

Neželene spremembe prsne mišičnine pri pitovnih piščancih

Manca PEČJAK PAL¹, Vida REZAR^{1,2}

Delo je prispelo 23. junija 2022, sprejeto 16. marca 2023.
Received June 23, 2022; accepted March 16, 2023.

Neželene spremembe prsne mišičnine pri pitovnih piščancih

Izvleček: V svetovnem merilu perutninsko meso predstavlja cenovno dostopen in kakovosten vir beljakovin, zato se je v zadnjih desetletjih povečala njegova prireja. Slednje smo dosegli z intenzivno selekcijo pitovnih piščancev na hitro rast, učinkovitejše izkoriščanje krme, povečan delež prsne mišičnine in manjši delež trebušne maščobe. Na drugi strani so tako intenzivna selekcija in zahteve po večji prireji, kot tudi nekateri zunanji stresni dejavniki, ki vključujejo neželene spremembe v okolju, prehranskem režimu, tehnologiji reje in nepravilne postopke ravnanja z živalmi pred zakolom, povzročili večjo dovzetnost živali za oksidativni stres, ki poslabšuje senzorične in tehnološke lastnosti perutninskega mesa. Posledice hitrega povečevanja prsne mišičnine pri pitovnih piščancih in intenzivne tehnologije reje se kažejo v naraščajočem trendu pojavnosti različnih neželenih sprememb piščančjega mesa oziroma miopatij. Med najpogostejše miopatije spadajo miopatija globoke prsne mišice, blede, mehko in vodeno meso, bela progavost prsne mišice, olesenost prsne mišičnine ter špagetasto meso, ki prizadenejo predvsem veliko prsno mišico in poslabšujejo njene senzorične in tehnološke lastnosti. Prav tako omenjene spremembe prsne mišičnine poslabšujejo kakovost in prehransko vrednost mesa ter vplivajo na sprejemljivost mesa za potrošnike in nedvomno povzročajo ekonomske izgube v živilsko-predelovalni industriji.

Ključne besede: perutnina; pitovni piščanci; prehrana živali, prsno mišično tkivo; kakovost mesa; miopatije

Breast muscle abnormalities in broiler chickens

Abstract: In recent decades, global production of poultry meat has increased due to its affordable prices and good nutritional value. The latter has been achieved by intensive selection of broilers for increased growth rate, feed efficiency, breast yield and reduced abdominal fat deposition. On the other hand, intensive selection and increasing demand for poultry meat, as well as some environmental stressors, such as changes in environmental temperature, feeding regime, breeding technology, and improper handling procedures before slaughter, lead to increased susceptibility of animals to oxidative stress, resulting in poorer sensory and technological characteristics of chicken meat. As a result of intensive broiler production and the increase in breast muscle, various breast muscle abnormalities or myopathies have been observed. The most common ones include deep pectoral myopathy, pale, soft and exudative like meat, white striping, wooden-breast and spaghetti meat, which mainly affect the pectoralis major breast muscle and negatively influence the sensory and technological characteristics of breast meat. The muscle abnormalities have a detrimental effect on quality and nutritional value of meat, affect consumer compromise consumers acceptance, and cause economic losses in the meat processing industry.

Key words: poultry; broilers; animal nutrition; breast muscle; meat quality; myopathies

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko, Domžale, Slovenija

² Korespondenčni avtor, e-naslov: vida.rezar@bf.uni-lj.si

1 UVOD

V zadnjih desetletjih se je prireja mesa pitovnih piščancev bistveno povečala, saj v svetovnem merilu perutninsko meso predstavlja cenovno dostopen in kakovosten vir beljakovin, z visoko hranilno vrednostjo in enostavno pripravo (Petracci in sod., 2013). Selekcija vitalnih, hitro rastočih genotipov pitovnih piščancev sledi čedalje večjemu povpraševanju in zahtevam potrošnikov po kakovostnih klavnih trupih in piščančjem mesu ter zahtevam rejcev po boljši gospodarnosti reje (Petracci in sod., 2013; Soglia in sod., 2016b; Zaboli in sod., 2019). Posledice intenzivne selekcije se v reji pitovnih piščancev kažejo v večji dovzetnosti živali za *in vivo* oksidativni stres (Estévez, 2015). Poleg selekcije lahko oksidativni stres sprožijo tudi številni zunanji dejavniki, kot so npr. prehrana, okolje, način reje in postopki ravnanja z živalmi pred zakolom, kar negativno vpliva na zdravstveno stanje in proizvodne lastnosti živali kot tudi na kakovost, prehranske in senzorične lastnosti mesa (Surai in sod., 2019; Xing in sod., 2019). Pri hitrorastočih genotipih piščancev so bile zaznane številne histološke in biokemične spremembe mišičnega tkiva, tako pred zakolom kot po njem, kar se kaže v večji pojavnosti neželenih sprememb oziroma napak v mišičnini, predvsem v prsni mišici (Soglia in sod., 2016b). Med temi napakami sta že opisani miopatija globoke prsne mišice (MGPM) ter bledo, mehko in vodeno (BMV) meso, ki pomembno zmanjšujeta kakovost piščančjega mesa (Cai in sod., 2018). V zadnjih desetih letih pa se je pojavilo večje število novih sprememb v prsni mišici oz. miopatij, med katere spada bela progavost prsne mišice (BPM), olesenelost prsne mišičnine (OPM) ter špagetasto meso (ŠM), ki negativno vplivajo predvsem na kakovost velike prsne mišice (*Musculus pectoralis major*) (Petracci in sod., 2019). Čeprav se miopatije prsne mišičnine kažejo v številnih fenotipskih razlikah, so jim skupne podobne histološke spremembe, kot so spremembe v strukturi mišičnega tkiva, mišična degeneracija, razpad mišičnih vlaken, nekroza in liza mišičnega tkiva ter druge. Tako lahko sklepamo, da imajo vse miopatije, čeprav vzroki za njihov nastanek še niso natančno definirani, skupno etiologijo. Ob tem pa se raziskovalci strinjajo, da je najverjetnejši vzrok za nastanek različnih neželenih sprememb oziroma miopatij hipoksija (Baldi in sod., 2020).

Miopatije ne vplivajo zgolj na slabše senzorične lastnosti in zavračanje takšnega mesa s strani potrošnikov, ampak negativno vplivajo tudi na funkcionalne lastnosti in parametre kakovosti mesa, kot so večja izcejaja, kot posledica slabše sposobnosti mesa za vezanje vode, slabša topnost beljakovin ter spremenjena prehranska vrednost in maščobnokislinska sestava mesa (Soglia in sod., 2016a; Petracci in sod., 2019; Baldi in sod., 2020).

Kljub spremembam v mišičnini, ki jo povzročijo različne miopatije, se lahko takšno meso uporabi v živilsko-predevalni industriji (Petracci in sod., 2019). Tako znanstvena stroka, selekcijski centri kot perutninski sektor in živilska industrija stremijo k iskanju rešitev za zmanjšanje oziroma preprečevanje miopatij oziroma sprememb prsne mišičnine v reji pitovnih piščancev. V prvi vrsti s poznavanjem dejavnikov, odgovornih za nastanek takšnih stanj, in v drugi vrsti z iskanjem alternativ za hitrejše odkrivanje in preprečevanje miopatij v reji pitovnih piščancev, kar bi ugodno vplivalo na dobrobit in prirejo piščancev, zato so na tem področju potrebne nadaljnje raziskave. S preglednim člankom smo tako želeli predstaviti znanstveno literaturo na področju napak prsne mišičnine in predvsem pri novejših miopatijah opredeliti slovensko terminologijo, ki je še nepoznana.

2 NEŽELENE SPREMEMBE PRSNE MIŠIČNINE

Posledica intenzivne selekcije na povečano prirejo pitovnih piščancev so oksidativni procesi v perutninskem mesu, ki vplivajo na večjo dovzetnost živali za razvoj številnih neželenih sprememb mišičnine oziroma miopatij, ki prizadenejo predvsem veliko prsno mišico in negativno vplivajo na kakovost in senzorične lastnosti perutninskega mesa (Trocino in sod., 2015).

Miopatija je definirana kot progresivna degeneracijska živčno-mišična bolezen, pri kateri pride do presnovnih motenj, ki se kažejo v zmanjšanju mišičnega tonusa, poškodbah in atrofiji mišičnih vlaken (Semenova in sod., 2019). Stresni dejavniki v reji živali predstavljajo enega izmed glavnih vzrokov za nastanek miopatij, ki povzročijo povečano tvorbo prostih radikalov in povečano vsebnost intracelularne koncentracije kalcijevih ionov (Ca^{2+}) (Petracci in sod., 2015), zaradi česar pride do povečane obremenitve mišic. Pri povečani koncentraciji Ca^{2+} v mioplazmi pride do povečane proizvodnje toplote zaradi aktivacije fosforilaze in razgradnje adenozin trifosfata (ATP). Pomanjkanje ATP vodi do poškodb miozina in aktina, pojava super kontrakcij miofibrilarnih beljakovin v mišičnem tkivu in togosti mišic. Poleg tega se zmanjša pH krvi, kar lahko povzroči presnovno acidozo (Semenova in sod., 2019). Splošna indikatorja, s katerima lahko potrdimo poškodbe mišic in celic, sta encima kreatin kinaza in laktat dehidrogenaza. Glavna oblika kreatin kinaze, prisotna v plazmi piščancev, izvira iz skeletnih mišic in se uporablja kot indikator različnih miopatij, zato višje vrednosti kreatin kinaze v krvi kažejo na poškodbe mišic. Laktat dehidrogenaza je intracelularni encim, ki katalizira pretvorbo piruvata v laktat v glikolitičnem mišič-

nem tkivu (npr. prsni mišici) in se sprosti v krvni obtok ob poškodbi celic (Aviagen, 2019).

Najpogostejše nezaželene spremembe, ki vplivajo na senzorične lastnosti in kakovost piščančjih prsi in se čedalje pogosteje pojavljajo v intenzivni reji pitovnih piščancev, so MGPM, BPM, OPM in ŠM (Petracci in Cavani, 2012; Petracci in sod., 2019). Omenjene miopatije pomembno zmanjšujejo kakovost mesa, poslabšujejo sposobnost mesa za vezanje vode med toplotno obdelavo in skladiščenjem, kar se kaže v pogostem pojavu pretrganih snopov mišičnih vlaken (Petracci in sod., 2014). Čeprav pojav miopatij pogosto povezujemo s selekcijo na hitro rast živali in povečano prsno mišičnino, so bile ocenjene genetske korelacije med miopatijami, telesno maso in klavnim izplenom prsne mišičnine majhne, kar kaže na to, da nadaljnja selekcija na rast in povečevanje mišičnine ne bi nujno predstavljala večjega tveganja za razvoj miopatij (Bailey in sod., 2015). Z namenom zmanjšanja pojavnosti miopatij v reji pitovnih piščancev je potrebno upoštevati tudi okoljske dejavnike, med katere spadajo vodenje in pogoji reje ter prehrana (Aviagen, 2019). Z namenom preprečevanja miopatij se izvajajo številne raziskave na področju izražanja genov in selekcije, zmanjševanja stresa v reji in pred zakolom, prehrane, metabolomike, proteomike, valilničarstva in tehnologije klanja.

2.1 MIOPATIJA GLOBOKE PRSNE MIŠICE (MGPM)

MGPM je bolezen poznana tudi kot Oregonova bolezen ali bolezen zelene mišice, ki je bila kot degenerativna miopatija pri purah prvič opisana že leta 1968, kasneje pa se je pogosteje pojavljala v rejah pitovnih piščancev, selekcioniranih na povečano prsno mišico (Kijowski in sod., 2014). Bolezen sicer lahko prizadene obe, tako veliko (*Musculus pectoralis major*) kot globoko oziroma malo (*Musculus pectoralis minor*) prsno mišico, vendar je zaradi svojega položaja za to bolezen bolj in tudi v večjem obsegu dovzetna mala prsna mišica (Kijowski in sod., 2014), katere primarna funkcija je dvigovanje peruti. Mišica je obdana z neelastično ovojnico (fascijo) in stisnjena med prsnico in veliko prsno mišico, ki ji ne dovoljujeta, da bi se razširila oziroma nabreknila (Lien in sod., 2012). Med aktivnostjo mišice se zaradi povečanega krvnega pretoka njena masa poveča za približno 20 %, zaradi česar se mišica uklešči med čvrsto ovojnico in kost (Petracci in Cavani, 2012; Kijowski in sod., 2014). Posledično se pritisk v mišici poveča, zmanjša se dotok krvi, kar povzroči ishemijo (stisnjenje žil) mišice oziroma utesnitveni sindrom, ki povzroči pomanjkanje kisika v prizadeti mišici (Bailey in sod., 2015). Takšno stanje

povzroči nekrozo mišičnega tkiva, ki je na začetku oteklo in rdečkaste barve (hiperemija), v fazi nadaljnjih lezij pa se pojavi zelena do sivo-zelena obarvanost. Pri tem so na površini mišice vidne popokane žilice, v kasnejši fazi pa pride do skrčenja mišice (Kijowski in sod., 2014). Pri prizadetih mišicah se pojavijo spremembe v senzoričnih lastnostih, kot so barva, tekstura, sestava in struktura mišičnine. Takšne mišice so bolj trde in gumijaste ter manj elastične kot mišice brez MGPM (Stangierski in sod., 2019).

Miopatijo globoke prsne mišice razvrščamo v štiri faze glede na spremembe v barvi (odtenek in intenzivnost) in teksturi mišičnega tkiva ter glede na velikosti prizadetega območja mišice. V prvi fazi je značilen pojav izliva krvi (ekstravazacije) in strjevanja le-te v krvnih žilah, kar se kaže v živo rdeči barvi male prsne mišice. V drugi fazi je mišica obarvana svetlo rožnato, kot posledica nekroze se pojavijo spremembe v tkivu mišice, ki kasneje postane vlaknasto. V tretji fazi pride do pojava zelene obarvanosti mišičnega tkiva, ki se najprej pojavi v sredini mišice in se nato razširi čez celotno mišico. V četrti fazi pa je mala prsna mišica nekrozna, njena barva pa variira med belo, sivo in zeleno (Kijowski in Kupińska, 2013; Kijowski in sod., 2014).

Najpogostejši vzrok za nastanek MGPM je selekcija pitovnih piščancev na hitro rast in povečano prsno mišičnino, zato se je v zadnjih letih povečala tudi pogostost pojava MGPM (ang. deep pectoral myopathy) (slika 1) (Kijowski in Kupińska, 2012; Petracci in Cavani, 2012).



Slika 1: Miopatija globoke prsne mišice (Foto: Rezar, 2021)
Figure 1: Deep pectoral myopathy (Photo: Rezar, 2021)

Pogostnost in intenzivnost pojavljanja MGMP v rejah je odvisna od številnih dejavnikov, med katere sodijo tehnologija reje, genotip, starost, telesna masa in spol piščancev (Kijowski in sod., 2014). Pojavnost bolezni je povezana tako s starostjo kot tudi končno telesno maso živali (Pajohi-Alamoti in sod., 2016). Predhodne študije so potrdile pozitivno korelacijo med končno telesno maso piščancev in pogostostjo pojava MGMP (Kijowski in Kupińska, 2012; Lien in sod., 2012). Bianchi in sod. (2006) so v študiji primerjali pogostost pojava MGMP pri pitovnih piščancih moškega spola dveh različnih *provenienc* (cobb 500 in ross 508) in ugotovili, da se je MGMP v povprečju pojavila pri 0,84 % piščancev. Pojavnost je bila višja pri piščancih ross 508 (1,27 %) v primerjavi s cobb 500 (0,35 %), tako v začetku kot na koncu rasti. Prav tako so Lien in sod. (2012) ugotovili, da je pojavnost MGMP pri starosti 33 in 36 dni večja pri moških živalih v primerjavi z ženskimi živalmi, medtem ko pri starejših živalih spol ni imel značilnega vpliva. Prav tako MGMP povzroči zmanjšano antioksidativno aktivnost encimov, kar neugodno vpliva na *post mortem* oksidativno stabilnost prsne mišičnine in posledično na kakovost mesa. Yalcin in sod. (2019) so ugotovili, da je pojavnost MGMP (v prvi in drugi fazi) povečala pH, rdečino in izcejo mesa. Pri vseh fazah so izmerili večjo koncentracijo malondialdehida (MDA) kot pokazatelja lipidne peroksidacije ter spremenjeno maščobnokislinsko sestavo velike prsne mišice, pri mišicah, uvrščenih v drugo fazo, pa so izmerili tudi večjo aktivnost encimov SOD in GPx (Yalcin in sod., 2019).

MGPM je miopatija, ki jo lahko z gotovostjo potrdimo šele pri disekciji klavnih trupov, vendar pa lahko MGPM potrdimo tudi *in vivo*, in sicer z merjenjem aktivnosti encima kreatin kinaze v krvni plazmi. Povečana aktivnost omenjenega encima v plazmi je lahko posledica poškodb mišičnih tkiv (predvsem skeletnih), kjer poškodbe celične strukture povzročijo, da pride do sproščanja kreatin kinaze iz mišičnih vlaken. Povečanje aktivnosti encima je povezano s stopnjo poškodb mišic. Krvne analize aktivnosti kreatin kinaze omogočajo razmeroma hitro in učinkovito odkrivanje MGPM. Omenjena metoda se zaradi visokih stroškov in dolžine analize praviloma ne uporablja v komercialnih rejah, vseeno pa lahko predstavlja potencialno osnovo za selekcijo perutnine, odporne na MGPM (Kijowski in sod., 2014). Lien in sod. (2011) so poročali o znatno povišani koncentraciji kreatin kinaze v plazmi pitovnih piščancev 24 ur po sprožitvi MGPM in predlagali uporabo merjenja koncentracije kreatin kinaze kot neinvazivnega označevalca za določanje pojavnosti MGPM. Podatki kažejo, da razširjenost MGPM variira glede na različne pasme, kar pomeni, da lahko genetika igra pomembno vlogo pri pojavu takšnega stanja. Kot neinvazivno metodo za določanje MGPM

v celih klavnih trupih po hlajenju in pred klasifikacijo le-teh, so Traffano-Shiffo in sod. (2018) uporabili dielektrično spektroskopijo. Namen študije je bil razviti večfaktorski algoritem in senzorsko napravo, s katero bi globinsko merili dielektrične lastnosti celotnega klavnega trupa s kožo, in ugotoviti, ali je ta dovolj natančen za prepoznavanje in določanje MGPM. Rezultati študije so pokazali, da lahko s pomočjo interakcije s fotoni in disperzije ugotovimo, katere kemijske spojine prevladujejo v mišičnih vlaknih in tako prepoznamo nekrotična tkiva, ki imajo manjšo vsebnost miozina, kolagena in sarkoplazmatskih beljakovin. Dielektrična spektroskopija se je izkazala kot zanesljiva metoda pri odkrivanju MGPM na liniji klanja, zato jo avtorji predlagajo kot možno hitro in zanesljivo metodo za uporabo v klavnicah (Traffano-Shiffo in sod., 2018).

Posledično so začeli selekcijski centri razvijati selekcijske metode, ki bi lahko pripomogle k zmanjšanju pojavnosti MGPM v jatah, pomagala pa bi lahko tudi genomska selekcija z uporabo DNA označevalcev (Petracci in Cavani, 2012). K zmanjšanju pojavnosti miopatije pa lahko preventivno vpliva že rejec sam, tako da poskuša omejiti oziroma preprečiti nepotrebno prhutanje živali s perutmi, npr. z zmanjšanjem hrupa v hlevu in njegovi okolici ter z mirnim in manj pogostejšim rokovanjem z živalmi. Poleg tega je priporočljivo omejiti tudi nekatere aktivnosti rejca v hlevu, kot je npr. število tehtanj živali, rahljanje nastilja, redčenje jat in vstopanje ljudi v hlev.

2.2 BLEDO, MEHKO IN VODENO (BMV) MESO

Bledo, mehko in vodeno (BMV) meso (ang. pale, soft, exudative meat) je bilo prvotno opisano kot neželena sprememba mišičnine, ki se pojavi tako pri surovem piščančjem in prašičjem mesu kot tudi pri tehnoloških lastnostih proizvodov iz takšnega mesa. BMV meso je značilno svetlejšo oziroma blede barve, ima spremenjeno, mehko strukturo ter slabo sposobnost vezanja vode. Pri prašičih je BMV meso povezano tudi z genetsko mutacijo rianodinskih receptorjev, ki povzroči presežek sproščanja kalcijevih ionov iz sarkoplazemskega retikuluma skeletnih mišic (Petracci in Cavani, 2012; Dong in sod., 2020). Pri perutnini so spremembo, podobno BMV mesu, opisali že pred desetletji, vendar še vedno ne obstajajo trdni dokazi, ki bi potrdili genetsko mutacijo rianodinskih receptorjev, zato pri perutnini govorimo o BMV podobnem mesu (Petracci in Cavani, 2012).

Pojav BMV mesa je glede na ugotovitve predhodnih študij posledica genetskih in/ali okoljskih dejavnikov, kot so npr. intenzivna selekcija na povečano prsno mišičnino, sezona, vročinski stres ter stresni dejavniki ravnanja z živalmi pred zakolom in po njem, ki vodijo

v večjo dovzetnost mišic za oksidacijo maščob in beljakovin (Kuttappan in sod., 2016; Carvalho in sod., 2017; Dong in sod., 2020). Kar se zadeva genetike je bilo dokazano, da selekcija na hitrejšo rast in povečano prsno mišičnino povzroča številne histološke in biokemične spremembe mišičnega tkiva, kar je lahko povezano tudi s pojavnostjo BMV mesa (Petracci in Cavani, 2012). V primeru izpostavitve živali zunanjim stresnim dejavnikom se poveča izločanje adrenalina iz nadledvične žleze, ki vpliva na povečano razgradnjo glikogena v mišičnih celicah, kar pomeni, da se anaerobna glikoliza prične že *in vivo* (Gonzalez-Rivas in sod., 2020). Glikogen se razgradi v glukozo, glukosa pa nato v mlečno kislino, ki povzroči hiter padec pH (Petracci in Cavani, 2012). Takoj po zakolu se anaerobna glikoliza še pospeši zaradi velike količine mlečne kisline in pH hitro pade pod 5,8, medtem ko je temperatura mišičnine še vedno visoka (nad 35 °C) (Carvalho in sod., 2017). Omenjena kombinacija povzroči denaturacijo miofibrilnih in sarkoplazemskih beljakovin, kar zmanjša sposobnost mišičnih vlaken za vezanje vode (Lee in Choi, 2021), poveča se propustnost celične membrane (Petracci in sod., 2015) in več tekočine preide v medcelične prostore, ki se močno povečajo (Barbut in sod., 2005). To vpliva na manjši delež prsne mišičnine in slabšo kakovost mesa ter povzroča ekonomske izgube (Kuttappan in sod., 2016; Dong in sod., 2020). BMV perutninsko meso ima slabše senzorične lastnosti, saj je takšno meso bolj svetlo in rumeno (večji L* in b* vrednosti), ima mehko konsistenco oziroma vodeno teksturo, večjo izcejo, slabšo sposobnost za vezanje vode in manjšo režno trdoto. Prav tako ima takšno meso slabše tehnološke lastnosti za nadaljnjo predelavo in je v primerjavi z običajnim mesom bolj podvrženo kvarjenju (Tang in sod., 2013; Karunanayaka in sod., 2016).

Med najpomembnejšimi okoljskimi dejavniki, ki vplivajo na pojav BMV mesa pri perutnini, je izpostavljenost živali sezonskemu vročinskemu stresu v zaključni fazi rasti in pred zakolom (Dong in sod., 2020). Hitrorastoči piščanci so bolj dovzetni za neugodne učinke vročinskega stresa, saj pri sodobnih genotipih pitovnih piščancev razvoj mehanizmov termoregulacije ne more slediti hitremu povečevanju mišične mase, kar pri živalih povzroči nezmožnost ohranjanja stalne telesne temperature ob povišani okoljski temperaturi (Zaboli in sod., 2019). Na višjo temperaturo prsne mišičnine pred zakolom lahko vpliva tudi napačno rokovanje z živalmi, ki povzroči vznemirjenost živali ter povečano prhutanje s perutmi, pa tudi večja presnovna aktivnost povečane prsne mišičnine, zato obstaja verjetnost, da se prsne mišice pitovnih piščancev, predvsem pa puranov, po zakolu počasneje hladijo (Petracci in Cavani, 2012).

V predhodnih študijah na BMV mesu so z uporabo proteomskih pristopov ugotovili, da je proces pretvor-

be mišic v meso spremenjen v glikolitičnih mišicah, kar povzroči spremembe v funkcionalnosti proteolitičnih encimov in/ali se kaže v denaturaciji mišičnih beljakovin. Prav tako bi spremembe v koncentraciji dveh glikolitičnih encimov (fruktoza-1,6-bifosfat aldolaza in gliceraldehid 3-fosfat dehidrogenaza) pojasnile razlike v hitrosti padca pH pri normalnem in BMV mesu. Proteomske analize bi lahko v prihodnje uporabili za odkrivanje omenjenih sprememb, za katere se domneva, da povzročijo slabšo kakovost mesa in vodijo v BMV meso. V zadnjem času se študije z namenom identifikacije in preprečevanja BMV mesa osredotočajo tudi na nutrigenomiko. Znano je, da dodatek tokoferolov v krmo za piščance ugodno vpliva na zmanjšanje oksidacijskih procesov ter posledično na boljše funkcionalne lastnosti in zmanjšanje pojavnosti BMV mesa. Ugoden vpliv dodatka vitamina E na oksidativno stabilnost lipidov v mišicah, maščobnokislinsko sestavo in kakovost takšnega mesa je verjetno posledica vpliva vitamina E na izražanje genov, povezanih s presnovo lipidov (Petracci in Cavani, 2012).

Ker s pojavom BMV mesa pri perutnini zaenkrat ni bilo ugotovljene povezave z genetskimi označevalci lahko pojavnost BMV mesa v jati zmanjšamo predvsem z vzdrževanjem primernih okoljskih pogojev v hlevu v času reje, kot so temperatura, pretok zraka in gostota naselitve, ter z zmanjšanjem stresnih dejavnikov pred zakolom, kamor spada odvzem krme, rokovanje z živalmi in njihovo nalaganje, transport, način omamljanja in način hlajenja klavnih trupov. Preventivno lahko v krmo za živali dodajamo tudi vitamin E. Olivio in sod. (2001) so ugotovili, da dodatek vitamina E v krmo pitovnih piščancev ugodno vpliva na zmanjšanje denaturacije beljakovin in lahko posledično zmanjša pojavnost BMV mesa ter izboljša funkcionalne lastnosti mesa.

2.3 BELA PROGAVOST PRSNE MIŠICE (BPM)

Bela progavost prsne mišice (BPM) (ang. white striping) je stanje prsne mišice, za katero je značilen pojav belih prog, ki potekajo vzporedno z mišičnimi vlakni, predvsem na površini velike prsne mišice, lahko pa se pojavijo tudi na površini stegenskih mišic pitovnih piščancev (Kuttappan in sod., 2012a). Na površini prsne mišice se bele proge običajno pojavijo v zgornjem oziroma kranialnem delu mišice in se lahko raztezajo vse do kavdalnega dela (Petracci in sod., 2019). Histopatološke spremembe prsne mišice zaradi BPM se kažejo v miopatskih lezijah, povečanem številu degeneriranih in atrofičnih mišičnih vlaken, variaciji v velikosti mišičnih vlaken, lipidozi, fibrozi, blagi mineralizaciji, občasni regeneraciji ter infiltraciji mononuklearnih celic (Petracci in sod., 2015; Bowker in Zhuang, 2016). Poleg tega se na

mikroskopskem nivoju v belih progah opazi večja vsebnost maščob in proliferacija vezivnega tkiva (Pettracci in sod., 2019).

Čeprav vzroki za nastanek BPM še vedno niso definirani, so lahko le-ti povezani s selekcijo na hitro rast in povečano prsno mišico pri genotipih modernih pitovnih piščancev (Bowker in Zhuang, 2016). Bailey in sod. (2015) so naredili oceno genetskega ozadja nekaterih najpogostejših miopatij in preverili njihovo povezavo z rastjo in klavnim izplenom pri pitovnih piščancih. Heritabiliteta (h^2) za BPM je bila $\leq 0,338$, medtem ko sta bili h^2 za MGPM in OPM $< 0,1$. Med preučevanimi miopatijami se je v reji najpogosteje pojavila BPM. V študiji so ugotovili, da čeprav selekcija na povečano prsno mišičnino igra pomembno vlogo pri nastanku miopatij, imajo okoljski dejavniki večji doprinos. Prav tako so tudi Pampouille in sod. (2018) ugotovili, da ne obstaja določen gen, ki je odgovoren za pojavnost BPM, ampak lahko govorimo o poligenem dedovanju.

BPM v prvi vrsti neugodno vpliva na senzorične lastnosti mesa, saj daje prsnim filejem marmoriran in neobičajen videz, kar negativno vpliva na percepcijo in izbiro potrošnikov, za katere je videz in način priprave perutninskega mesa izrednega pomena (Kuttappan in sod., 2012c). Bele proge na piščančjih prsni spreminjajo kemijsko sestavo mesa, ki ima tako večjo vsebnost znotrajmišične maščobe, vode in kolagena ter manjšo vsebnost beljakovin in rudninskih snovi, kar se kaže v slabši prehranski vrednosti BPM prsnih filejev v primerjavi z nespremenjenimi fileji (Pettracci in sod., 2014; Bowker in Zhuang, 2016). BPM negativno vpliva tudi na različne parametre kakovosti mesa, in sicer povzroča večjo izcejo in izgubo vode pri kuhanju ter spremenjeno maščobno-kislinsko sestavo mesa (Adabi in Soncu, 2019). Prav tako zmerina in povečana prisotnost BPM povečuje stopnjo oksidacije v prsni mišici, kar se kaže v večji koncentraciji s tiobarbiturno kislino reagirajočih spojin (TBARS), medtem ko težja oblika BPM zmanjšuje vsebnost aminokislin histidina, arginina in triptofana (Adabi in Soncu, 2019).

Kuttappan in sod. (2012a) so ugotovili, da je bila večja pojavnost BPM zaznana pri težjih in debelejših prsnih filejih. Prav tako sta Lee in Choi (2021) dokazala, da so BPM prsni fileji v primerjavi z običajnimi prsnimi fileji težji in imajo večji premer mišičnih vlaken, kar je posledica mišične hipertrofije. Na večjo pojavnost BPM v reji vpliva tudi krmljenje pitovnih piščancev s krmo z višjo energijsko vsebnostjo in manjšo vsebnostjo beljakovin (Kuttappan in sod., 2012a), starost in spol piščancev ter restriktivno krmljenje. BPM se najpogosteje pojavlja pri samcih z veliko in težko prsno mišičnino, predvsem v zadnjem obdobju pitanja, in sicer med 6. in 8. tednom starosti (Pettracci in sod., 2013).

Identifikacija bele progavosti, kot tudi ostalih miopatij, ki prizadenejo prsno mišico, se po zakolu živali izvaja z vizualnim pregledom in/ali palpacijo velike prsne mišice (Pettracci in sod., 2019). Gre za vizualno točkovanje, kjer z oceno nič ocenimo mišico brez sprememb, z višjimi ocenami pa spremembe glede na prisotnost in debelino belih prog (Kuttappan in sod., 2012c; Kuttappan in sod., 2016). Čeprav ima BPM podobne karakteristike kot mišična distrofija, povezana z zastrupitvijo z ionofori ali rastlino *Senna occidentalis* ali s pomanjkanjem selena in vitamina E v prehrani perutnine (Bailey in sod., 2015; Kuttappan in sod., 2014), so Kuttappan in sod. (2012b) ugotovili, da dodatek različnih koncentracij vitamina E v krmo pitovnih piščancev ni vplival na pojavnost BPM pri pitovnih piščancih. Na drugi strani pa so Boerboom in sod. (2018) kot najverjetnejši razlog za nastanek BPM pri pitovnih piščancih navedli lokalno hipoksijo, ki povzroči poškodbe mišičnega tkiva.

Ker se BPM lahko določi šele ob pregledu prsne mišičnine po zakolu, zaenkrat preventivno preprečevanje pojavnosti BPM v jati glede na aktualno literaturo ni možno (Kuttappan in sod., 2016). Kot preventivni ukrep za zmanjšanje pojavnosti BPM poleg uspešnega vodenja reje in spremljanja okoljskih dejavnikov lahko izpostavimo še izbiro počasi rastočih genotipov pitovnih piščancev moškega spola, saj je BPM vezana predvsem na večji prirast in končno telesno maso piščancev ter večjo maso prsne mišičnine. V prihodnje bi bilo potrebno narediti več raziskav z namenom razumevanja vpliva okolja in vodenja reje na rast in razvoj mišičnine pri pitovnih piščancih (Bailey in sod., 2015). Podrobneje bi bilo potrebno tudi raziskati, kateri so ključni geni in mutacije, ki vplivajo na pojavnost BPM (Kong in sod., 2020) ter poiskati učinkovite biooznačevalce, s katerimi bi lahko pojavnost BPM v reji odkrili že pri živih živalih (Kuttappan in sod., 2016).

2.4 OLESENELOST PRSNE MIŠIČNINE (OPM)

Olesenlost prsne mišičnine (OPM) (ang. wooden ali woody breast) je miopatija za katero je značilna trda in toga prsna mišičnina, ki spominja na strukturo lesa in povzroči značilne histološke lezije v veliki in občasno tudi mali prsni mišici (Pettracci in sod., 2019). Prvič so OPM pri piščancih opisali leta 2013, ko so poročali o neželeni spremembi mišičnine, podobni MGMP, za katero so značilne trše in blede izbokline na kavdalni in kranialni strani velike prsne mišice (Cai in sod., 2018). V Evropi so kot prvi patologijo OPM bolj podrobno opisali Sihvo in sod. (2014), ki so s pomočjo mikroskopije in imunohistokemijskega barvanja mišičnih tkiv ugotovili fibrozo z mišično degeneracijo in regeneracijo ter kopičenje limfo-

citov v veliki prsni mišici pitovnih piščancev pred zakolom in po njem. Histološko opisujemo OPM kot zmerno ali hudo mišično degeneracijo, ki jo spremlja nekroza tkiva, akumulacija vnetnih celic in fibroza. Prav tako se poškodbe tkiva kažejo v nenormalni strukturi in obliki celic, npr. kot izguba poligonalne oblike celic, na videz razcepljene celice in internalizacija jeder (Dalle Zotte in sod., 2017). OPM je povezana tudi z degeneracijo in regeneracijo mišičnih vlaken, nekrozo mišičnih vlaken, hialinizacijo, miofibrilarno hipertrofijo, zamenjavo nekrotičnih mišičnih vlaken z vlaknastim vezivnim tkivom, infiltracijo makrofagov in limfocitov v mišična tkiva, zadebelitvijo perimizijskega vezivnega tkiva, zunajceličnim odlaganjem kolagena, spremembami v obliki, velikosti in premerom mišičnih vlaken itd. (Chatterjee in sod., 2016; Dalle Zotte in sod., 2017; Sihvo in sod., 2017).

Glavni dejavnik, ki povzroča OPM, je intenzivna selekcija pitovnih piščancev na hitro rast in na povečano prsno mišičnino. Na pojavnost in resnost OPM tako kot pri BPM vplivajo dejavniki, kot so tehnologija reje, rast in razvoj mišičnega tkiva, genotip piščancev, spol, starost, prehrana ter telesna masa pred zakolom (Caldas-Cueva in Owens, 2020), pri čemer imajo okoljski dejavniki in vodenje reje večji vpliv na pojavnost OPM kot genetika (Bailey in sod., 2015). Čeprav so fiziološki vzroki za nastanek omenjene miopatije še vedno nejasni, je možno, da so glavni vzroki hipoksija, oksidativni stres in povečana vsebnost intracelularne koncentracije kalcijevih ionov (Dalle Zotte in sod., 2017).

Spremembe v prsni mišici v povezavi z omenjeno miopatijo se tako odrazijo tudi na sestavi mesa, ki ima tako kot pri BPM večjo vsebnost maščob, kolagena in vode ter manjšo vsebnost beljakovin in rudninskih snovi (Soglia in sod., 2016a; Geronimo in sod., 2019; Caldas-Cueva in Owens, 2020). Degeneracija mišičnih vlaken in spremembe v sestavi mišičnine se kažejo v slabših funkcionalnih lastnostih takšnih prsnih filejev, kot so npr. slabša sposobnost za vezanje vode, povečana izceja med skladiščenjem in spremenjena tekstura mesa (Petraacci in sod., 2019; Caldas-Cueva in Owens, 2020). OPM prsni file je v primerjavi z običajnimi prsnimi fileji težji, debelejši, širši in bolj blede barve (Zhang in sod., 2021b). OPM zmanjšuje prehransko vrednost, vpliva na senzorične lastnosti in slabšo kakovost piščančjega mesa, kar negativno vpliva na percepcijo potrošnikov.

OPM je pogosto povezana tudi s težavami pri hoji oziroma mobilnosti piščancev, kar pomeni, da se lahko morebitna pojavnost OPM odkriva že pri živih živalih. Tako so Norring in sod. (2019) želeli ugotoviti povezavo med pojavnostjo OPM in mobilnostjo pitovnih piščancev. V študiji so se osredotočili na oceno hoje piščancev, ki so jo izvedli petkrat v času poskusa ter na koncu poskusa naredili še oceno poškodb nožnih blazinic ter

palpacijo prsne mišičnine. Ugotovili so, da je bila pojavnost OPM povezana z manj pogostim gibanjem živali po prostoru in bolj nepremično držo med ležanjem oziroma mirovanjem. Ob tem so avtorji predvidevali, da bi lahko razvoj OPM povzročal večjo občutljivost prsne mišičnine in bi dodaten premik med mirovanjem lahko živali povzročil nelagodje in bolečino. Poleg omenjenega se je OPM pogosteje pojavljala pri težjih živalih z večjo prsno mišico (Borring in sod., 2019).

Kot zanesljiv označevalec, s katerim lahko predvidimo prisotnost OPM že pri živih živalih, Kong in sod. (2021) navajajo povečano aktivnost encima kreatin kinaze v krvnem serumu pitovnih piščancev, medtem ko je kompresijski test najbolj zanesljiva metoda za določanje OPM *post mortem*. Čeprav se aktivnost kreatin kinaze s starostjo piščancev povečuje, so v študiji izmerili značilne razlike med normalnimi prsnimi fileji in zmerno obliko OPM. Prav tako so potrdili pozitivno korelacijo med aktivnostjo kreatin kinaze v prsni mišičnini in kompresijsko silo, s katero lahko določimo teksturo mesa (Kong in sod., 2021).

Spremembe v makroskopskih lastnostih prsne mišice oziroma OPM na liniji klanja s senzorično oceno in palpacijo razvrščamo v štiri faze, in sicer blago obliko (na sredini prsne mišice opazne manjše zatrdline), zmerno obliko (na sredini prsne mišice opazne trše zatrdline), težjo obliko (več kot 75 % prsne mišičnine je izredno trde in so trše zatrdline opazne po celotni prsni mišici), ter težko obliko (celotna prsna mišica je otrdela in blede barve) (Petraacci in sod., 2019). Za identifikacijo in karakterizacijo OPM se poleg senzorične ocene prsne mišičnine uporabljajo tudi instrumentalne metode za analizo teksture prsnih filejev z merjenjem strižnih sil oziroma rezne trdote mesa (Chatterjee in sod., 2016; Zhang in sod., 2021a). Prav tako Caldas-Cueva in sod. (2021) kot enostavno za uporabo, hitro, zanesljivo in neinvazivno metodo za odkrivanje OPM opisujejo uporabo slikovne analize klavnih trupov. Slikovna analiza v predelovalni industriji sicer ni novost, vendar so z omenjeno študijo želeli avtorji predstaviti metodo, ki bi ponudila potrditev OPM že na začetku procesa predelave in tako omogočila identifikacijo in razvrščanje klavnih trupov glede na normalno kakovost in OPM. Ugotovili so, da lahko uporaba najbolj ustreznega validiranega modela pri slikovni analizi doseže 84-% natančnost pri zaznavanju OPM (normalna mišičnina, zmerna in težja oblika OPM), medtem ko so Geronimo in sod. (2019) poročali celo o 91,8-% natančnosti pri identifikaciji OPM (normalna mišičnina in OPM) z uporabo kombinacije bližnje infrardeče spektroskopije in slikovne analize. Omenjena analiza bi tako pripomogla k lažjemu predvidevanju oziroma klasifikaciji prsne mišičnine glede na kakovost. Prav tako Kong in sod. (2021) predlagajo uporabo kompresijskega testa

kot kvantitativnega indikatorja, s katerim bi lahko bolj zanesljivo potrdili prisotnost OPM (in BPM) ter prsne fileje razvrstili v različne razrede glede na obliko OPM kot je definirana s palpacijo.

Možna alternativa uporabe OPM piščančjih prsi v humani prehrani je tako nadaljnja predelava in uporaba le-teh v predelanih živilih. Med predelavo je možno spremeniti kemijsko sestavo mesa, kar vpliva na spremenjene lastnosti končnega živila. S tem bi lahko zmanjšali neželene učinke OPM in izboljšali kakovost končnih proizvodov, kar bi bilo ugodno tako za perutninsko oziroma predelovalno industrijo kot tudi za potrošnika (Caldas-Cueva in Owens, 2020).

Za zmanjšanje pojavnosti OPM v jati se lahko rejci že med vsakodnevnimi rutinskimi opravili in pregledom jate osredotočijo na težave živali s hojo, palpacijo prsne mišice in s spremljanjem dvigovanja peruti piščancev z namenom ocenjevanja gibljivosti peruti (Baldi in sod., 2021). Prav tako je možno pojavnost OPM omiliti z dodatkom antioksidantov v krmo piščancev. V študiji selekcijskega centra Aviagen (2019) so namreč ugotovili, da je bila pojavnost OPM za 28 % nižja ob dodatku 200 ppm vitamina C in 180 IU vitamina E/kg krmne mešanice v primerjavi s skupino, ki ni dobivala antioksidantov. Vseeno pa je na področju *in vivo* zaznavanja pojavnosti OPM še veliko neznank in bodo v prihodnje potrebne nadaljnje študije za natančnejše razumevanje poteka pojavnosti OPM in možne preventivne ukrepe.

2.5 ŠPAGETASTO MESO (ŠM)

Miopatijo, ki povzroči, da je meso na videz podobno špagetom (ang. spaghetti meat, stringy-spongy, mushy breast), so prvič opisali leta 2015 in jo poimenovali „kašaste prsi“, kjer so avtorji kot vzrok za pojav miopatije navedli izgubo skladnosti mišic v veliki prsni mišici pri hitrorastočih genotipih pitovnih piščancev (Baldi in sod., 2021). Kasneje so stanje poimenovali kot špagetasto meso (ŠM) ali „špagetaste prsi“, saj se stanje fenotipsko odraža v slabi veznosti med mišičnimi vlakni oziroma odstopanju mišičnih snopičev, kar se kaže v dolgem, tankem, trdnem in valjastem videzu vlaken, ki na videz spominja na špagete (Petracci in sod., 2019; Baldi in sod., 2021). Pri ŠM pride v osnovi do poškodb vezivnega tkiva znotraj perimizijijskih frakcij, pri čemer nastanejo velike znotrajcelične praznine, kar privede do ločevanja snopov mišičnih vlaken, ki sestavljajo mišično tkivo (Baldi in sod., 2018). Posledice so vidne v mehki konsistenci mišičnine, običajno v ventro-kranialnem delu prsnega fileja, vendar je možno, da se pojavi tudi v kavdalnem delu in občasno celo v stegenskih mišicah (Tasoniero in sod., 2020; Baldi in sod., 2021). Prav tako so s ŠM povezane

histološke spremembe podobne kot pri BPM in OPM in se kažejo v obsežni mišični degeneraciji skupaj z regeneracijo, spremenjeni strukturi mišičnega tkiva, nekrozi in razpadu mišičnih vlaken, infiltraciji maščobnega tkiva in vnetnih celic ter edemu (Tasoniero in sod., 2020; Baldi in sod., 2021). Po drugi strani pa je posebnost pri ŠM, ki je ni mogoče zaznati pri drugih miopatijah, progresivno redčenje endomizija in perimizija, ki vodi v slabšo vezavo med mišičnimi vlakni. Po nekaterih raziskavah bi lahko bila slaba skladnost oziroma celovitost mišice posledica akumulacije nezrelega, na novo naloženega kolagena, katerega primarne funkcije še niso povsem razvite (Tasoniero in sod., 2020).

Vzroki za nastanek ŠM so tako kot pri BPM in OPM prsne mišice neznani, vendar se predvideva, da imajo vse miopatije skupno etiologijo. Glede na aktualno literaturo se miopatiji BPM in OPM pojavljata predvsem pri moških živalih, kar bi lahko sklepali tudi za ŠM, vendar pa so Pascual in sod. (2020) v študiji, kjer so preučevali vpliv dodatka natrijevega butirata na prirejo in kakovost mesa, ugotovili, da je bila značilno večja pojavnost ŠM pri ženskih v primerjavi z moškimi živalmi. Kljub temu pa avtorji vzroka za tovrsten pojav niso mogli določiti, zato so na to temo potrebne dodatne raziskave. Tudi Che in sod. (2022) so preiskovali pogostost pojavljanja ŠM v jatah pitovnih piščancev v Kanadi in ugotovili, da se je ŠM pojavilo pri tretjini preučevanih prsnih filejev ter da se pojavnost ŠM povečuje z naraščajočo telesno maso in je pogostejša med poletnimi meseci v primerjavi z zimskimi meseci. Prav tako naj bi imeli na pojavnost ŠM velik vpliv izvedeni postopki pri zakolu, kot so npr. odstranjevanje perja, čas in način izkoščevanja trupov ter ohlajanje trupov, pri čemer je bila na liniji klanja pojavnost ŠM večja za 50 % pri klavnih trupih, ki so bili počasi ohlajeni, v primerjavi s tistimi, ki so bili hitro ohlajeni (Baldi in sod., 2021).

ŠM negativno vpliva tudi na parametre kakovosti mesa in prehransko vrednost mesa. Baldi in sod. (2018) ter Tasoniero in sod. (2020) poročajo, da imajo piščančji fileji s ŠM v primerjavi z normalnimi fileji na površini manjšo vsebnost beljakovin, skupnega in topnega kolagena ter večjo vsebnost vode in maščob. Miopatija vpliva tudi na maščobnokislinsko sestavo prsnih filejev, ki imajo v primerjavi z normalnimi fileji manjšo vsebnost eikozapentaenojske (EPA) in dokozaheksaenojske (DHA) kisline (Baldi in sod., 2021). Poleg omenjenega imajo piščančji fileji s ŠM slabše funkcionalne lastnosti, kot so višji pH, meso je bolj rumene barve, poveča se izceja, poslabša se sposobnost za vezanje vode ter mehko po kuhanju (Petracci in sod., 2019; Baldi in sod., 2021). Pri ŠM do zmanjšane sposobnosti za vezanje vode verjetno pride zaradi zmanjšane topnosti beljakovin, ki je posledica neprestanih procesov razgradnje beljakovin,

kar dokazuje višji indeks miofibrilarne fragmentacije ŠM ter večja koncentracija prostih aminokislin (Baldi in sod., 2021). Za določanje resnosti stanja ŠM na liniji klanja so Sirri in sod. (2016) predlagali klasifikacijo s tritočkovno lestvico. Predlagajo, da se prsni file, ki ima normalno konsistenco, brez vidnih lezij mišičnega tkiva, oceni z nič točkami. Prsni file z zmerno obliko ŠM, kjer se ne kažejo površinske laceracije, ampak so strukture mehke in ohlapne, in jih je možno zaznati s stiskanjem zgornjega oziroma kranialnega površinskega dela mišice, se oceni z eno točko. File s težjo obliko ŠM pa ima obsežne površinske laceracije, tako na kranialni kot kaudalni površini velike prsne mišice, z vidno ločbo snopov mišičnih vlaken, ki spominjajo na videz špagetov, in se oceni z dvema točkama (Sirri in sod., 2016; Baldi in sod., 2021). Za predelovalno industrijo je pojav ŠM izredno neugoden, saj ŠM zaznamo šele pri sekciji klavnih trupov na prsne fileje. Ker ŠM negativno vpliva na senzorične lastnosti mesa, se prsni filejev s ŠM na trgu ne prodaja kot sveže, zato se količina zavrženega mesa poveča (Tasoniero in sod., 2020). Za prepoznavanje in razvrščanje ŠM že na liniji klanja so v predhodnih študijah predlagali uporabo bioelektrične impedančne analize ali meritev barve mesa (Baldi in sod., 2021).

Omeniti je potrebno, da ŠM v primerjavi z OPM ne moremo določiti pri živih živalih, prav tako pa glede na aktualne raziskave ni poznane učinkovite strategije z vidika prehrane in oskrbe živali, ki bi jih lahko uporabili kot preventivo za zmanjšanje pojavnosti ŠM. Trenutno se kot najbolj praktična rešitev za zmanjšanje ŠM uporablja fizično ločevanje površinskih in globinskih delov prsni filejev na liniji klanja. Ker ŠM prizadene predvsem površino mišice, se površinski deli uporabijo za nadaljnjo predelavo, globinski pa se prodajo naprej kot sveži fileji (Baldi in sod., 2021). Fileje s slabšo kakovostjo bi lahko tako vključili v pripravo mletih mesnih izdelkov, kjer bi lahko z dodatki različnih sestavin (npr. škroba, fosfatov, hidrokoloidov ...) prekrili slabše tehnološke lastnosti takšnega mesa (Petracci in sod., 2019). Prav tako je možno ŠM zamrzniti, saj se s skladiščenjem kakovost mesa dodatno ne poslabšuje in se lahko kasneje uporabi v predelavi (Baldi in sod., 2021).

2.5.1 Razbrazdanost male prsne mišice (RMPM)

Poleg omenjenih miopatij v zadnjem času na liniji klanja ugotavljajo novo napako mišičnine, ki prizadene malo prsno mišico in so jo prvič opisali Soglia in sod. (2019). Napaka, opisana kot razbrazdanost (ang. gaping defect) male prsne mišice (RMPM), je podobna že opisani napaki pri ribjih filejih, kjer pride do raztrganin intramuskularnega vezivnega tkiva med potekom mrtva-

ške otrplosti, kar se kaže v ločitvi mišičnih snopičev na površini fileja, ki so opazne kot manjše ločitve v obliki razpok oziroma brazd na površini mišičnine ali popolne, globoke ločitve vse do kože. Prav tako pri RMPM pride do vidnega ločevanja mišičnih snopičev.

Na pojavnost RPMP lahko vpliva sistem hlajenja trupov, čas, pretečen od zakola do izkoščevanja in tudi drugi vzroki, kar predstavlja težavo pri primerjanju pojavnosti RPMP med različnimi predelovalnimi obrati (Soglia in sod., 2019). Poleg omenjenega tudi selekcija pitovnih piščancev na hitro povečevanje prsne mišičnine (predvsem velike prsne mišice) vpliva na to, da gredo piščanci v zakol čedalje mlajši in pri tem akumuliran kolagen še ne gre čez posttranslacijske modifikacije, ki so potrebne za njegovo zorenje. Tako lahko redčenje perimizijskega vezivnega tkiva in nezrelost vezivnega tkiva pri hitrorastočih pitovnih piščancih povzroči, da je mala prsna mišica bolj dovzetna za nastanek brazd pri postopkih po zakolu (Soglia in sod., 2019).

Zaradi slabših senzoričnih lastnosti, ki jih povzročijo razbrazdanost, je takšno meso slabše kakovosti, kar povzroča ekonomske izgube. RPMP je na videz analogna ŠM, miopatiji značilni za veliko prsno mišico, vendar so Soglia in sod. (2019) ugotovili, da so imele razbrazdane prsne mišice bistveno nižji pH, nespremenjeno vsebnost makrohranil in so bile bolj svetle (višje L* vrednosti), medtem ko so velike prsne mišice s ŠP imele višjo pH vrednost, spremenjeno kemično sestavo (večja vsebnost vlage ter manjši delež surovih beljakovin in surovega pepela) in bile bolj rumene (višje b* vrednosti). Glede na drobljenje rezultate avtorji predvidevajo, da razbrazdanost ne vpliva na histološke spremembe v takšni meri, kot je to značilno za ŠM, ampak da je RPMP verjetno posledica biokemičnih procesov, ki potečejo med posmrtno pretvorbo mišice v meso. RPMP tako poslabšuje kakovost mesa, saj imajo takšni fileji slabšo sposobnost za vezanje vode, kar skupaj z nizkim pH in blede barvo filejev spominja na BMV meso (Soglia in sod., 2019).

Za lažjo oceno resnosti stanja RPMP so Soglia in sod. (2019) predlagali klasifikacijo, kjer pri normalnih prsni filejih ni zaznati nobenih ločb mišičnih snopičev, pri zmerni obliki lahko določimo do dve mesti ločbe mišičnih snopičev na površini mišice (zgornji ali sredinski del mišice), krajše od 1,5 cm, pri težji obliki pa lahko določimo več kot dve mesti ločbe mišičnih snopičev na površini mišice (tako zgornji kot sredinski del), daljše od 1,5 cm. V raziskavi so ugotovili, da so bile razlike med zmerno in težjo obliko RPMP majhne, kar bi lahko kazalo tudi, da RPMP ni posledica drugačne predispozicije mišičnine, temveč različne sile, uporabljene pri izkoščevanju trupov.

Kljub ugotovitvam, da lahko na pojavnost in obliko RPMP vplivajo tako postopki pred zakolom kot po njem,

so potrebne nadaljnje raziskave na področju etiologije RPMP in njenega vpliva na kakovost mesa ter potrebnih preventivnih in/ali kurativnih ukrepov, s katerimi bi zmanjšali pojavnost RPMP.

3 SKLEPI

Vzrokov za nastanek neželenih sprememb oz. miopatij prsne mišičnine pri pitovnih piščancih je več in so povezane predvsem z intenzivno rejo in selekcijo na povečano prsno mišico. Neželene spremembe prsne mišičnine poslabšujejo kakovost in prehransko vrednost mesa ter perutninskemu sektorju povzročajo ekonomske izgube. Glede na to, da do danes še ni razvite učinkovite strategije za zmanjšanje omenjenih miopatij, se zdi trenutno najbolj praktična rešitev ločevanje površinskih in globinskih delov prsni mišic na liniji klanja, kjer bi površinske dele filejev uporabili v nadaljnjem postopku predelave, globinske dele pa bi lahko sveže distribuirali v prehransko verigo (Baldi in sod., 2021). Prav tako je možno, da meso, ki je bilo predhodno razvrščeno v kategorijo z neželenimi spremembami, vključimo v predelana živila, kjer lahko dodatek funkcionalnih sestavin (npr. škroba, fosfatov, hidrokoloidov itd.) izboljša slabše tehnološke lastnosti takšnega mesa (Petracci in sod., 2019), ki pa sicer nima škodljivih vplivov na zdravje potrošnikov. V prihodnje je potrebno poiskati rešitve za zmanjšanje pojavnosti neželenih sprememb v prsni mišičnini pitovnih piščancev. To bi lahko dosegli s prilagojeno selekcijo in spremembami na področju tehnologije reje piščancev, vezane predvsem na skrb za dobrobit in zmanjšanje izpostavljenosti živali stresnim dejavnikom. Po drugi strani pa je potrebno zaradi čedalje večjega povpraševanja po perutninskem mesu in posledično težnje industrije po večji prireji in zaslužku, najti načine in možnosti uporabe takšnega mesa v živilsko predelovalni industriji.

4 VIRI

Adabi, S. G. in Soncu, E. D. (2019). White striping prevalence and its effect on meat quality of broiler breast fillets under commercial conditions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(4), 1060–1069.

Aviagen. (2019). Breast muscle myopathies (BMM). Pridobljeno s <http://eu.aviagen.com/tech-center/download/1282/Breast-Muscle-Myopathies-2019-EN.pdf>

Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M., Sirri, F., Canonico, L., Babini E., ... Petracci M. (2018). Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. *Animal*, 12(1), 164–173. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001069>

Baldi G., Soglia F. in Petracci M. (2020). Current status of poul-

try meat abnormalities. *Meat and Muscle Biology*, 4(2), 1–7. <https://doi.org/10.22175/mmb.9503>

Baldi, G., Soglia, F. in Petracci, M. (2021). Spaghetti meat abnormality in broilers: current understanding and future research directions. *Frontiers in Physiology*, 12, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.684497>

Bailey, R. A., Watson, K. A., Bilgili, S. F. in Avendano, S. (2015). The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poultry Science*, 94, 2870–2879. <https://doi.org/10.3382/ps/pev304>

Barbut, S., Zhang, L. in Macrone, M. (2005). Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poultry Science*, 84, 797–802. <https://doi.org/10.1093/ps/84.5.797>

Bianchi, B., Petracci, M., Franchini, A. in Cavani, C. (2006). The occurrence of deep pectoral myopathy in roaster chickens. *Poultry Science*, 85, 1843–1846. <https://doi.org/10.1093/ps/85.10.1843>

Boerboom, G., Van Kempen, T., Navarro-Villa, A. in P'erez-Bonilla A. (2018). Unraveling the cause of white striping in broilers using metabolomics. *Poultry Science*, 97, 3977–3986. <https://doi.org/10.3382/ps/pey266>

Bowker, B. & Zhuang, H. (2016). Impact of white striping on functionality attributes of broiler breast meat. *Poultry Science*, 95, 1957–1965. <https://doi.org/10.3382/ps/pew115>

Cai, K., Shao, W., Campbell, Y. L., Nair, M. N., Suman, S. P., Beach, C. M., ... Schilling, M. W. (2018). Meat quality traits and proteome profile of woody broiler breast (pectoralis major) meat. *Poultry Science*, 97, 337–346. <https://doi.org/10.3382/ps/pex284>

Caldas-Cueva, J. P., Mauromoustakos, A., Sun, X. in Owens, C. M. (2021). Use of image analysis to identify woody breast characteristics in 8-week-old broiler carcasses. *Poultry Science*, 100(4), 100890. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.003>

Caldas-Cueva, J. P. & Owens, C. M. (2020). A review on the woody breast condition, detection methods, and product utilization in the contemporary poultry industry. *Journal of Animal Science*, 98(7), 1–10. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa207>

Carvalho, R. H., Elza, I. I., Madruga, M. S., Martinez, S. L., Shimokomaki, M. in Estevez, M. (2017). Underlying connections between the redox system imbalance, protein oxidation and impaired quality traits in pale, soft and exudative (PSE) poultry meat. *Food Chemistry*, 215, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.182>

Chatterjee, D., Zhuang, H., Bowker, B. C., Rincon, A. M. in Sanchez-Brambila, G. (2016). Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the woody breast condition. *Poultry Science*, 95, 2449–2454. <https://doi.org/10.3382/ps/pew204>

Che, S., Wang, C., Varga, C., Barbut, S. in Susta L. (2022). Prevalence of breast muscle myopathies (spaghetti meat, woody breast, white striping) and associated risk factors in broiler chickens from Ontario Canada. *PLOS ONE*, 17(4), e0267019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267019>

Dalle Zotte, A., Tasoniero, G., Puolanne, E., Remignon, H., Cecchinato, M., Catelli, E. in Cullere, M. (2017). Effect of “Wooden Breast” appearance on poultry

- meat quality, histological traits, and lesions characterization. *Czech Journal of Animal Science*, 62, 51–57. <https://doi.org/10.17221/54/2016-CJAS>
- Dong, M., Chen, H., Zhang, Y., Xu, Y., Han, M., Xu, X. in Zhou, G. (2020). Improvement of pale, soft, and exudative-like chicken meat: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 13(8), 1280–1291. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02464-3>
- Geronimo, B. C., Mastelini, S. M., Carvalho, R. H., Júnior, S. B., Barbin, D. F., Shimokomaki, M. in Ida, E. I. (2019). Computer vision system and near-infrared spectroscopy for identification and classification of chicken with wooden breast, and physicochemical and technological characterization. *Infrared Physics & Technology*, 96, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.11.036>
- Gonzalez-Rivas, P. A., Chauhan, S. S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F. R. in Warner, R. D. (2020). Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Science*, 162, 108025. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>
- Karunanayaka, D. S., Jayasena, D. D. in Jo, C. (2016). Prevalence of pale, soft, and exudative (PSE) condition in chicken meat used for commercial meat processing and its effect on roasted chicken breast. *Journal of Animal Science and Technology*, 58, 27. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0110-8>
- Kijowski, J. in Kupińska, E. (2012). Induction of DPM changes in broiler chickens and characteristics of myopathy symptoms. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 56(2), 217–223. <https://doi.org/10.2478/v10213-012-0039-8>
- Kijowski, J. in Kupińska, E. (2013). The evaluation of selected quality parameters of broiler chicken muscles with Deep Pectoral Myopathy (DPM) symptoms. *Archiv für Geflügelkunde*, 77, 102–108.
- Kijowski, J., Kupińska, E., Stangierski, J., Tomaszewska-Gras, J. in Szablewski, T. (2014). Paradigm of deep pectoral myopathy in broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 70, 125–138. <https://doi.org/10.1017/S0043933914000117>
- Kong, F., Zhao, G., He, Z., Sun, J., Wang, X., Liu, D., ... Wen, J. (2021). Serum creatine kinase as a biomarker to predict wooden breast *in vivo* for chicken breeding. *Frontiers in Physiology*, 12, 711711. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.711711>
- Kuttappan, V. A., Brewer, V. B., Apple, J. K., Waldroup, P. W. in Owens, C. M. (2012a). Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science*, 91, 2677–2685. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02259>
- Kuttappan, V. A., Goodgame, S. D., Bradley, C. D., Mauro-moustakos, A., Hargis, B. M., Waldroup, P. W. in Owens, C. M. (2012b). Effect of different levels of dietary vitamin E (dl- α -tocopherol acetate) on the occurrence of various degrees of white striping on broiler breast fillets. *Poultry Science*, 91, 3230–3235. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02397>
- Kuttappan, V. A., Lee, Y. S., Erf, G. F., Meullenet, J.-F. C., McKee, S. R. in Owens, C. M. (2012c). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science*, 91, 1240–1247. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01947>
- Kuttappan, V. A., Hargis, B. M. in Owens, C. M. (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: A review. *Poultry Science*, 95, 2724–2733. <https://doi.org/10.3382/ps/pew216>
- Lee, B. in Choi, Y. M. (2021). Research Note: Comparison of histochemical characteristics, chicken meat quality, and heat shock protein expressions between PSE-like condition and white-striping features of *pectoralis major* muscle. *Poultry Science*, 100(8), 101230. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101260>
- Lien, R. J., Bilgili, S. F., Hess, J. B. in Joiner, K. S. (2011). Finding answers to 'green muscle disease'. *WATTPoultry.com*. Pridobljeno s <https://www.wattagnet.com/articles/8761-finding-answers-to-green-muscle-disease> (25. nov. 2022)
- Lien, R. J., Bilgili, S. F., Hess, J. B. in Joiner, K. S. (2012). Induction of deep pectoral myopathy in broiler chickens via encouraged wing flapping. *Journal of Applied Poultry Research*, 21, 556–562. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00441>
- Lobo V., Patil A., Phatak A. in Chandra N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Review*, 4(8), 118–126. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- Oba, A., de Almeida, M., Pinheiro, J. W., Ida E. I., Marchi, D. F., Soares, A. L. in Shimokomaki, M. (2009). The effect of management of transport and lairage conditions on broiler chicken breast meat quality and DOA (Death on Arrival). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000700026>
- Olivio, R., Soares, A. L., Ida, E. in Shimokomaki, M. (2001). Dietary vitamin E inhibits poultry PSE and improved meat functional properties. *Journal of Food Biochemistry*, 25, 271–275. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2001.tb00740.x>
- Pajohi-Alamoti, M., Khaledian, S. in Mohammadi, M. (2016). Study of green muscle disease in some condemned broiler chicken from Iran. *Comparative Clinical Pathology*, 15, 1193–1196. <https://doi.org/10.1007/s00580-016-2327-9>
- Pampouille, E., Berri, C., Boitard, S., Hennequet-Antier, C., Beauclercq, A., Godet, E., ... Le Bihan-Duval, E. (2018). Mapping QTL for white striping in relation to breast muscle yield and meat quality traits in broiler chickens. *BMC Genomics*, 19, 202. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4598-9>
- Petracci, M. in Cavani, C. (2012). Muscle growth and poultry meat quality issues. *Nutrients*, 4, 1–12. <https://doi.org/10.3390/nu4010001>
- Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A. in Cavani, C. (2013). Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. *Poultry Science*, 92, 1670–1675. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-03001>
- Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E. in Cavani, C. (2014). Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. *Italian Journal of Animal Science*, 13(1), 3138. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3138>
- Petracci, M., Mudalal, S., Soglia, F. in Cavani, C. (2015). Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 71(2), 363–374. <https://doi.org/10.1017/S0043933915000367>

- Petracci, M., Soglia, F., Madruga, M., Carvalho, L., Ida, E. in Estévez, M. (2019). Wooden-breast, white striping, and spaghetti meat: causes, consequences and consumer perception of emerging broiler meat abnormalities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 565–583. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12431>
- Semenova, A. A., Kuznetsova, T. G., Nasonova, V. V., Nekrasov, R. V. in Bogolyubova, N. V. (2019). Myopathy as a destabilizing factor of meat quality formation. *Theory and Practice of Meat Processing*, 4(3), 24–31. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2019-4-3-24-31>
- Sihvo, H. K., Immonen, K. in Puolanne, E. (2014). Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the Pectoralis major muscle of broilers. *Veterinary Pathology*, 51(3), 619–623. <https://doi.org/10.1177/0300985813497488>
- Sihvo, H. K., Linden, J., Airas, N., Immonen, K., Valaja, J. in Puolanne, E. (2017). Wooden breast myodegeneration of pectoralis major muscle over the growth period in broilers. *Veterinary Pathology*, 54(1), 119–128. <https://doi.org/10.1177/0300985816658099>
- Sirri, F., Maiorano, G., Tavaniello, S., Chen, J., Petracci, M. in Meluzzi, A. (2016). Effect of different levels of dietary zinc, manganese, and copper from organic or inorganic sources on performance, bacterial chondronecrosis, intramuscular collagen characteristics, and occurrence of meat quality defects of broiler chickens. *Poultry Science*, 95, 1813–1824. <https://doi.org/10.3382/ps/pew064>
- Soglia, F., Laghi, L., Canonico, L., Cavani, C. in Petracci, M. (2016a). Functional property issues in broiler breast meat related to emerging muscle abnormalities. *Food Research International*, 89, 1071–1076. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.042>
- Soglia, F., Mudalal, S., Babini, E., Di Nunzio, M., Mazzoni, M., Sirri, F., ... Pterraci, M. (2016b). Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science*, 95, 651–659. <https://doi.org/10.3382/ps/pev353>
- Soglia, F., Silva, A. K., Tappi, S., Lião, L. M., Rocculi, P., Laghi, L. in Petracci, M. (2019). Gaping of pectoralis minor muscles: magnitude and characterization of anemerging quality issue in broilers. *Poultry Science*, 98, 6194–6204. <https://doi.org/10.3382/ps/pez418>
- Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I. in Kidd, M. T. (2019). Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: an update. *Antioxidants (Basel)*, 8(7), 235. <https://doi.org/10.3390/antiox8070235>
- Stangierski, J., Tomaszewska-Gras, J., Baranowska, H. M., Krzywdzińska-Bartkowiak, M. in Konieczny, P. (2019). The effect of deep pectoral myopathy on the properties of broiler chicken muscles characterised by selected instrumental techniques. *European Food and Research Technology*, 245, 459–467. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3177-2>
- Tang, S., Yu, J., Zhang, M., Bao, E. (2013). Effects of different heat stress periods on various blood and meat quality parameters in young Arbor Acer broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 93(4), 453–460. <https://doi.org/10.4141/cjas2013-041>
- Tasoniero, G., Zhuang, H., Gamble, G. R. in Bowker, B. C. (2020). Effect of spaghetti meat abnormality on broiler chicken breast meat composition and technological quality. *Poultry Science*, 99, 1724–1733. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.069>
- Traffano-Schiffo, M. V., Castro-Giraldez, M., Herrero, V., Colom, R. J. in Fito, P. J. (2018). Development of a non-destructive detection system of Deep Pectoral Myopathy in poultry by dielectric spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 237, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.023>
- Trocino, A., Piccirillo, A., Birolo, M., Radaelli, G., Bertotto, D., Filiou, E. in Xiccato, G. (2015). Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry Science*, 94, 2996–3004. <https://doi.org/10.3382/ps/pev296>
- Xing, T., Gao, F., Tume, R. K., Zhou, G. in Xu, X. (2019). Stress effects on meat quality: a mechanistic perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 380–401. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12417>
- Yalcin, S., Ozkan, S., Comert Acar, M. in Meral, O. (2019). The occurrence of deep pectoral myopathy in broilers and associated changes in breast meat quality. *British Poultry Science*, 59(1), 55–62. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1401214>
- Zaboli, G., Huang, X., Feng, X. in Ahn, D. U. (2019). How can heat stress affect chicken meat quality? – A review. *Poultry Science*, 98(3), 1551–1556. <https://doi.org/10.3382/ps/pey399>
- Zhang, X., Virellia, To K., Jarvis, T. R., Campbell, Y. L., Hendrix, J. D., Suman, S. P. in Schilling, M. W. (2021). Broiler genetics influences proteome profiles of normal and woody breast muscle. *Poultry Science*, 100(4), 100994. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.017>
- Zhang, J., Zhuang, H., Bowker, B., Stelzleni, A. M., Yang, Y., Pang, B., ... Thippareddi, H. (2021b). Evaluation of multi blade shear (MBS) for determining texture of raw and cooked broiler breast fillets with the woody breast myopathy. *Poultry Science*, 100(6), 101123. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101123>