

EWA IWAŃSKA, BEATA MIKOŁAJCZAK, BOŻENA GRZEŚ, ANITA SPYCHAJ,  
EDWARD POSPIECH

Instytut Technologii Mięsa  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

## WPLYW SZYBKOŚCI WYCHŁADZANIA NA PRZEBIEG GLIKOLIZY I KRUSZENIA WIEPRZOWEGO MIĘŚNIA LTL

THE EFFECT OF THE COOLING RATE ON THE GLYCOLYSIS  
AND TENDERNESS OF THE PORK LTL MUSCLE

### Abstrakt

**Wstęp.** Jakość mięsa jest determinowana przez czynniki genetyczne, środowiskowe i poubojowe. Istotny wpływ ma również proces poubojowego wychładzania mięśni. Nieprawidłowy dobór warunków wychładzania mięsa, w tym jego szybkości, może prowadzić do pogorszenia kruchości. Celem pracy była ocena wpływu różnej szybkości wychładzania na przebieg glikolizy i kruchość wieprzowego mięśnia LTL.

**Materiał i metody.** Materiałem doświadczalnym był mięsień najdłuższy klatki piersiowej i lędźwi (*m. longissimus thoracis et lumborum*) pochodzący od 10 świń z populacji masowej ubijanych w standardowych warunkach w rzeźni. Badany mięsień wychładzano z zastosowaniem trzech różnych prędkości: C (Chilling) – 0,12°C/min, FC (Fast Chilling) – 0,15°C/min, VFC (Very Fast Chilling) – 0,27°C/min. Zachodzący w mięśniach proces glikolizy oceniano na podstawie wartości pH po 45', 2 h, 24 h, 48 h i 6 dniach oraz ilości glikogenu i kwasu mlekowego po 45', 2 h i 24 h *post mortem*. Kruchość mięsa analizowano w 2. i 6. dniu na podstawie wartości siły cięcia.

**Wyniki.** Zwiększanie prędkości wychładzania mięśni przyczyniło się do spowolnienia procesu glikolizy i pogorszenia kruchości mięsa.

**Wnioski.** Wychładzanie mięśni z prędkością 0,27°C/min wywołało skurcz chłodniczy, który w konsekwencji przyczynił się do większej końcowej twardości mięsa.

**Słowa kluczowe:** mięso wieprzowe, prędkość wychładzania mięśni, glikoliza, kruchość

## Wstęp

Jakość surowca rzeźnego jest związana z wieloma czynnikami środowiskowymi (Ciobanu i in., 2011) oraz genetycznymi (Lambe i in., 2015). Szacuje się, że jakość surowca jest w 30% uzależniona od czynników genetycznych i w 70% od czynników pozagenetycznych (środowiskowych) (Sienkiewicz i Lewandowska, 2012). Ponadto znaczącą rolę w kształtowaniu jakości odgrywają również: prawidłowe oształmianie, ubój, obróbka poubojowa i magazynowanie tusz zwierząt rzeźnych oraz dojrzewanie mięsa (Chwastowska-Siwecka i Skiepmo, 2014; Janiszewski i Borys, 2007; Sienkiewicz i Lewandowska, 2012). Istotny wpływ na jakość ma poubojowe wychładzanie mięśni. Zastosowanie odpowiedniej metody oraz parametrów, takich jak temperatura, prędkość przepływu powietrza i wilgotność względna powietrza, rzutuje na przebieg procesów biochemicznych w tkance mięśniowej, w tym glikolizy (Chwastowska-Siwecka i Skiepmo, 2014; Florowski i in., 2011). Nieprawidłowy dobór warunków wychładzania mięsa, w tym szybkości wychładzania, może doprowadzić do pogorszenia jego kruchości. Celem pracy była ocena wpływu różnej szybkości wychładzania na przebieg glikolizy i kruchość wieprzowego mięśnia LTL.

## Material i metody

Materiałem doświadczalnym był mięsień najdłuższy klatki piersiowej i lędźwi (*m. longissimus thoracis et lumborum*) pochodzący od 10 świń z populacji masowej ubijanych w standardowych warunkach w rzeźni. Mięso pobrane do badań, oceniane na podstawie wartości pH<sub>1</sub> i pH<sub>24</sub>, przewodności elektrycznej (PE) oraz ilorazu IMP/ATP (wartość R), było normalnej jakości (RFN). Badany mięsień wycięto z tuszy bezpośrednio po uboju, podzielono na trzy równe części, które wychładzano przez 24 h z zastosowaniem trzech różnych prędkości: C (Chilling) – 0,12°C/min, FC (Fast Chilling) – 0,15°C/min, VFC (Very Fast Chilling) – 0,27°C/min do osiągnięcia temperatury 4°C.

Przemiany glikolityczne oceniano na podstawie zawartości glikogenu (GL) i kwasu mlekowego (KM) po 45', 2 h i 24 h *post mortem*. Ilość GL oznaczono metodą enzymatyczną, którą opisali Dalrymple i Hamm (1973), a KM – za pomocą metody Bergmeyer (1974). Pomiaru wartości pH w mięśniach po 45', 2 h, 24 h oraz 2 i 6 dniach dokonano za pomocą przenośnego pehametru typu Handylab 2. Kruchość mięsa oceniano po 2 i 6 dniach przechowywania w warunkach chłodniczych na podstawie pomiaru wartości siły cięcia, wykorzystując teksturometr TA.XT.plus z przystawką Warnera-Bratzlera. Przygotowane plastry mięsa o grubości 2,5 cm poddano obróbce termicznej w piecu konwekcyjno-parowym firmy Rational (model SCC 61E) do uzyskania w centrum geometrycznym próbki temperatury 72°C. Z plastrów wycięto prostopadłościany o wymiarach 1 × 1 × 3 cm i poddano pomiarowi siły cięcia przy prędkości trawersy 100 mm/min. Test cięcia wykonano prostopadle do układu włókien mięśniowych. Wartość siły potrzebnej do przecięcia wyrażano w niutonach na 1 cm<sup>2</sup>.

Analizę statystyczną wykonano z wykorzystaniem programu Statistica 12 (StatSoft, 2014). Dokonano obliczeń wartości średnich i odchylenia standardowego. Wyniki badań poddano jednoczynnikowej analizie wariancji, uwzględniając wpływ czasu składo-

wania lub prędkości wychładzania mięśnia LTL. Na podstawie testu Tukeya przy  $p \leq 0,05$  wyznaczono grupy wartości średnich różniące się statystycznie istotnie.

## Wyniki i dyskusja

Ocena wartości pH mięsa jest najczęściej stosowanym pomiarem wykonywanym bezpośrednio po uboju oraz podczas chłodniczego składowania tusz. Przebieg zmian pH jest odbiciem procesu glikolizy zachodzącego w tkance mięśniowej (Immonen i Puolanne, 2000; Lee i in., 2002) i jest wskaźnikiem jakości mięsa (Pospiech i in., 2011). Wyznaczona wartość pH<sub>1</sub> (mierzona po 45') oraz pH<sub>24</sub> (mierzona po 24 h) tkanki mięśniowej wskazywała na normalną jakość badanego mięsa (RFN) (tab. 1) (Pospiech i in., 2011). W ciągu dwóch pierwszych godzin *post mortem* najwolniejszy spadek wartości pH obserwowano w mięśniach chłodzonych najszybciej (VFC). Podobne wyniki w odniesieniu do większej wartości pH w mięsie półtuszy wieprzowych wychładzanych szokowo uzyskali Zybert i in. (2007). Sionek i Przybylski (2015) wskazują również na wpływ obniżenia temperatury na spowolnienie zakwaszenia mięsa, co skutkuje większą wartością końcową pH. Ylä-Ajos i Puolanne (2007) twierdzą, że obniżenie temperatury tusz z 40°C do 4°C wywołuje istotne zmniejszenie aktywności GDE (ang. Glycogen Debranching Enzyme) i jest przyczyną spowolnienia glikolizy.

Tabela 1. Wartość pH mięśni wychładzanych z różną prędkością w czasie składowania

Grupa	Prędkość wychładzania (°C/min)	Czas składowania				
		45'	2 h	24 h	2 dni	6 dni
C	0,12	6,55 <sup>d</sup> ± 0,16	6,07 <sup>ABc</sup> ± 0,29	5,67 <sup>b</sup> ± 0,13	5,47 <sup>Aa</sup> ± 0,13	5,49 <sup>ab</sup> ± 0,16
FC	0,15	6,55 <sup>c</sup> ± 0,16	5,98 <sup>Ab</sup> ± 0,36	5,67 <sup>a</sup> ± 0,12	5,53 <sup>ABa</sup> ± 0,16	5,46 <sup>a</sup> ± 0,17
VFC	0,27	6,55 <sup>d</sup> ± 0,16	6,30 <sup>Bc</sup> ± 0,16	5,69 <sup>b</sup> ± 0,19	5,65 <sup>Bab</sup> ± 0,16	5,43 <sup>a</sup> ± 0,16

Wartości oznaczone małymi literami w wierszach różnią się istotnie na poziomie  $p \leq 0,05$ , uwzględniają wpływ czasu.

Wartości oznaczone dużymi literami w kolumnach różnią się istotnie na poziomie  $p \leq 0,05$ , uwzględniają wpływ szybkości wychładzania.

Przebieg glikolizy w mięśniach obserwowano również na podstawie ilości GL i KM. Analiza wyników wykonanych badań wykazała, że ilość GL w mięśniach malała wraz z wydłużeniem czasu przechowywania chłodniczego. Potwierdza to prawidłowy przebieg glikolizy w mięśniach po uboju (tab. 2). Włókna mięśniowe w warunkach beztlenowych, jakie występują *post mortem*, mogą wykorzystywać jedynie GL jako źródło dostępnej energii. W konsekwencji prowadzi to do stopniowego wyczerpania tego węglowodanu (Choe i in., 2008; Ferguson i Gerrard, 2014). Porównując przebieg glikolizy w mięśniach chłodzonych z różną prędkością, stwierdzono, że wolniejszy przebieg rozpadu GL był w mięśniach VFC (tab. 2). Po 24 h mniej GL, choć nieistotnie statystycznie,

Tabela 2. Zawartość glikogenu w mięśniach wychładzanych z różną prędkością w czasie składowania

Grupa	Prędkość wychładzania (°C/min)	Czas składowania		
		45'	2 h	24 h
C	0,12	28,24 <sup>b</sup> ±11,51	19,44 <sup>ab</sup> ±10,44	14,68 <sup>a</sup> ±7,26
FC	0,15	28,24 <sup>b</sup> ±11,51	18,07 <sup>ab</sup> ±8,43	13,03 <sup>b</sup> ±5,67
VFC	0,27	28,24 <sup>b</sup> ±11,51	22,12 <sup>ab</sup> ±9,01	13,92 <sup>a</sup> ±6,72

Wartości oznaczone małymi literami w wierszach różnią się istotnie na poziomie  $p \leq 0,05$ , uwzględniając wpływ czasu.

było w mięśniach C i FC. Powyższe potwierdza, że obniżenie temperatury wychładzania powoduje spowolnienie glikolizy (Dransfield i Failla, 1995; Puolanne i in., 2006). Proces rozpadu GL w warunkach beztlenowych skutkuje powstaniem KM (Ferguson i Gerrard, 2014; Scheffler i in., 2011). Również w niniejszych badaniach obserwowano wzrost ilości KM w tkance mięśniowej (tab. 3) podczas przechowywania, co skutkowało zmniejszeniem wartości pH (tab. 1). Na liniową zależność pomiędzy zwiększeniem ilości KM a zmniejszeniem wartości pH wskazują również Scheffler i in. (2013). Większą zawartość KM po 24 h wykazano w mięśniach chłodzonych najwolniej (C).

Tabela 3. Zawartość kwasu mlekowego w mięśniach wychładzanych z różną prędkością w czasie składowania

Grupa	Prędkość wychładzania (°C/min)	Czas składowania		
		45'	2 h	24 h
C	0,12	42,84 <sup>a</sup> ±15,81	69,15 <sup>b</sup> ±16,07	106,2 <sup>c</sup> ±11,16
FC	0,15	42,84 <sup>a</sup> ±15,81	66,80 <sup>b</sup> ±13,80	104,4 <sup>c</sup> ±4,36
VFC	0,27	42,84 <sup>a</sup> ±15,81	58,97 <sup>b</sup> ±15,47	100,5 <sup>c</sup> ±12,18

Wartości oznaczone małymi literami w wierszach różnią się istotnie na poziomie  $p \leq 0,05$ , uwzględniając wpływ czasu.

Poubojowa szybkość wychładzania wpłynęła istotnie nie tylko na przebieg glikolizy, lecz także na końcową kruchość mięsa. Wyniki analizy przebiegu zmiany wartości siły cięcia mięśni wychładzanych z różną szybkością przedstawiono w tabeli 4. W mięśniach FC i C obserwowano prawidłowy proces kruszenia, natomiast mięso VFC było twarde w obu terminach badań. Wartości siły cięcia mięśni VFC były istotnie większe ( $p \leq 0,05$ ) w porównaniu z C i FC (tab. 4). Może to być skutkiem szybkiego wychładzania prób VFC przy jednoczesnym powolnym zmniejszaniu wartości pH w czasie dwóch pierwszych godzin *post mortem*. Warunki te sprzyjają wystąpieniu skurczu chłodniczego w mięśniach. Wada ta jest spowodowana zbyt szybkim wychładzaniem

Tabela 4. Kruchość mięśni wychładzanych z różną prędkością w czasie składowania

Grupa	Prędkość wychładzania (°C/min)	Czas składowania	
		2 dni	6 dni
C	0,12	57,39 <sup>A</sup> ±15,88	47,81 <sup>A</sup> ±13,37
FC	0,15	61,29 <sup>A</sup> ±14,65	49,09 <sup>A</sup> ±13,48
VFC	0,27	82,17 <sup>B</sup> ±23,10	70,89 <sup>B</sup> ±27,99

Wartości oznaczone dużymi literami w kolumnach różnią się istotnie na poziomie  $p \leq 0,05$ , uwzględniając wpływ szybkości wychładzania.

poubojowym. Powstaje, gdy temperatura mięsa obniży się do wartości poniżej 10–12°C, przy pH większym niż 6,0–6,3, i gdy zapasy ATP nie są wówczas jeszcze całkowicie wyczerpane (Florowski i in., 2011). Zjawisko skurczu chłodniczego powoduje dużą twardość, której zmiany w czasie dojrzewania są niewielkie i skutkują negatywną oceną mięsa (Hannula i Puolanne, 2004). Wada ta częściej występuje w mięśniach czerwonych typowych dla wołowiny i baraniny. Na podstawie oceny wartości siły cięcia mięśni wychładzanych z różną szybkością stwierdzono, że skurcz chłodniczy wystąpił przy szybkości wychładzania 0,27°C/min i spowodował dużą twardość mięsa.

## Wnioski

1. Zwiększenie prędkości wychładzania mięśni z 0,12°C/min (C) do 0,27°C/min (VFC) spowodowało pogorszenie kruchości mięsa.

2. Wychładzanie mięśni z prędkością 0,27°C/min (VFC) w pierwszych 2 h *post mortem* spowolniło przebieg glikolizy i prawdopodobnie wywołało skurcz chłodniczy mięśni, powodując ich dużą twardość.

## Literatura

- Bergmeyer, H. U. (1974). *Methods of enzymatic analysis*. New York: Academic Press.
- Choe, J. H., Choi, Y. M., Lee, S. H., Shin, H. G., Ryu, Y. C., Hong, K. C., Kim, B. C. (2008). The relation between glycogen, lactate content and muscle fiber type composition, and their influence on postmortem glycolytic rate and pork quality. *Meat Sci.*, 80, 2, 355–362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.019>
- Chwastowska-Siwecka, I., Skiepkó, N. (2014). Poubojowe wychładzanie tusz zwierząt rzeźnych. *Gosp. Mięsna*, 4, 14–19.
- Ciobanu, D. C., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E. J. (2011). Genetics of meat quality and carcass traits. W: M. F Rothschild, A. Ruvinsky (red.), *The genetics of the pig* (s. 355–389). Wallingford, Oxfordshire, UK: CAB International.
- Dalrymple, R. H., Hamm, R. (1973). A method for the extraction of glycogen and metabolites from a single muscle sample. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 8, 4, 439–444. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb01730.x>

Iwańska, E., Mikołajczak, B., Grześ, B., Spychaj, A., Pospiech, E. (2017). Wpływ szybkości wychładzania na przebieg glikolizy i kruszenia wieprzowego mięśnia LTL. *Nauka Przyr. Technol.*, 11, 2, 161–167. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.00200>

---

- Dransfield, E., Failla, S. (1995). Predicting glycolysis during a freeze-thaw cycle in pre- and post-rigor beef muscles. W: *Proceedings E55 presented at 41. ICoMST, San Antonio, USA*. Vol. 2 (s. 652–653). Centre de Clermont-Theix: INRA.
- Ferguson, D. M., Gerrard, D. E. (2014). Regulation of post-mortem glycolysis in ruminant muscle. *Anim. Prod. Sci.*, 54, 4, 464–481. <http://dx.doi.org/10.1071/AN13088>
- Florowski, T., Pisula, A., Pospiech, E. (2011). Łańcuch produkcji mięsa wysokiej jakości. W: A. Pisula, E. Pospiech (red.), *Mięso. Podstawy nauki i technologii* (s. 249–262). Warszawa: Wyd. SGGW.
- Hannula, T., Puolanne, E. (2004). The effect of cooling rate on beef tenderness: the significance of pH at 7°C. *Meat Sci.*, 67, 3, 403–408. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.11.012>
- Immonen, K., Puolanne, E. (2000). Variation of residual glycogen-glucose concentration at ultimate pH values below 5.75. *Meat Sci.*, 55, 3, 279–283.
- Janiszewski, P., Borys, A. (2007). Poubojowe czynniki kształtujące jakość wyrobów mięsnych. *Trzoda Chlew.*, 45, 1, 46–48.
- Lambe, N. R., Krzęcio-Nieczyporuk, E., Koćwin-Podsiadła, M., Bünger, L. (2015). Influence of major genes on meat quality. W: W. Przybylski, D. Hopkins (red.), *Meat quality. Genetic and environmental factors* (s. 287–332). Chemical and Functional Properties of Food Components Series. Boca Raton: CRC Press.
- Lee, J., Cho, S., Kim, J., Park, B., Hwang, I., Chae, H. (2002). Comparison of carcasses and meat quality of purebred, F<sub>1</sub> and three-way crossbred pigs. W: *Meat, nutrition, development: 48th International Congress of Meat Science and Technology, Rome, 25–30 August, 2002: congress proceedings, Vol. 1* (s. 340–341). Rome: FAO.
- Pospiech, E., Montowska, M., Spychaj, A., Iwanowska, A. (2011). Postępy nauki o mięsie w doskonaleniu jego jakości. W: S. Tyszkiewicz, H. Witkowska (red.), *Innowacyjność gospodarki mięsnej w Polsce* (s. 11–28). Warszawa: Dom Wyd. Elipsa.
- Puolanne, E., Ruusunen, M., Voutila, L., Ylä-Ajos, M. (2006). Growth rate, muscle physiology, carcass traits and meat quality in pigs – a collage of studies on pigs at the University of Helsinki. *Arch. Tierz.*, 49, SI 1, 126–131.
- Scheffler, T. L., Park, S., Gerrard, D. E. (2011). Lessons to learn about postmortem metabolism using the AMPK  $\gamma^3R200Q$  mutation in the pig. *Meat Sci.*, 89, 3, 244–250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.030>
- Scheffler, T. L., Scheffler, J. M., Kasten, S. C., Sosnicki, A. A., Gerrard, D. E. (2013). High glycolytic potential does not predict low ultimate pH in pork. *Meat Sci.*, 95, 1, 85–91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.013>
- Sienkiewicz, J., Lewandowska, D. (2012). Czynniki wpływające na jakość mięsa wieprzowego. *Zesz. Nauk. Ostroł. Tow. Nauk.*, 26, 261–272.
- Sionek, B., Przybylski, W. (2015). Wpływ czynników środowiskowych na poziom glikogenu w mięśniach zwierząt rzeźnych. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 98, 1, 35–48. <http://dx.doi.org/10.15193/zntj/2015/98/003>
- StatSoft. (2014). STATISTICA (data analysis software system), version 12. Kraków: StatSoft. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
- Ylä-Ajos, M., Puolanne, E. (2007). Temperature shows greater impact on bovine *Longissimus dorsi* muscle glycogen debranching enzyme activity than does salt concentration. *Meat Sci.*, 77, 4, 587–592. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.009>
- Zybert, A., Krzęcio, E., Siczekowska, H., Podsiadły, W., Przybylski W. (2007). The influence of chilling method on glycolytic changes and pork meat quality. W: G. Zhou, W. Zhang (red.), *53th International Congress of Meat Quality and Technology* (s. 293–294). Beijing.

## THE EFFECT OF THE COOLING RATE ON THE GLYCOLYSIS AND TENDERNESS OF THE PORK LTL MUSCLE

### Abstract

**Background.** Meat quality is determined by genetic, environmental and post-mortem factors. The influence of the muscle cooling process after slaughter is also significant. Inadequate meat cooling conditions, including the cooling rate, may decrease meat tenderness. The aim of the study was to evaluate the effect of different cooling rates on the glycolysis and tenderness of the pork LTL muscle.

**Material and methods.** The longest thoracic and lumbar muscle (*m. longissimus thoracis et lumborum*) was used as the experimental material. It derived from 10 massive population pigs which were slaughtered under standard conditions. The muscles were cooled at three different rates: C – 0.12°C/min, FC – 0.15°C/min, VFC – 0.27°C/min. The process of glycolysis in the muscles was evaluated on the basis of the pH value after 45', 2 h, 24 h, 48 h and 6 days and according to the content of glycogen and lactic acid after 45', 2 h and 24 h post-mortem. Tenderness was measured on the second and sixth day on the basis of the shear force evaluations.

**Results.** The increase in the muscle cooling rate slowed down the process of glycolysis and deteriorated meat tenderness.

**Conclusion.** Cooling muscles at a rate of 0.27°C/min caused muscle contraction, which resulted in greater meat toughness.

**Keywords:** pork, cooling rate, glycolysis, tenderness

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Ewa Iwańska, Instytut Technologii Mięsa, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 31/33, 60-624 Poznań, Poland, e-mail: [eiwanska@up.poznan.pl](mailto:eiwanska@up.poznan.pl)*

*Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:*

*6.06.2017*

*Do cytowania – For citation:*

*Iwańska, E., Mikołajczak, B., Grześ, B., Spychaj, A., Pospiech, E. (2017). Wpływ szybkości wychładzania na przebieg glikolizy i kruszenia wieprzowego mięśnia LTL. *Nauka Przyr. Technol.*, 11, 2, 161–167. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.00200>*