

UTJECAJ ELEKTROSTIMULACIJE NA POBOLJŠANJE KAKVOĆE MESA

Marcelia¹, M.A., L. Kozačinski², M. Hadžiosmanović, Ž. Cvrtila, N. Zdolec, I. Filipović; N. Vragović³

SAŽETAK

Električna stimulacija (ES) smatra se danas rutinskim postupkom u industrijskoj preradi mesa. Prednosti njene upotrebe ogledaju se u smislu boljeg i potpunijeg iskrvarenja životinja, brzim padom pH koji uz brzo hlađenje stvara smanjenu mogućnost rasta i razmnožavanja bakterija. Sve to utječe na sprečavanje kvarenja, sprečavanje površinske gnjileži i poboljšanje održivosti mesa. Nadalje, njena primjena poboljšava sposobnost vezanja vode te utječe na senzorska svojstva u smislu bolje mekoće, sočnosti i stabilnosti boje mesa. Iskustva su pokazala da primjena elektrostimulacije umanjuje pojavu pogrešaka poput skraćivanja mišićnih vlakana hladnoćom (en. cold shortening) te poboljšava tehnološka svojstva mesa. Nakon početnih pozitivnih rezultata kod goveđeg mesa primjena elektrostimulacije uvodi se i u proizvodnju drugih vrsta poput svinjetine i mesa peradi.

Ključne riječi: električna stimulacija, kakvoća mesa

UVOD

Iako je postupak ES trupova (polovica) zaklanih životinja posljednjih godina prošlog stoljeća pobudio veliki interes proizvođača zahvaljujući učinku poboljšanja kakvoće mesa i tehnološkim prednostima, ideja o njegovoj primjeni nije nova. Harshmann i Deatherage (1951) su u SAD-u patentirali industrijsku opremu za ES, a početkom 70-tih godina već je industrijska aplikacija postupka rasprostranjena diljem svijeta. U tom se periodu vrše istraživanja u Novom Zelandu (Carse, 1973) u cilju sprečavanja pojave napadno tvrdog janječeg mesa u izvozu u Veliku Britaniju i u SAD, uz reklamaciju tih zemalja. Meso janjadi je bilo podvrgnuto brzom hlađenju zbog smanjenja rasta bakterija i skraćivanja vre-

mena hlađenja. No, spomenuti postupak izazivao je povratno otvrdnuće mesa zbog skraćivanja mišićnih vlakana hladnoćom (en. cold shortening). Ta je pojava posljedica brzog hlađenja mesa neposredno nakon klanja, a prije isteka znakova *rigor mortis*. Rješenje ovog problema postignuto je upotrebom ES visokog napona (do 3600 V), i to odmah nakon klanja životinje. U tom smislu primjenjuje se nekoliko postupaka od kojih su neki uvedeni u rutinsku industrijsku proizvodnju.

POSTUPCI ELEKTROSTIMULACIJE

Danas postoje različite vrste uređaja za ES, i to niskonaponski (do 50V) s ručnim upravljanjem i visokonaponski (od 50-3600 V) kojima se upravlja ručno ili automatski. Uređaji koji su u upotrebi u SAD rade uglavnom uz napetost struje koja varira između 500 i 700 V. Oprema za ES u SAD radi uglavnom na naponu između 500 i 700 V. I naša dosadašnja iskustva pokazuju da se ES uz napon od 700 V dobivaju bolji rezultati.

Opći je učinak ES danas dobro poznat, pa se ona primjenjuje u industriji mesa u SAD, Novom Zelandu, Francuskoj i u Australiji (Bendall, 1980). U SAD se prednost daje ES visokog napona (550 V), jer ES niskog napona (60 V i manje) ponekad uzrokuje vodnjikavost i greške u boji mesa, a problem je i u neujednačenim učincima omekšavanja različitih mišića u trupu zaklane životinje. ES niskog napona ne zahtijeva posebne opreme, može se provoditi u jednostavnijim uvjetima klaoničke obrade. Najnoviji ekonomski trendovi ES daju prednost električnoj

¹ Dr. sc. Miguel A. Marcelia, Mendoza 31856 piso, Buenos Aires (capital), Condigo Postal 2814, Argentina;

² Dr.sc. Lidija Kozačinski; izvanredna profesorica; dr.sc. Mirza Hadžiosmanović, redoviti profesor; dr.sc. Željka Cvrtila, viša asistentica; Ivana Filipović, dr.vet.med., Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za higijenu i tehnologiju animalnih namirnica, Heinzelova 55;

³ Natalija Vragović, dr.vet.med., Zagreb
Kontakt: klidija@vef.hr

struji niskog napona (manje od 70 V), a svode se na vrlo brzi pad pH i mnogo brži nastup znakova *rigor-mortis* (Steiffler i sur., 1984). ES pomoću struje niskog napona rezultira svjetlijom bojom i manje učestalom pojavom toplotnog prstena (en. "heath ring") u usporedbi s mesom koje je podvrgnuto ES visokog napona i s kontrolnim, nestimuliranim (NS) mesom.

Postoje, dakle, razni tipovi aparata za ES s ručnim i automatskim upravljanjem, ovisno o kapacitetu klanja u klaonici. Ručni se aparati mogu veoma dobro adaptirati prema ritmu klanja od 60-70 životinja na sat. Automatski se aparati koriste uz dinamiku klanja od čak 300 životinja na sat. Automatska oprema zahtijeva posebni kabinet koji štiti operatera od svakog potencijalnog rizika. Aproximativni gabariti ove opreme su 2x2x3,5 m s tim da postoji mogućnost redukcije prostora ovisno o uvjetima klanja. Automatska oprema uključuje sistem pojedinačnih ili duplih cijevi (šipki) koje diraju trup u visini plečke (živi pol), a njihova se masa nalazi na razini linije klanja. Kroz ove šipke provodi se određeni broj električnih šokova, a njihovo se djelovanje automatski zaustavlja pomicanjem trupova na pokretnoj traci linije iskrvarenja i klaoničke obrade. Umjesto spomenutih šipki može se montirati sistem vrtuljka. Tako se može reducirati prostor u slučaju ako se radi o manjoj klaonici odnosno o ograničenom prostoru linije iskrvarenja.

UTJECAJ ELEKTROSTIMULACIJE NA KAKVOĆU I TEHNOLOŠKA SVOJSTVA MESA

Osim sprečavanja pojave skraćivanja mišića hladnoćom, ES izaziva i druge pozitivne učinke na kakvoću mesa. Takav je i učinak da meso postaje mekše, čak i kada se čuva na sobnoj temperaturi odnosno ako se podvrgava hlađenju istom po isteku znakova rigor mortis, čime se sprečava rizik od pojave "cold shortening" (Bendall, 1973; Mckeith i sur., 1980; Savell i sur. 1977, 1978, 1979; Smith i sur. 1979, 1980; Strydom i sur., 2005; White i sur., 2006). Ima, međutim, i autora koji nisu utvrdili značajne razlike u mekoći stimuliranih i nestimuliranih trupova (Jeremiah i Martin, 1980). Takahashi i sur. (1987) su upotrijebili visokonaponski aparat za ES

(500 V i 60 Hz) i pomoću elektronskog mikroskopa utvrdili pucanje mišićnih vlakana uz porast mekoće *m. longissimus dorsi* goveda.

Druga prednost koja se obično pripisuje ES je njezin pozitivan utjecaj naboju mesa, što neposredno utječe u smislu prihvaćanja komercijalnih proizvoda od potrošača. Mnogi autori ističu razlike u boji mesa elektrostimuliranih trupova (Bouton i sur. 1980; Cross, 1979; Kastner i sur. 1980; Savell i sur., 1977, 1978; Strydom i sur., 2005.).

Treći aspekt, je utjecaj ES na sposobnost vezanja vode. Zbog djelovanja ES brže su biokemijske promjene u mesu *post-mortem*, naročito pad pH. Zbog toga je pH često manji od 6,0 i onda kada je temperatura mesa više od 30°C. U tim uvjetima mišićne bjelančevine mogu denaturirati, što može izazvati smanjenje sposobnosti vezanja vode (Roeber i sur., 2000; Geesing i sur., 2001; Strydom i sur., 2005). To je ozbiljni nedostatak u kulinarskoj pripremi i u industrijskoj preradi mesa.

Sposobnost vezanja vode u elektrostimuliranom mesu je značajno poboljšana (Tišljarec, 1980; Hwang i sur., 1998), što se odražava manjim vremenom pečenja takvog mesa. To pridonosi poboljšanju procesa industrijske obrade elektrostimuliranog mesa. Spomenuta se empirijska spoznaja može objasniti djelovanjem topline na mišićne bjelančevine. Utjecaj topline na bjelančevine je proporcionalan porastu vremena i temperature, a najevidentnija promjena je smanjenje sposobnosti mesa da veće i zadržava vodu (Lawrie, 1998). To je posljedica denaturacije sarkoplazmatskih i miofibrilarnih bjelančevina, koje porastom temperature postaju slabije topive.

Činjenicu da ES ima poboljšanu sposobnost vezanja vode treba vrednovati kvalitativno i kvantitativno, i to iz dva razloga: prvi je kvalitativne naravi i odnosi se na mekoću mesa. Postoji uska korelacija između količine vode u nekoj namirnici i njene otpornosti na žvakanje (mekoća). U slučaju mesa, ova je činjenica od velikog značaja za njegovu kakvoću. Drugi je razlog ekonomske naravi i u izravnoj je vezi s cijenom mesa. Naime, što je manji kalo industrijske obrade (pečenja), manja je i konačna cijena pečenog mesa. To je posljedica umanjenja gubitka vode, odnosno uvećanog hidratacijskog kapaciteta mesa (eng. Water holding capacity).

Druga se istraživanja odnose na utjecaj ES na praksu tzv. tople obrade mesa. Obično se meso u trupovima zbog prirodnih (*rigor-mortis*) odnosno operativno-komercijalnih i industrijskih razloga rasi-jeća i konzumira u roku od 24-72 sata nakon klanja. Proizvodnja iskorištenih mesnih odrezaka koji su djelomično odmašćeni neposredno nakon klanja ima prednost u povećanju kapaciteta rashladnih komora u smislu boljeg korištenja hladnoće i ušteda energije, te u bržem obrtaju kapitala i u operativnim aktivnostima koje mogu ubrzati manipulaciju mesom. Iskošteno meso na temperaturi ispod 10°C podložno je, pak, skraćivanju hladnoćom uz znatno smanjenje njegove mekoće, čime se poništavaju prednosti tople obrade. ES pruža, dakle, mogućnost tople obrade mesa bez spomenutih rizika.

Na osnovi praktičnih iskustava kao i rezultata vlastitih istraživanja Tišljarec (1980) smatra da je nisko i visokonaponsko elektropobuđivanje svrhovit postupak za sprečavanje skraćivanju hladnoćom koje se ponekad javlja kod brzog hlađenja lakših goveđih trupova s nedovoljno razvijenim potkožnim i drugim masnim tkivom. Brzi pad pH indikator je biokemijskih promjena koje se odvijaju u mišićju nakon klanja, a praktična vrijednost tog pada od naročito je značenja kod tzv. konfekcioniranog mesa. Po mišljenju Tišljarca (1980) električno pobuđivanje moglo bi biti svrhovitim postupkom ako se uvede u tehnološki proces, tzv. toplog iskoštavanja mesa, zbog mogućnosti brzog hlađenja ili jednofaznog smrzavanja bez posljedica. Spomenuti autor je zabilježio i neke druge, manje zapažene učinke ES i to svjetliju boju mesa i nedostatak tzv. "toplotnog prstena" na presjeku mesa.

UTJECAJ ELEKTROSTIMULACIJE NA BIOKEMIJSKE PROMJENE MESA

Opći učinak ES svodi se na električno pražnjenje, čime se postiže intenzivna kontrakcija mišića. Pokušaj da nadoknadi energiju (ATP) utrošenu u kontrakciji uzrokuje brzu glikozu *post-mortem* s akumulacijom mliječne kiseline i brzim padom pH (Carse, 1973). Posljedica je brzi razvoj *rigor mortis* u vremenu od 1-8 sati, dok je u normalnom slučaju ovo vrijeme nešto duže (20-24 sata na 15°C). ES izaziva brzu potrošnju energetskih rezervi, a budući

te rezerve više nisu raspoložive za mišićnu kontrakciju post mortem, nema pojave "cold shortening".

Sušтина je ES u oslobađanju Ca⁺⁺ iz miofibrila u sarkoplazmu, te u ubrzanju glikolizi i mišićnoj kontrakciji uz upotrebu ATP-a, koji manjim dijelom nastaje u procesima anaerobne glikolize u mesu. Naime, ioni Ca⁺⁺ vežu se na mikrofibrilarnu bjelančevinu (troponin i dr.) i tako izazivaju snažne kontrakcije miofibrila i mišića u cijelosti (*rigor mortis*).

Neposredna posljedica ES i brze anaerobne glikolize je značajni pad pH mesa, koji je signifikantno niži nego u NS mesu. To se odnosi na inicijalni pH (pH_i), a ne i konačni pH, 24 sata post mortem (pH_k), koji je praktički izjednačen u ES i NS mesu.

U odnosu na biokemijske promjene u ES mesu značajna su zapažanja Dutsona i sur. (1980), koji su utvrdili signifikantni porast slobodne aktivnosti, odnosno signifikantno smanjenje specifične i ukupne aktivnosti liposomskih enzima beta-glukorinidaze i katepsina C u ES ovčjem mesu (440 V). Navedeni rezultati ukazuju da ES izaziva rupturu membrane lisosoma, pa se s tim u vezi kod ES može očekivati utjecaj slobodnih lisosomskih enzima na mišićne bjelančevine i na poboljšanje nježnosti mesa.

Utjecaj ES na poboljšanje boje mesa može se objasniti porastom koncentracije oksimioglobina (MbO₂). Do takvog su zaključka došli Tang i Henrickson (1980), koji su utvrdili 8,14 mg/g MbO₂ u ES mesu, odnosno samo 4,46 mg/g MbO₂ u NS goveđem mesu. Spomenuti autori ističu da ES ne utječe na ukupnu koncentraciju pigmenta i ukupnog mioglobina u mesu. Na spomenute pokazatelje u dalekoj mjeri utječu individualne razlike među životinjama i razlike među pojedinim mišićima. Porast koncentracije MbO₂ vizualno se očituje poželjnom svjetlo crvenom bojom ES mesa za razliku od tamnije, purpurno crvene boje NC goveđeg mesa.

U istraživanju utjecaja ES na stabilnost boje mesa, Contreras i Harrison (1981) su dokazale da uzorci toplo iskoštenog ES mesa imaju višu ekstinkciju boje (630-650 mu) nego kontrolni, hladno iskošteni uzorci goveđeg mesa (p/o, 05). Tamnija boja ES mesa potječe od intenzivnije tvorbe Mb. Također utvrđeno je da brzi pad pH, kao što je to slučaj u ES mesu, utječe na reakciju hem-pigmenta tako da djeluje u smislu intenzivnije oksidacije Mb. Ta je oksidacija

brža u uvjetima nižeg pH.

Will i sur. (1980) uspoređivali su strukturne promjene inducirane ES s tim promjenama u kontrolnim mišićima nakon uobičajene autolize. Postupkom elektronske mikroskopije spomenuti su autori dokazali da ES inducira strukturne promjene u mišićima, i to u smislu nabubrenog sarkoplazmatskog retikuluma, mitodohrija i T-tubula. Osim tih promjena, spomenuti su autori utvrdili "svežnjeve kontrakcije", intracelularni edem, dezintegraciju miofibrila i druge promjene. Ti podaci ukazuju na mehanizme, koji, osim što sprečavaju skvrčivanje mišića u hladnom, izazivaju omekšanje mesa. To se može objasniti ubrzanom autolizom u ES mišićima, koja je s gledišta omekšavanja značajniji čimbenik od sprečavanja pojave skvrčivanja u hladnom. Naime, aplikacija električne struje u mišiću neposredno nakon klanja uvjetuje intenzivnu glikozu i brži nastup znakova rigor-mortis. Te biokemijske i fizikalne promjene uključuju i sprečavanje razvoja skvrčivanja mišića u hladnom, što se sve skupa očituje omekšavanjem mesa. Po svoj prilici nastup i sprečavanje cold-shorteninga, kao ni omekšavanje ES mesa nisu u vezi s promjenama u duljini sarkomera. U vezi s navedenim Will (1978.) smatra da je "make up" poprečno prugastih mišićnih vlakana posljedica ES.

Sve je navedeno u skladu s rezultatima istraživanja Elgasima i sur. (1981) koji nisu dokazali značajnije razlike u duljini sarkomera u ES ($1,8 \times 10^{-6}$ m) i u NS mišićima ($1,7 \times 10^{-6}$ m). U mikrostrukturi neposredno ES mišića spomenuti autori su uočili specifičan T-sustav, a nakon 24 sata značajne degradacije Z-linije u ES mesu. Slične su rezultate objelodanili

Griffin i sur. (1982), po kojima se duljinu sarkomera u svježem ($2,0 \times 10^{-6}$ m) i u kuhanom ES mesu ($1,54 \times 10^{-6}$ m) ne razlikuje značajnije od duljine sarkomera u svježem ($1,99 \times 10^{-6}$ m) u kuhanom NS goveđem mesu ($1,47 \times 10^{-6}$ m). Salm i sur. (1981) također nisu utvrdili značajne razlike u duljini sarkomera u ES i NS goveđem mesu neposredno nakon klanja ($1,9 \times 10^{-6}$ m) i nakon pohrane od 210 dana u smrznutom stanju ($1,8 \times 10^{-6}$ m – $1,9 \times 10^{-6}$ m).

UTJECAJ ELEKTROSTIMULACIJE NA SENZORSKA SVOJSTVA MESA

U navedenom su pogledu značajni i rezultati istraživanja Sonaiye i Stouffera (1982) o utjecaju mehaničke tenzije (engl. Tensioning) i ES na poboljšanje nježnosti goveđeg mesa. Ti su rezultati prikazani u tablici 1. Mehaničkom tenzijom može se još više poboljšati nježnost ES mesa (za 9,15%). U "tenzioniranom" su mišićima dulje sarkomere i tanji miofibrili (P/o, 05).

ES se, prije svega, očituje u poboljšanoj nježnosti mesa na način kako je to prikazano u tablici 2.

Učinak ES na poboljšanje nježnosti mesa očituje se organoleptički (Hall i sur., 1980; Cross, 1979; Salm i sur., 1981; Griffin i sur., 1982).

Za razliku od nježnosti, ES negativno utječe na hidratacijsku sposobnost mesa. To su objektivno utvrdili Smulders i sur. (1984). Navedeno negativno svojstvo očituje se većim kalom pohrane i toplinske obrade (kuhanja) ES mesa.

Prema podacima u literaturi, ES uglavnom ne pokazuje pozitivnog utjecaja na poboljšanje drugih organoleptičkih svojstava mesa. To se odnosi

▼ **Tablica 1.** Utjecaj ES i mehaničke tenzije na pokazatelje nježnosti mesa (Sonaiya i Stouffer, 1982)

▼ **Table 1.** Influence of ES and mechanical tensioning on the meat tenderness (Sonaiya and Stouffer, 1982)

Vrsta mesa/ Meat species	Postupak Procedure	Duljina sarkomera Sarcomere length	Promjer (10^{-6} m) miofibrila Myofibriles diameter	Nježnost (10^{-6} m) mesa (kg/cm ²) Meat tenderness
Govedina/beef	ES	1,86	48,4	4,8
	ES + tenzija	2,34	31,8	4,5
Ovčatina/sheep meat	ES	1,86	38,4	4,2
	ES + tenzija	2,64	27,3	3,7

▼ **Tablica. 2.** Nježnost ES i NS mesa tijekom zrenja (Savell i sur., 1981)

▼ **Table 2.** Tenderness of ES and NS meat during ageing (Savell i sur., 1981)

Dani zrenja Days	ES meso (kg/cm ²) ES meat	NS meso (kg/cm ²) NS meat
2	7,69	10,91
6	7,55	9,17
10	6,36	7,79 (P<0,01)
14	6,07	8,09

na sočnost i intenzitet okusa mesa (Calkins i sur., 1980). No, i pored često oprečnih mišljenja u literaturi, Savell i sur. (1981) navode da ES uvjetuje značajno poboljšanje sočnosti, prihvatljivosti okusa i ukupne organoleptičke prihvatljivosti junećeg mesa, na način kako je to prikazano u tablici 3.

Valja naglasiti da se pozitivni učinci ES u poboljšanju kakvoće gube tijekom pohrane mesa. Prema tome, postupak ES djeluje u smislu skraćivanja potrebnog vremena autolize mesa. Razumije se, da se pozitivni i negativni učinci ES, kao i drugih tehnoloških postupaka, ne mogu promatrati izdvojeno, već u usporedbi s drugim čimbenicima, kao što su vrsta, fiziološko stanje i način hranidbe životinja, sastav mesa i drugi čimbenici.

U istraživanju učinka ES na organoleptička svojstva mesa, na prvom je mjestu, dakle, mekoća (nježnost) u odnosu na vrstu, dob i genotip. U vezi s navedenim odmah valja naglasiti da učinci ES na mekoću mesa nisu sasvim poznati, osim činjenice da ES zaustavlja pojavu "cold shortening". Različiti testovi na električki stimuliranom goveđem mesu nakon klanja, omogućuju zaključivanje u čemu se poboljšava mekoća mesa u odnosu na NS meso (Savell i sur., 1978; Cross i sur., 1979; Savell i sur., 1979; Smith i sur., 1979; Bendall, 1980; Bouton i sur., 1980; Kastner i Dickermann, 1980; Mcketh i sur., 1980).

Bendall (1980) objašnjava navedenu pojavu ubrzanim padom pH i povišenom temperaturom (oko 38°C) mesa nakon klanja, što olakšava enzimatske procese koji određuju omekšavanje mesa. Dutson i sur. (1981) ističu da je učinak omekšavanja mesa

▼ **Tablica 3.** Utjecaj ES na organoleptička svojstva mesa (Savell i sur., 1981)

▼ **Table 3.** Influence of ES on sensorial properties of meat (Savell i sur., 1981)

Svojstva mesa Meat properties	ES meso ES meat	NS meso NS meat
Sočnost / Juicy	prosječno sočno / average juicy	umjereno sočno / medium juicy
Okus / Flavour	prihvatljiv / acceptable	umjereno prihvatljiv / medium acceptable
Nježnost / Tenderness	umjerena / mild	nešto slabije izražena / poor expressed
Ukupna prihvatljivost / Overall acceptability	umjerena / mild	nešto slabije izražena / poor expressed

značajniji u trupovima s tvrdom muskulaturom, kao što je slučaj kod starijih životinja ili kod primitivnijih rasa životinja, nego kod drugih životinja s prirodno mekim mesom, kao što su to mlade životinje ili tradicionalno mesnate raste životinja, kod kojih postignuto poboljšanje nije toliko spektakularno.

U literaturi postoje različita mišljenja u vezi s mekoćom različitih mišića u odnosu na ES. Tako Casteels i sur. (1979) nisu utvrdili značajnije razlike u mekoći stimuliranih i kontroliranih uzoraka *m. longissimus dorsi* i *m. latissimus dorsi* u mladih krava žive vage od 495 kg. Vanderkerckhove i Demeyer (1987) su analizom *m. longissimus dorsi* na goveđim trupovima konstatirali opće poboljšanje mekoće na stimuliranim mišićima. Strydom i sur. (2005) su također na ES goveđim polovicama utvrdili značajno omekšanje *m. longissimus dorsi* nakon 2 dana ($P < 0.05$), ali je učinak prestao biti značajnim tijekom daljnjeg zrenja. George i sur. (1980) ističu da se ES neposredno nakon klanja goveda postiže znatno omekšanje *m. longissimus dorsi*, ali taj učinak nije u tolikoj mjeri zabilježen u *m. semitendineus*.

Posebno je pitanje mekoće ES mesa u odnosu na stanje *post mortem*. Naime, nakon klanja životinje očituje se prirodna pojava koja je posljedica bioke-

mijskih procesa post mortem i nazvana mrtvačkom ukočenošću. Ova je pojava promjenjivog trajanja i intenziteta. U stanju *rigor mortis* meso je krajnje tvrdo, jer nastaju ireverzibilne kontrakcije mišića bez naknadnog opuštanja. Smatra se da rigor mortis završava kada pH dosegne razinu od 5,4 – 5,5 a to je vrijednost koja odgovara izoelektričnoj točki mišićnih bjelančevina. Interakcijom kontraktibilnih mišićnih bjelančevina nastaje sustav aktinomiozina uz skraćivanje mišićnog vlakna i porast tvrdoće mesa. U toj se reakciji troši energija (glikogen i ATP). Glikogen se razgrađuje u mliječnu kiselinu, pa se smanjuje pH. S druge strane, ATP osiromašuje u količini ADP, IMP, inozina, hipoksantina i oslobađa jednu molekulu riboze.

Nakon isteka *rigor mortis* slijedi autoliza u kojoj se aktiviraju proteolitički mišićni enzimi s pozitivnim učincima u poboljšanju mekoće mesa uslijed razgradnje strukturne veze miofilamenata. Bjelančevine se denaturiraju kada se tijekom autolize snizi pH, odnosno na temperaturama iznad 25°C ili ispod 0°C, pa tijekom sušenja ili kada su podvrgnute djelovanju solnih otopina u nefiziloškom koncentracijama. Pretpostavlja se da su kalogen i elastin vezivnog tkiva jedine mišićne bjelančevine koje se ne denaturiraju tijekom postmortalne autolize.

Za odnos mekoće i pojave „cold shortening” značajno je da u mesu koje se hladi prije nastupa znakova rigor mortis na temperaturi ispod 10°C (brzo hlađenje), nastaje kontrakcija mišića uzrokovana hladnoćom. Kontrakciju prati otvrdnuće koje je nepovratno, odnosno kojeg nije moguće postići čak ni kasnijim produženim zrenjem (kondicioniranjem). Pojava „cold shorteninga” može se objasniti na slijedeći način:

- u mišićnoj stanici postoje mnoge podstrukture koje su međusobno razdvojene membranama. Jedan od tih staničnih strukturnih elemenata je sarkoplazmatska mrežica (RS), koja poput mrežastog tkanja omata slobodne mišićne cilindre. U ovom sustavu cilindra, koji su odvojeni bjelančevinama od kontraktibilnog aparata, nalaze se ioni kalcija u koncentraciji koja je 10.000 puta veća nego u miofibrilima. Putem mehanizma izazvanog nervnim impulsima ioni kalcija ulaze iz RS u sarkoplazmu uzrokujući tako kontrakciju miofibrilarnih bjelančevina (aktinomiozina). Po završetku nervnog impulsa

izvjesne „pumpe” u RS membrani prenose ione kalcija natrag u miofibrile u slučaju ako se ti ioni nalaze izvan RS. Potom dolazi do pada temperature uslijed promjena u RS membrani pa se ioni kalcija prenose natrag i izazivaju snažnu kontrakciju mišića. Sve se to događa tijekom hlađenja na temperaturi ispod 10°C (Bendall, 1973). I u mišiću koji je smrznut na -3°C također postoji priliv iona kalcija u miofibrilarnom prostoru, ali zbog promjene strukture vode u led, nije moguće kontrakcija mišićnih vlakana unutar kristala leda. „Cold shortening” se uglavnom javlja u mesu manjih trupova junadi, teladi i ovaca.

Drugi čimbenik koji utječe na odnos mekoće i pojave „cold shorteninga” je masno tkivo koje djeluje kao izolator i sprečava „cold shortening” samo do dubine mesa od 8 mm.

Mnoga se druga istraživanja odnose na učinak ES s obzirom na toplu obradu mesa. Kako je već ranije rečeno, obično se meso u trupovima zbog prirodnih *rigor mortis* i praktičnih operativnih razloga rasijeca i kulinarski obrađuje u roku od 24-72 sata nakon klanja. Ukazano je i na prednost neposrednog rasijecanja i iskoštavanja neohlađenog, još toplog mesa. ES omogućuje upotrebu te tehnologije bez spomenutih rizika od pojave „cold shortening”. Gilbert i sur. (1977) dokazali su da se toplo iskoštavanje NS za razliku od ES mesa očituje porastom tvrdoće pri rezanju u svim mišićima s izuzetkom *m. psoas* (filet). Gilbert i Davey (1976) utvrdili su da u mesu stimuliranih trupova goveda *rigor mortis* nastupa već nakon 5 sati i da ga je moguće iskoštiti bez rizika pojave „cold shorteninga”, iako je ono nakon toga bilo smrznuto. Corte i Cia (1980) su stimulirali trupove zebu goveda i zajedno ih s kontroliranim uzorcima toplo obradili. Meso je bilo hlađeno na 5°C, a potom smrznuto na -40°C. ES je pokazala vidno pozitivan učinak na mekoću mesa s tim da se svi mišići nisu jednako ponašali. Utvrđeno je da je *m. longissimus dorsi* u pravilu mekši, ali nije bilo značajnih razlika u mekoći *m. biceps femoris* i *m. semimembranaceus*. Taylor i Marshall (1980) također su izvršili toplu obradu mesa, pohranivši ga najprije na 15°C, a potom na 0°C da se izbjegne „cold shortening”. U svom radu autori nisu dokazali prednosti ES na mekoću toplo obrađenog mesa goveda.

Prema podacima u literaturi nedvosmisleno proističe da je pad pH brži u elektrostimuliranom nego

u kontrolnom mišićju. pH elektrostimuliranog mesa pada između 3-ćeg i 7-og sata na 5,4 dok se u kontrolnom mesu spomenuta vrijednost pH postiže nakon 18-20 sati. Spomenuta se pojava može objasniti okolnošću da nakon smrti životinje glukoza prestaje oslobađati energiju pa ostaju tri raspoloživa izvora za održavanje glikolize. To su ATP, kreatinfosfat i glikogen. Prva se dva izvora nalaze u dovoljnim količinama, pa je glikogen praktički jedini izvor energije glikolizu u mišićju. Zbog toga akumulacija mliječne kiseline i pad pH u mišićju *post-mortem* ovisе uglavnom o količini glikogena u mišićju u momentu smrti životinje. Razgradnja glikogena ne odvija se jednakom brzinom u svim etapama nakon smrti životinje. Čini se da postoji porast brzine kad pH dosegne vrijednost pri kojoj se smanjuju otpornost i kapacitet lizosomskih membrana. To pak omogućuje brzo izjednačavanje pH u tkivima. Od tog trenutka glikoliza se postepeno smanjuje dok se posve ne istroše rezerve glikogena, ili, pak, dok se pH ne snizi dovoljno da u potpunosti zaustavi glikolitičke enzime. Ovaj brzi pad pH utječe na mekoću, boju sposobnost vezanja vode i na aktivnost mikroorganizama u mesu. Poboljšanje mekoće je, dakle, posljedica brzog pada pH i pucanja lizosomskih membrana te oslobađanja proteolitičkih enzima, dok je temperatura mišića još uvijek visoka, što pospješuje njihovo djelovanje. Pad pH rezultira svjetlijom i privlačnijom bojom. U početku boja mesa ovisi o stupnju konverzije mioglobina u oksimioglobin. Utjecaji pH i glikolize su vrlo značajni u ovoj konverziji, dok je površina mišića izložena djelovanju kisika (Cross, 1979).

Niski pH je u korelaciji sa smanjenom sposobnošću mesa da veže vodu, iako nagli pad pH izazvan ES ne mijenja značajnije tu sposobnost.

UTJECAJ ELEKTROSTIMULACIJE NA MIKROFLORU

Poznato je, nadalje, da niski pH koči rast mikroorganizama u mesu zbog toga, što je za većinu bakterija optimalan pH 7,0. Maksimalan je pH 8,0 a minimalan 5,0. S druge strane, ima bakterija koje započinju svoj rast kada je pH 11,0 a druge kada je pH manji od 3,0. Sve to uglavnom zavisi o postupku sa životinjama prije i za vrijeme klanja. pH svježeg mesa obično varira između 5,3 i 6,5. Većina mikroorganizama raste unutar ovih parametara, pa ako

uzmemo u obzir da ES izaziva pad pH i ako tome još dodamo brzo hlađenje, onda je posve razumljiv utjecaj ES na rast i razmnožavanje mikroorganizama u mesu.

Utjecaj ES na svojstva goveđeg mesa istraživali su Ring i Taylor (1988). Iz rezultata njihova istraživanja vidljivo je da je pH elektrostimuliranog goveđeg mesa (*m. long. dorsi*) neposredno nakon klanja (pH_1) i nakon hlađenja od 48 sati (pH_2) bio u pravilu niži nego u kontrolnom mesu. U ES mesu je pH nakon klanja iznosio 5,96 a u kontroli 6,65. Pri brzom hlađenju pH_2 bio je 5,60 u ES mesu dok je u kontroli bio nešto viši (5,67). Nasuprot tome, pri sporom hlađenju mesa pH_2 je bio viši u ES mesu i iznosio 5,64 u odnosu na kontrolu (pH_2 5,61).

Po našem mišljenju značajni su i rezultati istraživanja citiranih autora koji se odnose na mekoću (nježnost) mesa nakon 3 i 10 dana brzog i sporog hlađenja. Razlike u nježnosti bile su značajne za *m. longissimus dorsi*, *m. triceps brachii* i *m. pectoralis profundus* u korist elektropobuđenih, odnosno za *m. semimembranaceus* u korist kontrolnog mišića. Rezultati Ringa i Taylora (1988) za mekoću *m. longissimus dorsi* (kp) pokazuju da se kontrolno meso izjednačuje po mekoći s ES mesom istom nakon sporog hlađenja u vremenu od 10 dana. U uvjetima, pak, brzog hlađenja ES mišići su u pravilu nježniji od kontrolnih mišića i nakon 10 dana pohrane.

Izgled i ujednačenost boje vrlo s značajna svojstva kakvoće po kojima potrošač odabire meso na tržištu na malo. ES očituje dodatni pozitivni utjecaj na izgled i boju mesa (Savell i sur. 1977; Savell i sur., 1978; Savell i sur., 1978a; Savell i sur. 1979; Cross i sur., 1979; Bouton i sur., 1980; Dutson i sur., 1981; Kastner i sur., 1980).

Kao što je već rečeno, boja mesa ovisi u početku o stupnju konverzije mioglobina u oksimioglobin. Utjecaji pH i glikolize *post mortem* značajni su u konverziji mioglobina u oksimioglobin dok je površina mišića izložena kisiku.

Histološka struktura mišićnog tkiva također u značajnoj mjeri utječe na boju. Tamno juneće meso (engl. Dark cutting beef), te blijedo, mekano i vodnjikavo svinjsko meso su dva primjera ekstremnih varijacija boje u vezi sa strukturnim promjenama. Tamno juneće meso ima visok pH, koji je mnogo viši od izoelektrične točke aktomiozina, što djelu-

je u smislu da bjelančevine zadržavaju više vode na račun tekuće faze mišića. Zbog toga mišićje u cijelosti ima zatvoreniju strukturu i tamniju boju, jer na površini prelama manje svjetlosti nego normalni mišić, kojemu vlakna nisu nabubrila i međusobno tako čvrsto zbijena.

ZAKLJUČAK

Sve u svemu, elektrostimulacija (ES) se danas smatra rutinskim postupkom u industrijskoj preradi mesa. To se odnosi na bolje i potpunije iskrvarenje životinja, brzi pad pH uz smanjenu mogućnost rasta i razmnožavanja bakterija. Sve to utječe na sprečavanje kvarenja i poboljšanje održivosti mesa. Primjena ES poboljšava sposobnost vezanja vode i utječe na senzorska svojstva. Elektrostimulacijom se umanjuje pojava pogrešaka poput skraćivanja mišićnih vlakana hladnoćom te poboljšavaju pregradbena svojstva mesa. Pored početnih pozitivnih rezultata kod goveđeg mesa primjena elektrostimulacije uvodi se i u proizvodnju svinjetine, mesa peradi i drugih vrsta.

SUMMARY

INFLUENCE OF ELECTRICAL STIMULATION ON IMPROVEMENT OF MEAT QUALITY

Electrical stimulation (ES) is considered a routine procedure in industrial meat production. Advantages of electrical stimulation are: better and complete bleeding, rapid decrease of pH which in conjecture with rapid cooling inhibits growth of bacteria. Aforementioned advantages prevent bleeding, superficial putrefaction and enhancement of meat viability. Furthermore, application of ES enhances water bonding, which in turn affects sensor properties (better tenderness, richness and meat colour stability). Experiences have shown that electrical stimulation decreases appearance of cold shortening of muscle fibres and enhances technologic meat properties. After initial positive results with beef, electrical stimulation application is introduced in the production of other meat types (pork and poultry).

Keywords: electrical stimulation, meat quality

LITERATURA

- Bendall, J.R. (1973):** Post mortem changes in muscle. Proceed. 18. Europ. Meat Research Workers Meeting, Paris 1,1.
- Bendall, J.R. (1980):** Development in Meat Science 1- edited by Ralston Lawrie Applied science Publ. L.T.D. London pages

37-59.

Bouton P.E., Shaw, F.D., Harris, P.V. (1980): 26. Europäischer Fleischforscherkongress in Colorado Springs/USA. Fleischwirtschaft 60 (12) 2202. In: K. Pothast: Elektrostimulierung, Kulmbach.

Bouton PE AL, Ford, PV Harris, FD. Shaw (1980): Electrical stimulation of beef sides. Meat Sci. 4:145-155.

Calkins, C.R., J.W. Savell, G.C. Smith, C.E. Murphey (1980): Quality-indicating characteristics of beef muscle as affected by electrical stimulation and postmortem chilling time. J. Food. Sci. 45. 1330-1332.

Carse, W.A. (1973): Meat quality and the acceleration of post-mortem glycolysis by electrical stimulation. Journal Food Technology 8: 163-166.J.

Casteels, M., D. Demeyer, P. Vandekerckhove, L. Fiems (1979): The effect of electrical stimulation on heifer meat quality. Revue de l'Agriculture. 32, (1), 129-136, 1979.

Contreras, S., D. Harrison, (1981): Electrical stimulation and hot boning: Color stability of ground beef in a model system. J. Food Sci. 46, 464-467.

Corte O.C., G. Cia (1980): 26. Europäischer Fleischforscherkongress in Colorado Springs/USA. Fleischwirtschaft 60 (12) 2203. In: K. Pothast: Elektrostimulierung, Kulmbach.

Cross, H.R. (1979): Effect of electrical stimulation on meat tissues and muscle properties: A review. J. Food Sci.

Dutson, T.R., G.C. Smith, Z.L Carpenter (1980): Lysosomal enzyme distribution in electrically stimulated ovine muscle. J. Food Sci. 45, 1097-1098.

Dutson, T.R., G.C. Smith, J.W Savell, Z.L Carpenter (1981): Effects of electrical stimulation on meat quality. Die Fleischwirtschaft, 61: 596-597.

Elgasim, E. A., W. H. Kennick, L. A.McGill, D. F. Rock, A. Soeldner: (1981): Effects of electrical stimulation and delayed chilling of beef carcasses on carcass and meat characteristics. Journal of Food Science. 46, (2): 340-343, 349

Geesink, G.H, M.H.D Mareko., J.D. Morton, R. Bickerstaffe (2001): Electrical stimulation - when more is less. Meat Science. 57, (2): 145-151, 2001.

George A.R., J.R.Bend all, , C.D. Jones (1980): The tenderizing effect of electrical stimulation of beef carcasses. Meat Sci: 4 (1): 51-68.

Gilbert, K. V., C. L. Davey (1976): Carcass electrical stimulation and early boning of beef. New Zealand Journal of Agricultural Research. 19, (4), 429-434.

Gilbert, K. V., C. L. Davey, K. G. Newton (1977): Electrical stimulation and the hot boning of beef. New Zealand Journal of Agricultural Research. 2, (20): 139-143.

Griffin, C.L., M.D.Stiffler, E.E.Ray, V.W. Berry (1982): Influence of electrical stimulation on palatability of hot-boned, pre-rigor and cold-boned, post-rigor frozen beef roasts. Journal Food Protection 45(2): 164-168.

Hall, L.C., Savell, J.W., G.C. Smith (1980): Retail appearance of electrically stimulated beef." J. Food Sci. 45, 171-173.

Harshmann, A.A., F. Deatherage (1951): Tenderization of meat U.S. Patent N 2544681.

Hwang, I.H., H. Hearnshaw, F.D. Shaw, J.M. Thompson (1998): The interaction between type (high or low voltage) and time (3 or 40 minutes post-stunning) of electrical stimulation on

beef. Presented at 44th International Congress of Meat Science and Technology, Barcelona, Spain 44,1052-1053.

Jeremiah, L.E; A.H. Martin (1980): Intramuscular collagen content and solubility: Their relationship to tenderness and alteration by postmortem aging. Beitrag zum European Meeting of Meat Research Workers 1 F-12. 269-299.

Kastner C.L., M.E. Dickerman (1980): 26. Europaicher Fleischforscherkongress in Colorado Springs/USA. Fleischwirtschaft 60 (12) 2202. In: K. Pothast: Elektrostimulierung, Kulmbach.

Lawrie, R.A. (1998): Lawrie's Meat Science: 6th Edition, Publisher(s): CRC Pr I Llc

Mckeith, F.K., G.C. Smith, T.R. Dutson, J. W. Savell., R.L. Hostetler, Z.L. Carpenter (1980): Electrical stimulation of intact or split steer or cow carcasses. J. Food Protection 43, 795.

Ring, C.H.R., A. Taylor (1988): Zur Elektrostimulierung von Rindern. Fleischwirtschaft. 68, (9): 1117-1120.

Roeber, D.L., R.C. Cannell, K.E. Belk, J.D. Tatum, G.C. Smith (2000): Effects of a unique application of electrical stimulation on tenderness, color, and quality attributes of the beef longissimus muscle. Journal of Animal Science. 78, (6): 1504-1509.

Salm, C.P., E.W. Mills, E.S. Reeves, M.D. Judge, E.D. Aberle (1981): Effect of electrical stimulation on muscle characteristics of beef cattle fed a high energy diet for varying lengths of time. J. Food Sci. 46, 1284-1285.

Savell, J.V., G.C. Smith, T.R. Dutson, Z.L. Carpenter, D.A. Suter (1977): Effect of electrical stimulation on palatability of beef, lamb and goat meat. J. Food Sci. 42:702-706.

Savell, J.V., G.C. Smith, Z.L. Carpenter (1978): Effect of electrical stimulation on quality and palatability of light-weight beef carcasses. J. Animal Sci. Vol. 46, 5. 1221-1228.

Savell, J.V., G.C. Smith, T.R. Dutson, Z.L. Carpenter (1978a): Structural changes in electrically stimulated beef muscle. J. Food Sci. 43:1606-1609.

Savell, J.V., G.C. Smith, Z.L. Carpenter, Jr Parrish (1979): Influence of electrical stimulation on certain characteristics of heavy weight beef carcasses. J. Food Sci. 44, 911-913.

Savell, J.W., F.K. Mckeith, G.C. Smith (1981): Reducing postmortem aging time of beef with electrical stimulation. J. Food Sci. 46, 1777-1781.

Smith, G.C., T.R. Dutson, H.R. Cross, Z.L. Carpenter (1979): Electrical stimulation of hide-on and hide-off calf carcasses. J. Food Sci., 44: 335-338.

Smith, G.C., Savell, J.W., T.R. Dutson, R.L. Hostetler, R.N. Terrell, C.E. Murphey, Z.L. Carpenter (1980): Effects of electrical stimulation on beef, pork, lamb and goat meat. Proc. Europ. Meeting Res. Workers conference 25: 26 II (H5), 19.

Smulders, F. J. M., F.Korteknie, C. H. J. Woolthuis, G.

Eikelenboom (1984): The effect of early post mortem storage conditions on sensory and bacteriological quality of electrically stimulated, hot boned beef longissimus. Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers. 30, 2, 1984.

Sonaiya, E. B., J. R. Stouffer (1982): A research note: Mechanical tensioning of electrically stimulated carcasses for improved tenderness. Journal of Food Science. 47, (3), 1010-1015.

Stiffler, D.M., G.C., Smith, J.W. Savell, T.R. Dutson, C.L. Griffin, M. W. Orcutt (1984): Comparison of the effects of high and low voltage electrical stimulation on quality-indicating characteristics of beef carcasses. J Food Sci. 49, 863-866.

Strydom, P.E., L. Frylinck, M.F. Smith (2005): Should electrical stimulation be applied when cold shortening is not a risk? Meat Science. 70, (4): 733-742, 2005.

Takahasi, G., S.M. Wang, J.V. Lochner, B.B. Marsh (1987): Effects of 2-Hz and 60-Hz electrical stimulation on the microstructure of beef. Meat Sci Vol. 19 n 1, 65-76.

Tang, B. H., R. L. Henrickson (1980): Effect of post mortem electrical stimulation on bovine myoglobin and its derivatives., J. Food Sci. 47, 1011-1013.

Taylor, D. G., A. R. Marshall (1980): Low voltage electrical stimulation of beef carcasses. Journal of Food Science. 45, (1), 144-145.

Taylor, A.A., B.G. Shaw (1980): 26. Europaicher Fleischforscherkongress in Colorado Springs/USA. Fleischwirtschaft 60 (12) 2202. In: K. Pothast: Elektrostimulierung, Kulmbach.

Tišljarec, D. (1980): Utjecaj električne struje visokog napona na omekšanje goveđeg mesa u industrijskim uvjetima proizvodnje. Doktorska dizertacija. Veterinarski fakultet u Zagrebu, Zagreb, 1980. Rukopis (strojem), str 102.

Vanderkerckhove, P., D. Demeyer (1987): Proceedings 24th European Meeting of Meat Research Workers, Kulmbach II-E 8:1.

White, A., A. O'Sullivan, D.J.mTroy, E.E. O'Neill (2006): Effects of electrical stimulation, chilling temperature and hot-boning on the tenderness of bovine muscles. Meat Science. 73, (2): 196-203. 2006.

Will, P.A. (1978): The effect of electrical stimulation on delay chilled bovine carcasses. Phd thesis, Oklahoma Tate Univ., Stillwater, Okla; citat Will, P.A.1980.: J.Food Sci. 45, 21-25.

Will, P.A., C.L., Ownby, R.L. Henrickson (1980): Ultrastructural postmortem changes in electrical stimulated bovine muscle. J.Food Sci. 45, 21-25.

Prispjelo / Received: 10.5.2006.

Prihvaćeno / Accepted: 1.6.2006. ■

ISPRAVAK

U broju 2 časopisa rad „Promjene u hranidbi i držanju purana u 21. stoljeću“, autor doc. dr. sc. Z. Janječić, greškom je potpisan ka rad N. Zdoleca, dr. vet. med. Ispričavamo se obojici autora