
MEHANIČKA SVOJSTVA HIRURŠKIH KONACA DOBIJENIH OD RAZLIČITIH TIPOVA POLIMERNIH MATERIJALA

MECHANICAL PROPERTIES OF SURGICAL SUTURES MADE OF DIFFERENT POLYMER MATERIALS TYPE

Dejan Kojić¹

Univerzitet za poslovni inženjering i menadžment, Tehnički fakultet

Jaroslava Budinski Simendić²

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet

Tamara Erceg³

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet

Nevena Vukić⁴

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet

Mirjana Jovičić⁵

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet

Jelena Pavličević⁶

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet

Oskar Bera⁷

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet

Sažetak

Hirurški konci su niti materijala namenjeni za ušivanje oštećenog tkiva (rana) ili podvezivanje (ligiranje) krvnih sudova. U ovom radu proučavana su mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. Prikazani su i tehnološki postupci dobijanja osnovnih vlakana za proizvodnju hirurških konca. Analizirani su uzorci: monofilamentnih neresorptivnih konaca (na

¹ Despota Stefana Lazarevića bb, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, BiH, Email: kojic.d@hotmail.com.

² Bulevar Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija, Email: jarkamer@gmail.com

³ Bulevar Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija, Email: ercegt7@gmail.com

⁴ Bulevar Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija, Email: nevena.vukic@gmail.com

⁵ Bulevar Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija, Email: jovicic.mirjana@gmail.com

⁶ Bulevar Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija, Email: jelenapavlicevic@gmail.com

⁷ Bulevar Cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija, Email: oskarbera@gmail.com

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Analni poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9

osnovu poliamida, polipropilena, politetrafluoretilena i polivinilfluorida), multifilamentnih konaca (na osnovu poliamida, svile i poliester), resorptivnih multifilamentnih hirurških konaca (na osnovu poliglikolne kiseline i poliglikonata) i resorptivnih monofilamentnih hirurških konaca na osnovu polidiodksanona. Određene su prekidne čvrstoće i prekidna izduženja neresorptivnih konaca i čvrstoće u čvoru resorptivnih konaca.

Ključne riječi: polimeri, mehanička svojstva, hirurški konci, prekidna čvrstoća

Summary

Surgical sutures are threads based on materials which are suitable for sewing damaged tissue (wounds) or ligation of blood vessels. The mechanical properties of surgical sutures made of different polymers type were analyzed. The analyzed samples of the monofilament non-absorbable sutures (were based on polyamide, polypropylene, polytetrafluoroethylene and polyvinyl fluoride) the multifilament non-absorbable sutures (were based on polyamide, silk, polyester), the multifilament absorbable sutures (were based on polyglycolic acid and polyglyconate) and the monofilament absorbable sutures were based on polydioxanone. The procedures for obtaining fibers for surgical sutures were presented. The ultimate tensile strength and elongation of the non-absorbable surgical sutures and tensile strength in the node of the absorbable sutures were determined.

Keywords: polymers, mechanical properties, surgical sutures, tensile strength

1 Uvod

Povezivanje tkiva nakon hirurških intervencija predstavlja suštinski najvažniji korak u obnavljanju strukture i funkcije povrijeđenog tkiva. Hirurški konci se upotrebljavaju za zaustavljanje krvarenja, ligiranje krvnih sudova, povezivanje i ušivanje rana, odnosno oštećenih tkiva (Slatter, 2003). Razvoj hirurških konaca, odnosno različitih materijala za ušivanje rana pratio je razvoj hirurgije, koja praktično postoji od samog nastanka čovječanstva. Za zatvaranje i ušivanje rana korišćeni su razni šavni materijali, životinjska creva, tetive, dlake, niti lana, konoplje, jute, pamuka, svile i žice plemenitih metala (Dattilo et al, 2002; Mirković & Đurđević-Mirković, 2011). Nedavno su urađena obimna istraživanja s ciljem primene nanomaterijala kod strukturiranja materijala kako bi se dobile nove generacije hirurškog šavnog materijala. Na primjer, vodeni rastvor nanočestica bi se mogao koristiti za ostvarivanje jake veze između tkiva bez potrebe za reakcijama umrežavanja ili polimerizacijom *in situ*. Nanočestice se apsorbuju na površinama tkiva i deluju kao konektor između tkiva (Annabi et al., 2014). Takođe se mogu koristiti i za izradu hemostatskog materijala na bazi polimera za zaustavljanje krvarenja, bez posebne pripreme i kontrole reakcije polimerizacije. Osim toga razne vrste nanomaterijala u polimernim matricama, mogu da pruže antibakterijska svojstva hirurškim materijalima, ali i da poboljšaju mehanička svojstva hirurškim materijalima. Tkvni

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Anali poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9

adhezivi sa uključenim nanočesticama mogu da riješe problem toksičnosti, neželjenih reakcija u tkivu, neadekvatnih mehaničkih karakteristika i složenih polimerizacijskih procesa (Suzuki & Ikada, 2011; Wnek & Bowlin, 2008). Uprkos ovakvim istraživanjima, razvoju i dostignućima savremene nauke, tehnologije i inženjerstva materijala, princip ušivanja rane pomoću igle i konca ostao je nepromenjen (Mirković & Mirković-Đurđević, 2011; Mirković et al., 2010).

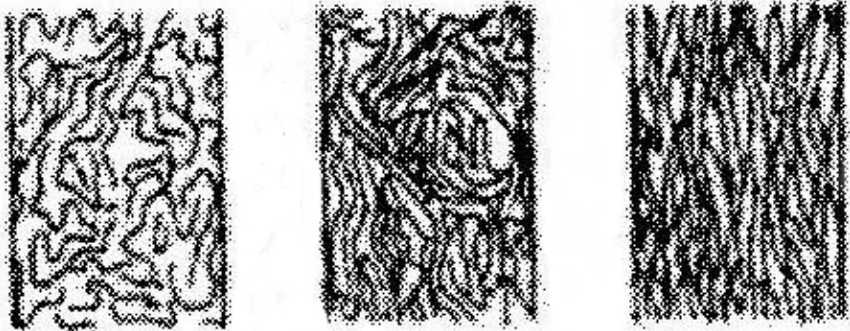
2 Postupak dobijanja hirurških konaca i klasifikacija

Polimerni materijali namenjeni za proizvodnju hirurških konaca moraju da zadovolje veliki broj različitih zahteva od kojih su neki veoma specifični kako bi oporavak rane (tkiva) i ozdravljenje pacijenta bilo što uspešnije. Kvalitet hirurških konaca zavisi od četiri osnovna svojstva: resorptivnosti, prekidne čvrstoće, tkivne reakcije i infekcije rane (Mirković et al., 2010). Pored ova četiri svojstva, materijali od kojih se proizvode hirurški konci, kao i drugi materijali koji se upotrebljavaju u medicinske svrhe moraju da ispune određene, specifične zahteve, kao što su: netoksičnost, mogućnost sterilizacije, dobra mehanička svojstva i kompatibilnost (Horrock & Anand, 2000).

Prvi korak u proizvodnji sintetskih hirurških konaca je proizvodnja polimera. Hemikalije koje čine polimer se ubacuju u hemijski reaktor za polimerizaciju, a zatim se protiskivanjem kroz kalup dobija polimer u obliku granula. Granule se ubacuju u mašinu za ekstrudiranje, koja topi polimer i protiskuje ga kroz mlaznicu sa velikim brojem sitnih otvora, pri čemu se formira veliki broj pojedinačnih vlakana. Vlakna se istežu između valjaka i do pet puta u odnosu na početnu dužinu. Neki hirurški konci se proizvode kao monofilamentni a drugi kao multifilamentni, predeni ili upleteni. Broj filamenata zavisi od željene debljine i kreće se od 20-ak za vrlo fine (tanke) hirurške konce, nekoliko stotina niti za konce srednje finoće (debljine), do nekoliko hiljada niti za deblje konce. Dobijeni hirurški konci se podvrgavaju različitim naknadnim obradama, od kojih je jedna od najznačajnijih istezanje do 20% u odnosu na početnu dužinu. Takođe se prevlače preko vrele ploče pri čemu dolazi do peglanja, ispravljanja čvorića, kvržica i drugih nepravilnosti. Potom prolaze kroz peći za žarenje, gdje se izlažu visokim temperaturama i napetostima pri čemu dolazi do stabilizacije, orjentisanja i uređivanja kristalne strukture u pravcu dužine lanca polimera (slika 1) (Jovanović 1988). Postupak proizvodnje hirurških konaca može da traje od nekoliko minuta do nekoliko sati u zavisnosti od vrste materijala, nakon čega sledi provera svojstava, odnosno kontrola kvaliteta hirurških konaca. Hirurški konci se seku na standardizovane dužine, automatski spajaju sa iglama, pakuju u aluminijumsku foliju i sterilizuju različitim postupcima.

SLIKA 1. ORIJENTACIJA MAKROMOLEKULA U POLIMERNOM MATERIJALU – NESREĐEN RASPORED, DELIMIČNO ORIJENTISANE I ORIJENTISANE MOLEKULE

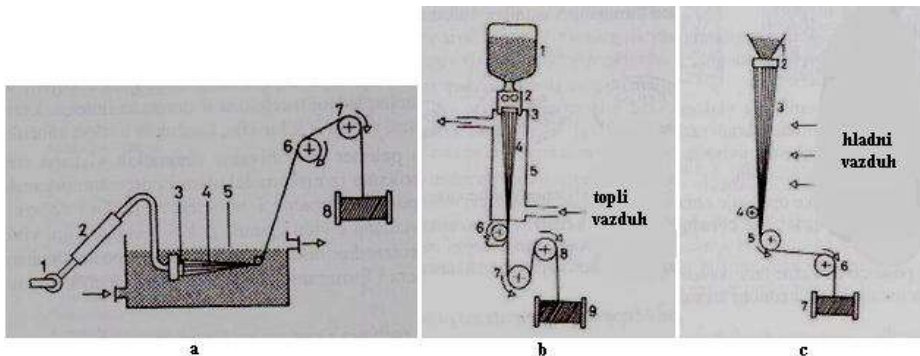
Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Anali poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9



Izvor: Jovanović (1988).

Tri su različita postupka formiranja hemijskih vlakana za proizvodnju hirurških konaca: mokro pređenje iz rastvora polimera, suvo pređenje iz rastvora polimera i pređenje iz rastopa (slika 2). Bez obzira na tehnološki postupak, sve mašine za ispredanje hemijskih vlakana se sastoje od: pumpe, filtera, mlaznice, uređaja za očvršćavanje filameta, uređaja za istezanje i uređaja za namotavanje filameta. Pumpa obezbeđuje dopremanje stalne količine rastvora ili rastopa polimera u jedinici vremena.

SLIKA 2. ŠEMATSKI PRIKAZ ISPREDANJA SINTETSKIH VLAKANA ZA PROIZVODNJU HIRURŠKIH KONACA: a-MOKRO PREDENJE IZ RASTVORA, b-SUHO PREDENJE IZ RASTVORA POLIMERA, c-PREDENJE IZ RASTOPA POLIMERA



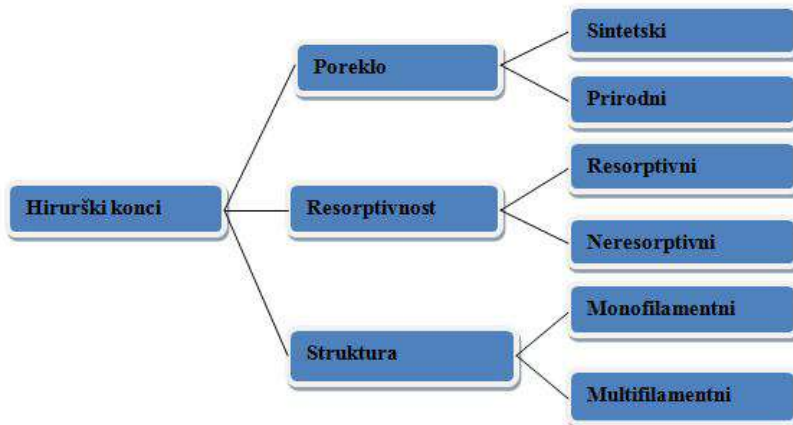
Izvor: Ristić (2000).

Filter služi za prečišćavanje rastvora ili rastopa od eventualno zaostalih nečistoća. Mlaznica ima veliki broj rupica kroz koji se protiskuje tečni polimer. Mlaznice su najčešće okruglog, ređe pravougaonog ili ovalnog oblika. Uređaji za očvršćavanje

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Anali poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9

filamenta su korita sa kupkom za očvršćavanje (slika 2a) ili kanal kojim struji vrući vazduh (slika 2b), odnosno hladni vazduh (slika 2c) (Ristić, 2000).

SLIKA 3. KLASIFIKACIJA HIRURŠKIH KONACA



Hirurški konci se klasifikuju na osnovu porekla, svojstva resorpcije i strukture (Slika 3) (Capperauld, 1989). Sa pozicije primene, najznačajnija podela na osnovu svojstva resorptivnosti, na resorptivne i neresorptivne. Prema standardima američke farmakopeje (*USP*), resorptivni hirurški konci su oni koji se razgrađuju, resorbjuju u organizmu i usled toga gube najveći deo svoje prekidne čvrstoće unutar perioda od 60 dana od ugradnje. Neresorptivni hirurški konci, naprotiv, zadržavaju najveći deo svoje prekidne čvrstoće i nakon period od 60 dana od ugradnje i moraju se fizički ukloniti iz organizma.

3 Materijali i metode

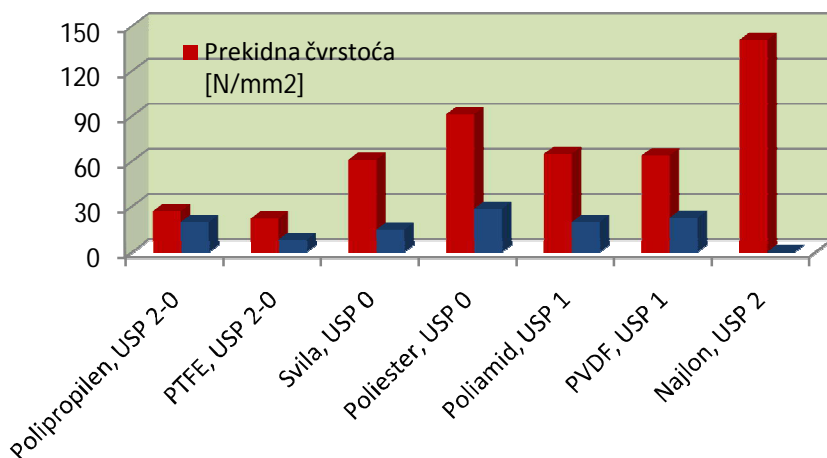
U ovom radu su korišćeni uzorci neresorptivnih hirurških konaca na bazi polipropilena [Poli(propen)], svile, poliesteru [Poli(etil benzen-1,4-dikarboksilat)], poliamida [Poli(heksano-6-laktam)], najlona [Poli(imino(1,6-dioksoheksameten)-iminoheksameten)], PTFE [poli(1,1,2,2/tetrafluoretilen)] i PVDF [Poli(1,1-difluoroetilen)] i uzorci resorptivnih hirurških konaca, PGA (polyglycolic acid), PGGA [poly(glycolide-co-ε-caprolactone)], PGLA [poly(glycolide-co-lactide)], PDO (polydioxanone), PGQ (polyglycolic acid-quick), PLQ [poly(glycolide-co-lactide)-quick] kompanije “AKOMED” Beograd. Određivanje prekidne čvrstoće, prekidnog izduženja i prekidne čvrstoće u čvoru izvršeno je standardizovanom metodom na kodalici *Instron 1122*, standard *SRPSGS2612*. Brzina istezanja uzoraka bila je identična i iznosila je 10mm/min.

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Analni poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9

4 Rezultati i diskusija

Mehanička svojstva i resorptivnost su osnovni pokazatelji kvaliteta hirurških konaca. Hirurški konci moraju pružiti permanentnu podršku rani tokom oporavka, pa prema tome primena određene vrste hirurškog konca zavisi, pored resorptivnosti, od prekidne čvrstoće. Rezultati određivanja prekidne čvrstoće i prekidnog izduženja uzoraka neresorptivnih hirurških konaca prikazani u dijagrami na slici 4, pokazuju da prekidna čvrstoća ne zavisi samo od debljine hirurškog konca, nego da veliki uticaj na ovo svojstvo ima i vrsta materijala, kao i filamntnost, odnosno struktura pojedinih uzoraka. Najmanju prekidnu čvrstoću ima uzorak hirurškog konca na osnovu PTFE ($22,0 \text{ N/mm}^2$), a najveću uzorak hirurškog konca na osnovu Najlona ($140,0 \text{ N/mm}^2$) što je u skladu sa vrstom materijala i strukturom uzoraka.

SLIKA 4. UPOREDNI PRIKAZ DOBIJENIH REZULTATA PREKIDNOG IZDUŽENJA I PREKIDNE ČVRSTOĆE ZA UZORKE NERESORPTIVNIH HIRURŠKIH KONACA



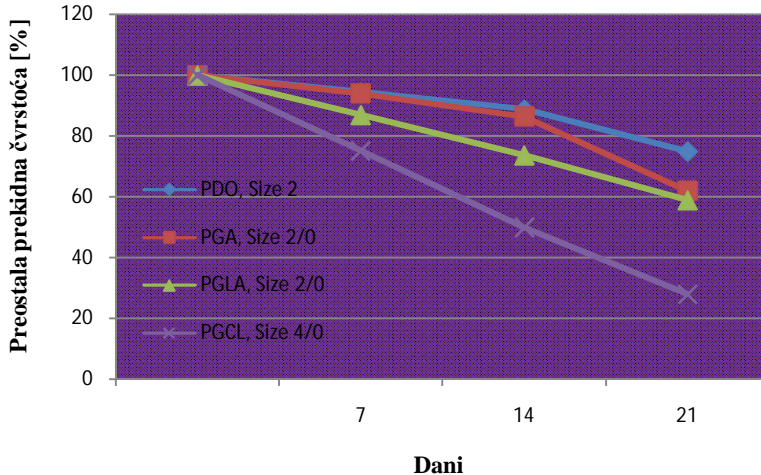
Hirurški konac na osnovu propilena ima veću prekidnu čvrstoću ($26,9 \text{ N/mm}^2$), od hirurškog konca na osnovu PTFE ($22,0 \text{ N/mm}^2$), iako oba imaju iste nazivne debljine, 2-0, prema USP i oba imaju monofilamentnu strukturu. Ova anomalija je direktna posledica vrste materijala, jer hirurški konci na osnovu polipropilena spadaju u grupu hirurških konaca sa najvećom prekidnom čvrstoćom (Paunović, 2014). Jedan od osnovnih nedostataka hirurških konaca od prirodnih materijala je i relativno mala prekidna čvrstoća, pa tako i uzorak hirurškog konca na bazi svile ima znatno manju prekidnu čvrstoću ($61,1 \text{ N/mm}^2$) u odnosu na hirurški konac na osnovu poliesteru ($91,4 \text{ N/mm}^2$), iako oba imaju istu nazivnu debljinu prema USP (USP 2-0) i oba imaju multifilamentnu strukturu. Hirurški konci sa nazivnom debljinom „USP 0“ (na

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Anali poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9

osnovu svile i na osnovu poliesteru) imaju istu ili veću prekidnu čvrstoću od hirurških konaca sa većom nazivnom debljinom prema *USP (USP 1)*, odnosno, hirurških konaca na bazi poliamida i PVDF, što je posledica njihove multifilamentne strukture. Prekidna izduženja uzoraka hirurških konaca kreću se u očekivanim vrednostima od 8% za uzorke hirurških konaca na osnovu *PTFE*, do 28,5% za uzorke na osnovu poliesteru što je u skladu sa njihovom strukturom i vrstom materijala.

Resorptivni sintetski hirurški konci se nakon implantacije u tijelu razgrađuju postepeno hidrolizom. Proces razgradnje počinje opadanjem prekidne čvrstoće a završava gubitkom mase. Pored kompatibilnosti sa tkivima od hirurških konaca se zahteva da pruže podršku rani ili oštećenim tkivima prilikom oporavka, pa je od izuzetne važnosti usklađenost razgradnje resorptivnih hirurških konaca sa procesom zaceljivanja rane, odnosno tkiva. Proces resorpcije se prati kroz vrijednost preostale prekidne čvrstoće. Na slici 5 su prikazane uporedne vrednosti prekidnih čvrstoća za uzorke *PGA*, *PGLA* multifilamentnih resorptivnih hirurških konaca, kao i za uzorke *PDO* i *PGCL* monofilamentnih resorptivnih hirurških konaca nakon 7, 14 i 21 dan od početka hidrolitičke razgradnje.

SLIKA 5. UPOREDNI PRIKAZ PREOSTALE PREOSTALE PREKIDNE ČVRSTOĆE PDO, PGA, PGLA I PGCL UZORAKA HIRURURŠKIH KONACA NAKON 7, 14 I 21 DAN OD POČETKA HIDROLITIČKE RAZGRADNJE

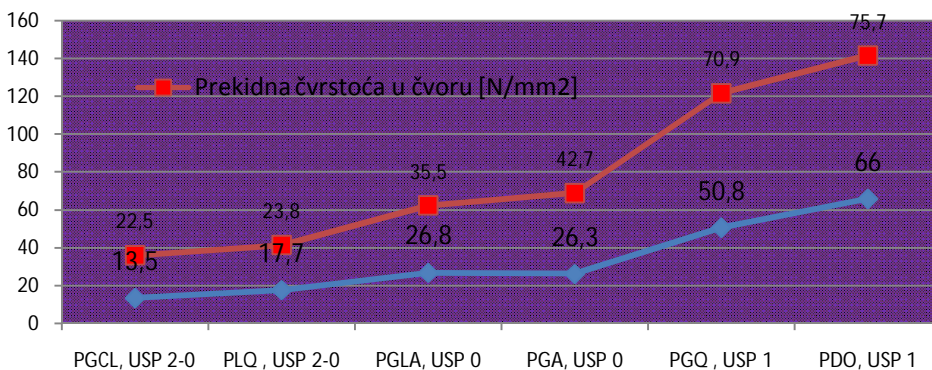


Rezultati prikazani dijagramom na Slici 5. pokazuju da hirurški konac na osnovu polidiodksanona spada u dugo-resorptivne hirurške konce, pa je i nakon tri sedmice od početka razgradnje zadržao i do 70% početne prekidne čvrstoće pa se ova vrsta hirurških konaca može primeniti za ušivanje rana čiji oporavak traje i duže od 21 dan. Takođe, rezultati pokazuju da *PGA* i *PGLA* hirurški konci mogu da pruže permanentnu podršku rani do tri sedmice, dok *PGCL* hirurški konac može da pruži

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Anali poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9

podršku rani najduže do petnaest dana, jer nakon tri sedmice zadržava svega 28% početne prekidne čvrstoće. Pored prekidne čvrstoće, značajan uticaj na kvalitet hirurških konaca ima i čvrstoća u čvoru. U dijagramu na slici 6 prikazani su rezultati ispitivanja čvrstoće u čvoru uzoraka resorptivnih hirurških konaca i standardima propisane minimalno dozvoljene čvrstoće u čvoru za pojedine vrste hirurških konaca.

SLIKA 6. UPOREDNI PRIKAZ DOBIJENIH REZULTATA PREKIDNIH ČVRSTOĆA U ČVORU ZA UZORKE RESORPTIVNIH HIRUŠKIH KONACA I MINIMALNO DOZVOLJENE PREKIDNE ČVRSTOĆE U ČVORU



5 Zaključak

Idealan hirurški konac je materijal koji treba da je netoksičan, sterilan, nereaktivan ili slaboreaktivan za tkivo, da ima dobra mehanička svojstva i da je ekonomičan. Uprkos pojavi novih materijala i stalnom poboljšanju svojstava, idealan hirurški konac ne postoji. Razvijanjem i usavršavanjem hirurških tehnika, pred hirurške konce se postavlja sve više zahteva da bi ispunili standardima postavljene uslove kvaliteta. U radu je obuhvaćeno sedam različitih tipova neresorptivnih hirurških konaca: tri multifilamentna i četiri monofilamentna; šest različitih resorptivnih hirurških konaca: četiri multifilamentna i dva monofilamentna. Dobijeni komparativni podaci su značajni za primenu hirurških konaca. Ustanovljeno je da svi uzorci ispitivani u ovom radu imaju veoma dobra mehanička svojstva. Prekidna čvrstoća, prekidno izduženje i čvrstoća u čvoru su u skladu sa standardima propisanim uslovima, pa prema tome, uzorci hirurških konaca ispitivani u ovom radu odgovaraju propisanom kvalitetu za kliničku upotrebu.

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Anali poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9

6 Popis literature

- Annabi, N., Tamayol, A., Shin, S. R., Ghaemmaghami, A. M., Peppas, N. A., & Khademhosseini, A. (2014). Surgical materials: current challenges and nano-enabled solutions. *Nano today, 9*(5), 574–589.
- Capperauld, I. (1989). Suture materials: a review. *Clinical Materials, 4*(1), 3–12.
- Dattilo Jr, P. P., King, M. W., Cassill, N. L., & Leung, J. C. (2002). Medical textiles: application of an absorbable barbed bi-directional surgical suture. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, 2*(2), 1–5.
- Horrocks, A. R., & Anand, S. C. (Eds.). (2000). *Handbook of technical textiles*. Elsevier, 407–423.
- Jovanović, R. S. (1988). *Nauka o vlaknima i tehnologija vlakana: Osnovi nauke o vlaknima*. Građevinska knjiga.
- Mirković, S., & Đurđević-Mirković, T. (2011). Uticaj hirurškog šavnog materijala na pojavu mehaničkih oštećenja sluzokože usne duplje. *Medicinski pregled, 64*, (3-4), 157–160.
- Mirković, S., Đurđević-Mirković, T., Bajkin, B., & Šarčev, I. (2010). Choice of surgical suture material used in oral cavity: Clinical study. *Medicinski pregled, 63*(7-8), 497–501.
- Mirković, S., Selaković, S., Šarčev, I., & Bajkin, B. (2010). Influence of surgical sutures on wound healing. *Medicinski pregled, 63*(1-2), 7–14.
- Paunović, M. (2013). *Uticaj primenjene hirurške tehnike i vrste šavnog materijala na nastanak dehiscencije laparatomije* (Doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, Medicinski fakultet).
- Ristić, M. (2000). *Vlakna: struktura, svojstva, tehnologija*. Tehnološki fakultet, 110–125.
- Slatter, D. H. (Ed.). (2003). *Textbook of small animal surgery* (Vol. 1). Elsevier Health Sciences, 235–245.
- Suzuki, S., & Ikada, Y. (2011). *Biomaterials for surgical operation*. Springer Science & Business Media.
- Wnek, G. E., & Bowlin, G. L. (Eds.). (2008). *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering, (Online Version)*. CRC Press.

Kojić, D., Budinski-Simenić, J., Erceg, T., Vukić, N., Jovičić, M., Pavličević, J. i Bera, O. (2017). Mehanička svojstva hirurških konaca dobijenih od različitih tipova polimernih materijala. *Anali poslovne ekonomije, br. 16*, str. 1–9