

Einfluss postmortaler biochemischer Vorgänge im Fleisch auf die rheologischen Eigenschaften von Muskelhomogenaten

R. REDE

Technologische Fakultät, Novi Sad, Jugoslawien

Es ist bekannt, dass die rheologischen Eigenschaften von Muskelhomogenaten in erster Linie von der Rigidität der Muskelteilchen abhängen (9); je schwächer die Rigidität ist, umso niedriger sind die Werte der Fließgrenze ( $\tau_0$ ) und der Viskosität ( $\eta$ ). Auf Grund dessen kann man den Verlauf postmortalen Veränderungen im Fleisch durch rheologische Messungen verfolgen. Die bisherigen Untersuchungen erfolgten vorwiegend auf Rindfleisch, in welchem der ATP-Abbau langsam verläuft. Es wurde als interessant erachtet, die Abhängigkeit biochemischer und rheologischer Veränderungen im Schweinefleisch, und besonders in Muskeln mit abnormalem Verlauf der postmortalen Vorgänge festzustellen.

Material und Methodik

Im M. longissimus dorsi von Rindern und Schweinen, sowie in der Kamm-Muskulatur von Schweinen wurde der postmortale Verlauf des ATP- und Glykogenabbaus und des Entstehens von Milchsäure (MS), als auch die Veränderungen des pH-Wertes und des Wasserbindungsvermögens (WBV) und der rheologischen Werte von Muskelhomogenaten festgestellt.

Ein Teil der zur Homogenatherstellung bestimmten Proben wurde von den Sehnen befreit und dreimal durch den Fleischwolf gedreht (15, 8 und 3 mm Scheibe), und dann bis zur Untersuchung im Kühlraum aufbewahrt. Der andere Teil der Probe, der Bestimmung von pH, WBV, freier Nukleotide, Glykogen und Milchsäure zugedacht, wurde unzerkleinert aufbewahrt. Die chemischen und physikalisch-chemischen Bestimmungen und die rheologischen Messungen erfolgten zu verschiedenen Zeitpunkten (2, 4, 8, 24, 48, 96 und 120 Stdn) nach dem Schlachten. Unmittelbar vor den rheologischen Untersuchungen wurden 20 g zerkleinerten Fleisches mit 10 ml destilliertem Wasser im Ultra-Turrax (Typ 18/2) 50 Sek. lang homogenisiert. Die Fließgrenze ( $\tau_0$ ) und die Schubspannung ( $\tau$ ) wurden mittels des Rotationsviskosimeters "Rotovisco" mit Zubehör MVIIP bei 20 °C gemessen.

Zur Bestimmung von ATP und seiner Abbauprodukte wurde die Methode der Dünnschichtchromatographie auf Kieselgel nach Pothast und Hamm (10) angewandt. Glykogen wurde nach der Methode von Good u.a. (5) extrahiert und nach dem Verfahren von Carroll u.a. (4) bestimmt. Zur Bestimmung der Milchsäure verwendete man die enzymatische Methode von Hohorst. Das WBV wurde nach der Methode von Grau und Hamm (6) gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Beim "normalen" Muskel von Rindern verlief der ATP-Abbau verhältnismässig langsam (Tabelle 1), so dass ATP noch 24 Stdn post mortem in einer Menge von 0,56  $\mu\text{mol/g}$  vorgefunden wurde; der Gehalt an Inosin erhöhte sich von 1,93  $\mu\text{mol/g}$  2 Stdn auf beinahe 7,0  $\mu\text{mol/g}$  24 Stdn nach dem Schlachten. Analogerweise verminderte sich der Gehalt an Glykogen von 373 mg% 2 Stdn auf cca 50 mg% 24 Stdn nach dem Schlachten. Die Milchsäuremenge stieg bis zu 30 Stdn post mortem bis 852 mg%, und stagnierte danach bis zum fünften Tage der Untersuchungen. Der pH-Wert von anfänglich 6,50 fiel im Laufe des ersten Tages nach dem Schlachten auf 5,61 zurück; im gleichen Zeitraum ging das WBV stark zurück (auf ungefähr 60 % des ursprünglichen), um später bis zu 96 Stdn allmählich wieder zuzunehmen (Tab. 1). Diese Ergebnisse stimmen mit den Befunden aus zahlreichen Untersuchungen postmortalen Vorgänge in Rindermuskeln überein (7, 11, 12).

Die Fließgrenze von Homogenaten des "normalen" M. long. dorsi lag sehr niedrig bis zu 8 Stdn nach dem Schlachten (110 - 120 Pa), nahm dann rapid zu bis zu 30 Stdn, um dann den Wert von 650 Pa zu erreichen. Bereits beim Messen 48 Stdn post mortem verminderte sich der Wert von  $\tau_0$  bedeutend, ging nachher sukzessive bis auf 265 Pa 120 Stdn nach dem Schlachten zurück (Tabelle 1). Die Schubspannung wies einen fast identischen Verlauf der Zunahme und Abnahme auf, doch waren die Werte von  $\tau_{162}$  wesentlich höher als jene von  $\tau_0$ .

Gehalt an ATP, Inosin, Glykogen und Milchsäure im M. long. dorsi von Rindern und pH-Wert, WBV und rheologische Eigenschaften der Homogenate zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Schlachten

Tabelle 1.

Eigenschaft	Muskel	Zeitpunkt nach dem Schlachten (Stdn)							
		2	4	8	24	30	48	96	120
ATP (umol/g)	I	3,06	2,74	1,34	0,56	-	-	-	-
	II	1,70	0,67	0,16	-	-	-	-	-
Inosin (umol/g)	I	1,93	2,53	5,33	7,07	6,95	6,49	6,34	5,54
	II	2,83	2,94	3,45	3,61	3,19	3,19	2,64	2,18
Glykogen (mg%)	I	373	335	185	41	57	44	28	49
	II	22	7	14	10	8	7	8	6
Milchsäure (mg%)	I	548	595	750	814	852	850	854	854
	II	376	324	387	370	401	425	397	393
pH	I	6,50	6,20	5,75	5,61	5,59	5,63	5,65	5,65
	II	6,59	6,50	6,63	6,70	6,68	6,67	6,65	6,70
WBV	I	107	103	57	40	47	52	34	52
	II	92	68	72	60	63	72	76	83
$\tau_0$ (Pa)	I	110	120	115	470	650	340	275	265
	II	185	375	515	460	515	430	400	385
$\tau_{162}$ (Pa)	I	487	500	592	1000	1105	645	540	605
	II	697	1000	1065	1065	1050	1015	935	865

I = m. long. dorsi - normal; II = m. long. dorsi - trocken, dunkel

(487 bis zu 1105 Pa). Die Messergebnisse der rheologischen Merkmale dieses Muskels sind sehr ähnlich den im Zuge der Messungen in anderem Experimenten gewonnenen, und können für das normale Homogenat von Rindermuskeln ohne Zusatz von Salzen als typisch angesehen werden.

Beim "dunklen, festen und trockenem" M. long. dorsi unterschieden sich alle Werte von den vorherigen. Die ATP-Menge war bereits 4 Stdn p.m. sehr niedrig (0,67 umol/g), und nach 8 Stdn konnten nur Spuren davon gefunden werden. Die Inosinmenge zeigte einen kleinen Zuwachs bis zu 24 Stdn von 2,83 bis 3,61 umol/g, und verminderte sich dann allmählich bis auf 2,18 umol/g. Im gleichen Zeitraum war die Inosinmenge im "normalen" Muskel annähernd zweimal höher. Glykogen wurde schon zwei Stunden p.m. lediglich in Spuren vorgefunden, während die Milchsäuremenge während der gesamten Untersuchungen in der Spanne von 324 bis zu 425 mg% schwankte. Aus diesem Grunde verblieb auch der pH-Wert dieses Muskels sehr hoch (zwischen 6,5 und 6,7), während das WBV in den ersten 24 Stdn p.m. sich nur um cca 35 % des ursprünglichen Wertes verminderte, um nachher allmählich zuzunehmen (Tabelle 1). Solche Abweichungen vom normalen Verlauf postmortaler biochemischer Veränderungen wirkte sich auch auf die rheologischen Eigenschaften des Homogenats des "dunklen, festen und trockenen" Muskels aus.

Fließgrenze und Schubspannung der aus diesem Muskel gewonnenen Homogenate nahmen in den ersten 8 Stdn post mortem rapid bis 515 bzw. bis 1065 Pa zu, zeigten dann bis zu 120 Stdn die Tendenz eines milden Rückgangs (bis zu 385 bzw. 865 Pa). Sowohl bei der Fließgrenze wie auch bei der Schubspannung blieb das Auftreten von Spitzen im Zeitraum von 24 bis 30 Stdn nach dem Schlachten aus, dh. während des vollen Rigors. Die aufgetretenen Werte waren, ausser im kurzen Zeitraum von 24 bis zu 30 Stdn höher als die bei Homogenaten von "normalem" Muskel gemessenen Werte.

Die gewonnenen Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich bei Homogenaten, die von Muskeln mit unterschiedlich Verlauf des Abbaus von ATP und Glykogen hergestellt wurden, bzw. bei wel-

chen der Verlauf der durch postmortale biochemische Vorgänge bewirkte Strukturveränderungen der Muskeleiweisse verschieden war, auch unterschiedliche rheologische Eigenschaften ergaben. Die Unterschiede der Veränderungen vom pH-Wert und WBV veranschaulichen dies ganz klar. Um diese Befunde zu bestätigen und zu ergänzen, wurden analoge Untersuchungen auch mit Homogenaten von Schweinemuskeln vorgenommen. Bekannt ist die Tatsache, dass die postmortalen Vorgänge im Schweinemuskel wesentlich rascher verlaufen als im Rindermuskel (8, 13). Ebenso weiss man, dass in der Schweinemuskulatur oft blasse, weiche und wässrige, oder dunkle, feste und trockene Muskeln auftreten (1, 2, 3). Dieswar der Grund, die postmortalen biochemischen Vorgänge und die Veränderungen der rheologischen Eigenschaften von Muskelhomogenaten des "normalen" (II) und "wässrigen" (III) M. long. dorsi und des "dunklen, festen und trockenen" M. spinalis et semispinalis capitis (I) von Schweinen zu vergleichen (Tabelle 2). ATP wurde nur im "normalen" M. long. dorsi nachgewiesen, u.zw. in der Menge von 1,16  $\mu\text{mol/g}$  zwei Stdn post mortem, während er schon 8 Stdn nach dem Schlachten lediglich in Spuren vorzufinden wurde. Glykogen im "normalen" M. long. dorsi wurde im Laufe der ersten 24 Stdn rasch von 375 auf 30 mg% abgebaut, während er in "wässrigen" M. long. dorsi und in den Kamm-Muskeln schon 2 Stdn post mortem bloss in Spuren vorhanden war (33 mg% und weniger). Milchsäure im "normalen" Muskel stieg bis zu 24 Stdn auf die Menge von 1.137 mg%, nachher wär keine wesentliche Änderung der Menge nachzuweisen. Im "wässrigen" Muskel konnte schon nach 2 Stdn post mortem als Maximalmenge 1.150 mg% festgestellt werden, also annähernd soviel wie im "normalen" M. long. dorsi 24 Stdn post mortem. In den Kamm-Muskeln wurden nur kleine Mengen Milchsäure vorgefunden (um die 300 mg%), die sich während 5 Tage der Untersuchung nicht wesentlich verändert haben.

Auch der pH-Wert änderte sich in diesen drei Muskeln verschiedenartig. Im "normalen" Muskel fiel der pH-Wert von 5,96 (2 Stdn post mortem) auf 5,42 (nach 24 Stdn) und erhöhte sich danach geringfügig. Im "wässrigen" Muskel betrug der pH-Wert bereits 2 Stdn nach dem Schlachten 5,31 und stieg nachher allmählich bis 5,48. In den Kamm-Muskeln verblieb der

Gehalt an ATP, Inosin, Glykogen und Milchsäure in Muskeln von Schweinen und pH-Wert und rheologische Eigenschaften der Homogenate zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Schlachten

Tabelle 2.

Eigenschaft	Muskel	Zeitpunkt nach dem Schlachten (Stdn)						
		2	4	8	24	48	96	120
ATP ( $\mu\text{mol/g}$ )	II	1,16	0,20	0,12	-	-	-	-
Inosin ( $\mu\text{mol/g}$ )	I	4,81	5,61	5,55	5,31	4,86	4,81	4,57
	II	2,22	3,19	3,16	3,78	4,71	4,34	4,01
	III	1,83	2,09	2,32	2,53	2,55	2,68	2,85
Glykogen (mg%)	I	10	4	3	4	5	2	3
	II	375	177	101	30	21	13	4
	III	33	13	18	9	10	6	13
Milchsäure (mg%)	I	307	281	303	318	321	277	288
	II	854	916	1064	1137	1112	1092	1086
	III	1150	1150	1160	1145	1130	1115	1150
pH	I	6,25	6,48	6,49	6,45	6,50	6,46	6,48
	II	5,96	5,58	5,51	5,46	5,42	5,45	5,50
	III	5,31	5,28	5,28	5,40	5,45	5,40	5,48
$\tau_0$ (Pa)	I	220	235	235	245	235	200	210
	II	375	380	330	100	85	70	90
	III	440	450	420	400	425	300	290
$\tau_{162}$ (Pa)	I	590	710	605	605	638	580	540
	II	1000	1000	935	170	130	130	170
	III	1050	1065	1105	1065	1105	1040	1065

I = m. spinalis et semispinalis capitis - trocken, dunkel; II = m. long. dorsi - normal;  
III = m. long. dorsi - wässrig

pH-Wert durch die gesamte Untersuchungsdauer sehr hoch (zwischen 6,25 und 6,50). Die Untersuchungsergebnisse in diesem Experiment zeigen, dass der Verlauf der postmortalen biochemischen Vorgänge in den Muskeln von Schweinen sich von jenem in Rindermuskeln unterscheidet, nämlich das er rascher ist. Ebenso unterscheiden sich voneinander die drei untersuchten Muskeln in sehr hohem Masse.

Auch die rheologischen Eigenschaften von Homogenaten dieser Muskeln waren verschieden. Beim "normalen" M. long. dorsi wiesen  $\tau_0$  und  $\tau_{162}$  maximale Werte auf (375 bzw. 1000 Pa), die sich bis zu 8 Stdn allmählich, in 24 Stden nach dem Schlachten jedoch rapid bis zu 100 bzw. 170 Pa verminderten; derart niedrige Werte bestanden bis zum Ende der Untersuchung (120 Stdn). Auch der "wässrige" Muskel hatte gleich nach dem Schlachten Maximalwerte von  $\tau_0$  und  $\tau_{162}$ , die sehr hoch waren, höher als jene bei "normalen" Muskeln (440 bzw. 1050 Pa), veränderten sich indessen nicht rapid, sondern nahm die Fließgrenze allmählich ab, während die Schubspannung annähernd die gleiche blieb. Kamm-Muskeln zeigten während 5 Tage Werte von  $\tau_0$  und  $\tau_{162}$  die sich in einer engen Spanne bewegten und nach 24 Stdn zwischen den Werten der Homogenate vom "wässrigen" und "normalen" M. long. dorsi lagen.

Beim "normalen" M. long. dorsi von Schweinen weisen die Ergebnisse der Bestimmungen von ATP, Glykogen, Milchsäure und pH-Wert darauf hin, dass der Rigor während der ersten 4 Stdn post mortem auftrat. Die rheologischen Eigenschaften  $\tau_0$  und  $\tau_{162}$  stimmen völlig mit diesen Ergebnissen überein, und der Abfall der Fließgrenze und der Schubspannung zeigt das Lösen des Rigors nach 8 Stdn. Beim "normalen" M. long. dorsi fehlt der steigende Kurvenast, nach dem der Rigor im Zeitraum bis zu 2 Stdn post mortem eintritt. Beim "wässrigen" M. long. dorsi sind die postmortalen Veränderungen noch weitaus rascher, während das Lösen des Rigors weniger bemerkbar und sehr langsam ist, sofern es ihn überhaupt gibt. Die Kamm-Muskeln, die zu Lebenszeiten wahrscheinlich in ständiger Funktion sind, und deshalb keine Reserven weder von ATP noch an Glykogen haben, weisen eine gewisse Ähnlichkeit mit den dunklen, festen und trockenen Muskeln des Rindes auf.

Auf Grund der Untersuchungsergebnisse in diesem Experiment kann zur Gänze der in anderen Versuchen getroffene Befund und die daraufhin gebildete Meinung bestätigt werden, dass sich die rheologischen Eigenschaften von Muskelhomogenaten unter dem massgebenden Einfluss biochemischer und strukturellen Veränderungen im Muskel stehen. Das Eintreten des Rigors deckt sich mit der Erhöhung der Werte von  $\tau_0$  und  $\tau_{162}$ , das Lösen des Rigors mit der Verminderung dieser Werte. Bei Muskeln in welchem Rigor überhaupt nicht eintritt, oder aber bereits früher eingetreten ist, ist in der Kurve die charakteristische Spitze nicht bemerkbar.

#### Literatur

1. Briskey, E.J. and J. Wismer-Pedersen, J. Food Sci., Vol. 26, 297, 1961, 2. Briskey, E.J. and J. Wismer-Pedersen, J. Food Sci., Vol. 26, 306, 1961, 3. Briskey, E.J. Adv. Food Res., Vol. 13, 98, 1964, 4. Carroll, N., R. Longley and R. Roe, J. Biol. Chem. 220, 583, 1956, 5. Hamm, C.A., H. Kramer and M. Somogyi, J. Biol. Chem., 100, 485, 1933, 6. Grau, R. und R. Rede, Naturwissenschaften, 1, 29, 1953, 7. Hamm, R., Z. Lebensmittel-Untersuch.-u.Forsch., 109, 113, 1959, 8. Hamm, R., Kolloidchemie des Fleisches, Paul Parey, Berlin, 1972, 9. Hamm, R. und R. Rede, Fleischwirtschaft, 52, 3, 331, 1972, 10. Potthast, K. und R. Hamm, J. Chromatogr., 42, 558, 1969, 11. Rahelić, S. i R. Rede, Tehnol. mesa, 6, 320, 1965, 12. Rahelić, S. i R. Rede, Tehnol. mesa, 6, 344, 1965, 13. Solov'ev, V.J., Theory and practice of the processing, Vol. I and II, Nat. Land. Lab. Sci., and Technol., Boston, 1969.