

Влияние электрического тока на микроструктуру мышц животных

А.А.БЕДУСОВ, В.И.ПЛОТНИКОВ, В.И.РОЩУПКИН, В.В.АВИЛОВ

Воспитанный научно-исследовательский институт мясной промышленности

В последние годы во всем мире проводятся широкие исследования по использованию электротока для обработки парных туш животных (электростимуляция) с целью повышения нежности мяса и ускорения "холодного сжатия" мышц при интенсивном охлаждении (1-3).

В ряде стран электростимуляция уже нашла практическое применение (4-5).

Интересно, что в СССР электроток широко используется для электроохлаждения животных, представ-ляющее ранее сравнить воздействие тока на мышцы при ослушении и электроохлаждении.

В ранее приведенных нами работах было показано, что воздействие электротока на мышцы при электроохлаждении ускоряло развитие процессов посмертного ооченения и созревания мяса. Более того оказалось, что подбор определенных параметров электротока для ослушения животных уско-ряет эти процессы значительно. Так использование для электроохлаждения токов повышенной час-оты (300-600 кт для крупного рогатого скота и 2400 гц для свиней) ускоряет наступление пос-мертного ооченения, его разрешения и развитие в мышцах деструктивных аутолитических про-цессов в 2-3 раза (6-7). При этом характер и направленность послеубойных изменений не ме-няется. Идентичные данные получены другими исследователями на курах при ослушении их током частотой 2000 гц (8).

На данном этапе работы нами были проведены гистологические и электронномикроскопические исследования длинной мышцы спины от парных туш крупного рогатого скота, подвергнутых обработке электротоком напряжением 240-250 в, частотой 50гц в течение 1,5мин. Контролем слу-жили те же мышцы, не подвергнутая воздействию электротока. Повторность опыта пятикратная. Ослушенные и контрольные образцы помещали в камеру охлаждения с температурой $-10 \pm -12^{\circ}\text{C}$ и скоростью движения воздуха 1 ± 2 м/сек. Все образцы охлаждали до температуры $+4^{\circ}\text{C}$ в толще льда и хранили при этой же температуре.

После мышца размером $1,5 \times 1,0 \times 0,4$ см отбирали до и после обработки электротоком, а затем охлаждали, через один, двое, шесть суток со времени убоя животного.

Образцы для гистологических исследований фиксировали в 20% растворе формалина, промывали в водопроводной воде, обезжизняли в спиртах возрастающей крепости и заливали в целлоидин.

Срезы толщиной 7-10 микрон, изготовленные на санном микротоме, окрашивали гематоксилин-эозином и по Ван-Гизон. Окрашенные срезы просматривали под микроскопом МБИ-15.

Образцы для электронномикроскопических исследований фиксировали в 1% растворе глутаральдегида с последующей дофиксацией осмием и заливали в глутар-альдегид. Срезы толщиной 200 А, изготов-ленные на ультрамикротоме LKB-8800, контрастировали по Рейнольдсу и просматривали на элект-ронном микроскопе BS-613.Tesla

Проведенные исследования показали, что в парной мышце, взятой через 30 минут после убоя мышечные волокна лежат прямолинейно или слегка волнисто, набухшие, плотно прилегают друг к другу, с выраженной поперечной исчерченностью, ядра палочковидные с отчетливо видимой хро-матинной структурой (рис.1). На поперечных срезах большинство волокон округлой или поли-гональной формы, плотно прилегают друг к другу.

Ультраструктурные элементы мышечных волокон сохранены, миофибриллы растяннуты, набухшие и лежат упорядоченно по отношению друг к другу (рис.2). Отмечается некоторое набухание сар-комера.

После интенсивного охлаждения мышечные волокна деформированы: расположены волнисто, места-ми зазгорообразно, поперечная исчерченность выражена плохо. Миофибриллы находятся в сокра-щенном состоянии. Через один и двое суток мышечные волокна расположены прямолинейно или вол-нисто, с выраженной поперечной исчерченностью. Границы волокон хорошо различи-мы, поперечная исчерченность в большинстве волокон не выражена. Миофибриллы в сокращенном состоянии, прямолинейны и отстоят друг от друга на некотором расстоянии.

Через шесть суток после убоя мышечные волокна лежат в основном прямолинейно, поперечная исчерченность различима. В отдельных участках появляются поперечно-шелеевидные нарушения

в виде микротрещин. На электронограмме отмечается наличие не-полных поперечных дисков, свидетельствующих о некотором расслаблении миофибрилл, нару-шения в структуре саркоплазмы, саркосом и саркоплазматического ретикулума.

В парной мышце, подвергнутой воздействию электротока мышечные волокна деформированы, одни из них изогнуты, другие мелкоскладчатые. В целом ряде волокон выявляются множественные узлы

и полосы сокращения, в большинстве случаев имеющие разрывы (рис.3). Ядра мышечных волокон овальной или округлой формы, поперечная исчерченность снижена и выявляется не отчетливо.

На электронограмме обнаруживаются множественные разрывы миофибрилл по Z-пластинам и J-линиям (рис.4). Миофибриллы часто смещены по отношению друг к другу, в отдельных участках

они упорядоченно расположены протофибриллы в саркомерах. Z-пластинки распавшиеся

вместе с тем на фоне описанных изменений преобладает картина сокращенности миофибрилл. Сар-коплазма мышечных волокон разрушена, саркосомы набухшие с раорванными краями и нарушенны-ми кристами, имеет место нарушение структуры сарколеммы.

После интенсивного охлаждения обработанных электротоком мышц, а также через один, двое и три суток у опытных образцов каких-либо существенных изменений гистологической структуры

не выявлено. Через шесть суток мышечные волокна несколько отстают друг от друга, в боль-шинстве волокон выявляются разрывы их контрактильной субстанции, поперечная исчерченность снижена. На электронограммах к этому сроку выдержки мяса отмечаются лизис саркоплазмы, пов-реждения в структуре Z-пластинок и некоторое набухание микрофибриллярной субстан-ции. Анализ полученных данных показывает, что воздействие на мышцу переменного электрического

тока напряжением 240–250 в, частотой 50 гц в течение 1–2 минут приводит к резкому неконтролируемому сокращению мышечных волокон в результате которого в них образуются сверх сокращенные участки с последующими множественными разрывами мышечных волокон в отдельных их участках, а также наличием большого числа узлов и полос сокращения с поврежденной структурой. Отсутствие выраженной поперечной исчерченности и наличие в мышечных волокнах округлых ядер свидетельствует о том, что миофибриллы мышечных волокон в большинстве своем находятся в сокращенном состоянии. Это отчетливо видно и на электроннограммах. Таким образом, воздействие электрического тока указанных выше параметров на мышцы приводит с одной стороны к их посмертному сокращению, на что при обычных условиях требуется около 24 часов, а с другой стороны обуславливает множественные разрывы контрактальной субстанции. Последнее препятствует развитию посмертного окоченения и способствует увеличению нежности мышц, обработанной электротоком. Учитывая, что мышечные волокна после воздействия электротоком находятся в сокращенном состоянии, то интенсивное охлаждение уже не может оказать какого-либо воздействия на структуру мышц. Следует отметить, что в литературе имеются противоречивые данные о кулинарных достоинствах мясных изделий, изготовленных из мяса, обработанного электротоком. Ряд исследователей указывает на потери мясного сока при кулинарной обработке и понижение выходов готовой продукции, несмотря на то, что используемое на эти цели мясо и готовые изделия были нежнее контрольных образцов. (9–10). Это вполне объяснимо, если учитывать, что миофибриллы мышечных волокон при определенном, например как у нас воздействии тока, находятся в основном в сокращенном состоянии, а мясной сок может выходить через поврежденную сарколемму в участках разрывов мышечных волокон. В наших исследованиях также были отмечены несколько большие потери сока при обжарке мяса опатных образцов. Сравнивая воздействие электротока повышенной частоты при электроогушении на мышцы животных и обработку парных мышц электротоком с параметрами 240–250 в и частотой 50 гц в течение 1–2 минут следует признать, что в первом случае мы имеем дело со стимулирующим действием тока, при котором значительно (в 2–3 раза) ускоряются естественные процессы созревания мяса. Во втором случае характер послеубойных изменений несколько меняется. Под действием электротока возникают множественные разрывы волокон. Очевидно, что здесь мы не можем говорить о стимулирующем действии тока, правильнее по-видимому говорить просто об обработке мышц электротоком. В этой связи термин электростимуляции мышц, получивший широкое распространение и обозначающий обработку парного мяса электротоком, не всегда правомерен. Мы считаем, что для правильного суждения о характере процессов, происходящих в мясе при воздействии электротока необходимо проводить комплексные исследования с обязательным использованием микроструктурных методов анализа.

Fig. 1. Microstructure of a part of a fresh muscle 30 min after slaughter.

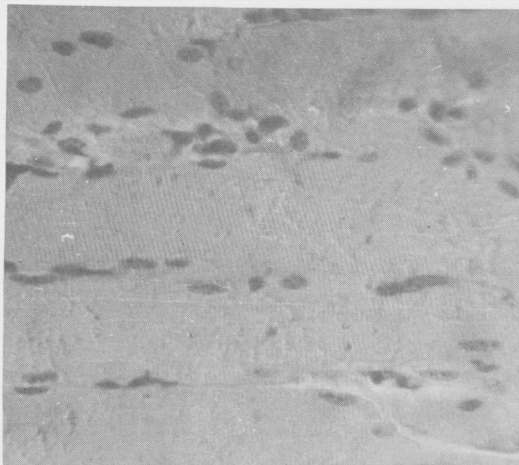


Рис.1

Микроструктура участка парной мышцы через 30 минут после убоя.

Fig.2. Electronogram of a part of fresh muscle fiber 30 min after slaughter.

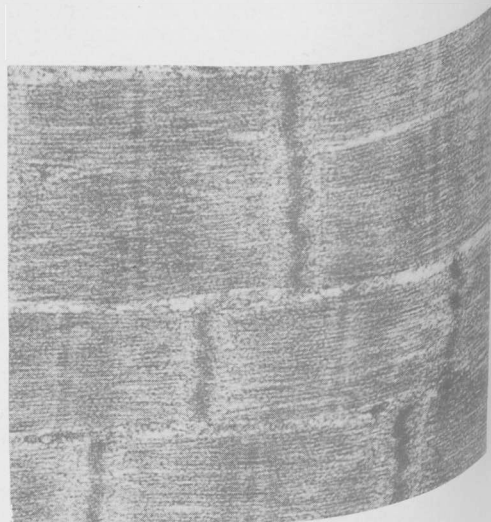


Рис.2

Электроннограмма участка мышечного волокна парной мышцы через 30 минут после убоя.

Fig.3. Microstructure of a part of electrotreated fresh muscle tissue. Multiple transversal breakages of muscle fibers.



Рис.3

Микроструктура участка парной мышечной ткани после обработки электротоком. Множественные поперечные разрывы мышечных воло-

Fig. 5. Shift of protofibrils in sarcomeres with breakages in Z-plates

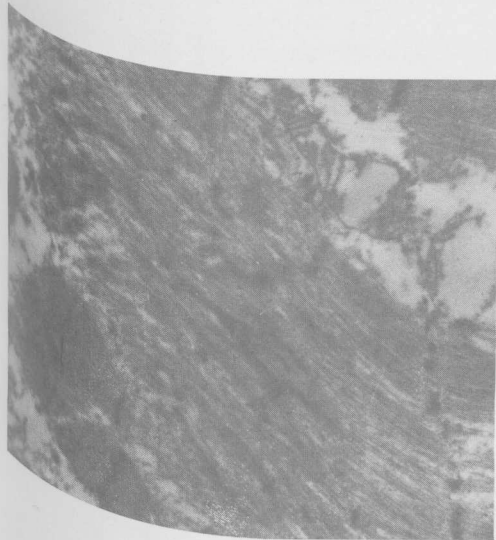


Рис.5

Смещение протофибрилл в саркомерах с нарушением целостности Z - пластинок.

Fig.4. Electronogram of a part of electrotreated fresh muscle tissue. Multiple breakages of myofibrils in Z-plates and I-discs.



Рис.4

Электроннограмма участка мышечного волокна парной мышечной ткани после обработки электротоком. Множественные разрывы миофибрилл в Области Z -пластинок и J -дисков.

Fig.6. Merging sarcomeres of adjacent myofibrils with disarrangement in the structure of protofibrillar proteins.

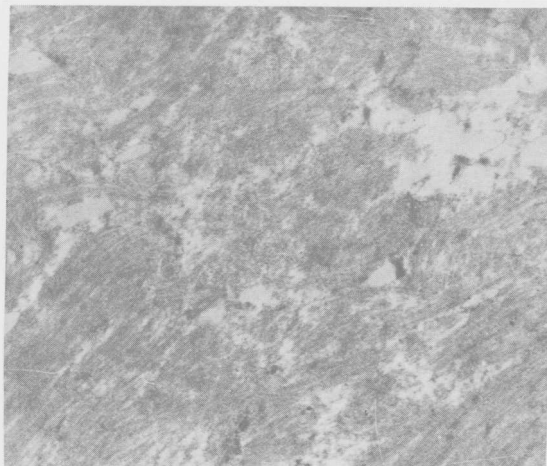


Рис.6

Слияние саркомеров рядом лежащих миофибрилл с нарушением упорядоченности в строении протофибриллярных белков.

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. F.E.Deatherage

Early investigations on the acceleration of post-mortem tenderization of meat by electrical stimulation

26th European Meeting of Meat Research Workers, 1980, v.2, p.2-5.

2. G.C.Smith, I.W.Savell, T.R.Dutson, R.L.Hostetler, R.N.Terrell, C.E.Murphey, Z.L.Carpenter

Effects of Electrical Stimulation on Beef, Pork, Lamb and Goat Meat.

26th European Meeting of Meat Research Workers, 1980, v.2, p.19-22.

3. Захаров Р.С., Моисеенко Е.Н., Мангер Х., Яценко А.П.

Повышение эффективности технологической обработки мяса за счет применения электрических методов воздействия в послеубойный период

Труды 26 Европейского конгресса Научных работников мясной промышленности, 1980г., т.2, стр.11-15

4. B.W.Holt, A.Cuthbertson, A.I.Gigiel

The Meat Electrical Stimulation Unit 26th European Meeting of Meat Research Workers, 1980, v.2, p.98-101.

5. T.W.Savell, G.C.Smith, T.R.Dutson, Z.L.Carpenter. Industry Application of Electrical Stimulation in the United States.

26th European Meeting of Meat Research Workers, 1980, v.2, p.94-95.

6. Крехов Н.М., Веселова П.П., Белоусов А.А., Плотников В.И.

"Влияние оглушения крупного рогатого скота электротоком различной частоты на некоторые качественные показатели мяса"

Труды XX Европейского конгресса работников НИИ мясной промышленности, Дублин, 1974

7. Горбатов В.М., Крехов Н.М., Веселова П.П., Белоусов А.А., Плотников В.И.

" Влияние электротока при оглушении свиней на их физиологическое состояние и некоторые показатели качества мяса" Мясная индустрия СССР № 2, 1976, с.40-42

8. Гуслинникова В.И., Изменение мышечной ткани кур при оглушении электротоком разных частот. Кандидатская диссертация, М., 1975.

9. J.W.Savell, T.R.Dutson, J.C.Smith, Z.L.Carpenter

Structural changes in electrically stimulated beef muscle. J. of Food Science, 1978, 43, N 5, p.1606-1609.

10. B.W.Berry, D.M.Stiffler

Effect of Electrical Stimulation, Boning Temperature, Formulation and Rate of Freezing on Sensory Cooking, and Physical Properties of Beef Patties 26th European Meeting of Meat Research Workers, 1980, v.2, p.36-40.