



ΤΟ **ΚΡΕΑΣ** και τα **ΠΡΟΪΟΝΤΑ** ΤΟΥ  
«από τον στάβλο στο πιάτο»

## ΠΡΑΚΤΙΚΑ

Επιμέλεια: Σ.Β. Ραμαντάνης

6<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ

**ΤΟ ΚΡΕΑΣ ΚΑΙ ΤΑ  
ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ**

«από τον στάβλο  
στο πιάτο»

## PROCEEDINGS

Edited by S.B. Ramantanis

6<sup>th</sup> HELLENIC CONGRESS

**MEAT & PRODUCTS  
THEREOF**

“from stable  
to table”

ΟΡΓΑΝΩΣΗ



ΔΕΘ  
HELEXPO

ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ





## 6ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΟ ΚΡΕΑΣ ΚΑΙ ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ

“από τον στάβλο στο πιάτο”

### ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
1, 2, 3 Φεβρουαρίου 2019  
ΣΥΝΕΔΡΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ “ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΕΛΛΙΔΗΣ”  
Στο πλαίσιο της έκθεσης Zootechnia

#### Υπό την Αιγίδα

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων  
Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων - ΕΦΕΤ  
Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας  
Ελληνική Κτηνιατρική Εταιρεία  
Πανελλήνιος Κτηνιατρικός Σύλλογος  
Ελληνική Κτηνιατρική Ακαδημία  
Ένωση Ελλήνων Χημικών

#### Διοργάνωση





## 6<sup>th</sup> HELLENIC CONGRESS MEAT & PRODUCTS THEREOF

“from stable to table”

### PROCEEDINGS

THESSALONIKI  
February 1, 2, 3, 2019  
Congress Centre “IOANNIS VELLIDIS”  
During Zootechnia exhibition

**Under the auspices of**  
Ministry of Rural Development and Food  
Hellenic Food Authority - EFET  
Region of Central Macedonia  
Hellenic Veterinary Medical Society  
Hellenic Veterinary Association  
Hellenic Veterinary Academy  
Association of Greek Chemists

Διοργάνωση

**meat**  
News

ΔΕΘ  
HELEXPO

## VI.03

### Νέες τεχνολογίες ποιοτικής κατάταξης των σφάγιων

Ευάγγελος Οικονόμου<sup>1</sup>, Μιχαήλ Πατσίκας<sup>2</sup>, Ανέστης Τσίτσος<sup>3</sup>,  
Αλέξανδρος Θεοδωρίδης<sup>4</sup>, Ιωάννης Αμβροσιάδης<sup>5</sup>, Γεώργιος Αρσένος<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Επίκουρος Καθηγητής, Εργαστήριο Υγιεινής Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης – Κτηνιατρικής Δημόσιας Υγείας, Τμήμα Κτηνιατρικής ΑΠΘ

<sup>2</sup> Καθηγητής, Εργαστήριο Απεικονιστικής Διαγνωστικής, Τμήμα Κτηνιατρικής ΑΠΘ

<sup>3</sup> Εργαστήριο Υγιεινής Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης – Κτηνιατρικής Δημόσιας Υγείας, Τμήμα Κτηνιατρικής ΑΠΘ

<sup>4</sup> Επίκουρος Καθηγητής, Εργαστήριο Οικονομίας Ζωικής Παραγωγής, Τμήμα Κτηνιατρικής ΑΠΘ

<sup>5</sup> Εργαστήριο Υγιεινής Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης – Κτηνιατρικής Δημόσιας Υγείας, Τμήμα Κτηνιατρικής ΑΠΘ

<sup>6</sup> Καθηγητής, Εργαστήριο Ζωοτεχνίας, Τμήμα Κτηνιατρικής ΑΠΘ

#### Περίληψη

Η ακριβής μέτρηση της σύνθεσης του σώματος ζώου εν ζωή ή του ακέρατου σφάγιου είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση της απόδοσης, την κατάταξη και τελικά τον προσδιορισμό της οικονομικής αξίας των κρεοπαραγωγών ζώων. Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η ανασκόπηση των μη καταστρεπτικών μεθόδων εκτίμησης της σύστασης των ιστών του σφάγιου. Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε την ακριβέστερη προσέγγιση των φαινοτυπικών χαρακτηριστικών των σφάγιων με τη χρήση μοντέρνων μεθόδων απεικόνισης. Η επιλογή της απεικονιστικής τεχνικής εξαρτάται από το είδος του ζώου καθώς επίσης και από τεχνικές και πρακτικές ιδιαιτερότητες, όπως η ακρίβεια της μεθόδου, η αξιοπιστία, το κόστος, η δυνατότητα μεταφοράς του εξοπλισμού, η ταχύτητα, η φιλικότητα προς το χρήστη, η ασφάλεια, και η αναγκαιότητα συγκράτησης ή αναισθησίας για τις μετρήσεις εν ζωή. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται σε εκπομπή συγκεκριμένων σημάτων που επιδρούν με τους ιστούς σε ατομικό ή μοριακό επίπεδο και παράγουν νέα σήματα τα οποία ανιχνεύονται και ποσοτικοποιούνται από τους υπολογιστές των μηχανημάτων. Τα σήματα που εκπέμπονται / ανιχνεύονται μπορεί να είναι ηχητικά (υπερήχοι), ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία Χ (ακτινογραφία, αξονική τομογραφία, απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας) ή ραδιοκύματα (μαγνητική τομογραφία). Μετά την λήψη τους τα σήματα επεξεργάζονται για την εκτίμηση διαφόρων παραμέτρων των ιστών όπως η μορφή των περιοχών του μυϊκού ή λιπώδη ιστού, και η οστική σύσταση. Από τις αναφερθείσες απεικονιστικές τεχνικές περισσότερη ακρίβεια παρέχει η αξονική τομογραφία, ενώ ικανοποιητικά αποτελέσματα δίνουν η μαγνητική τομογραφία και η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας. Η υπερηχογραφία, ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί γρήγορα, εύκολα, και με ασφάλεια, ακόμα και σε συνθήκες πεδίου. Δεδομένων των πλεονεκτημάτων αυτών ο συνδυασμός της υπερηχογραφίας με κάποια από τις άλλες, πιο δυσεφάρμοστες μεθόδους, έχει μεγαλύτερες πιθανότητες εφαρμογής στην πράξη.

**Λέξεις κλειδιά:** κατάταξη σφάγιων, ακτινογραφία / αξονική τομογραφία, μαγνητική τομογραφία, υπερηχογραφία.

*Η ανακοίνωση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «Εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας του ελληνικού κρέατος» που συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση.*

#### Εισαγωγή

Η αξιολόγηση των σφάγιων αποτελεί τη βάση της εμπορικής αξιολόγησης και τη συχνότερα εφαρμοζόμενη εξέταση ποιότητας του κρέατος (Ojha *et al*, 2016). Η κατανάλωση κρέατος ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων χωρών, συμπε-

ριλαμβανομένων και των χωρών της Ευρώπης, με το κρέας όμως να εξακολουθεί να αποτελεί την κυριότερη πηγή πρωτεΐνης στην ανθρώπινη διατροφή (OECD/ FAO, 2014). Η δυνατότητα της εξέτασης της σύνθεσης και της ακριβούς ταξινόμησης των σφάγιων, με την ελάχιστη δυνατή επίδραση στην ποιότητά του, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ακριβή αποτίμηση της εμπορικής αξίας και τη βέλτιστη οργανοληπτική ποιότητα και αξιοποίηση των σφάγιων. Η ταξινόμηση των σφάγιων σήμερα στηρίζεται κατά κανόνα στην εξωτερική εμφάνιση των σφάγιων. Έτσι στις Η.Π.Α. τα σφάγια βοοειδών κατατάσσονται με βάση την μαρμάρωση και τη γενικότερη ωριμότητα, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση στηρίζεται στη διαμόρφωση του σφάγιου και συγκεκριμένα της μυϊκής διάπλασης και του βαθμού πάχυνσης. Η κατάταξη σήμερα πραγματοποιείται με επισκόπηση ή με την έμμεση μέτρηση του πάχους του λίπους σε συγκεκριμένες περιοχές, μέθοδοι που χαρακτηρίζονται από υποκειμενικότητα και μεγάλες διακυμάνσεις στην κατάταξη μεταξύ διαφορετικών αξιολογητών. Ακριβέστερη ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί με καταστρεπτικές μεθόδους εξέτασης, όπως οι χημικές αναλύσεις. Διάφορες μη καταστρεπτικές μέθοδοι ταξινόμησης, όπως η απεικόνιση με ακτίνες Χ ή υπερηχογραφία, η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας, η υπολογιστική τομογραφία (αξονική τομογραφία) τομογραφία και η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (μαγνητική τομογραφία) παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα δεδομένου ότι συνδυάζουν ακρίβεια και επαναληψιμότητα μετρήσεων καθώς και διαφοροποίηση του είδους του ιστού χωρίς να καταστρέφουν το σφάγιο.

Πρωτοπόροι στη χρήση μη καταστρεπτικών μεθόδων απεικόνισης της σωματικής διάπλασης παραγωγικών ζώων ήταν οι Kronacher και Hogreve (1936), οι οποίοι χρησιμοποίησαν την απεικόνιση με ακτίνες Χ προκειμένου να μελετήσουν το σχήμα της πυέλου διαφορετικών φυλών χοίρου. Ο Hogreve το 1938, μετρήσε με τη βοήθεια ακτινοβολίας Χ την εναπόθεση λιπώδους ιστού σε παχυνόμενους χοίρους. Το 1956, οι Temple *et al.* χρησιμοποίησαν υπερήχους συγκεκριμένης συχνότητας (>20kHz) σε διάφορους ιστούς του σώματος κρεοπαραγωγών ζώων. Όσον αφορά την αξονική και τη μαγνητική τομογραφία, οι πρώτες αναφορές χρήσης αυτών για την εκτίμηση της σύνθεσης των σφάγιων έγιναν από τους Skjervold *et al.* (1981) και το από τους Groeneveld *et al.* (1983). Τέλος, οι Mitchell *et al.* (1996) χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά την απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας για την εκτίμηση της σύνθεσης του σώματος των παραγωγικών ζώων.

Σήμερα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας εφαρμόζονται συχνότερα και αποτελεσματικότερα οι σύγχρονες, μη επεμβατικές τεχνικές για τον προσδιορισμό της σύνθεσης του σώματος και την ταξινόμηση των σφάγιων. Τεχνικές όπως η αξονική τομογραφία (Picouet *et al.*, 2010) και η μαγνητική τομογραφία (Baulain, 2013) χρησιμοποιούνται ως τεχνολογία αναφοράς για τη βαθμολόγηση και ταξινόμηση των σφάγιων σε σφαγεία (Branscheid *et al.*, 2011; Daumas *et al.*, 2013) σε χώρες όπως η Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία, Νορβηγία, Ηνωμένο Βασίλειο, Αυστρία, Καναδάς, Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιρλανδία, Ισπανία, Σουηδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Scholz *et al.*, 2015). Στην Ελλάδα, μέχρι στιγμής, οι συγκεκριμένες τεχνολογίες δεν αξιοποιούνται.

Οι εξελίξεις στην εκτροφή των ζώων, οι διαφορές μεταξύ των φυλών και των διαφόρων ειδών ζώων ή και οι διαφορές μεταξύ των δυο φύλων του ίδιου είδους, αναφορικά με τη σύνθεση του σφάγιου, οδήγησαν στην ανάγκη δημιουργίας μιας νέας και προσαρμοσμένης φόρμουλας για την κατάταξη των σφάγιων σε εμπορικές κλάσεις με το σύστημα (S) EUROP (Branscheid *et al.*, 2011; Monziols *et al.*, 2013). Για να ακολουθήσει και η Ελλάδα αυτήν την κατεύθυνση είναι επιτακτική η ανασκόπηση των μη καταστρεπτικών μεθόδων εκτίμησης της σύστασης ενός σφάγιου ο οποίος είναι και ο σκοπός της συγκεκριμένης παρουσίασης.

### Μη καταστρεπτικές μέθοδοι εκτίμησης της σύστασης του σφάγιου

Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι βασίζονται σε εκπομπή συγκεκριμένου είδους ενέργειας που επιδρά με τους ιστούς σε ατομικό ή μοριακό επίπεδο, παράγοντας σήματα τα οποία ανιχνεύονται και ποσοτικοποιούνται. Τα σήματα που παράγονται / ανιχνεύονται μπορεί να είναι ηχητικά (υπερήχοι), φωτόνια υψηλής ενέργειας (ακτινογράφηση, αξονική τομογραφία, απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας) ή ραδιοκύματα (μαγνητική τομογραφία). Μετά τη λήψη του ακατέργαστου σήματος γίνεται επεξεργασία του για την εκτίμηση διαφόρων παραμέτρων όπως η μορφή των περιοχών του μυϊκού ή λιπώδους ιστού, και εν μέρει η μορφή των οστών και η οστική σύσταση. Στον Πίνακα 1 αναφέρονται όλα τα χαρακτηριστικά που μπορούν να προσδιοριστούν από τις μη καταστρεπτικές μεθόδους.

### Απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας

Τόσο η αξονική τομογραφία όσο και η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας βασίζονται στη μέτρηση της εξασθένησης (*attenuation*) των ακτίνων Χ που διαπερνούν το σώμα ενός ζώου *in vivo* ή το σφάγιο. Ως εξασθένηση ορίζεται το μέτρο της ικανότητας ενός ιστού να απορροφά τα φωτόνια των ακτίνων. Κάθε ιστός και στοιχείο ενός σφάγιου χαρακτηρίζεται από έναν συγκεκριμένο συντελεστή εξασθένησης, ανάλογα με την ένταση των χρησιμοποιούμενων

ακτίνων X. Βασική αρχή της μεθόδου αποτελεί η διαφορετική εκθετική εξασθένηση της έντασης ζεύγους ακτίνων X με διαφορετικό μήκος κύματος / ενέργεια (μεγάλη και μικρή), όταν διέρχονται από τους διαφορετικούς ιστούς του σώματος. Ο λόγος της εξασθενημένης / εξερχόμενης δέσμης προς την αρχική / προσπίπτουσα δέσμη ακτίνων X, τόσο μεγάλης όσο και μικρής ενέργειας, αποτελεί το λόγο R (*R value*). Ο λόγος R είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό για κάθε στοιχείο ή ιστό, όπως τα οστά, ο μυϊκός και ο λιπώδης ιστός. (Wang *et al.*, 2010).

Υπάρχουν διάφορα ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα απορροφησιμετρίας, που διαφέρουν στους τρόπους σάρωσης ενός αντικείμενου, π.χ. σάρωση λεπτής δέσμης ή δέσμης τύπου «βεντάλιας». Η σάρωση ολόκληρου του σώματος ζώου με σύστημα λεπτής δέσμης μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 35 λεπτά, ενώ αντίστοιχα η σάρωση ολόκληρου του σώματος ζώου με το σύστημα δέσμης «βεντάλιας» συνήθως διαρκεί λιγότερο από 3 λεπτά. Συστήματα απορροφησιμετρίας ακτίνων X διπλής ενέργειας που προέρχονται από διαφορετικές κατασκευαστικές εταιρείες χρησιμοποιούν διαφορετικές προσεγγίσεις για την παραγωγή μικρής και μεγάλης ενέργειας ακτίνες X (Scholz *et al.*, 2015). Επιπλέον, είναι δυνατή η αυτοματοποίηση της διαδικασίας με την ολική σύσταση του σφάγιου να είναι διαθέσιμη αμέσως μετά την ολοκλήρωση της σάρωσης. Ωστόσο, υπάρχει διχονομία σχετικά με την αποτελεσματικότητά της ως μεθόδου εκτίμησης του ποσοστού άπαχου κρέατος του σφάγιου. Οι Scholz and Mitchell (2010) και οι Hunter *et al.* (2011) αναφέρουν μικρού βαθμού συσχέτισμό των μετρήσεων με αυτήν και προτείνουν τη διακρίβωση με το συμβατικές μεθόδους ποιοτικής κατάταξης ή χημικές εξετάσεις. Αντίθετα οι Kremer *et al.* (2012) αναφέρουν ότι η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αξιόπιστη για την εκτίμηση της ποσότητας και του ποσοστού άπαχου κρέατος, καθώς και για τη σύσταση και σύνθεση των οστών.

Η απορροφησιμετρία ακτίνων X διπλής ενέργειας έχει εφαρμοστεί στην πλειονότητα των παραγωγικών ζώων, όπως σε χοίρους (Kremer *et al.*, 2012), όρνιθες (Salas *et al.*, 2012), ινδόνιθες (Schfillhorn and Scholz, 2007), πρόβατα (με καλά αποτελέσματα) (Hunter *et al.*, 2011; Scholz *et al.*, 2013), βοοειδή (με την εξαίρεση της εκτίμησης του λιπώδους ιστού σφάγιων φυλής Jersey) (Ribeiro *et al.*, 2011) και ψάρια (Wood, 2004). Πάντως αναφέρονται σημαντικές διακυμάνσεις στα αποτελέσματα ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος, το είδος του ζώου, την ηλικία, το βάρος, το λογισμικό και τη θέση του σφάγιου κατά τη σάρωση με αποτέλεσμα να θεωρείται απαραίτητη η εξατομικευμένη ρύθμιση του μηχανήματος στις εκάστοτε συνθήκες.

#### Αξονική τομογραφία

Σε αντίθεση με την απορροφησιμετρία ακτίνων X διπλής ενέργειας, η αξονική τομογραφία λειτουργεί με ακτίνες X μίας μόνο (μονοχρωματικής) ενέργειας (Kalender, 2006). Βασίζεται στην απεικόνιση της εσωτερικής μορφολογίας των διαφόρων οργάνων του σώματος με την υπολογιστική σύνθεση πολλαπλών προβολών και εγκάρσιων τομών του συγκεκριμένου οργάνου. Ο συντελεστής εξασθένησης του αντικείμενου-στόχου (ιστού) μετατρέπεται στις μονάδες Hounsfield (HU), με τη σύγκριση του με τον αντίστοιχο συντελεστή εξασθένησης του νερού και του αέρα. Κάθε ιστός εμφανίζει ένα σχεδόν σταθερό εύρος τιμών HU. Έτσι η αξονική τομογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποιημένη διαφοροποίηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό του λιπώδους, μυϊκού και οστίτη ιστού ενός ζώου ή σφάγιου (Bóngner *et al.*, 2011; Font-i-Furnols *et al.*, 2013; Jay *et al.*, 2013; Monziols *et al.*, 2013). Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι διαφορετικά πρωτόκολλα μπορεί να οδηγήσουν σε διαφοροποίηση έως και 20% στις τιμές HU των ιστών.

Η αξονική τομογραφία χρησιμοποιεί μια λυχνία υψηλής απόδοσης που παράγει ακτίνες X και τοποθετείται σε μια κατασκευή που ονομάζεται ικρίωμα (*gantry*), και μια σειρά ανιχνευτών, οι οποίοι βρίσκονται αντιδιαμετρικά και περιστρέφονται ταυτόχρονα και ισόχρονα με το ικρίωμα, γύρω από το υπό εξέταση αντικείμενο (Scholz *et al.*, 2015). Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την μετάβαση από την απλή στην ελικοειδή λήψη είναι δυνατή η πραγματοποίηση πάνω από 100 τομών σε μια περιστροφή, ενώ το μέγεθος κάθε τομής είναι μικρότερο του 0,5 χιλιοστού. Το ικρίωμα επίσης μπορεί να έχει μέγεθος μέχρι και 90 εκατοστά, γεγονός που επιτρέπει τη σάρωση του σώματος ακόμα και μεγάλων ζώων με σάρωση περίπου 10 εκατοστών ανά δευτερόλεπτο (Kalender, 2006). Με την αξονική τομογραφία δημιουργούνται τρισδιάστατα απεικονιστικά μοντέλα των σφάγιων και κατά συνέπεια είναι δυνατόν να μετρηθεί με ακρίβεια ο όγκος άπαχου κρέατος, όχι όμως και το βάρος τους. Έχουν επισημανθεί διαφορές στην πυκνότητα του άπαχου κρέατος που έχουν ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό διαφορετικών βαρών για σφάγια ίσων όγκων, περιπλέκοντας έτσι την εναρμόνιση των τιμών μεταξύ διαφορετικών χωρών ή και μεταξύ διαφορετικών μηχανημάτων αξονικής τομογραφίας (Daumas *et al.*, 2013).

Γενικά, η αξονική τομογραφία είναι ιδανική για την εξέταση των μαλακών ιστών και των οστών σε σφάγια αιγών και προβάτων (Bóngner *et al.*, 2011), ορνίθων (Szentirmai *et al.*, 2013), βοοειδών (Navajas *et al.*, 2010), βουβάλων (Holló *et al.*, 2014) και κουνελιών (Scholz *et al.*, 2010). Όμως οι εφαρμογές της αξονικής τομογραφίας στην επιστήμη τροφίμων δεν περιορίζονται μόνο στην κατάταξη των σφάγιων ή στην μελέτη της σωματικής διάπλασης των παραγωγικών ζώων. Η αξονική τομογραφία έχει χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του αλατιού σε αλατισμένο χοιρινό

(Fulladosa *et al.*, 2010) και για το γρήγορο προσδιορισμό του ενδομυϊκού λίπους στο βοδινό κρέας και της μικροσκοπικής δομής του λίπους (Frisullo *et al.*, 2010). Εκτός αυτών έχει δείχτει ότι δεν επηρεάζει αρνητικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κρέατος, ειδικά ως προς το χρώμα (Jose *et al.* (2009).

### Μαγνητική τομογραφία

Η μαγνητική τομογραφία αποτελεί εξαιρετική μέθοδο ακριβούς και λεπτομερούς απεικόνισης των διαφόρων μαλακών ιστών ενός σφάγιου. Βασίζεται στις ιδιότητες των ατόμων του υδρογόνου (πρωτόνια) να προσανατολίζονται στον άξονα περιστροφής της μαγνητικής τους ροπής όταν εφαρμόζεται ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο και να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση αποδίδοντας ενέργεια με την μορφή ραδιοκυμάτων. Σε μαγνητικά πεδία 0,1 έως 7 Tesla τα πρωτόνια προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση του πεδίου και συγχρόνως περιστρέφονται με συγκεκριμένη συχνότητα. Η συχνότητα αυτή είναι χαρακτηριστική για κάθε άτομο. Εάν εφαρμοστεί ραδιοκύμα ίδιας συχνότητας με αυτής της περιστροφής τους, τότε απορροφούν ενέργεια και μετατοπίζονται από την ισορροπημένη τους κατάσταση. Με την παύση του ραδιοκύματος, τα πρωτόνια επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση, οπότε και απελευθερώνουν την ενέργεια που απορρόφησαν με τη μορφή ραδιοκύματος. Αυτά τα σήματα συλλαμβάνονται, υφίστανται επεξεργασία και απεικονίζονται τρισδιάστατα (Scholz *et al.*, 2015). Η συχνότητα της μεταπτωτικής γωνιακής περιστροφής κάθε πυρήνα γύρω από τον επιμήκη άξονα είναι χαρακτηριστική και ονομάζεται συχνότητα Larmor. Η συχνότητα αυτή διαφέρει ανάλογα με το ισότοπο ενδιαφέροντος και με την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Επειδή το ισότοπο  $^1\text{H}$  έχει τη μεγαλύτερη σχετική ευαισθησία σε σχέση με τα ισότοπα  $^2\text{H}$  και  $^3\text{H}$ , η πιο συχνή μέθοδος μαγνητικής τομογραφίας που εφαρμόζεται σε μελέτες για τα σφάγια και το κρέας είναι ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (Gaunt *et al.*, 2013).

Η αξιολόγηση του μαγνητικού συντονισμού στηρίζεται στους χρόνους T1 (*spin-lattice relaxation time*) και το χρόνο T2 (*spin-spin relaxation time*). Οι χρόνοι αυτοί εξαρτώνται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζεται (Kato *et al.*, 2005) και εκφράζουν την απώλεια ενέργειας στο περιβάλλον. Επιπλέον, μεταβάλλονται, μεταξύ άλλων, και από την αφυδάτωση και τη συγκέντρωση του αλατιού στο κρέας και στο σφάγιο. Έτσι ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός, εκμεταλλευόμενος τη μεταβολή αυτών των χρόνων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της αφυδάτωσης και της αλάτισης σε επεξεργασμένο κρέας (Fantazzini *et al.*, 2009).

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα λογισμικά τα οποία αυτοματοποιούν την ανάλυση της εικόνας τόσο από αξονική όσο και από μαγνητική τομογραφία, ενώ συμβάλλουν συγχρόνως και στο διαχωρισμό του (άπαχου) κρέατος, του λίπους, των οστών και, αν είναι απαραίτητο, του περιεχομένου της κοιλίας και του πεπτικού σωλήνα από τις άλλες ανατομικές δομές. Για παράδειγμα, οι Kullberg *et al.* (2007) περιέγραψαν ένα πρωτόκολλο αυτοματοποιημένης ανάλυσης μιας εικόνας από μαγνητική τομογραφία, το οποίο εστιάζει στο διαχωρισμό του σπλαχνικού και του υποδόριου λίπους από το υπόλοιπο λίπος, ενώ οι Addeman *et al.* (2015) πρότειναν ένα πρόγραμμα αυτοματοποιημένης διάκρισης του υποδόριου και του ενδοκοιλιακού λιπώδους ιστού από τον ολικό λιπώδη ιστό του σώματος. Η διάκριση αυτή οφείλεται στο ότι το λίπος είναι μια δομή υψηλής έντασης, και άρα φωτεινότερης εμφάνισης, σε σχέση με τους μη λιπώδεις ιστούς, που αποτελούν δομές χαμηλής έντασης και έτσι απεικονίζονται πιο σκοτεινοί. Όμως, ακριβώς το αντίθετο ισχύει για τα κατεψυγμένα προϊόντα, όπου το λίπος έχει σκοτεινότερη εμφάνιση από τον πάγο (Monziols *et al.* 2013).

Η μαγνητική τομογραφία είναι μια από τις πιο ακριβείς απεικονιστικές μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων του σώματος των ζώων, με εξαιρετική απεικονιστική λεπτομέρεια μεταξύ των μαλακών ιστών (Baulain, 2013). Το σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία για την πρόβλεψη του ποσοστού λίπους και άπαχου κρέατος ζωντανών ζώων και σφάγιων, με δυνατότητα συνεπώς να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη αυτών, και πλεονεκτεί έναντι της αξονικής διότι δεν υπάρχει έκθεση σε ακτινοβολία με τη χρήση της (Ojha *et al.*, 2016). Εκτός των αναφερθέντων πλεονεκτημάτων σχετικά με την απεικόνιση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του μεταβολισμού των μυών και την πρόβλεψη των χαρακτηριστικών του κρέατος, συμπεριλαμβανομένης και της ικανότητας συγκράτησης ύδατος (Lazzaroni *et al.*, 2007). Το ενδιαφέρον σχετικά με την μέθοδο και την εφαρμογή της στην κατάταξη των σφάγιων καταδεικνύεται και από την ύπαρξη σχετικού διπλώματος ευρεσιτεχνίας συστήματος κατάταξης ζώων και σφάγιων, βασισμένου στην μαγνητική τομογραφία (Ellis, 2005).

### Υπερηχογραφία

Οι υπέρηχοι είναι ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας που δεν είναι αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί. Η βασική αρχή της μεθόδου βασίζεται στη διαφορετική αλληλεπίδραση των υπερήχων με τους διαφορετικούς ιστούς ενός σώματος / σφάγιου και με τις διαχωριστικές επιφάνειες, καθώς και στην ανάκλαση του ήχου προς τον την πηγή εκπομπής των ηχητικών κυμάτων, δηλαδή τον ηχοβολέα (Halliwell, 2010; Scholz and Mitchell, 2010; Pathak *et al.*, 2011). Η πυκνότητα των διαφόρων ιστών ενός σώματος / σφάγιου επηρεάζει την ταχύτητα μετάδοσης των υπερήχων. Η ταχύτητα

μετάδοσης είναι μικρή στον αέρα, μεγαλύτερη στους μαλακούς ιστούς και ακόμα μεγαλύτερη στα οστά (Halliwell, 2010). Αν ένας ιστός είναι ομοιογενής, δεν αντανακλάται ο ήχος. Όπου υπάρχουν ιστοί διαφορετικής πυκνότητας, υπάρχει διαφορετική μετάδοση του ήχου, ανάκλαση κάποιας ποσότητας αυτού στις διάφορες διαχωριστικές επιφάνειες και εξασθένηση της δέσμης (Scholz *et al.*, 2015). Η ηχητική δέσμη που δεν ανακλάστηκε διαπερνά τον ιστό και ανακλάται στη συνέχεια με ποικίλους τρόπους. Η πυκνότητα των ιστών εξαρτάται και από τη θερμοκρασία, συνεπώς μεταβάλλεται και η απεικόνιση των ιστών ενός ψυγμένου σφάγιου σε σχέση την απεικόνιση των ιστών ενός ζωντανού ζώου (Van de Sompel *et al.*, 2012).

Λόγω της τεχνολογικής ανάπτυξης των υπερήχων γραμμικής συστοιχίας (*linear array*) πραγματικού χρόνου (*real time*), η παραπάνω τεχνική είναι η συχνότερη χρησιμοποιούμενη στον προσδιορισμό της σύστασης ενός σφάγιου (Scholz and Baulain, 2009). Υπάρχουν διάφορα είδη απεικόνισης, όπως η απεικόνιση εύρους (*A-mode*), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό του πάχους μιας στοιβάδας λίπους ή κρέατος, και η απεικόνιση φωτεινότητας (*B-mode*), η οποία δίνει πληροφορίες τόσο για εναποθέσεις λίπους στο σφάγιο όσο και για το μυϊκό ιστό αυτού σε μια σάρωση. Η απεικόνιση φωτεινότητας επιτρέπει αυξομειώσεις στη συχνότητα ανανέωσης των εικόνων στην οθόνη του υπολογιστή (ρυθμός σάρωσης). Ο ρυθμός σάρωσης ευθύνεται για την ικανότητα καταγραφής γεγονότων που συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους (Scholz *et al.*, 2015).

Ηχητικά κύματα χαμηλής συχνότητας (μεταξύ 2 και 5 MHz) έχουν μεγαλύτερο βάθος διείσδυσης εντός των ιστών, με έκπτωση στην ευκρίνεια και λεπτομέρεια της εικόνας. Αντίθετα, ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας (μεταξύ 5 και 7,5 MHz) εξασθενούν ταχύτερα μέσα στους ιστούς, αλλά η ευκρίνεια της παραγόμενης εικόνας είναι πολύ καλύτερη. Κατά συνέπεια οι υπέρηχοι μικρότερης συχνότητας χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση βαθύτερων μυϊκών μαζών, ενώ οι υψηλότερης συχνότητας στην απεικόνιση επιφανειακότερων μυϊκών στοιβάδων (Pillen and van Alfen, 2011).

Εκτός όμως αυτού, παράγοντες όπως η εμπειρία του εξεταστή, η ηλικία και το βάρος του σφάγιου ζώου επηρεάζουν την υπερηχοτομογραφική απεικόνιση (Scholz *et al.*, 2015), κάνοντάς την λιγότερο ακριβή από την αξονική και μαγνητική τομογραφία. Επίσης, ανεξάρτητα της συσκευής παραγωγής υπερήχων και της συχνότητας αυτών, ο εξεταστής πρέπει να γνωρίζει την ανατομία των περιοχών που εξετάζει (Scholz *et al.*, 2015), προσθέτοντας υποκειμενικότητα στις μετρήσεις, παράγοντας που είναι ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της κατάταξης των σφάγιων με βάση την εξωτερική εμφάνιση. Παρ' όλα αυτά, επειδή οι υπέρηχοι εμφανίζουν μεγαλύτερη εξασθένηση στο μυϊκό ιστό έναντι του λιπώδη ιστού, ο υπέρηχος χρησιμοποιείται ευρέως στον προσδιορισμό του δείκτη θρεπτικής κατάστασης, των αποδόσεων των ζώων και στην ταξινόμηση των σφάγιων (Pathak *et al.*, 2011; Ayuso *et al.*, 2013; Branscheid *et al.*, 2011; Scholz *et al.*, 2015).

**Πίνακας 1:** Χαρακτηριστικά μη καταστρεπτικών μεθόδων

Μέθοδος	Χαρακτηριστικό
Απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αριθμός διερχόμενων φωτονίων Χ (ανά ιστό)</li> <li>• Συντελεστής εξασθένησης φωτονίων ακτίνων Χ σε διαφορετικά επίπεδα ενέργειας</li> <li>• Περικτικότητα οστού σε ανόργανες ουσίες</li> <li>• Πυκνότητα ανόργανων ουσιών στα οστά</li> <li>• Ποσότητα μαλακών ιστών</li> <li>• Άπαχο κρέας και λιπώδης ιστός</li> <li>• Δεδομένα για όλο το σώμα και τμήματα αυτού</li> </ul>
Αξονική τομογραφία	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αριθμός διερχόμενων φωτονίων ακτίνων Χ (ανά ιστό)</li> <li>• Εξασθένηση των φωτονίων ακτίνων Χ σε μονάδες Hounsfield (HU)</li> <li>• Έκταση ιστών ανάλογα με την ανατομική περιοχή και τις HU</li> <li>• Δεδομένα για όλο το σώμα και τμήματα αυτού</li> </ul>
Μαγνητική τομογραφία	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μαγνητικός πυρηνικός συντονισμός (σε ατομικό επίπεδο)</li> <li>• Επίπεδα ενέργειας πυρήνων με άριστο αριθμό πρωτονίων και νετρονίων</li> <li>• Χρόνοι T1 και T2</li> <li>• Πυκνότητα πρωτονίων</li> <li>• Έκταση που καταλαμβάνουν οι ιστοί ανάλογα με την ανατομική περιοχή και ένταση σήματος</li> <li>• Δεδομένα για όλο το σώμα και τμήματα αυτού</li> </ul>
Υπερηχογραφία	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ταχύτητα υπερήχων (σε επίπεδο ιστού)</li> <li>• Εύρος σήματος (<i>A-mode</i>), φωτεινότητα σήματος (<i>B-mode</i>)</li> <li>• Έκταση και όγκος τμημάτων του σώματος-σφάγιου</li> </ul>



### Ολική ηλεκτρική αγωγιμότητα (Total body electrical conductivity)

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του σφάγιου αποτελεί μια μη καταστρεπτική και ταχεία τεχνική για την μέτρηση της σύνθεσής του. Στηρίζεται στην αρχή ότι ο μυϊκός ιστός και το σωματικό λίπος διαφέρουν σημαντικά στην ηλεκτρική τους αγωγιμότητα, με τον μυϊκό ιστό να αποτελεί καλό αγωγό λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης νερού και ηλεκτρολυτών, ενώ τα οστά και το λίπος κακό αγωγό. Κατά συνέπεια η ηλεκτρική αγωγιμότητα του συνόλου του σφάγιου καθορίζεται από το ποσοστό άπαχου κρέατος (Ohja *et al.*, 2016). Κατά την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας το σφάγιο τοποθετεί σε θάλαμο υπό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο όπου καταμετρείται από ανιχνευτές η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η τελευταία είναι ανάλογη της αγωγιμότητάς του σφάγιου. Η μέτρηση της ολικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει δώσει εξαιρετικά αποτελέσματα *in vitro* ενώ μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε θερμά όσο και σε ψυγμένα σφάγια με σχεδόν παρόμοια αποτελέσματα. Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε κρέας και σφάγια βοοειδών (Allen και McGeehin, 2001).

### Ανάλυση εικόνας βίντεο

Η ανάλυση εικόνας αποτελεί μια γρήγορη, αυτοματοποιημένη και αντικειμενική μέθοδο εκτίμησης των σφάγιων που βασίζεται στην αρχή του διαφορετικού χρώματος των περιοχών που καλύπτονται από λίπος έναντι αυτών που καλύπτονται από μύες. Γενικότερα τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται αποτελούνται από τη φωτεινή πηγή, τους ανιχνευτές και το πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας. Το σύστημα ανιχνευτών / φωτεινής πηγής είναι σταθερά τοποθετημένο και τα σφάγια διέρχονται σε προκαθορισμένη ταχύτητα έτσι ώστε να είναι δυνατή η λήψη των μετρήσεων (Craigie *et al.*, 2012). Η ανάλυση εικόνας βίντεο μπορεί να εφαρμοστεί σε ολόκληρα, σφάγια ή ημιμόρια προ της ψύξης ή σε τεταρτημόρια μετά την ψύξη. Έχει εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες σε Η.Π.Α. και Καναδά, όπου χρησιμοποιείται για την κατάταξη των σφάγιων με βάση το ενδομυϊκό λίπος μεταξύ 12<sup>ου</sup> και 13<sup>ης</sup> πλευράς στα βοοειδή, με την ταχύτητα εκτίμησης μπορεί να φτάνει έως τα 800 σφάγια την ώρα. Μπορούν επίσης να εκτιμηθούν η διάπλαση και η σύνθεση του σφάγιου, η τρυφερότητα (με βάση την εικόνα της επιφάνειας του κρέατος), το χρώμα του κρέατος, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος και η σύνθεση του σφάγιου σε λιπώδη και μυϊκό ιστό (Craigie *et al.*, 2012; Ohja *et al.*, 2016). Εκτός από την μέτρηση το ενδομυϊκό λίπος μεταξύ 12<sup>ου</sup> και 13<sup>ης</sup> πλευράς υπάρχει δυνατότητα λήψης όλου του σφάγιου, λήψη που θα μπορούσε να εφαρμοστεί για μετρήσεις ανταποκρινόμενες στην ευρωπαϊκή κλίμακα κατάταξης. Όπως αναφέρθηκε η μέθοδος χαρακτηρίζεται από αντικειμενικότητα, ταχύτητα και δυνατότητα αυτοματοποίησης, χαρακτηριστικά που επέτρεψαν την ανάπτυξη εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων (Ohja *et al.*, 2016).

**Πίνακας 2:** Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μη καταστρεπτικών μεθόδων για τον προσδιορισμό της σύστασης του σφάγιου

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας	+ Εύκολος χειρισμός + Χαμηλή ακτινοβολία + Μέτρια τιμή + Γρήγορη ανάλυση δεδομένων + Τμηματική ανάλυση δεδομένων	- Μόνο δισδιάστατη προβολή (μέχρι στιγμής) - Απουσία δεδομένων για άπαχο κρέας ( <i>in vivo</i> )
Αξονική τομογραφία	+ Πολύ υψηλή ανάλυση + Υψηλή ταχύτητα + Τρισδιάστατη εικόνα όλου του σώματος + Αυτοματοποιημένη ανάλυση δεδομένων	- Ακτινοβολία - Ακριβή σε κόστος
Μαγνητική τομογραφία	+ Άριστη διαφοροποίηση μαλακών ιστών μεταξύ τους + Τρισδιάστατη εικόνα όλου του σώματος + Απουσία ακτινοβολίας	- Ακριβή σε κόστος - Αργή (για απεικόνιση όλου του σώματος) - Χαμηλή διαθεσιμότητα - Ακριβή σε κόστος
Υπερηχογραφία	+ Φορητή συσκευή, με αρκετά δεδομένα για τα περισσότερα είδη + Λογική τιμή + Απουσία ακτινοβολίας + Ανάλυση σε πραγματικό χρόνο + Κανένας περιορισμός μεγέθους σφάγιου	- Λιγότερο ακριβής ανάλυση - Μη εύκολα αυτοματοποιημένη ανάλυση εικόνων - Αδυναμία απεικόνισης όλου του σώματος

## Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, εύκολα προκύπτει πως κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (πίνακας 2). Για την επιλογή της κατάλληλης κάθε φορά μεθόδου πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- (1) Με την επιφύλαξη της ακτινοβολίας και του μεγάλου κόστους, ο αξονικός τομογράφος αποτελεί την απεικόνιση εκλογής για το χαρακτηρισμό και ταξινόμηση των σφάγιων.
- (2) Αν δεν απαιτείται η τρισδιάστατη απεικόνιση, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας.
- (3) Σε περίπτωση που η εκλυόμενη ακτινοβολία μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για τους εργαζόμενους, τότε προτείνεται η χρήση μαγνητικής τομογραφίας.
- (4) Στην περίπτωση που ενδιαφέρει η ταχύτητα του αποτελέσματος, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπερηχογραφία.

Σε γενικές γραμμές, οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι ταξινόμησης των σφάγιων χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο στις ευρωπαϊκές όσο και σε αναπτυσσόμενες χώρες παγκόσμια. Μάλιστα, με την πάροδο των χρόνων αναπτύσσονται όλο και νεότερες τεχνολογίες απεικόνισης, επιδεικνύοντας την ευρεία αποδοχή των απεικονιστικών τεχνικών. Η μη εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων ποιοτικής κατάταξης του κρέατος και, γενικότερα, η έλλειψη τυποποίησης, σήμανσης και ταυτοποίησής του (απουσία συστήματος ιχνηλασιμότητας και αξιόπιστης πληροφόρησης των καταναλωτών για την προέλευση του κρέατος, για τις διαδικασίες παραγωγής του και για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος), καθιστούν σήμερα αδύνατη την διαφοροποίηση του εγχώριου προϊόντος σε σχέση με τα εισαγόμενα, παρά το γεγονός ότι οι Έλληνες καταναλωτές αποτιμούν υψηλότερα τα εγχώρια προϊόντα και είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν υψηλότερα ποσά για ποιοτικά προϊόντα με εγγυημένη προέλευση. Έτσι, διαμορφώνεται ένα περιβάλλον αθέμιτου ανταγωνισμού για τα ελληνικά προϊόντα κρέατος. Μια πλήρης, λοιπόν, και αποτελεσματική εφαρμογή της ποιοτικής κατάταξης των σφάγιων και της σήμανσης του κρέατος, ώστε να προωθηθεί η εμπορία των ποιοτικών σφάγιων και του ελληνικού κρέατος, θα συμβάλει στην αύξηση της προστιθέμενης αξίας των προϊόντων κρέατος, θα αμβλύνει το έλλειμμα που παρατηρείται στο ισοζύγιο εισαγωγών – εξαγωγών κρέατος στη χώρα και θα βελτιώσει τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα των εκτροφών. Η Ελλάδα, ως αναπτυσσόμενη χώρα οφείλει και μπορεί να ενσωματώσει τις μη καταστρεπτικές μεθόδους ταξινόμησης των σφάγιων στη ρουτίνα των σφαγείων της, κάνοντας περισσότερο αυτοματοποιημένη και αντικειμενική την αξιολόγηση της ποιότητας των σφάγιών της.

## New technologies of quality classification of carcasses (imaging and spectroscopic methods)

Vangelis Economou<sup>1</sup>, Michail Patsikas<sup>2</sup>, Anestis Tsitsos<sup>3</sup>,  
Alexandros Theodoridis<sup>4</sup>, Ioannis Ambrosiadis<sup>5</sup>, Georgios Arsenos<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Laboratory of Hygiene of Food of Animal Origin – Veterinary Public Health, School of Veterinary Medicine, Faculty of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

<sup>2</sup> Professor, Companion Animal Clinic, School of Veterinary Medicine, Faculty of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

<sup>3</sup> Laboratory of Hygiene of Food of Animal Origin – Veterinary Public Health, School of Veterinary Medicine, Faculty of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

<sup>4</sup> Laboratory of Animal Production Economics, School of Veterinary Medicine, Faculty of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

<sup>5</sup> Laboratory of Hygiene of Food of Animal Origin – Veterinary Public Health, School of Veterinary Medicine, Faculty of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

<sup>6</sup> Professor, Laboratory of Animal Husbandry, School of Veterinary Medicine, Faculty of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

### Abstract

The ability to accurately measure the composition of an intact carcass or the body of an animal in vivo, is of importance in assessing the meat yield, the classification and determining the economic value of the meat-producing animals. The purpose of this presentation is to review the non-destructive methods of carcass composition assessment. The development of electronic and computational methods has allowed the accurate approximation of the phenotypic characteristics of carcasses using automated imaging methods. The choice of the technique depends on the animal species and several technical and practical properties such as method accuracy, reliability, cost, portability, speed, user friendliness, safety, and the need of restraint or anesthesia for in vivo measurements. These techniques are based on specific signals that interact with the tissues, producing secondary signals that are detected and quantified. Signals produced / detected may be sonic (ultrasound); photon radiation (X-ray / CT scan, dual energy X-ray absorption); or radio waves (magnetic resonance imaging). After reception, the raw signal, the latter is processed to assess various parameters such as the shape of the areas of the muscle or adipose tissue, and the bone areas and composition. Of the above-mentioned techniques, CT scan is the most accurate, while satisfactory results are obtained by magnetic resonance imaging and dual energy X-ray absorptiometry. Ultrasound has the advantage of use even in field conditions. Perhaps a combination of ultrasound with the other techniques is the most promising for future development.

**Keywords:** carcass classification, X-ray, CT scan, magnetic resonance imaging, ultrasound

*The announcement was carried out within the framework of the project “ Innovative technologies to increase the competitiveness of Greek meat: Greek Quality Meat”, co-funded by Greece and the European Union.*

### Βιβλιογραφία

- Addeman BT, Kuttu S, Perkins TG, Soliman AS, Wiens CN, McCurdy CM, Beaton MD, Hegele RA, McKenzie CA. Validation of volumetric and single-slice MRI adipose analysis using a novel fully automated segmentation method. *J Magn Reson Imaging* 2015; 41: 233–241.
- Allen, P. and McGeehin, B. Measuring the lean content of carcasses using TOBEC: Tea-gasc. 2001. The National Food

- Centre Research Report No. 40. ISBN 1 84170 235 8.
- Ayuso D, Gonzalez A, Hernandez F, Corral JM, Izquierdo M. Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. *J Animal Sci* 2013; 91: 1884–1892.
  - Bónger L, Macfarlane JM, Lambe NR, Conington J, McLean KA, Moore K, Glasbey CA and Simm G. Use of X-ray computed tomography (CT) in UK sheep production and breeding. In: Karuppasamy S (Ed.). *CT scanning – techniques and applications*. INTECH Europe, Rijeka, Croatia. 2011; pp. 329–348.
  - Baulain U. Body composition of farm animals by MRI. In: Maltin C, Craigie C, Bónger L (Eds). *Farm animal imaging Dublin 2012*. Quality Meat Scotland, UK, 2013; pp. 16–19.
  - Branscheid W, Judas M, Høreth R. Zur Klassifizierung von Schweinehälften: Neue Schötzformeln und neue Geräte. *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 2011; 50: 9–28.
  - Craigie CR, Navajas EA, Purchas RW, Maltin CA, Bónger L, Hoskin SO, Ross DW, Morris ST, Roehe R. A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. *Meat Sci* 2012;92(4):307-18.
  - Daumas G, Donko T and Monziols M. Identification of possible and relevant post mortem reference methods for carcass composition. In Maltin C, Craigie C, Bónger L (Eds). *Farm animal imaging Kaposvar 2013*. Quality Meat Scotland, UK, 2013; pp. 14–17.
  - Ellis JS. Animal sorting and grading system using MRI to predict maximum value. In: US Patent 6,877,460. 2005.
  - Font-i-Furnols M, Brun A, Tous N and Gispert M. Use of linear regression and partial least square regression to predict intramuscular fat of pig loin computed tomography images. *Chemom Intell Lab Syst* 2013; 122: 58–64.
  - Frisullo P, Marino R, Laverse J, Albenzio M, Del Nobile MA. Assessment of intramuscular fat level and distribution in beef muscles using X-ray microcomputed tomography. *Meat Sci* 2010; 85: 250–5.
  - Fulladosa E, Santos-Garcis E, Picouet P, Gou P. Prediction of salt and water content in dry-cured hams by computed tomography. *J Food Eng* 2010; 96: 80–85.
  - Gaunt AP, Morris RH, Newton MI. Magnetic resonance imaging: a tool for pork pie development. *Foods* 2013; 2: 393–400.
  - Halliwell M. A tutorial on ultrasonic physics and imaging techniques. *Proc Inst Mech Eng H*. 2010; 224(2): 127-42.
  - Holló G, Barna B, Nuernberg K. Characterisation of carcass composition and meat quality of male suckling buffalo calves kept on natural grassland. *Archiv Tierzucht* 2014; 56: 107.
  - Hunter TE, Suster D, Dunshea FR, Cummins LJ, Egan AR, Leury BJ. Dual energy X-ray absorptiometry (DXA) can be used to predict live animal and whole carcass composition of sheep. *Small Rum Res* 2011; 100: 143–152.
  - Jay NP, van de Ven RJ, Hopkins DL. Relationship in lambs between lean weight estimated using CT scanning and VIASCAN®. *Proceedings of the 59<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*, August 18–23 2013, Izmir, Turkey.
  - Kalender WA. X-ray computed tomography. *Phys Med Biol*. 2006; 7; 51(13): R29-43.
  - Kongsro J, Gjerlaug-Enger E. In vivo prediction of intramuscular fat in pigs using computed tomography. *Open J Anim Sci* 2013; 3: 321–325.
  - Kremer PV, Fernández Figares I, Förster M and Scholz AM. In vivo body composition in autochthonous and conventional pig breeding groups by dual energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging under special consideration of Cerdo Ibrico. *Animal* 2012; 6: 2041–2047.
  - Kronacher C, Hогреve F. Röntgenologische Skelettstudien an Dahlemer Binder-Drillingen und -Zwillingen. *Zeitschrift für Züchtung. Reihe B, Tierzüchtung und Züchtungsbiologie einschließlich Tierernährung* 1936; 36: 281-294.
  - Kullberg J, Von Below C, Lønn L, Lind L, Ahlstrøm H, Johansson L. Practical approach for estimation of subcutaneous and visceral adipose tissue. *Clin Physiol Funct Imaging* 2007; 27: 148-153.
  - Lazzaroni C, Gigli S, Gabipa D. *Evaluation of carcass and meat quality in cattle and sheep*, Wageningen Academic Publishers, 2007.
  - Magnusson M, Malusek A, Muhammad A and Alm Carlsson G 2011. Determination of quantitative tissue composition by iterative reconstruction on 3D DECT volumes. *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine*, Potsdam, DE, 120–123.
  - Monziols M, Rossi A, Daumas G. Impact of pig population (light or heavy) on computed tomography (CT) and dissection relationship for lean meat percentage measurement. In: Maltin C, Craigie C, Bónger L (Eds). *Farm animal imaging Kaposvar 2013*. Quality Meat Scotland, UK, 2013; 2013; pp. 22-26.
  - Navajas EA, Richardson RI, Fisher AV, Hyslop JJ, Ross DW, Prieto N. Predicting beef carcass composition using tissue weights of a primal cut assessed by computed tomography. *Animal* 2010; 4: 1810–1817.

- OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations. OECD-FAO Agricultural Outlook 2014. OECD Publishing, 2014. <http://www.fao.org/3/a-i3818e.pdf> (15/12/2018).
- Ojha KS, Tiwari BK, Kerry JP, Cullen PJ. Online meat quality and compositional assessment techniques. In: Cummings E, Lyng J (Eds.). Emerging technologies in meat processing: Production, processing and technology. 2016. p 375-390.
- Pathak V, Singh VP, Sanjay Y. Ultrasound as a modern tool for carcass evaluation and meat processing: a review. *Int J Meat Sci* 2011; 1: 83–92.
- Picouet PA, Teran F, Gispert M, Font-i-Furnols M. Lean content prediction in pig carcasses, loin and ham by computed tomography (CT) using a density model. *Meat Science* 2010; 86: 616–622.
- Pillen S, van Alfen N. Skeletal muscle ultrasound. *Neurological Research* 2011; 33: 1016–1024.
- Ribeiro FRB, Tedeschi LO, Rhoades RD, Smith SB, Martin SE, Crouse SF. Evaluating the application of dual X-ray energy absorptiometry to assess dissectible and chemical fat and muscle from the 9<sup>th</sup>-to-11<sup>th</sup> rib section of beef cattle. *The Professional Animal Scientist* 2011; 27: 472–476.
- Salas C, Ekmay RD, England J, Cerrate S, Coon CN. Determination of chicken body composition measured by dual energy X-ray absorptiometry. *International Journal of Poultry Science* 2012; 11: 462–468.
- Scholz AM and Mitchell AD 2010. Body composition: indirect measurement. In *Encyclopedia of animal science*, 2nd edition. (ed. DE Ullrey, CK Baer and WG Pond), pp. 152–156. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Scholz AM, Bonger L, Kongsro J, Baulain U, Mitchell AD. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal J* 2015; 9 (7): 1250-1264.
- Scholz AM, Kremer PV, Wenczel R, Pappenberger E, Bernau M. Body composition in farm animals by dual energy X-ray absorptiometry. In: Maltin C, Craigie C, Bonger L (Eds). *Farm animal imaging Dublin 2013*. Quality Meat Scotland, UK, 2012; pp. 9–14.
- Skjervold H, Grønseth K, Vangen O, Evensen A. In vivo estimation of body composition by computerized tomography. *Zeitschrift für Tierzucht und Züchtungsbiologie* 1981; 98: 77-79.
- Szentirmai E, Milisits G, Donkó T, Budai Z, Ujvári J, Fülöp T, Repa I, Sütő Z. Comparison of changes in production and egg composition in relation to in vivo estimates of body weight and composition of brown and white egg layers during the first egg-laying period. *Br Poult Sci* 2013; 54: 587–593.
- Temple RS, Stonaker HH, Howry D, Posakony G, Hazeleus MZ. Ultrasonic and conductivity methods for estimating fat thickness in live cattle. *Proc West Sect Am So Anim Prod* 1956; 7: 477-477.
- Van de Sompel D, Sasportas LS, Dragulescu-Andrasi A, Bohndiek S, Gambhir SS. Improving image quality by accounting for changes in water temperature during a photoacoustic tomography scan. *PLOS One* 2012; 7: e45337.
- Wang ZM, Heymsfield SB, Chen Z, Zhu S, Pierson RN. Estimation of percentage body fat by dual-energy x-ray absorptiometry: evaluation by in vivo human elemental composition. *Phys Med Biol* 2010; 55: 2619–2635.