

С. С. Подпрятков^{1, 2}, С. Є. Подпрятков^{1, 2}, Г. С. Маринський³, О. В. Чернець³, В. А. Ткаченко³, Д. А. Грабовський³, К. Г. Лопаткіна³, С. В. Ткаченко³, Ю. З. Буряк³, В. К. Сердюк³

¹ Київський міський центр електрозварювальної хірургії

Київ, Україна

² Київська міська клінічна лікарня № 1

Київ, Україна

³ Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України

Київ, Україна

S. S. Podpriatov^{1, 2}, S. E. Podpriatov^{1, 2}, G. S. Marinsky³, O. V. Chernets³, V. A. Tkachenko³, D. A. Hrabovsky³, K. G. Lopatkina³, S. V. Tkachenko³, Yu. Z. Buriak³, V. K. Serdiu³

¹ Clinical research Centre of bonding/welding surgery and new surgical technologies

Kyiv, Ukraine

² Kyiv municipal hospital clinic № 1

Kyiv, Ukraine

³ E. O. Paton Electric welding institute of National Academy of Science of Ukraine

Kyiv, Ukraine

ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОСЯГНЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОБОЮ В МОДЕЛІ МІЖКИШКОВОГО АНАСТОМОЗУ ПРИ ПІДВИЩЕННІ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ ТА ПОСИЛЕНОМУ МЕХАНІЧНОМУ СТИСКАННІ

Efficiency of electrical breakdown arise in the model of intestinal anastomosis with increasing the voltage at the welding instrument and the enhanced mechanical compression in it

Резюме

Мета – дослідити вплив величини прикладеного тиску та способу подавання напруги на електродах на досягнення електричного пробую в моделі міжкишкового анастомозу в модельному експерименті.

Матеріал та методи. Порівнювали ефективність досягнення електричного пробую стінки кишки в моделі міжкишкового анастомозу людини. Модельною тканиною слугувала кишка сільськогосподарської тварини – свині. Використовували експериментальний електрозварювальний стенд з електродною частиною – прототипом клінічного інструменту. Порівнювали ефективність досягнення електричного пробую стінки за різної величини тиску електродів на стінки кишки: 3 Н/мм² та 6 Н/мм². Умови зростання електричної напруги на електродах: діапазон зростання від 20 В до 90 В, тривалість зростання 20 секунд та 2 секунди.

Результати та обговорення. Збільшення тиску електродів на тканину з 3 Н/мм² до 6 Н/мм² не змінило загальний вигляд осцилограми перебігу

Abstract

Purpose of the study – investigate the influence of the applied pressure value and the voltage type on the electrodes for achieve an electrical breakdown in the model of intestinal anastomosis in the model experiment.

Material and methods. The porcine intestine was delivered from the farm to laboratory during 6 hours in 4 °C and then heated into 0,9% NaCl up to 26–32 °C. [3]. Two organ walls were positioned inside the prototype device for human circular anastomosis, and then pressed for 60 seconds before radio frequency welding. The 140 probes were made in several combinations investigating pressure values 3,0 and 6,0 N/mm² (or x 10⁴ N/m²) effects for electrical breakdown arise during increasing voltage from 20 to 90 Volts during 20 or 2 seconds.

Results. The electrodes pressure increasing from 3 N/mm² to 6 N/mm² does not change the general view of the oscillogram of electrical parameters during a voltage rise for 20 seconds. It does not significantly change the value of the

зміни електричних параметрів при підйомі напруги впродовж 20 секунд. Воно не змінило суттєво ані величину електричної напруги пробою стінки кишки ($81,8 \pm 4,2$ В проти $80,3 \pm 4,6$ В), ані тривалість його очікування ($17,2 \pm 1,3$ секунди проти $17,6 \pm 1,1$ секунди).

При скороченні до 2 секунд часу підвищення напруги з 20 В до 90 В застосування підвищеного тиску електродів – 6 Н/мм² не призвело до появи електричного пробою однієї стінки кишки, як і при застосуванні тиску 3 Н/мм².

Висновки. 1. Прикладення на стінки біоімітаційної моделі кишки людини тиску у 3 та 6 Н/мм² не суттєво змінило тривалість необхідного для досягнення електричного пробою подавання зростаючої від 20 В до 90 В змінної напруги, та показчика напруги в момент пробою.

2. Встановлена відсутність залежності діелектричних властивостей стінки кишки від близької до критичного щодо її структури величини механічного стиснення.

3. Встановлена необхідність певної тривалості, до 20 секунд, безперервного подавання електричної напруги для досягнення електричного пробою стінки кишки.

Ключові слова: електрична напруга, тиск, стінка кишки, електрозварювання, анастомоз, інструмент.

electrical breakdown ($81,8 \pm 4,2$ V vs. $80,3 \pm 4,6$ V) or the duration of its waiting ($17,2 \pm 1,3$ sec against $17,6 \pm 1,1$ seconds). The reduction of voltage rising period to 2 seconds, the use of elevated electrode pressure 6 N/mm² – does not lead to an electrical breakdown of ever one intestinal wall, as with the 3 N/mm² applying.

Conclusions. The changing from 3 to 6 N/mm² pressure applicate to the electrodes does not significantly change the time to electric breakdown and it's voltage point during rising from 20 V to 90 V AC, into the bio-imitation model of human intestine anastomosis. There is no dependence of the dielectric properties of the intestine wall from the close-to-critical mechanical compression ratio. The certain duration, up to 20 seconds, of continuously supply an electrical voltage is necessary to achieve an electrical breakdown of the intestine wall.

Keywords: electrical voltage, pressure, intestine, welding, anastomosis, instrument.

ВСТУП

Відомо, що стиснена речовина є кращим провідником електричного струму за не стиснуто. Найвищий показчик стиснення, досліджений для створення анастомозу, становить $1,125$ Н/мм² [1]. Морфологічні зміни, спричинені проходженням високочастотного електричного струму в живій тканині, є основою для утворення суцільної електрозварної структури в живій тканині [2].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідити вплив величини прикладеного тиску та способу подавання напруги на електродах на досягнення електричного пробою в моделі міжкишкового анастомозу в модельному експерименті.

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ

Дослідження здійснили в умовах лабораторії відділу електрозварювання живих тканин Інституту електрозварювання ім. Є. О.Патона НАН України. Порівнювали ефективність досягнення електричного пробою стінки кишки в моделі міжкишкового анастомозу людини. Матеріалом для дослідження був біоімітатор кишки людини з відповідним діаметром та товщиною стінки

органу. Біоімітатором слугував органокомплекс сільськогосподарської тварини (свині). Органокомплекс у свині забирали безпосередньо на фермі після умертвіння, яке було заплановане з не пов'язаними з експериментом причинами, та відбувалося з дотриманням вимог Закону України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» та законодавства ЄС.

Біоімітатор охолоджували до 4 °С та протягом 6 годин доставляли до лабораторії. В лабораторії його готували до експерименту, занурюючи у теплий (26 – 32 °С) розчин $0,9\%$ NaCl на 10 – 20 хвилин, до досягнення тканиною температури розчину [3]. Температуру тканини та розчину вимірювали інфрачервоним безконтактним пірометром GM300 (Benetech).

Використовували розроблений в Інституті електрозварювання експериментальний електрозварювальний стенд з електродною частиною – прототипом клінічного інструменту.

Біоімітатор складали вдвічі, серозними оболонками до середини, моделюючи розташування кишки в циркулярному анастомозі, та фіксували між електродами експериментального стенду.

У 140 пробах прикладали попередньо відкаліброване навантаження ззовні до електродів, створюючи між ними тиск $3,0$ або $6,0$ Н/мм² ($3,0$ – $6,0 \times 10^4$ Н/м²). Показники тиску та тривалість виміру були встановлені нами в попередніх дослідженнях як етапні для стінок кишки та

шлунку. Припускаємо, що прикладення тиску 6 Н/мм^2 є руйнівним для стінки порожнистого органу, на відміну від 3 Н/мм^2 .

Вплив тиску тривав протягом 60 секунд, після чого подавали зростаючу електричну напругу на електроди. Параметри зростання електричної напруги: діапазон зростання – від 20 В до 90 В, тривалість зростання 20 секунд або 2 секунди.

Статистична обробка отриманих даних виконана з використанням комп'ютерних програм пакета STATISTICA (StatSoft Statistica v.10.0.). Статистичну значимість порівнюваних показників з нормальним розподілом, яке визначалося за критерієм згоди Колмогорова-Смирнова, встановлювали з використанням дисперсійного аналізу (ANOVA) та t-критерію Ст'юдента, при рівні значущості $p = 0,05$. В таблицях наведений репрезентативний фрагмент отриманих даних, що представлені як «середнє \pm стандартне відхилення» ($M \pm s$).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Збільшення тиску електродів на тканину з 3 Н/мм^2 до 6 Н/мм^2 не змінило загальний вигляд осцилограми перебігу зміни електричних параметрів при підйомі напруги впродовж 20 секунд (рис. 1 та 2). Збільшення тиску не змінило суттєво ані величину електричної на-

пруги пробою однієї стінки товстої кишки, ані тривалість його очікування, хоча призвело до зростання температури тканини між електродами (табл. 1)

При дослідженні укладених між електродами в моделі анастомозу двох стінок товстої кишки, з подальшим їх стисненням у 6 Н/мм^2 , зростання напруги від 20 В до 90 В впродовж 20 секунд також спостерігали появу електричного пробою (рис. 3). Динаміка змін електричних параметрів практично не відрізняється від перебігу їх змін в попередньому дослідженні. Відмінною рисою було лише більше нагрівання тканини (табл. 2)

Але при скороченні до 2 секунд часу підвищення напруги з 20 В до 90 В застосування підвищеного тиску електродів – 6 Н/мм^2 – не призвело до появи електричного пробою однієї стінки товстої кишки, як і при застосуванні тиску 3 Н/мм^2 (рис. 4,5).

Температура тканини не піднімалась вище 41°C , і склала $35,2 \pm 3,5^\circ \text{C}$

В контрольному дослідженні, виконаному з використанням однієї стінки шлунка, стиснення у 6 Н/мм^2 не призвело до виникнення електричного пробою при підйомі електричної напруги від 20 В до 90 В впродовж 20 секунд. Не зважаючи на досягання високої температури тканини $118,5 \pm 5,0^\circ \text{C}$.

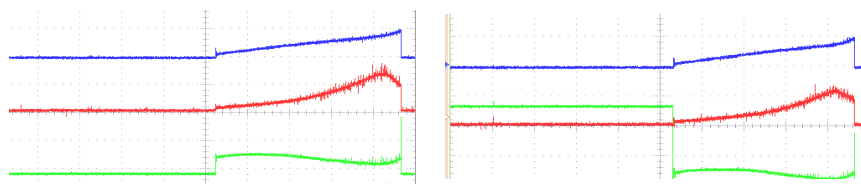


Рис. 1, 2. Перебіг змін електричних параметрів досягнення електричного пробою однієї стінки товстої кишки при лінійному зростанні напруги від 20 В до 90 В впродовж 20 секунд практично не відрізняється при застосуванні тиску електродів на тканину. 1) 6 Н/мм^2 ; 2) 3 Н/мм^2 . Синім кольором позначена напруга, червоним – сила струму, зеленим – електричний опір

Таблиця 1

Порівняння досягнення електричного пробою однієї стінки товстої кишки за різного тиску електродів, при лінійному зростанні напруги впродовж 20 секунд

№	Тиск між електродами, Н/мм^2	Тривалість подавання напруги перед пробоем, с	Електрична напруга пробою, В	Досягнення пробою	Температура тканини, $^\circ \text{C}$
1	3	17	79,5	+	98
2	3	16	76,0	+	96
3	3	18	83,2	+	98
4	3	16	76,2	+	92
5	3	19	86,6	+	101
Середнє		$17,2 \pm 1,3$	$80,3 \pm 4,6$		$97,0 \pm 3,3$
6	6	18	83,3	+	108
7	6	19	86,8	+	121
8	6	16	75,9	+	105
9	6	17	79,6	+	109
10	6	18	83,4	+	103
Середнє		$17,6 \pm 1,1$	$81,8 \pm 4,2$		$109,2 \pm 7,0$

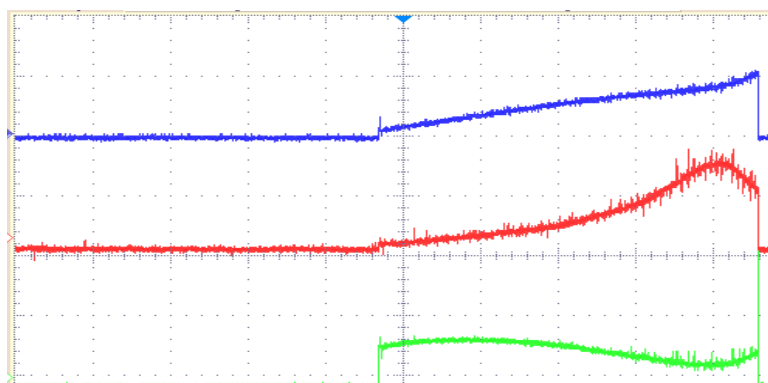


Рис. 3. Перебіг змін електричних параметрів досягнення електричного пробоя двох стінок товстої кишки при лінійному зростанні напруги від 20 В до 90 В впродовж 20 секунд під тиском електродів 6 Н/мм². Синім кольором позначена напруга, червоним – сила струму, зеленим – електричний опір

Таблиця 2

Порівняння досягнення електричного пробоя однієї та двох стінок товстої кишки за однакового тиску електродів 6 Н/мм², при лінійному зростанні напруги впродовж 20 секунд

№	Досягнення пробую	Тривалість подавання напруги перед пробоем, секунд	Електрична напруга пробую, В	Кількість стінок кишки між електродами, шт	Температура тканини, °С
1	+	18	83,3	1	108
2	+	19	86,8	1	121
3	+	16	75,9	1	105
4	+	17	79,6	1	109
5	+	18	83,4	1	103
Середнє		17,6 ± 1,1	81,8 ± 4,2		109,2 ± 7,0
6	+	17	79,7	2	121
7	+	19	86,9	2	131
8	+	18	83,6	2	125
9	+	17	79,9	2	119
10	+	18	83,8	2	123
Середнє		17,8 ± 0,8	82,8 ± 3,0		123,8 ± 4,6

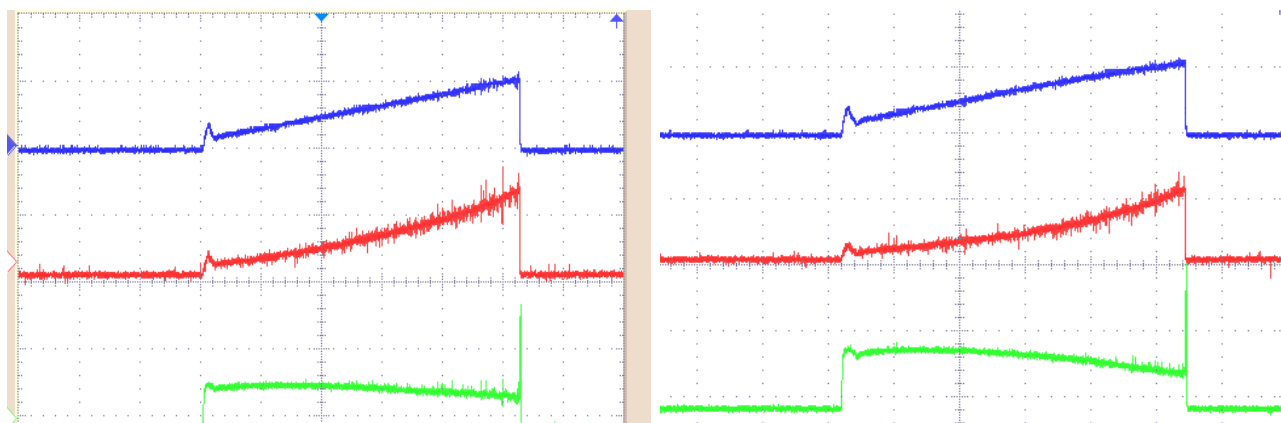


Рис. 4, 5. Перебіг змін електричних параметрів та відсутність електричного пробую однієї стінки товстої кишки при лінійному зростанні напруги від 20 В до 90 В впродовж 2 секунд при застосуванні тиску електродів на тканину 1) 6 Н/мм²; 2) 3 Н/мм². Синім кольором позначена напруга, червоним – сила струму, зеленим – електричний опір

ВИСНОВКИ

1. Прикладення на стінки біоімітаційної моделі кишки людини тиску у 3 та 6 Н/мм² не суттєво змінило тривалість необхідного для досягнення електричного пробую подавання зростаючої від 20 В до 90 В змінної напруги, та показника напруги в момент пробую.

2. Встановлена відсутність залежності діелектричних властивостей стінки кишки від близької до критичного щодо її структури величини механічного стиснення.

3. Встановлена необхідність певної тривалості, до 20 с, безперервного подавання електричної

напруги для досягнення електричного пробую стінки кишки.

ОБГОВОРЕННЯ І ПОДАЛЬШИЙ
НАПРЯМ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Зважаючи на зареєстроване сильне нагрівання, до 123,8±4,60 С, тканини при досягненні електричного пробую з застосуванням програмованого підвищення змінної напруги від 20 В до 90 В протягом 20–60 секунд, для уникнення перегрівання під час створення електрозварного з'єднання слід подавати електричну напругу з вищою амплітудою, ніж була спостережена під час пробую – 82,8 ± 3,0 В.

ЛІТЕРАТУРА

1. Holmer C., Winter H., Krger M., Nagel A., Jaenicke A., Lauster R., Kraft M., Buhr H. J., Ritz J. P. Bipolar radiofrequency-induced thermofusion of intestinal anastomoses-feasibility of a new anastomosis technique in porcine and rat colon // *Langenbeck's Arch. Surg.* – 2011. – Vol. 396 – № 4 – P. 529–533.

2. Подпратов С. Є., Гичка С. Г., Подпратов С. С., Маринський Г. С., Чернець О. В.,

Ткаченко В. А., Грабовський Д. А., Лопаткіна К. Г., Ткаченко С. В., Буряк Ю. З., Сердюк В. К. Складові утворення електрозварного з'єднання шлунка та тонкої кишки // *Клінічна хірургія.* – 2017. – № 2 – 57–58.

3. Егоров В. И., Турусов Р. А., Счастливцев И. А., Баранов А. О. Кишечный шов / *Физико-механические аспекты.* Видар, Москва, 2004. – 200 с.

REFERENCE

1. Holmer C., Winter H., Kröger M., Nagel A., Jaenicke A., Lauster R., Kraft M., Buhr H. J., Ritz J. P. (2011) Bipolar radiofrequency-induced thermofusion of intestinal anastomoses-feasibility of a new anastomosis technique in porcine and rat colon. *Langenbeck's Arch. Surg.*, vol. 396, no 4, pp. 529–533.

2. Podpryatov S. Ye., Hychka S. H., Podpryatov S. S., Marynskyi H. S., Chernets O. V., Tkachenko V. A., Hrabovskyy D. A., Lopatkina K. H.,

Tkachenko S. V., Buryak Yu. Z., Serdyuk V. K. (2017) Skladovi utvorenniya elektrozvarnogo z'yednannya shlunka ta tonkoyi kyshky [Ingredients of the formation of electro-welded joints of the stomach and small intestine]. *Klinichna khirurgiya*, no 2, pp. 57–58.

3. Yegorov V. I., Turusov R. A., Schastlivtsev I. A., Baranov A. O. (2004) *Kishechnyy shov. Fiziko-mekhanicheskiye aspekty.* Moskva, Vidar, (in Russia).

Стаття надійшла до редакції 24.09.2018