejmá, ale zatím nevysvětlená. Z hlediska technické mechaniky se evidentně jedná o přeúčtenou soustavu. Dosud neexistuje jednoznačný názor na mechanickou roli meziobratlových plotének v meziobratlovém skloubení. Existují experimentální důkazy o široké variabilitě intervertebrální kinematiky u téhož jedince, která se projevuje již na první úrovni, tj. poloze okamžité osy otáčení (Panjabi, 1990). Tento jev je možné pozorovat u všech obratlovců, nevylučuje člověka.

Morfologie meziobratlového skloubení vytváří dostatečné argumenty pro oprávněnost hypotézy, že dominantním prvkem, který vymezuje intervertebrální kinematiku je intervertebrální skloubení, které je umístěno až nápadně blízko páteřního kanálu. Tento prvek definuje dvouzvratnou páku, kdy na dorsální straně je situován trnový výběžek s mohutným ligamentózním a svalovým aparátem. Na ventrální straně pak dominuje tělo obratle, na který je připojena meziobratlová ploténka a dále rovněž systém vazů a svalů. Meziobratlové klouby definují svým tvarem meziobratlovou pohyblivost, která se nejen liší podle místa na páteři, ale je rovněž individuálně variabilní. Kontaktní plošky jsou pokryty deformovatelnou chrupavkou, která tudíž „přesnost“ definice relativní pohyblivosti značně komplikuje.

Z této skutečnosti vyplývá při nejmenším fakt, že intervertebrální kinematika bude silně závislá na zátěžovém poli. Naší snahou je vytvořit takovou modelovou interpretaci, která by nejen umožnila posoudit uvedené jevy, ale která by rovněž umožnila vytvořit nástroj pro posouzení charakteru silového intervertebrálního přenosu, roli meziobratlové ploténky a funkce dalších prvků meziobratlového skloubení. Protože skeletární část páteře tvoří bezpochyby ochranu míchy umístěné v páteřním kanálu, optimalizační kritéria pro řízení kinetiky celého zřetězeného komplexu musí brát úvahu biologické aspekty. Tím může být z mechanického hlediska např. poloha „neutrální osy páteřního kanálu a její změna při pohybu. Nalézt však biologický obraz, resp. percepční obraz je zatím neřešitelný problém.

¹ Ing. Martin Otáhal, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07, PRAHA 6, E-mail: sindar@centrum.cz

² Prof. Ing. Stanislav Otáhal CSc., FTVS UK, José Martino 52, 162 52, PRAHA 6, E-mail: otahal@ftvs.cuni.cz

³ Doc. Ing. Miroslav Sochor CSc., ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07, PRAHA 6, E-mail: sochor@fsid.cvut.cz

V prvním přiblížení k řešení problému jsme vytvořili lineární 4 – členný model řetězec, který sestává z tuhých členů (kostěné komponenty). Ty jsou navzájem spojeny kinematickými dvojicemi s „preferovanou“ rotací (Φ_{ij}), a které mají rovněž jistou vnitřní poddajnost (C_{ij}), způsobující kloubní vůli.

Meziobratlová ploténka je simulována viskoelastickým prvkem, deformovatelným v tahu i tlaku a má rozhodující vliv v meziobratlové kinetice na tlumení dynamických procesů (Zemanová, , Otáhal, Panjabi). Jeho role je vymezena prvky simulující vazy jsou rovněž viskoelastické, které však vykazují pouze tahový efekt při svém protažení. Aktivním, externě řízeným prvkem v modelu je sval, který vykazuje řízenou viskoelasticitu. Celá konfigurace těchto prvků v soustavě akceptuje přirozenou strukturální redundanci biologického vzoru. Elementární intervertebrální mobilitu zajišťují vzájemně antagonní dvojice meziobratlových svalů a vazů. Souhyby obratlů jsou pak nezávisle zajištěny samotnými svalově-vazovými antagonními dvojicemi.

V současné době jsou vytvořeny dvě verze modelu. Obě verze jsou ve 2D, a jsou zaměřeny na Flexi a extensi páteře. První verze modelu se stává ze 3 obratlů a rámu, a zanedbává kloubní vůli a aktivní řízení systému. Druhá verze se skládá jednoho obratle a rámu, zanedbává aktivní řízení systému a počítá s kloubní vůlí v meziobratlovém kloubu. Dále je rozpracována verze 3, 3D, která je již konkrétně zaměřena na cervikální páteř, včetně modelu atlanto-occipitálního spojení.

Tato práce vznikla za podpory grantu 106/03/0958 a 106/03/0464 České grantové agentury, a MSM 6840770012.

Literatura:

- [1] Giles L.G.F., Singer K.P., Clinical Anatomy and Management of Low Back Pain, Reed Educational and Professional Publishing Ltd., The Bath Press, GB, Rochaeater, 1997
- [2] Wite A.A., Panjabi M. M., Clinical Biomechanics of the Spine, Lippincott Williams & Wilkins, London, 1990
- [3] Zemanová P., Zeman J., Torsion stiffness of intervertebral disc and its identification, Proceedings of International Conference Biomechanics of Man 2002 in Čejkovice, Prague 2002, 55 – 57
- [4] Otáhal, S., Otáhal J., Subarachnoidal interspace and cerebrospinal fluid transportation, In: Complexity of biomaterials and tissue structures, Charles University, Prague 2002, 125 – 134, ISBN 80-86317-20-X
- [5] Otáhal M., Otáhal S., Sochor M.: Intervertebral kinetics modelling and its simulated biological kontrol. Proceedings of the seventh international conference on computational structures technology, Civil-comp press, Lisabon 2004
- [6] Otáhal M.: Mechanical simulation of the intervertebral kinetice. Biomechanics of man, Východočeská univerzita, Plzeň 2004