

Sedmi susret Hrvatskoga društva za mehaniku  
Split, 16.-17. lipnja 2016.

## EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA LJUDSKE PUPČANE VENE

**Pamuković, F., Golemović, M. & Kodvanj, J.**

**Sažetak:** Ljudska pupčana vena (eng. *human umbilical vein*) može se koristiti u vaskularnim rekonstrukcijama kao zamjena za krvne žile manjeg promjera (<6 mm). Iako se u tu svrhu koristi od 1973. godine, još uvijek ne postoji dovoljno podataka o njenim mehaničkim svojstvima. Dva tkiva pupkovine prikupljena su tijekom normalnog poroda, te su iz njih izdvojene pupčane vene. Svaka vena podijeljena je u 5 segmenata (uzoraka) pri čemu su uzorci bliži posteljici smatrani proksimalnim, oni na strani fetusa distalnim, a središnji segment smatran je medijalnim. Uzorci su testirani na statičkoj kidalici unutar 24 sata od poroda, te su prekonicionirani silama do 2 N kako bi se vlakna unutar vene usmjerila u pravcu opterećenja. Tijekom ispitivanja uzorci su ovlaživani fiziološkom otopinom. Test se provodio do pucanja uzoraka pri čemu su se bilježile sile i pomaci. Značajna razlika u mehaničkim svojstvima uočljiva je u maksimalnim silama pri čemu su proksimalni segmenti dostizali znatno više sile prije pucanja od distalnih, dok su rezultati medijalnih segmenata potvrdili pad krutosti od posteljice prema fetalnom kraju vene. Rezultati ispitivanja su pokazali da pupčana vena ne ispoljava ujednačena mehanička svojstva cijelom svojom dužinom što ukazuje na potrebu za daljnjim ispitivanjima.

**Ključne riječi:** *pupčana vena, mehanička svojstva, hiperelastičnost.*

### 1 UVOD

Bolesti srca i krvnih žila uzrok su gotovo 49% smrtnih slučajeva u Republici Hrvatskoj pri čemu je najveći udio onaj ishemijskih bolesti - 43,7%. Ishemijske ili koronarne bolesti srca uzrokuju smanjenje protoka krvi kroz žile [1]. Kod bolesnika s kritičnom ishemijom donjih ekstremiteta prvi izbor za premosnicu je autologna vena. Međutim, odgovarajuće autologne vene nisu uvijek dostupne zbog slabije kvalitete ili prethodne upotrebe. U takvim slučajevima se kao alternativa nameće upotreba umjetnih ili ljudski nesrodnih vaskularnih tkivnih presađaka, tzv. vaskularnih alografta.

Umjetni presađci daju dobre rezultate u slučaju zamjene krvnih žila promjera većeg od 6 mm, dok kod žila manjeg promjera dolazi do tromboze i hiperplazije intime te se stoga takvi presađci više ne preporučuju [2]. U tom slučaju se kao jedino rješenje nameće korištenje vaskularnih alografta za rekonstrukciju takvih žila.

Ljudske pupčane vene mogu se koristiti u vaskularnoj kirurgiji kao zamjene za krvne žile malog promjera (< 6 mm), naročito kod osoba koje boluju od potkoljениčne okluzivne bolesti arterija [3, 4, 5].

Iako je za potrebe vaskularnih rekonstrukcija u primjeni još od 1973. godine [6] većina objavljenih radova usredotočena je na ispitivanje bioloških značajki pupčane vene [4, 7, 8], dok su u svega nekoliko radova istraživana njena biomehanička svojstva [9, 10, 11].

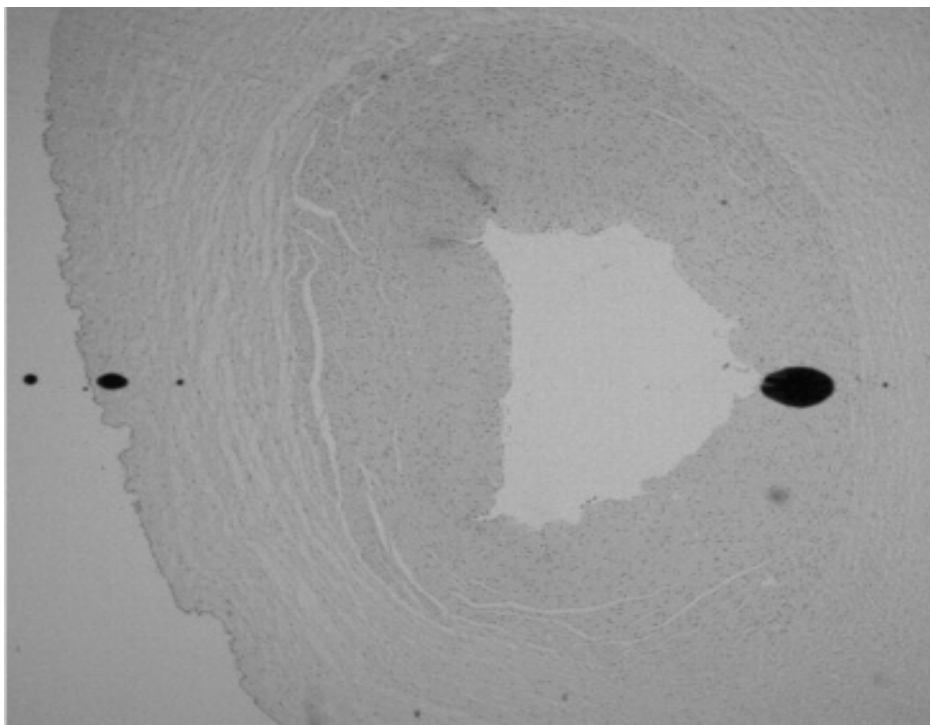
Korištenje tkivnih presađaka ljudskog podrijetla općenito podrazumijeva prethodnu složenu obradu tkiva i odgovarajuću dugotrajnu pohranu u bankama tkiva. Cilj takvog postupka je stvoriti zalihu tkiva različitih dimenzija i svojstava i na taj način omogućiti kirurzima izbor odgovarajućeg presađaka u različitim situacijama [12]. Bolje definiranje različitih vrsta vaskularnih presađaka ovisno o njihovim mehaničkim svojstvima olakšalo bi izbor odgovarajućeg presađaka u pojedinim kliničkim situacijama.

## 2 PRIPREMA UZORAKA

Dvije pupčane vrpce prikupljene su u Klinici za ženske bolesti i porode u Kliničkom bolničkom centru Zagreb (KBC Zagreb). U istraživanje su bile uključene samo punoljetne roditelje koje su dale suglasnost za sudjelovanje u istraživanju i koje su rodile zdravo terminsko novorođenče jednoplodne trudnoće, gestacijske dobi >37 tjedana.

Pupčane vene su odmah po uzimanju isprane hepariniziranom fiziološkom otopinom. Potom se pristupilo pažljivom odvajanju pupčane vene od ostatka pupkovine u Banci kardiovaskularnog tkiva pri Zavodu za transfuzijsku medicinu i transplantacijsku biologiju, KBC-a Zagreb.

Bojanjem hematoksilinom (Slika 1) potvrđena je izdvojenost vene od ostatka pupčanog tkiva.

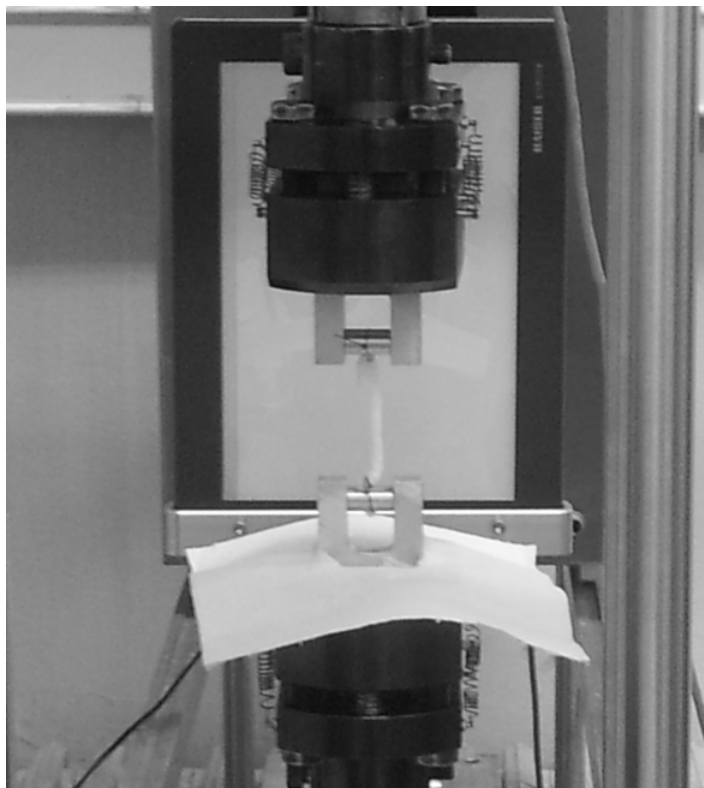


Sl. 1. Vena obojana hematoksilinom

Vene su zatim podijeljene na 5 segmenata - uzoraka, prosječne duljine 10 cm u prosjeku pri čemu je dio vene bliži posteljici smatran proksimalnim (P) dok je fetalni dio smatran distalnim (D), s medijalnim (M) segmentom između njih.

### 3 EKSPERIMENTALNI POSTAV

Uzorci su podvrgnuti jednoosnom statičkom vlačnom testu na statičkoj kidalici (Messphysik Beta 50-5) (Slika 2) u Laboratoriju za eksperimentalnu mehaniku na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Prije početka testa, uzorci su prekondicionirani silom do 2 N tijekom 10 ciklusa kako bi se vlakna usmjerila u pravcu opterećenja [10, 11]. Tijekom ispitivanja uzorci su bili ovlaživani fiziološkom otopinom, a test se provodio brzinom od 5 mm/min do pucanja uzorka.

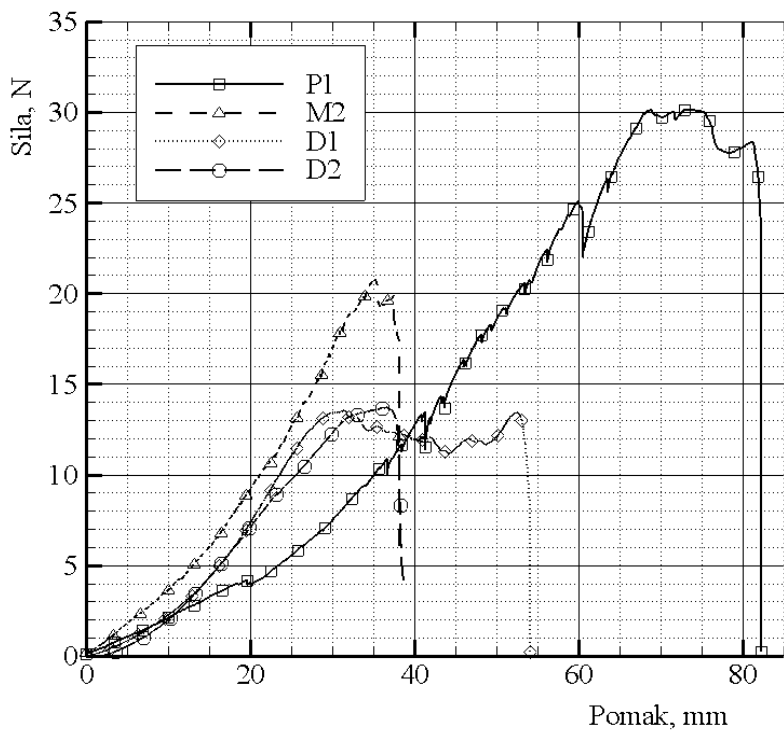


Sl. 2. Pupčana vena na uređaju za testiranje

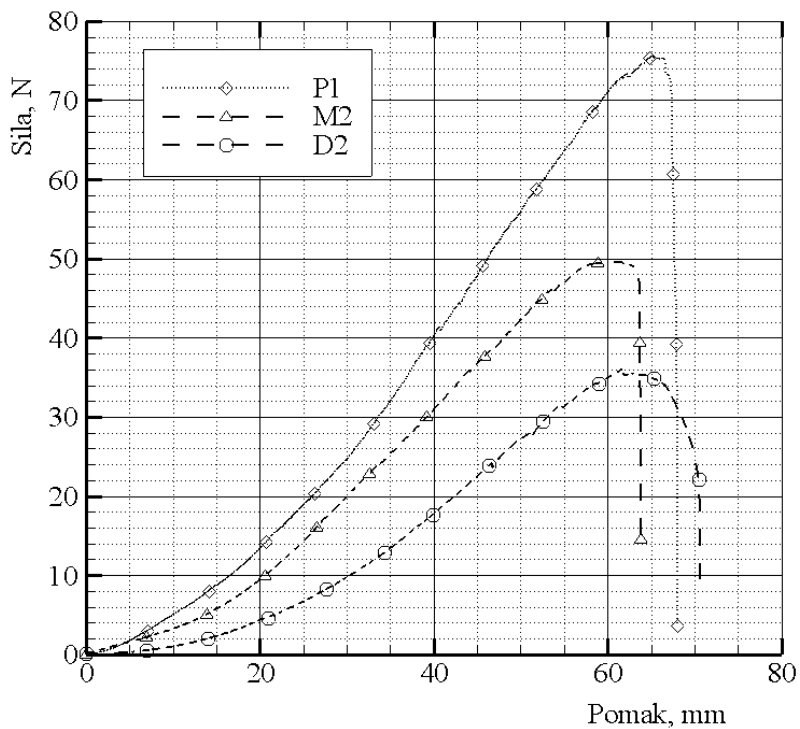
### 4 REZULTATI

Tijekom testa bilježene su sile te pomaci uzoraka. Zanemareni su rezultati testova u kojima je vena pukla blizu prihvata kidalice ili se iz njega izvukla. Nelinearnost mehaničkih svojstava te porast krutosti u prvom dijelu dijagrama (Slike 3 i 4), vidljiva kao povećanje nagiba krivulje, ukazuje na uključivanje vlakana kolagena, dok slično tome prije samog pucanja vene dolazi prvo do popuštanja elastina [10, 11] što je vidljivo kao nagli pad u dijagramu sila-pomak (Slika 3).

Razlike u maksimalnim silama između dvije skupine vena ukazuju na brojne druge faktore koji utječu na konačnu krutost vene kao što su npr. gestacija dob te opće zdravstveno stanje majke što je potrebno istražiti na većem broju uzoraka. Unatoč različitim maksimalnim silama, trend smanjenja krutosti vene prema fetalnom dijelu očit je kod obje skupine uzoraka.



Sl. 3. Rezultati ispitivanja uzoraka prve pupčane vene



Sl. 4. Rezultati ispitivanja uzoraka druge pupčane vene

## 5 ZAKLJUČAK

Rezultati testova pokazali su izrazitu nelinearnost mehaničkih svojstava pupčane vene pri čemu se duž vene idući od posteljice prema fetalnom kraju krutost vene smanjuje.

Poznavanje ovih svojstava može znatno poboljšati izbor presadka za određenu primjenu, te otvara vrata novim ispitivanjima, prije svega utjecaju krioprezervacije na mehanička svojstva ali i određivanju hiperelastičnih svojstava materijala što bi omogućilo provedbu računalnih simulacija te u konačnici uklonilo potrebu za složenim eksperimentalnim testiranjima.

### Literatura

- [1] Kralj, V., *Kardiovaskularne bolesti u Republici Hrvatskoj*, HZJZ, Zagreb, 2013.
- [2] Kadner, A., Zund, G., Maurus, C., Breymann, C., Yakarisik, S., Kadner, G., Turina, M. Hoerstrup, S.P., Human umbilical cord cells for cardiovascular tissue engineering: a comparative study, *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*, Vol. 25, 2004, pp. 635-641.
- [3] Fahner, P.J., Idu, M.M., Van Gulik, T.M., Legemate, D.A., Systematic review of preservation methods and clinical outcome of infrainguinal vascular allografts, *Journal of Vascular Surgery*, Vol. 44, No. 3, 2006, pp. 518-524.
- [4] Dardik, H., Wengerter, K., Qin, F., Pangilinan, A., Silvestri, F., Wolodiger, F., Kahn, M., Sussman, B., Ibrahim, I.M., Comparative decades of experience with glutaraldehyde-tanned human umbilical cord vein graft for lower limb revascularization: An analysis of 1275 cases, *Journal of Vascular Surgery*, Vol. 35, No. 1, 2002, pp. 64-71.
- [5] Hirsch, S.A., Jarett, F., The use of stabilized human umbilical vein for femoropopliteal bypass. Experience with 133 operations with 5-year follow-up, *Annals of Surgery*, Vol. 200, No. 2, 1984, pp. 147-152.
- [6] Hoenicka, M., Lehle, K., Jacobs, V.R., Schmid, F.X., Birnbaum, D.E., Properties of the Human Umbilical Vein as a Living Scaffold for a Tissue-Engineered Vessel Graft, *Tissue Engineering*, Vol. 13, No. 1, 2007, pp. 219-229.
- [7] Li, W., Huang, T., Zeng, Y., Yao, Z., The Relationship between Gestational Age and Compliance in Human Umbilical Vein and Its Possible Application in Vascular Grafting, *Annals of Vascular Surgery*, Vol. 20, No. 2, 2006, pp. 237-242.
- [8] Dardik, H., Umbilical vein grafts, *Annals of Surgery*, Vol. 187, No. 4, 1978, pp. 440-441.
- [9] Li, W.C., Ruan, X.Z., Zhang, H.M., Zeng, Y.J., Biomechanical Properties of Different Segments of Human Umbilical Cord Vein and Its Value for Clinical Application, *Journal of Biomechanical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, Vol. 76, No. 1, 2006, pp. 93-97.
- [10] Hamedani, B.A., Navidbakhsh, M., Tafti H.A., Comparison between mechanical properties of human saphenous vein and umbilical vein, *Biomedical Engineering Online*, 2012, Vol. 11, No. 59, pp. 1-15.
- [11] Karimi, A., Navidbakhsh, M., Alizadeh, M., Shojaei, A., A comparative study on the mechanical properties of the umbilical vein and umbilical artery under uniaxial loading, *Artery Research*, Vol. 8, No. 2, 2014, pp. 51-56.
- [12] Neufang, A., Espinola-Klein, C., Dorweiler, B., Messow, C.M., Schmiedt, W., Vahl, C.F., Femoropopliteal prosthetic bypass with glutaraldehyde stabilized human umbilical vein (HUV), *Journal of Vascular Surgery*, Vol. 46, No. 2, 2007, pp. 280-288.

**Autori:**

**Frane Pamuković**, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zavod za tehničku mehaniku, Ivana Lučića 5, HR-10000 Zagreb, tel. 01/6168-447, e-mail: [frane.pamukovic@fsb.hr](mailto:frane.pamukovic@fsb.hr),

**Mirna Golemović**, Klinički bolnički centar Zagreb, Zavod za transfuzijsku medicinu i transplantacijsku biologiju, Kišpatićeva 12, HR-10000 Zagreb, e-mail: [mgolemov@kbc-zagreb.hr](mailto:mgolemov@kbc-zagreb.hr),

**Janoš Kodvanj**, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zavod za tehničku mehaniku, Ivana Lučića 5, HR-10000 Zagreb, tel. 01/6168-425, e-mail: [jkodvanj@fsb.hr](mailto:jkodvanj@fsb.hr).