

Ασβέστιο & Φωσφόρος (Ca, P)

ΓΕΝΙΚΑ

Ο λόγος για τον οποίο τα δύο αυτά μακροστοιχεία εξετάζονται από κοινού πρέπει να αναζητηθεί: 1) στη στενή σύνδεσή τους αναφορικά με την επιτέλεση της κύριας λειτουργίας τους, που είναι ο σχηματισμός των οστών, 2) στη θεραπευτική αλληλεξάρτησή τους σε πλείστα όσα σημεία, τα οποία θα διαφανούν στη συνέχεια και 3) στη στενή σχέση που έχουν με τη βιταμίνη D.

Αμέσως μετά το **χλωριούχο νάτριο** (κ. μαγειρικό αλάτι), του οποίου η προσθήκη στο σιτηρέσιο όλων των αγροτικών ζώων αποτελεί κανόνα και τακτική ρουτίνας, το ασβέστιο και ο φωσφόρος αποτελούν τα σπουδαιότερα ανόργανα στοιχεία, τουλάχιστον από την άποψη ότι οι πιθανότητες να οδηγήσουν στην εμφάνιση συμπτωμάτων ανεπάρκειας είναι μεγαλύτερες, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ανόργανα στοιχεία.

Περιεκτικότητα και κατανομή του ασβεστίου και του φωσφόρου στο ζωικό σώμα

Το ασβέστιο και ο φωσφόρος είναι, από ποσοτική άποψη, τα κυριότερα από τα ανόργανα στοιχεία, διότι απαντούν σε μεγάλες ποσότητες στο ζωικό σώμα αφού αποτελούν από κοινού το 70% και πλέον της συνολικής ανόργανης ουσίας. Ειδικότερα, η περιεκτικότητα σε Ca και P του ζωικού σώματος κυμαίνεται από 1,3 μέχρι 1,8 και από 0,8 μέχρι 1,0% του ζώντος βάρους, αντίστοιχα.

Τα δύο αυτά ανόργανα στοιχεία απαντούν, πρωτίτως, στο σκελετό και τα δόντια, αφού το 80% του συνολικού P και το 99% του συνολικού Ca του οργανισμού απαντά στα όργανα αυτά. Σημειώνεται επιπρόσθετα ότι τα δύο αυτά ανόργανα στοιχεία αποτελούν

από κοινού το 90% της ανόργανης ουσίας του σκελετού.

Μέση σύσταση, σχηματισμός και μεταβολισμός των οστών

Εξαιτίας ακριβώς του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο μέρος του Ca και του P απαντά στο σκελετό, θεωρείται σκόπιμη μία, σχετικά σύντομη, αναφορά στη μέση σύσταση, το σχηματισμό και το μεταβολισμό των οστών.

Η σύνθεση του φυσιολογικά αναπτυγμένου οστού κυμαίνεται ανάλογα με το **ζωικό είδος**, την **ηλικία** και τη **θεραπευτική κατάσταση** του ζώου. Παρ' όλα αυτά, η μέση χημική σύνθεση των κανονικών οστών του αναπτυγμένου ζωικού σώματος έχει ως εξής:

Νερό (H ₂ O)	45%
Πρωτεΐνες	20%
Λίπος	10%
Ανόργανες ουσίες	25%

Η κατά προσέγγιση χημική σύσταση των ανόργανων ουσιών (της τέφρας) των οστών έχει ως εξής: Ca 36%, P 17%, Mg 0,8%. Αυτό σημαίνει ότι το Ca και ο P απαντούν στην τέφρα των οστών με την αναλογία 2:1 (Ca/P).

Ανάμεσα στα οστά και τα σωματικά υγρά που βρίσκονται σε επαφή με τα οστά, υπάρχει συνεχής ανταλλαγή ανόργανων στοιχείων, με τη μορφή ιόντων και με τη βοήθεια φυσικά του νερού των οστών.

Η περιεκτικότητα των οστών σε νερό κυμαίνεται πολύ σημαντικά, ανάλογα με την ηλικία και τη θεραπευτική κατάσταση του ζώου. Έτσι, με την πρόοδο της ηλικίας παρατηρείται προοδευτική μείωση της περιεκτι-

κότητας των οστών σε νερό, ενώ η περιεκτικότητα των οστών σε λίπος είναι σημαντικά υψηλότερη στα παχιά παρά στα άπαχα ζώα, καθώς και ότι το λίπος αυτό εναποτίθεται, στο μυελό των οστών.

Τα οστά εκτός από τις ανόργανες ουσίες περιέχουν και οργανική ουσία, η οποία χρησιμεύει ως μήτρα επάνω στην οποία εναποθέτονται οι ανόργανες ουσίες. Η οργανική αυτή ουσία αποτελείται, κατά βάση, από μίγμα πρωτεϊνών, μεταξύ των οποίων κυριότερη είναι το **κολλαγόνο**. Η ανόργανη ουσία εκτός από το Ca και το P, που όπως ήδη αναφέρθηκε αποτελούν τα κύρια συστατικά του, περιέχει: άλατα ανθρακικού οξέος καθώς και μικρά ποσά μαγνησίου, καλίου, νατρίου, χλωρίου, στροντίου, φθορίου, αλάτων του κιτρικού οξέος και, τέλος, ίχνη άλλων ανόργανων ουσιών.

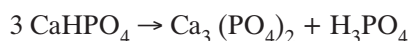
Τα στοιχεία **Ca** και **P** απαντούν στα οστά με μορφή παρόμοια με εκείνη που τα δύο αυτά ανόργανα απαντούν στο ορυκτό **απατίτης** ($3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{CaF}_2$). Το φθόριο μπορεί να υποκατασταθεί από τις ρίζες OH ή CO_3 . Παρ' όλα αυτά, η ανόργανη ουσία των οστών απαντά πρωταρχικά με τη μορφή του υδροξυαπατίτη:



όπου x = συντελεστής του οποίου η τιμή μπορεί να κυμαίνεται από 0 μέχρι 2. Όταν $x = 0$ η ένωση ονομάζεται **φωσφορικό οκτασβέστιο**· όταν $x = 2$ η ένωση λέγεται **υδροξυαπατίτης** και είναι εξαιρετικά σκληρή και δυσδιάλυτη.

Η περιεκτικότητα των οστών σε τέφρα χρησιμοποιείται κατά κανόνα ως μέτρο της κατάστασης των οστών από άποψη θρέψης με Ca και P, και αυτό διότι η τέφρα των οστών αποτελείται, σχεδόν εξ ολοκλήρου, από άλατα Ca και P, ενώ η σχέση των ποσοτήτων των δύο αυτών ανόργανων στοιχείων παραμένει σχεδόν σταθερή ή, για την ακρίβεια, παραλλάσσει αλλά πολύ λίγο.

Σχηματισμός των οστών. Η λειτουργία του σχηματισμού των οστών συνίσταται κατά βάση, στην εναπόθεση ανόργανων ουσιών επάνω στην οργανική τους μήτρα. Ο μηχανισμός εναπόθεσης αλάτων Ca, αν και όχι με ακρίβεια γνωστός, φαίνεται ότι συνίσταται στη συγκέντρωση μονόξινου φωσφορικού ασβεστίου (CaHPO_4). Ειδικότερα, τρία μόρια CaHPO_4 συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν ένα μόριο φωσφορικού ασβεστίου, με ταυτόχρονη αποβολή ενός μορίου φωσφορικού οξέος:

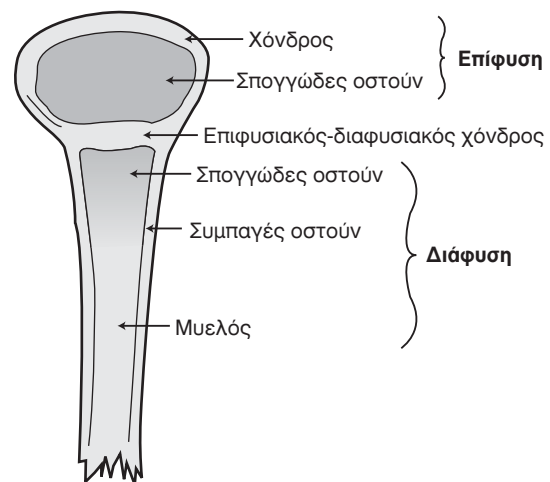


Στη συνέχεια, ιόντα ανθρακικού οξέος, φθορίου ή υδροξυλίου προστίθενται με πολύ ταχύ ρυθμό, με απο-

τέλεσμα να συμπληρώνεται ο σχηματισμός της κρυσταλλικής δομής που χαρακτηρίζει τον απατίτη. Δυστυχώς δε γνωρίζουμε με ακρίβεια, ακόμη και σήμερα, πώς γίνεται η εναπόθεση αυτή των κρυστάλλων. Εκείνο που με βεβαιότητα είναι γνωστό είναι ότι στην εναπόθεση αυτή συμβάλλουν διάφορα ένζυμα (φωσφατάσες κ.ά.) καθώς και η βιταμίνη D, αν και άγνωστο πώς.

Στο σημείο αυτό θεωρείται σκόπιμη η περιγραφή, κατά το δυνατό σύντομα, της κατασκευής των οστών και ιδιαίτερα των μακρών (οστών):

Κατασκευή των μακρών οστών: Η κατασκευή των μακρών οστών περιγράφεται στοιχειωδώς στην εικόνα 29.1.



Εικόνα 29.1. Σχηματική παράσταση άκρου ενός μακρού οστού (επιμήκης τομή).

Όπως φαίνεται και από το προηγούμενο σχήμα, το μακρό οστόν αποτελείται από τα εξής επί μέρους τμήματα:

α) **την επίφυση**, η οποία αποτελεί το άκρο του μακρού οστού, έχει τη μορφή σφαιροειδούς επάρματος και είναι γεμάτη με σπογγώδες οστόν.

β) **την διάφυση**, η οποία αποτελεί τον κορμό του μακρού οστού. Τα τοιχώματα της διάφυσης αποτελούνται από συμπαγές οστόν, ενώ, εσωτερικά, τα άκρα της είναι γεμάτα από σπογγώδες οστόν. Τέλος, το υπόλοιπο τμήμα της είναι κοίλο και περιέχει το μυελό των οστών.

γ) **τον επιφυσιο-διαφυσιακό χόνδρο**, δηλ. ένα στρώμα χόνδρου που διαχωρίζει την επίφυση από τη διάφυση.

Στην αρχή του σχηματισμού του μακρού οστού δεν υπάρχει η κοιλότητα του μυελού. Καθώς όμως ο κορμός του οστού αυξάνει σε διάμετρο, το παλαιότερο υλικό του οστού απομακρύνεται από το εσωτερικό και σχηματίζει έτσι την κοιλότητα, η οποία μάλιστα, με την πάροδο του χρόνου αυξάνει σε διάμετρο.

Η κατά μήκος αύξηση του οστού γίνεται με τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων του διάμεσου χόνδρου και την εναπόθεση ανόργανων ουσιών στις επιφάνειές του (τόσο στην επίφυση όσο και στη διάφυση). Όταν ο διάμεσος χόνδρος παύσει να αναπαράγεται, επέρχεται ολοκληρωτική ασβεστοποίησή του, με αποτέλεσμα να συνενώνεται η επίφυση με τη διάφυση.

– Μεταβολισμός των οστών

Διάφορες σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι στα οστά επιτελείται ενεργός μεταβολισμός, πράγμα που σημαίνει ότι, από χημική άποψη, ο σκελετός βρίσκεται σε εντελώς δυναμική και καθόλου στατική κατάσταση. Ειδικότερα, διάφορες έρευνες με ραδιοϊσότοπα έδειξαν ότι υπάρχει συνεχής ανταλλαγή ασβεστίου και φωσφόρου ανάμεσα στα οστά και το αίμα, καθώς και ανάμεσα στα διάφορα μέρη των οστών.

Έτσι, τα οστά δεν αποτελούν απλά μία αποθήκη ανοργάνων και ειδικότερα ασβεστίου και φωσφόρου, πράγμα που σημαίνει ότι η λειτουργία που επιτελούν δεν είναι μόνο δομική. Τα οστά λοιπόν αποτελούν αποθήκη ασβεστίου και φωσφόρου, τα οποία όμως μπορούν, ανά πάσα στιγμή, να κινητοποιηθούν, όταν η παροχή των ανόργανων αυτών στοιχείων δεν είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες του ζωικού οργανισμού.

Από τα προηγούμενα διαπιστώνεται ότι ο μεταβολισμός των ανοργάνων στα οστά περιλαμβάνει όχι μόνο την πρόσφυση ασβεστίου και φωσφόρου στα οστά, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, αλλά και τη συνεχή ανταλλαγή ασβεστίου και φωσφόρου ανάμεσα στα οστά και το αίμα. Ο ρυθμός της ανταλλαγής αυτής μπορεί να μετρηθεί με παρεντερική χορήγηση ραδιενεργού ασβεστίου (^{45}Ca) και τον προσδιορισμό του (δηλ. τη μέτρησή του) στο σκελετό.

– Το ασβέστιο και ο φωσφόρος στο αίμα

Τα κύτταρα του αίματος (δηλ. τα αιμοσφαίρια) στερούνται ασβεστίου. Αντίθετα, το πλάσμα του αίματος των περισσότερων ζωικών ειδών περιέχει **9-11 mg Ca ανά 100 ml**, με εξαίρεση το πλάσμα της ωτόκου όρνιθας, του οποίου η περιεκτικότητα σε ασβέστιο είναι 2-3 φορές, περίπου, υψηλότερη (**20-30 mg/ 100 ml**).

Το ασβέστιο στο πλάσμα των θηλαστικών με τη μορφή απαντά σε τρεις μορφές: το 50% περίπου βρίσκεται με τη μορφή ελεύθερων ιόντων, το 45% είναι ενωμένο με πρωτεΐνες του πλάσματος και, τέλος, το 5% περίπου σχηματίζει άλατα με το κιτρικό και το φωσφορικό οξύ.

Το πλήρες αίμα περιέχει **35-45 mg φωσφόρου ανά ml** με τη μορφή ορθοφωσφορικού οξέος (HPO_4^{2-} και H_2PO_4^-), το μεγαλύτερο μέρος του οποίου βρίσκεται στα αιματοκύτταρα. Τα επίπεδα ανόργανου φωσφό-

ρου στο πλάσμα του αίματος κυμαίνονται από **4 μέχρι 9 mg ανά 100 ml**. Το μεγαλύτερο μέρος των φωσφορικών αλάτων απαντά με τη μορφή ιόντων και μόνο μία μικρή ποσότητα δημιουργεί σύμπλοκα με πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες.

– Ρύθμιση του μεταβολισμού του Ca και του P και ομοιόσταση

Όπως ήδη αναφέρθηκε, μεταξύ των οστών και του αίματος καθώς και μεταξύ των διαφόρων μερών των οστών υφίσταται μία συνεχής ανταλλαγή ασβεστίου και φωσφόρου. Ο βαθμός (ή ρυθμός) της ανταλλαγής αυτής ποικίλλει από θέση σε θέση, αλλά είναι πολύ πιο ενεργός στο “σπογγώδες οστόν”. Αυτό λοιπόν σημαίνει ότι το “σπογγώδες οστόν” αποτελεί την κύρια θέση από την οποία οι εφεδρείες ασβεστίου και φωσφόρου κινητοποιούνται, για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες του ζώου, κάθε φορά που η πρόσληψη, μέσω του σιτηρεσίου, των ανόργανων αυτών στοιχείων είναι ανεπαρκής και όλα αυτά διότι η παροχή αίματος στο τμήμα αυτό του οστού είναι μεγαλύτερη.

Η κινητοποίηση του ασβεστίου και του φωσφόρου από τα οστά είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιόδους υψηλότερων αναγκών, όπως π.χ. κατά τη διάρκεια υψηλής γαλακτοπαραγωγής, ή ωοπαραγωγής, ή όταν επιτελείται ο σχηματισμός των οστών του εμβρύου κατά την εγκυμοσύνη. Παρ’ όλα αυτά όμως πρέπει να ξανατονιστεί αυτό που και σε προηγούμενη θέση αναφέρθηκε: **η ανταλλαγή ασβεστίου και φωσφόρου ανάμεσα στα οστά και το αίμα είναι συνεχής.**

Η αφαίρεση του ασβεστίου από τα οστά, η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως επαναπορρόφηση, από μέρους του αίματος, ελέγχεται από τους **παραθυροειδείς αδένες**. Έτσι, όταν τα ζώα διατρέφονται με σιτηρέσιο χαμηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο, προκαλείται διέγερση των παραθυροειδών αδένων, με αποτέλεσμα να παράγεται η ορμόνη “**παραθορμόνη**”, η οποία, με τη σειρά της, προκαλεί κινητοποίηση του ασβεστίου των οστών και επαναπορρόφηση του από το αίμα, για την ικανοποίηση των αναγκών του ζώου.

Επειδή όμως, όπως ήδη αναφέρθηκε, το ασβέστιο στα οστά είναι ενωμένο με το φωσφόρο, είναι ευνόητο ότι, παράλληλα με το ασβέστιο, απελευθερώνεται από τα οστά και ο φωσφόρος, ο οποίος και αποβάλλεται από το σώμα κυρίως με τα ούρα. Αυτό σημαίνει ότι ο σκελετός δεν μπορεί να απελευθερώσει το ένα από τα δύο αυτά ανόργανα στοιχεία, χωρίς ταυτόχρονα να απελευθερώσει και κάποια ισοδύναμη ποσότητα του άλλου. Έτσι εξηγείται γιατί η ανεπαρκής χορήγηση στα ζώα καθενός από τα ανόργανα αυτά στοιχεία περιορίζει τη θρεπτική αξία και των δύο.

Σε αντίθεση με το σκελετό, το Ca και ο P των

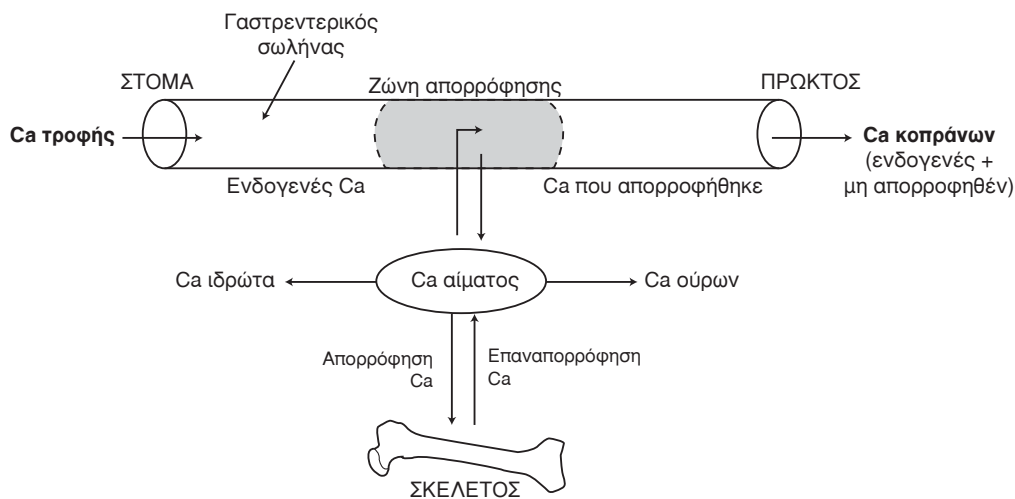
δοντιών κινητοποιείται και αντικαθίσταται ελάχιστα. Αυτό σημαίνει ότι άπαξ και τα δόντια σχηματιστούν, ελάχιστα επηρεάζονται, τόσο από τις μεταβολικές ανάγκες του σώματος στις ανόργανες αυτές ουσίες, όσο και από τον εφοδιασμό των ζώων με τα ανόργανα αυτά, μέσω του σιτηρεσίου.

Η σύσταση σε ανόργανα των δοντιών είναι παρόμοια με εκείνη των οστών. Το σμάλτο των δοντιών, η σκληρότερη ουσία του ζωικού σώματος, περιέχει μόνο 5% νερό και 3,5% ανόργανη ουσία. Μικρές ποσότητες φθορίου, με τη μορφή του απατίτη $[Ca_{10}(PO_4)_6F_2]$, ολοκληρώνουν τη δομή τόσο των δοντιών όσο και των οστών.

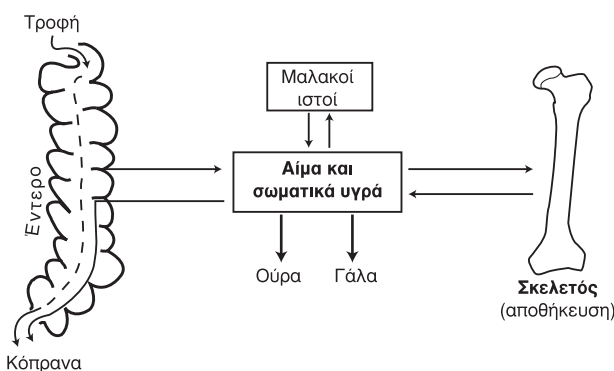
Στις εικόνες 29.2 και 29.3 δίνεται ένα γενικό πλάνο του μεταβολισμού του Ca καθώς και του Ca και P, αντίστοιχα, ενώ στην εικόνα 29.4 δίνονται οι βασικοί δρόμοι μεταβολισμού του Ca στην περίπτωση του αναπτυσσόμενου χοίρου, ενώ, παράλληλα, παρατίθεται ένας πλήρης ισολογισμός του Ca (σε g/ημ.).

Τα μακροστοιχεία που προσλαμβάνονται μέσω των τροφών (Ca, P, Mg, K, Na), αφού απορροφηθούν, εισέρχονται στο αίμα, το οποίο και χρησιμεύει ως μεταβολική δεξαμενή ανταλλαγής ιόντων Ca και P ανάμεσα στα διάφορα όργανα του σώματος. Η περιεκτικότητα σε Ca και P του αίματος διατηρείται σταθερή περίπου, μέσω της ρυθμιστικής δράσεως: 1) της ορμόνης των παραθυρεοειδών αδένων (δηλ. της **παραθορμόνης, PTH**), 2) της **καλιτονίνης** και 3) της 1,25 **διϋδροξυ-χολο-καλσιφερόλης**, δηλ. του ενεργού μεταβολίτη της βιταμίνης D. Οι ορμόνες αυτές επιτελούν τις παρακάτω βασικές λειτουργίες: α) ελέγχουν την απορρόφηση του Ca και του P μέσω του γαστρεντερικού σωλήνα, β) επηρεάζουν την εναπόθεση των δύο αυτών στοιχείων στα οστά και γ) επιδρούν επάνω στο βαθμό απέκκρισης των δύο αυτών στοιχείων μέσω των κοπράνων και των ούρων.

Όταν το Ca του ορού του αίματος κατεβεί σε χαμηλά επίπεδα, είτε εξαιτίας μιας μη ικανοποιητικής πρόσ-

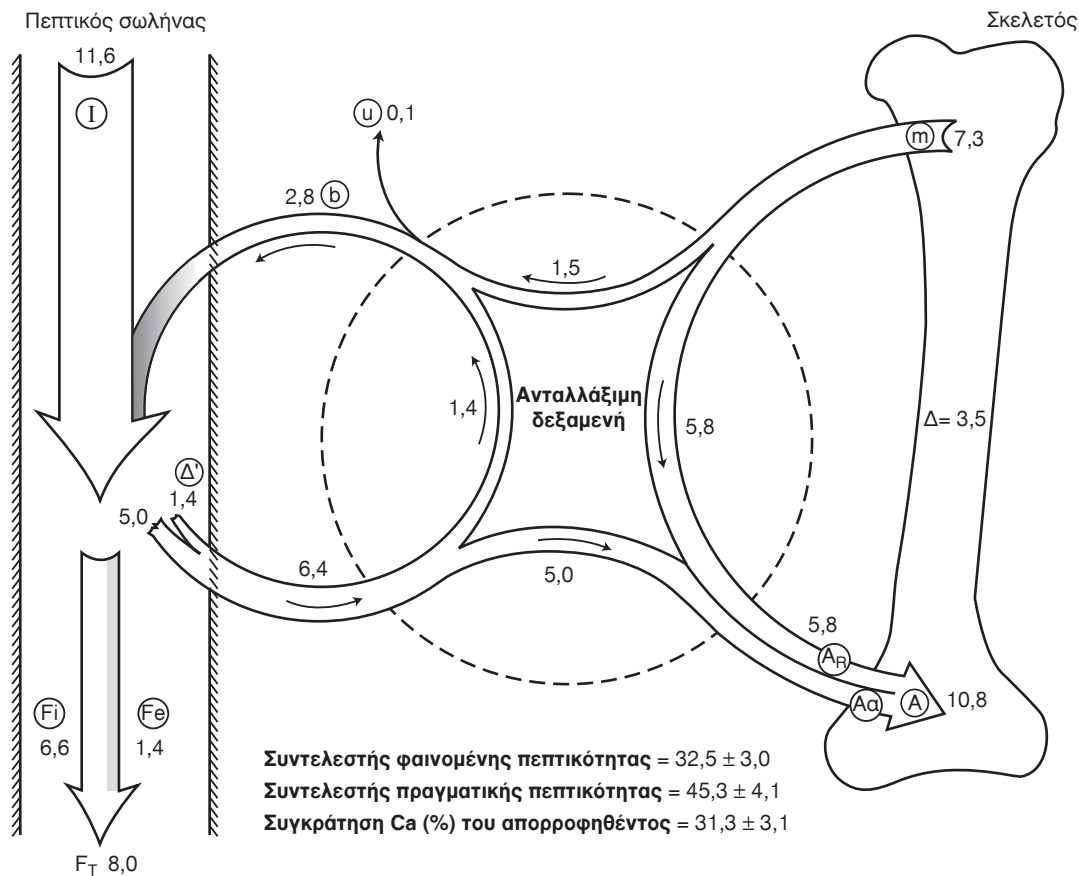


Εικόνα 29.2. Σχηματική παράσταση του όλου μεταβολισμού του Ca (Pond, W.G. et al, 1996).



Εικόνα 29.3. Διάγραμμα μεταβολισμού του Ca και του P στο ζωικό σώμα.

ληψης, μέσω της τροφής, ασβεστίου, είτε λόγω αύξησης των διατροφικών αναγκών σε Ca (π.χ. στην περίπτωση των αγελάδων υψηλής γαλακτοπαραγωγής ή των ωτόκων ορνίθων), εκκρίνεται η παραθορμόνη, μία ορμόνη της οποίας το μόριο αποτελείται από μία απλή (μη διακλαδισμένη) πολυπεπτιδική, αλυσίδα με 84 μόρια αμινοξέων και η οποία έχει ένα μοριακό βάρος 8.500. Μέσω ενός μηχανισμού οπισθοτροφοδότησης (feedback), η χαμηλή περιεκτικότητα σε Ca του πλάσματος διεγείρει τη δραστηριότητα των παραθυρεοειδών αδένων, οι οποίοι και εκκρίνουν την παραθορμόνη. Η ορμόνη αυτή επιτυγχάνει την ανύψωση της περιεκτικότητας του αίματος σε Ca κατά 3 τρόπους:



Υπόμνημα

I = Ca που προσλήφθηκε
 Fi = Ca που δεν απορροφήθηκε
 Fe = Ca μεταβολικό κοπράνων
 F_T = Ca που απομακρύνθηκε με τα κόπρανα

u = Ca ούρων
 a = Ca που απορροφήθηκε
 b = Ca ενδογενές του οποίου ένα μέρος α' επαναπορροφήθηκε
 m = Ca που κινητοποιήθηκε

A = { Ca που αποθηκεύτηκε
 Ar = Ca που χρησιμοποιήθηκε και ανακυκλώθηκε
 Aa = Ca διατροφικής προέλευσης

Δ = Ca που κατακρατήθηκε στο σκελετό

Εικόνα 29.4. Οι βασικοί δρόμοι του μεταβολισμού του Ca στον αναπτυσσόμενο χοίρο (σε g Ca ανά ημέρα). (Κατά τους Besancon - GUEGUEN, 1969).

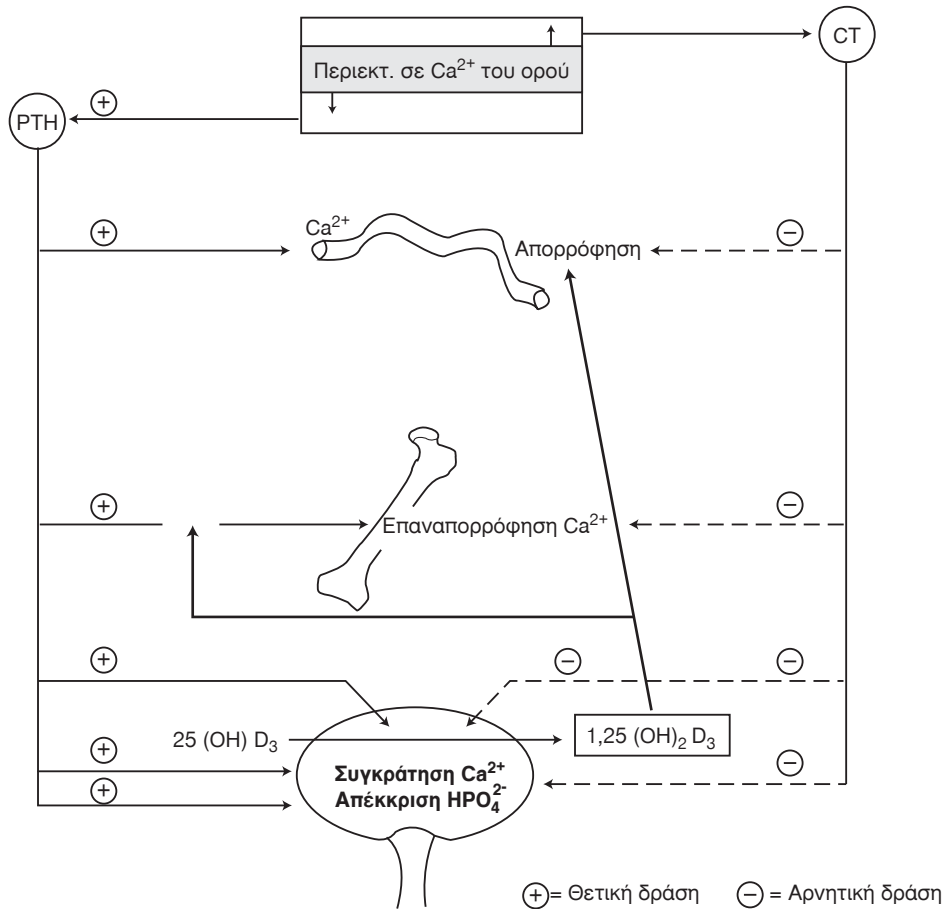
- α) αυξάνοντας την κινητοποίηση του ασβεστίου από τα οστά
- β) αυξάνοντας την επαναπορρόφηση του ασβεστίου και
- γ) αυξάνοντας την παραγωγή της βιταμίνης D με την ορμονική της μορφή (1,25-διϋδροξυ-χολοκαλσιφερόλη)

Η ορμόνη PTH παίζει σπουδαίο ρόλο στο μετασχηματισμό της βιταμίνης D στον ενεργό μεταβολίτη της (1,25 (OH)₂ D₃), ο οποίος, με τη σειρά του, διεγείρει την απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου από

το έντερο και ο οποίος ασκεί ευνοϊκή επίδραση στις παρακάτω αντίστροφες διαδικασίες: την επαναπορρόφηση από τα οστά και το σχηματισμό των οστών.

Γενικά, οι διάφορες δράσεις της PTH παίζουν πρωταρχικής σημασίας ρόλο στη ρύθμιση της περιεκτικότητας του ορού σε ασβέστιο (εικ. 29.5).

Η ορμόνη **καλσιτονίνη (CT)** δρα ως ένας φυσιολογικός ανταγωνιστής της ορμόνης PTH καθώς και της ορμονικής μορφής της βιταμίνης D. Η καλσιτονίνη είναι ένα πολυπεπίδιο, το οποίο περιέχει 32 αμινοξέα και εκκρίνεται από τα κύτταρα C του θυρεοειδή αδένος



Εικόνα 29.5. Μηχανισμός ομοίωσης του ασβεστίου, με την παρέμβαση της παραθορμόνης (PTH), της καλσιτονίνης (CT) και της ενεργού βιταμίνης D (δηλ. της $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$). (Κατά Wesserman, *Dukes' Physiology of Domestic Animals*, 7th edn, 1977, p. 742).

των θηλαστικών, καθώς και από ειδικούς **αδένες** που είναι τοποθετημένοι στη χαμηλότερη περιοχή του ράμφους των πτηνών.

Όταν το επίπεδο του ασβεστίου του αίματος είναι υψηλό, η καλσιτονίνη εκκρίνεται και προλαμβάνει την κινητοποίηση του ασβεστίου από τα οστά στον ορό του αίματος. Επίσης, παρεμποδίζει την επαναπορρόφηση των ιόντων ασβεστίου στους νεφρούς, με τελική συνέπεια την ταχεία μείωση του επιπέδου του ασβεστίου στο αίμα. Πέρα από τα προηγούμενα, φαίνεται ότι η ορμόνη αυτή διεγείρει το σχηματισμό των οστών. Η δράση της καλσιτονίνης, αντίθετη προς εκείνη της παραθορμόνης, είναι παρόμοια με τη δράση του ορμονικού συστήματος “ινσουλίνη - γλυκάγο” στο φαινόμενο της ρύθμισης της γλυκόζης του αίματος.

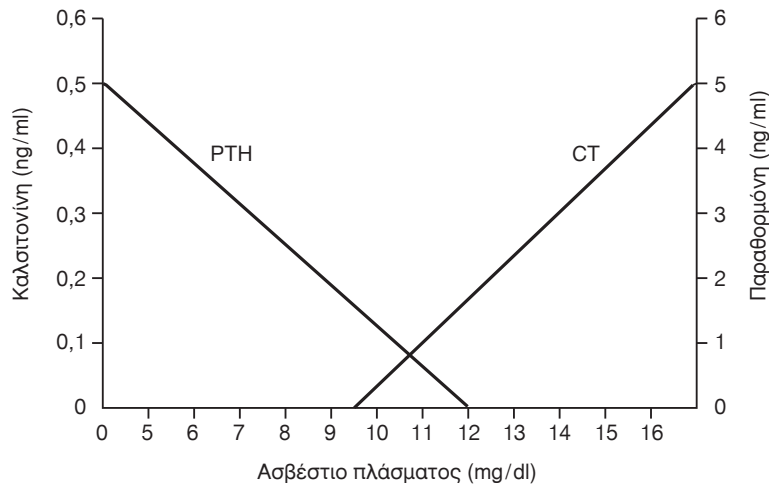
Η περιεκτικότητα σε καλσιτονίνη είναι ευθέως ανάλογη προς την περιεκτικότητα του πλάσματος σε ασβέστιο, ενώ εκείνη της PTH είναι αντιστρόφως ανάλογη (βλ. εικ. 29.6).

Η περιεκτικότητα του πλάσματος σε φωσφόρο ρυθμίζεται, σε μεγάλο βαθμό, ανεξάρτητα από εκείνη του ασβεστίου. Η έλλειψη φωσφόρου αυξάνει, όπως

συμβαίνει και με το ασβέστιο, τη σύνθεση της ορμονικής μορφής της βιταμίνης D (δηλ. της $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$), η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει την απορρόφηση φωσφόρου από το έντερο. Μία άλλη θέση (όργανο) του σώματος, πολύ πιο σημαντική, για τον έλεγχο της περιεκτικότητας του πλάσματος σε φωσφόρο είναι οι νεφροί, όπου η επαναπορρόφηση του φωσφόρου αυξάνει με τη δράση της PTH καθώς και με τη δράση της $1,25-(\text{OH})_2\text{D}_3$. Πέρα από τα προηγούμενα, οποιαδήποτε αλλαγή στην περιεκτικότητα σε φωσφόρο του πλάσματος μπορεί να συντελέσει στη ρύθμιση του ασβεστίου του πλάσματος, και αντιστρόφως, ενώ ανεπάρκεια ασβεστίου ή φωσφόρου στην τροφή οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής της PTH και της $1,25-(\text{OH})_2\text{D}_3$ και κατά συνέπεια, σε αύξηση του βαθμού απορρόφησης των δύο αυτών ανόργανων στοιχείων.

Λειτουργίες του ασβεστίου και του φωσφόρου στους μαλακούς ιστούς και τα σωματικά υγρά

Όπως ήδη αναφέρθηκε, μία πολύ μικρή αναλογία (1%) του ασβεστίου του ζωικού σώματος καθώς και μία μικρή αναλογία (20%) του φωσφόρου απαντούν



Εικόνα 29.6. Επίδραση των μεταβολών του ασβεστίου του ορού στην περιεκτικότητα του ορού σε παραθορμόνη (PTH) και σε καλσιτονίνη (CT) (κατά τον Potter, σε διασκευή των Pike, R.L. και Brown, M.L. *Nutrition: An Integrated Approach*, 2nd edn, 1975, p. 639. New York: John Wiley and Sons).

στους μαλακούς ιστούς και τα σωματικά υγρά. Η σημασία του αίματος στην παροχή ασβεστίου και φωσφόρου για την ικανοποίηση των αναγκών σχηματισμού των οστών έχει ήδη περιγραφεί στα προηγούμενα.

Τα ιόντα ασβεστίου και φωσφόρου μετέχουν, και μάλιστα σε σημαντικό βαθμό, στη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης και της οξεο-βασικής ισορροπίας του σώματος και των υγρών των σωματικών ιστών. Παρ' όλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι το ασβέστιο και ο φωσφόρος στους σωματικούς ιστούς και τα σωματικά υγρά επιτελούν και αρκετές άλλες ειδικές λειτουργίες, οι οποίες και θα περιγραφούν αμέσως παρακάτω, και μάλιστα χωριστά για το ασβέστιο και χωριστά για το φωσφόρο.

– Λειτουργίες του ασβεστίου

Το ασβέστιο των μαλακών ιστών, καθώς και το μαγνήσιο, παίζουν πρωταρχικό ρόλο **στη ρύθμιση της νευρομυϊκής διεγερσιμότητας**, την οποία και μειώνουν, σε αντίθεση με το κάλιο και το νάτριο των ιστών αυτών, τα οποία δρουν ανταγωνιστικά, δηλ. αυξάνουν τη νευρομυϊκή διεγερσιμότητα. Η τιμή της νευρομυϊκής διεγερσιμότητας εκφράζεται με την τιμή του πηλίκου:

$$\frac{[\text{Na}^+] + [\text{K}^+]}{[\text{Mg}^{2+}] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{H}^+]}$$

Τα ιόντα του αριθμητή στο προηγούμενο κλάσμα δρουν διεγερτικά, ενώ τα ιόντα του παρονομαστή κατευναστικά.

Μία άλλη σημαντική λειτουργία του ασβεστίου είναι ότι το μακροστοιχείο αυτό είναι απαραίτητο για την κανονική λειτουργία των σκελετικών και των καρ-

διακών μυών, καθώς και για την πήξη του αίματος κατά τις αιμορραγίες.

Επίσης, το ασβέστιο συνδέεται, όπως ήδη αναφέρθηκε, με τη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης και της οξεο-βασικής ισορροπίας.

Τέλος, μία άλλη, μεγάλης σημασίας, λειτουργία του ασβεστίου είναι ότι δρα ως ενεργοποιός ουσία διαφόρων ενζύμων μεγάλης σπουδαιότητας, όπως είναι π.χ. η **παγκρεατική λιπάση**, η **όξινη φωσφατάση**, η **χολινεστεράση κ.ά.**

Στον ορό του αίματος το ασβέστιο απαντά, κατά ένα μέρος ενωμένο με πρωτεΐνες, σε κolloειδή κατάσταση (40%), και κατά ένα άλλο μέρος με τη μορφή ανόργανων ενώσεων, κυρίως φωσφορικών και διττανθρακικών αλάτων (60%). Από τα δύο αυτά τμήματα, το δεύτερο έχει ιδιαίτερη σημασία για τη θρέψη του ζωικού οργανισμού για τον απλό λόγο ότι ιονίζεται εύκολα. Επιπρόσθετα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στο ιονισμένο και το ενωμένο (με πρωτεΐνες) ασβέστιο.

Το επίπεδο του ασβεστίου στον ορό του αίματος ρυθμίζεται, όπως ήδη αναφέρθηκε, πρωταρχικά, από την ορμόνη των παραθυροειδών αδένων και, κατά δεύτερο λόγο, από την καλσιτονίνη, ενώ δεν επηρεάζεται εύκολα από την ποσότητα ασβεστίου που προσλαμβάνεται μέσω της τροφής. Και όλα αυτά παρά το γεγονός ότι η κύρια πηγή του ασβεστίου του σώματος είναι, αναμφίβολα, η τροφή.

Όταν οι ανάγκες σε ασβέστιο του ζωικού οργανισμού αυξάνονται, η παραθορμόνη διατηρεί σταθερό το επίπεδο του ασβεστίου στον ορό του αίματος μέσω της κινητοποίησης ασβεστίου από τα οστά. Εάν οι παραθυροειδείς αδένες αφαιρεθούν, ή διαταραχθεί η λειτουργία τους, η τιμή της ασβεστιαϊμίας μειώνεται, οπό-

τε παρατηρείται υπερδιεγερσιμότητα του νευρομυϊκού συστήματος, η οποία σε βαριές περιπτώσεις καταλήγει σε σπασμούς (**τετανία**). Λεπτομέρειες πάνω στο τελευταίο αυτό θέμα θα αναφερθούν παρακάτω, στην ενότητα “**συμπτώματα ανεπάρκειας ασβεστίου**”.

– Λειτουργίες του φωσφόρου

Ο φωσφόρος που δε βρίσκεται στα οστά, δηλ. ένα ποσοστό περίπου 20% του συνολικού φωσφόρου του ζωικού σώματος, απαντά στους μαλακούς ιστούς, ενώ μένος, ως επί το πλείστον, με οργανικές ενώσεις, δηλ. με τη μορφή **φωσφοπρωτεϊδών, νουκλεοπρωτεϊδών, νουκλεϊνικών οξέων, φωσφολιπιδίων, φωσφοκρεατίνης, ATP, ADP κ.ά.** Η σημασία των ενώσεων αυτών υποδεικνύει τον τεράστιο πολλαπλό ρόλο του φωσφόρου στις διάφορες λειτουργίες του οργανισμού, οι κυριότερες από τις οποίες αναπτύσσονται αμέσως παρακάτω:

Ο φωσφόρος, πρώτα απ’ όλα, παίζει πρωταρχικό ρόλο στο μεταβολισμό των υδατανθράκων, αφού συμμετέχει, με τη μορφή των φωσφορικών ενώσεων ATP και ADP, στο σχηματισμό των φωσφορικών εστέρων των εξοζών (γλυκόζης, φρουκτόζης κ.λ.π.), κατά τη διάρκεια της γλυκόλυσης και της γλυκοσύνθεσης.

Ένας άλλος σημαντικός ρόλος του φωσφόρου είναι ότι παρεμβαίνει στο μεταβολισμό των λιπών και των πρωτεϊνών, καθώς και στη διατήρηση της οξεοβασικής ισορροπίας του οργανισμού.

Όπως και σε προηγούμενη θέση αναφέρθηκε, το επίπεδο του φωσφόρου στο πλήρες αίμα ανέρχεται σε 35-45 mg ανά 100 ml και απαντά κυρίως στα ερυθρά αιμοσφαίρια, με διάφορες μορφές και κυρίως σε οργανικούς δεσμούς.

Το επίπεδο του ανόργανου φωσφόρου στο πλάσμα του αίματος, που είναι και το σημαντικότερο από την άποψη της θρέψης του οργανισμού με φωσφόρο, κυμαίνεται ανάμεσα στα 4-9 mg ανά 100 ml πλάσματος και εξαρτάται από την ηλικία και το είδος του ζώου. Έτσι, το επίπεδο του ανόργανου φωσφόρου στο πλάσμα του αίματος είναι υψηλότερο κατά τη γέννηση του ζώου και μειώνεται με την πρόοδο της ηλικίας του. Είναι υψηλότερο στους χοίρους (8 mg ανά 100 ml) και χαμηλότερο στα πρόβατα, τις αίγες και τα βοοειδή (5-6 mg ανά 100 ml). Το επίπεδο αυτό μπορεί να αποβεί χρήσιμος οδηγός κατά τη θρέψη του οργανισμού με φωσφόρο, μόνον όταν οι σχετικές παρατηρήσεις αναφέρονται σε μεγάλη σχετικά χρονική περίοδο, κι αυτό διότι το επίπεδο αυτό επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι: οι νεφροί, οι παραθυρεοειδείς αδένες κ.ά.

Απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου από τον πεπτικό σωλήνα

Μία ορθή, από άποψη ασβεστίου και φωσφόρου, θρέψη του ζωικού οργανισμού εξαρτάται όχι μόνον

από την επαρκή πρόσληψη, μέσω των τροφών, των δύο αυτών ανόργανων στοιχείων αλλά και από τη σχέση τους στο σιτηρέσιο (η οποία και θα αναλυθεί διεξοδικότερα πιο κάτω, σε χωριστή ενότητα), όπως επίσης και από την παρουσία άλλων ενώσεων ή ιόντων στο σιτηρέσιο. Η βιταμίνη D αποτελεί τον σπουδαιότερο από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα του ασβεστίου και του φωσφόρου.

Η κύρια θέση απορρόφησης του ασβεστίου και του φωσφόρου των τροφών είναι το **δωδεκαδάκτυλο**, στα περισσότερα τουλάχιστον ζωικά είδη, ενώ σημαντικές ποσότητες των ανοργάνων αυτών (ενδογενούς προέλευσης) εκκρίνονται στο κατώτερο τμήμα του λεπτού εντέρου.

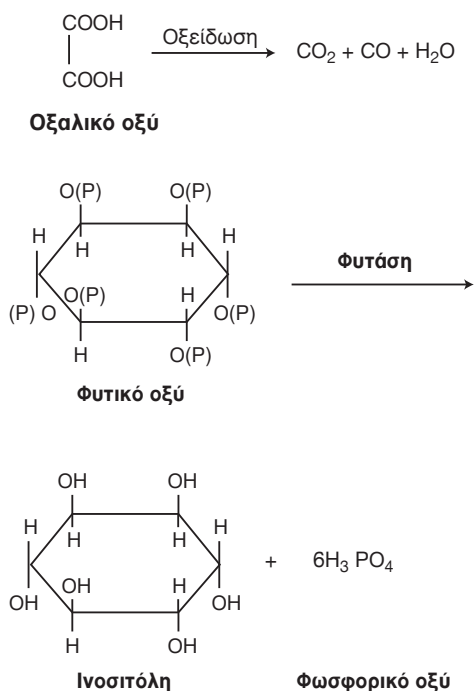
Η κατανομή της απέκκρισης ασβεστίου και φωσφόρου ανάμεσα στα κόπρανα και τα ούρα καθώς και η παρουσία σημαντικών, από ποσοτική άποψη, ενδογενών κλασμάτων των δύο αυτών ανοργάνων στα κόπρανα των μηρυκαστικών έχει ήδη περιγραφεί στην αρχή αυτού του κεφαλαίου. Οι απώλειες με τα κόπρανα του, ενδογενούς προέλευσης, ασβεστίου και φωσφόρου προσδιορίζεται με πειράματα ισολογισμού, με τη χρήση ραδιενεργού ασβεστίου (⁴⁵Ca), και είναι ανεξάρτητες από τις ποσότητες των δύο αυτών ανοργάνων που προσλαμβάνονται ή απορροφώνται, ενώ είναι ευθέως ανάλογες προς το βάρος του ζωικού σώματος. Οι απώλειες αυτές με τα κόπρανα ενδογενούς ασβεστίου, για τα βοοειδή, είναι περίπου 16 mg ανά kg Ζ.Β. Οι αντίστοιχες απώλειες σε φωσφόρο (ενδογενή) είναι 10 mg ανά kg Ζ.Β. για τα απογαλακτισμένα βοοειδή και 4 mg ανά kg Ζ.Β. για τους μόσχους που τρέφονται με γάλα. Οι αντίστοιχες απώλειες με τα ούρα είναι πολύ μικρότερες: 0,8 mg ασβεστίου και 2 mg φωσφόρου ανά kg Ζ.Β.

Η απορρόφηση, δηλ. η “αληθής πεπτικότητα” (αγγλ. true digestibility) του ασβεστίου στα μηρυκαστικά κυμαίνεται από 22 μέχρι 55% και είναι κατά μέσο όρο ίση με 45%. Η απορροφησιμότητα του ασβεστίου και του φωσφόρου στα βοοειδή μειώνεται με την ηλικία. Η απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου από το γάλα είναι πολύ περισσότερο αποτελεσματική (γύρω στο 90%) από ό,τι για τις χονδροειδείς τροφές και τα μίγματα συμπυκνωμένων τροφών.

Εκτός από την παρουσία της βιταμίνης D, η απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου εξαρτάται και από πολλούς άλλους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τη διαλυτότητα (solubility) των δύο αυτών ανοργάνων στο σημείο επαφής τους με τις απορροφητικές επιφάνειες (μεμβράνες).

Πρόσληψη μεγάλων ποσοτήτων αλάτων σιδήρου, αλουμινίου και μαγνησίου επηρεάζει αρνητικά την απορρόφηση του φωσφόρου, και αυτό διότι οδηγεί

στο σχηματισμό αδιάλυτων φωσφορικών αλάτων. Κατά παρόμοιο τρόπο, στα μονογαστρικά ζώα, υψηλά επίπεδα λίπους αυξάνουν τις απώλειες ασβεστίου με τα κόπρανα, μέσω του σχηματισμού σαπώνων. Η βιοδιαθεσιμότητα του ασβεστίου στα ζώα αυτά μειώνεται με την παρουσία **οξαλικού ή φυτικού οξέος**, διότι τα εν λόγω οξέα σχηματίζουν με το ασβέστιο άλατα (οξαλικά ή φυτικά, αντίστοιχα), τα οποία καθιζάνουν και παρεμποδίζουν έτσι την απορρόφησή τους. Τα οξαλικά άλατα απαντούν κυρίως στα ζαχαρότευτλα και τα υποπροϊόντα τους, ενώ τα άλατα του φυτικού οξέος στους καρπούς των δημητριακών και ακόμη περισσότερο στα πίτυρα και στους πλακούντες των ελαιούχων σπόρων. Ο φωσφόρος, ιδιαίτερα, που απαντά με τη μορφή φυτικών αλάτων είναι πολύ λίγο διαθέσιμος για τα μονογαστρικά ζώα ιδιαίτερα. Υπολογίζοντας τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου που περιέχεται στις τροφές που προορίζονται για πουλερικά, διαπιστώνεται ότι, ενώ ο φωσφόρος των ανόργανων συμπληρωμάτων ή των τροφών ζωικής προέλευσης έχει μία βιοδιαθεσιμότητα περίπου 100%, η βιοδιαθεσιμότητα του φωσφόρου των τροφών φυτικής προέλευσης είναι περίπου 30%. Το ασβέστιο που απαντά με τη μορφή οξαλικών ή φυτικών αλάτων, όπως και ο φωσφόρος που απαντά με τη μορφή φυτικών αλάτων είναι διαθέσιμος (αφομοιώσιμος) για τα μηρυκαστικά, επειδή το οξαλικό οξύ οξειδώνεται πλήρως, από τα μικροβιακά ένζυμα, σε CO_2 και H_2O , όπως επίσης και τα φυτικά άλατα υδρολύονται από τις **μικροβιακές φυτάσες**, στο εσωτερικό της μεγάλης κοιλιάς, σε ινοσιτόλη και φωσφορικό οξύ:



Αν και για το θέμα της απορρόφησης ασβεστίου και φωσφόρου αναφέρθηκαν κάποιες γενικές παρατηρήσεις στα προηγούμενα, θεωρείται σκόπιμο να δοθούν κάποιες πρόσθετες πληροφορίες που αφορούν το καθένα από τα δύο αυτά ανόργανα χωριστά:

Η απορρόφηση του ασβεστίου επιτελείται, κατά κύριο λόγο, στο πρόσθιο τμήμα του λεπτού εντέρου (δηλ. στο δωδεκαδάκτυλο), όπου η τιμή του pH είναι μικρότερη (γύρω στο 6,5). Αντίθετα, ο φωσφόρος απορροφάται κυρίως στο χαμηλότερο τμήμα του λεπτού εντέρου, όπου η τιμή του pH είναι υψηλότερη (7,5-8,0). Η απορρόφηση του ασβεστίου στο λεπτό έντερο ευνοείται:

- α) από τη μεγαλύτερη οξύτητα
- β) από την κατανάλωση τροφών στις οποίες πλεονάζουν οι ανόργανες ουσίες που σχηματίζουν οξέα και
- γ) από την κατανάλωση σιτηρέσιων που περιέχουν λακτόζη

Η θετική αυτή επίδραση της λακτόζης στην απορρόφηση του ασβεστίου μπορεί να αποδοθεί, κυρίως, στη σχετικά βραδύτερη πέψη της λακτόζης, η οποία οδηγεί στη ζύμωσή της καθώς και στην ανάπτυξη οξύτητας, η οποία, με τη σειρά της, ευνοεί την απορρόφηση του ασβεστίου.

Εάν στο σιτηρέσιο υπάρχει περίσσεια ασβεστίου, έναντι του φωσφόρου, δηλ. ποσότητα ασβεστίου μεγαλύτερη από εκείνη που μπορεί να απορροφηθεί στο δωδεκαδάκτυλο, παραμένει ελεύθερο ασβέστιο στην περιοχή του λεπτού εντέρου όπου γίνεται η απορρόφηση του φωσφόρου, με άμεση συνέπεια, το ασβέστιο αυτό να συνδυάζεται με το φωσφόρο και να σχηματίζει δυσδιάλυτο φωσφορικό ασβέστιο, παρακωλύοντας έτσι την απορρόφηση του φωσφόρου.

Κάτι ανάλογο ισχύει και για το φωσφόρο. Έτσι, η περίσσεια του φωσφόρου, έναντι του ασβεστίου, στο σιτηρέσιο, προκαλεί μείωση της απορρόφησης και των δύο αυτών ανόργανων στοιχείων, γεγονός που εξηγεί γιατί η ύπαρξη ορισμένης ποσοτικής σχέσης μεταξύ του ασβεστίου και του φωσφόρου στο σιτηρέσιο έχει τόσο πολύ μεγάλη σημασία.

Απέκκριση ασβεστίου και φωσφόρου

– Απέκκριση του Ca

Οι τρεις βασικοί δρόμοι απέκκρισης του Ca είναι τα **κόπρανα**, τα **ούρα** και ο **ιδρώτας**. Το ασβέστιο των κοπράνων περιλαμβάνει τόσο το κλάσμα του Ca που δεν απορροφήθηκε όσο και το ενδογενές ασβέστιο, το οποίο κατά ένα μεγάλο μέρος προέρχεται από τις εκκρίσεις του εντερικού επιθηλίου· το τελευταίο είναι δυνατόν να επαναπορροφηθεί κατά ένα μέρος. Το ενδογενές Ca αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό γύρω στο 20-30% του συνολικού Ca των κοπράνων. Ο συντελε-

στής φαινομένης απορροφητικότητας $[(Ca \text{ τροφής} - Ca \text{ κοπράνων}) / Ca \text{ τροφής}] \times 100$ του Ca κυμαίνεται γενικά γύρω στο 50%, ενώ η τιμή του μειώνεται με την αύξηση της πρόσληψης Ca.

Οι απώλειες Ca μέσω των ούρων είναι, γενικά, σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες απώλειες μέσω των κοπράνων, στα περισσότερα ζωικά είδη (Πίν. 29.1).

Πίνακας 29.1. Κατανομή του απεκκρινόμενου Ca μέσω των κοπράνων και των ούρων στην περίπτωση του ανθρώπου, των βοοειδών και των επιμύων

Είδη	Πρόσληψη Ca	Ca κοπράνων (mg ανά ημέρα)	Ca ούρων	
• Άνθρωπος				
– Άρρενες	11-16 ετών	1866	1018	127
	23 ετών	1461	1229	72
– Θήλειες	14-16 ετών	874	655	194
	55-63 ετών	713	586	500
• Βοοειδή	νεαρά, ώριμα	29000	27000	500
• Επίμυες	12 εβδομ.	44,1	20,8	0,9

Πηγή: Bronner (1964)

Η μισή ποσότητα περίπου του Ca του πλάσματος, το οποίο βρίσκεται πρωταρχικά με τη μορφή ιόντων, φιλτραρέται στους νεφρούς, ενώ ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 99% του Ca αυτού επαναπορροφάται κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Τα **διουρητικά**, γενικά, δεν φαίνεται να επηρεάζουν την απέκκριση Ca. Αντίθετα, οι **χηλικές** ενώσεις, όπως μεγάλες ενδοφλέβιες δόσεις κιτρικού νατρίου, ή αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικού νατρίου (Na-EDTA) ή Ca - EDTA, αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό την απέκκριση Ca. Αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν με έρευνες στον άνθρωπο, οδήγησαν στη διαπίστωση ότι αύξηση της πρόσληψης διατροφικής πρωτεΐνης πέραν των μεταβολικών αναγκών, οδηγεί σε ελαφρά αύξηση της απέκκρισης Ca μέσω των ούρων.

Οι απώλειες Ca μέσω του ιδρώτα θεωρούνται μικρής μόνο σημασίας για τα περισσότερα είδη ζώων. Παρ' όλα αυτά, στον άνθρωπο, τον ίππο και κάποια άλλα ζωικά είδη, τα οποία ιδρώνουν έντονα, μεγάλες ποσότητες Ca είναι δυνατόν να "χαθούν" μέσω αυτής της οδού. Αναφέρεται ως παράδειγμα ότι σε έναν ώριμο άνδρα που εκτελεί βαριά εργασία και κάτω από υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος οι απώλειες Ca μπορεί να είναι μεγαλύτερες από 1g/ημέρα. Αυτό σημαίνει ότι, στην περίπτωση αυτή, οι απώλειες μέσω του ιδρώτα είναι δυνατόν να αποδειχθούν ίσες ή και μεγαλύτερες από τις απώλειες μέσω των κοπράνων και των ούρων.

– Απέκκριση φωσφόρου

Η έκκριση φωσφόρου στον αυλό του εντέρου (εν-

δογενής P κοπράνων) γίνεται (όπως και για το ασβέστιο), μόνο που, στην προκειμένη περίπτωση, η εν λόγω απώλεια P δεν αντιπροσωπεύει μία υψηλή αναλογία των ημερήσιων απωλειών, όπως στην περίπτωση του ασβεστίου. Η μεγαλύτερη ποσότητα P απεκκρίνεται μέσω των νεφρών και η νεφρική αυτή απέκκριση φαίνεται να αποτελεί τον κύριο ρυθμιστή της συγκέντρωσης P στο αίμα. Όταν η απορρόφηση P, μέσω του εντέρου, είναι χαμηλή, η απέκκριση P μέσω των ούρων, τείνει προς ένα πολύ χαμηλό επίπεδο, ενώ, παρόλα αυτά, παρατηρείται επαναπορρόφηση P μέσω των νεφρικών σωληνίσκων, που προσεγγίζει το ποσοστό 99%. Η απέκκριση P μέσω των νεφρών βρίσκεται κάτω από τον έλεγχο της **ορμόνης των παραθυροειδών αδένων** (παραθορμόνης) και της **1,25-διϋδροξυβιταμίνης D**, ως μέρους του όλου ομοιοστατικού μηχανισμού του αίματος για το Ca και το P.

Ποσοτική σχέση ασβεστίου / φωσφόρου (Ca : P)

Αφού το μεγαλύτερο μέρος του ασβεστίου και του φωσφόρου στο ζωικό σώμα συνδέεται με το σχηματισμό των οστών και αφού η σχέση Ca:P στα οστά είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, κατά προσέγγιση ίση με 2:1, είναι λογικό να παραδεχθούμε ότι η ύπαρξη, στο σιτηρέσιο, ποσοτικής σχέσης μεταξύ ασβεστίου και φωσφόρου αυτού του μεγέθους, θα πρέπει να είναι ιδανική για την ανάπτυξη και το σχηματισμό των οστών.

Παρ' όλα αυτά, σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι ποσοτικές σχέσεις ασβεστίου: φωσφόρου στο σιτηρέσιο πολύ μεγαλύτερες ή μικρότερες από την άριστη αυτή σχέση 2:1 μπορούν να αποδειχθούν ικανοποιητικές για τα διάφορα είδη ζώων. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών εξηγούνται ικανοποιητικά με βάση τις υπάρχουσες διαφορές τόσο ως προς τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του ασβεστίου και του φωσφόρου από τις διάφορες τροφές, στις οποίες, ενδεχομένως, τα ανόργανα αυτά στοιχεία απαντούν με τη μορφή ενώσεων που δεν μπορούν να απορροφηθούν εύκολα, όσο και στην περιεκτικότητα των διαφόρων τροφών σε βιταμίνη D.

Αναφορικά με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του ασβεστίου και του φωσφόρου των τροφών από μέρους του ζώου, πρέπει να αναγνωριστεί ότι η ποσοτική σχέση των στοιχείων αυτών στο σιτηρέσιο δε συμπίπτει αναγκαστικά με τη σχέση των υπό χρησιμοποίησιμη μορφή ευρισκόμενων ανόργανων αυτών ουσιών, για τον απλό λόγο ότι τόσο το ασβέστιο όσο και ο φωσφόρος δεν απορροφώνται εξίσου εύκολα από όλες τις τροφές.

Σχετικά επίσης με τη βιταμίνη D πρέπει και πάλι να τονιστεί ότι η βιταμίνη αυτή παίζει σημαντικότερο

ρόλο στην απορρόφηση και χρησιμοποίηση του ασβεστίου και του φωσφόρου.

Όλα τα προηγούμενα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι μη ικανοποιητικές ποσοτικές σχέσεις των ανόργανων αυτών ουσιών στα σιτηρέσια κάτω από συνθήκες χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε βιταμίνη D, μπορούν να αποδειχθούν πλήρως ικανοποιητικές με τη χορήγηση μεγάλων ποσοτήτων βιταμίνης D.

Στην περίπτωση ειδικότερα των μηρυκαστικών, διαπιστώθηκε ότι η ποσοτική σχέση Ca: P είναι δυνατόν να αποκλίνει σημαντικά από την άριστη σχέση 2:1 χωρίς δυσμενείς επιδράσεις, αρκεί να χορηγούνται άφθονες ποσότητες βιταμίνης D. Ειδικότερα, ύστερα από σχετικές έρευνες, διαπιστώθηκε ότι ποσοτικές σχέσεις Ca : P των οποίων οι τιμές κυμαίνονταν από 1:1 μέχρι και 7:1, έδωσαν όλες ικανοποιητικά και παρόμοια αποτελέσματα. Μόνο στην περίπτωση που οι ποσοτικές σχέσεις βρίσκονταν έξω από τα προηγούμενα όρια και ιδιαίτερα όταν αυτές ήταν χαμηλότερες από τη σχέση 1:1, παρατηρήθηκαν δυσμενείς επιδράσεις.

Το συμπέρασμα λοιπόν στο οποίο καταλήγουμε ύστερα από τα προηγούμενα είναι ότι τα μηρυκαστικά χαρακτηρίζονται από αξιόλογη ικανότητα ανοχής σε ευρύτερες ποσοτικές σχέσεις Ca: P στο σιτηρέσιο, για τον απλούστατο λόγο ότι τα ζώα αυτά καταναλώνουν, κατά κανόνα, σημαντικές ποσότητες ξηρού χόρτου που έχει αποξηρανθεί στον ήλιο και ως εκ τούτου περιέχει μεγάλες ποσότητες βιταμίνης D.

Σε αντίθεση προς τα μηρυκαστικά, στους **χοίρους** και τα **ορνιθοειδή**, οι περισσότερες σχετικές έρευνες απέδειξαν ότι, στην περίπτωση ιδιαίτερα των αναπτυσσόμενων χοίρων και των αναπτυσσόμενων ορνιθίων, η άριστη σχέση Ca: P πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 1:1 μέχρι 2:1. Ειδικότερα, από τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών αποδείχτηκε ότι, τα ζωικά αυτά είδη δεν ανέχονται ικανοποιητικά ποσοτικές σχέσεις υψηλότερες από τη σχέση 3:1, ενώ, αντίθετα ποσοτικές σχέσεις χαμηλότερες από τη σχέση 1:1 είναι ικανοποιητικά ανεκτές. Παρ' όλα αυτά όμως, στην περίπτωση των ωσότων ορνιθίων, εξαιτίας των μεγαλύτερων αναγκών τους σε ασβέστιο παρά σε φωσφόρο, η επιτρεπόμενη ανεκτή σχέση είναι σημαντικά υψηλότερη από τη σχέση 3:1.

Αξιοσημείωτη είναι η παρατήρηση ότι αντικανονική ποσοτική σχέση Ca: P δε συνεπάγεται αναγκαστικά την παραδοχή ότι λαμβάνει χώρα υπερβολική πρόσληψη του ενός ή του άλλου από τα δύο αυτά ανόργανα στοιχεία. Αντίθετα, εκείνο που είναι βέβαιο είναι ότι η μεγάλη περίσσεια του ενός από τα δύο αυτά στοιχεία μειώνει το βαθμό απορρόφησης του άλλου, εξαιτίας της δέσμευσης του τελευταίου με τη μορφή φω-

σφορικού ασβεστίου ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), το οποίο είναι δυσδιάλυτο, πράγμα που εξηγεί την ανάγκη ύπαρξης καθορισμένης σχέσης μεταξύ τους.

Πέρα όμως από τα προηγούμενα, μία τέτοια περίσσεια στο σιτηρέσιο μπορεί να παρακωλύσει και τη χρησιμοποίηση διαφόρων άλλων ανόργανων ουσιών όπως π.χ. του ψευδαργύρου και του μαγγανίου. Έτσι, σχετικές έρευνες οδήγησαν στη διαπίστωση ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του σιτηρεσίου σε ασβέστιο πέραν από τις ανάγκες, χωρίς παράλληλη αύξηση του ψευδαργύρου, προκαλεί, στους αναπτυσσόμενους χοίρους, ανεπάρκεια ψευδαργύρου. Επίσης, η περίσσεια ασβεστίου ή φωσφόρου (ή και των δύο) στο σιτηρέσιο των χοίρων και των ορνιθίων, επιτείνει τα συμπτώματα ανεπάρκειας του μαγγανίου.

Υπασβεστιαμία και οι συνέπειές της

Όπως και σε άλλη θέση αναφέρθηκε, το επίπεδο του ασβεστίου στον ορό του αίματος ρυθμίζεται, κατά κύριο λόγο από την ορμόνη των παραθυρεοειδών αδένων και δεν επηρεάζεται εύκολα από την ποσότητα ασβεστίου που προσλαμβάνεται μέσω της τροφής, παρά το γεγονός ότι, όπως είναι αυτονόητο, η κύρια πηγή ασβεστίου για το ζωικό οργανισμό είναι η τροφή. Όταν λοιπόν οι παραθυρεοειδείς αδένες αφαιρεθούν, ή διαταραχθεί η λειτουργία τους, η περιεκτικότητα του αίματος σε ασβέστιο (**ασβεστιαμία**) πέφτει σημαντικά, δηλ. εμφανίζεται **υπασβεστιαμία**, το βασικό σύμπτωμα της οποίας είναι η εμφάνιση **τετανίας**.

Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της τετανίας είναι η **υπερδιεγερσιμότητα του νευρομυϊκού συστήματος**. Συμπτώματα τετανίας εξαιτίας της υπασβεστιαμίας εμφανίζονται και κατά το **γαλακτικό πυρετό**, μία σοβαρή, μεταβολικής φύσεως, πάθηση των αγελάδων, η οποία, λόγω της εξαιρετικής σπουδαιότητάς της περιγράφεται αναλυτικά αμέσως παρακάτω.

– Γαλακτικός πυρετός ή πάρεση τοκετού

Η μεταβολική αυτή διαταραχή εμφανίζεται σποραδικά στις αγελάδες, κατά κανόνα στη διάρκεια των πρώτων ημερών μετά τον τοκετό, αν και, μερικές φορές παρουσιάζεται λίγο πριν ή και κατά τη διάρκεια του τοκετού.

Το κύριο γνώρισμα της μεταβολικής αυτής πάθησης είναι η πτώση της περιεκτικότητας σε ασβέστιο του ορού του αίματος στο 70% της φυσιολογικής τιμής.

– **Συμπτώματα:** 1. Η αγελάδα παραμένει όρθια, αλλά δεν τρώει ούτε και μηρυκάζει. 2. Όταν υποχρεωθεί να βαδίσει, εμφανίζει κλονιζόμενο βηματισμό και, μερικές φορές, ελαφρούς μυϊκούς σπασμούς. 3. Η αγελάδα κατακλίνεται, σε τρόπο ώστε να στηρίζεται επάνω στο στέρνο της, με το κεφάλι προς τα πίσω. 4. Οι οφθαλμοί της είναι χαυνοί και προσβλέπουν ατενώς,

ενώ η κόρη τους διαστέλλεται. 5. Εμφανίζονται αυξημένη νευρομυϊκή διεγερσιμότητα και μυϊκοί σπασμοί. 6. Το ζώο περιέρχεται σε σπαστική παράλυση και αναισθησία, για να οδηγηθεί τελικά σε κώμα ή και στο θάνατο.

Παρόλο ότι η μεταβολική αυτή πάθηση λέγεται γαλακτικός πυρετός, η θερμοκρασία του σώματος είναι κανονική, ενώ, μερικές φορές, πέφτει και κάτω από την κανονική (**υποθερμία**).

Περισσότερο επιρρεπείς στο γαλακτικό πυρετό είναι οι αγελάδες πολύ υψηλής γαλακτοπαραγωγής, με περισσότερες πιθανότητες εμφάνισης κατά τον τρίτο ή τους μεταγενέστερους τοκετούς.

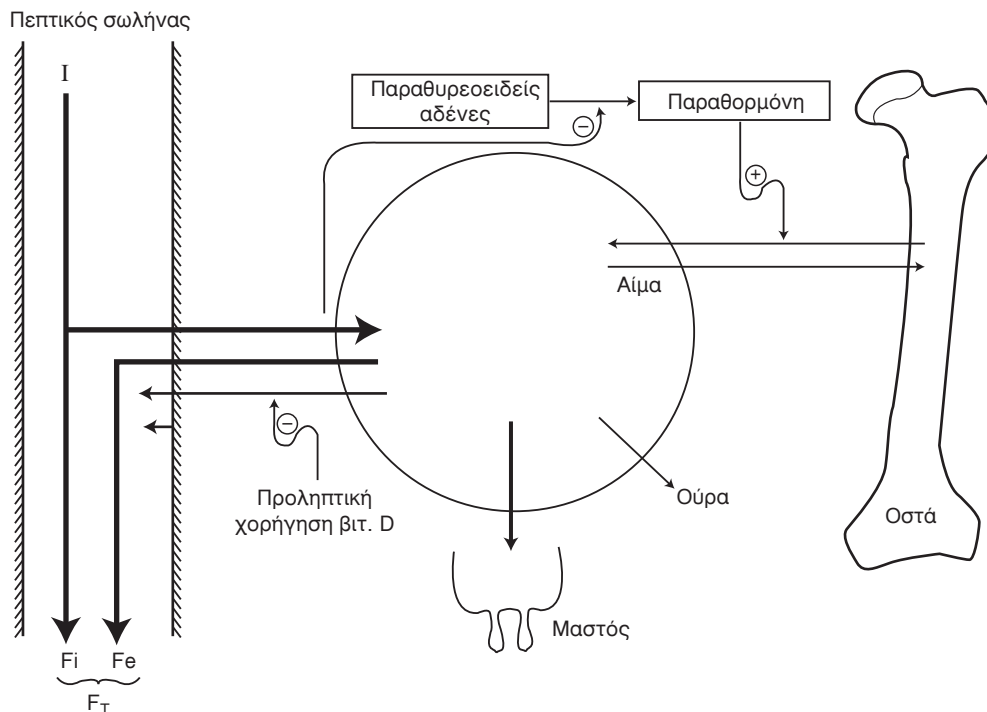
– **Αίτια εμφάνισης της υπασβεστιαμίας και επομένως και του γαλακτικού πυρετού:** Αν και τα αίτια της υπασβεστιαμίας δεν έχουν μέχρι σήμερα απόλυτα διευκρινιστεί, η επικρατέστερη άποψη είναι ότι η σοβαρότερη αιτία της πτώσης του ασβεστίου στον ορό του αίματος είναι η υπολειτουργία των παραθυρεοειδών αδένων. Η υπολειτουργία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή παραθορμόνης, της οποίας ο κύριος ρόλος είναι η διατήρηση σε σταθερά επίπεδα του ασβεστίου του αίματος, με την κινητοποίηση ασβεστίου από τα οστά σε επαρκείς ποσότητες, για την αναπλήρωση των μεγάλων ποσοτήτων

ασβεστίου που αφαιρούνται από το αίμα για τη σύνθεση του πρωτογάλακτος πριν και ιδιαίτερα αμέσως μετά τον τοκετό.

Έχει παρατηρηθεί ότι σιτηρέσια με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο, όταν χορηγηθούν σε διάφορα χρονικά διαστήματα πριν από τον τοκετό, όχι μόνο θετικό αποτέλεσμα δεν έχουν στην πρόληψη του γαλακτικού πυρετού αλλά, αντίθετα, προκαλούν μειωμένη παραγωγή παραθορμόνης, εξαιτίας της μείωσης του μεγέθους και της δραστηριότητας των παραθυρεοειδών αδένων (βλ. εικ. 29.7).

– Πρόληψη και θεραπεία του γαλακτικού πυρετού

1. Σύμφωνα με σχετικούς πειραματισμούς που πραγματοποιήθηκαν από τους ερευνητές Hibbs και Rounden, στον Πειραματικό Σταθμό του Ohio των Η.Π.Α. (1955), διαπιστώθηκε ότι η χορήγηση, μέσω του σιτηρεσίου, σε αγελάδες, οι οποίες, με βάση την προϋστορία τους, είναι επιρρεπείς στο γαλακτικό πυρετό, μεγάλων δόσεων βιταμίνης D, τουλάχιστον 3-5 ημέρες, ή ακόμη καλύτερα 7 ημέρες πριν από τον τοκετό μέχρι και την πρώτη ημέρα μετά τον τοκετό, αποτελεί αποτελεσματική μέθοδο πρόληψης του γαλακτικού πυρετού. Η ημερήσια δόση που χρησιμο-



Εικόνα 29.7. Μηχανισμοί που οδηγούν στην υπασβεστιαμία και επομένως στο γαλακτικό πυρετό.

I = ασβέστιο που προσλήφθηκε μέσω του σιτηρεσίου

Fi = ασβέστιο που δεν απορροφήθηκε

Fe = ασβέστιο κοπράνων μεταβολικό

F_T = ασβέστιο που απομακρύνθηκε με τα κόπρανα

ποιείται για το σκοπό αυτό είναι ίση με 20-30 εκατομμύρια διεθνείς μονάδες, με τη μορφή ξηρής ζύμης που ακτινοβολήθηκε. Η προληπτική αυτή δράση της βιταμίνης D οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στη μείωση της ποσότητας του ασβεστίου που απομακρύνεται από το αίμα προς τον πεπτικό σωλήνα.

2. Η συνηθέστερη μέθοδος θεραπείας του γαλακτικού πυρετού συνίσταται σε ενδοφλέβια ένεση διαλύματος γλυκονικού ασβεστίου, οπότε η θεραπεία του ζώου είναι άμεση, ή και θεαματική, θα μπορούσαμε να πούμε. Μερικές φορές η ενδοφλέβια αυτή ένεση πρέπει να επαναληφθεί.

Η ενδοφλέβια αυτή ένεση γλυκονικού ασβεστίου χρησιμεύει για να υπερνικήσει το ζώο τη δυσκολία, κατά την περίοδο διαταραχής της λειτουργίας των παραθυρεοειδών αδένων, μέχρις ότου ο μηχανισμός της κινητοποίησης ασβεστίου από τα οστά επαναλειτουργήσει κανονικά.

Η εμφύσηση αέρα στο εσωτερικό του μαστού, αν και χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα ως μέθοδος θεραπείας του γαλακτικού πυρετού, έχει σήμερα εγκαταλειφθεί, διότι προκαλεί αφενός μείωση της γαλακτοπαραγωγής και αφετέρου εγκυμονεί κινδύνους μόλυνσης και προσβολής του μαστού από μαστίτιδες. Η μείωση αυτή της γαλακτοπαραγωγής εξηγείται από το γεγονός ότι, με τη μέθοδο αυτή, αυξάνεται η πίεση στο εσωτερικό του μαστού, οπότε σταματά η έκκριση γάλακτος στις κυψελίδες του μαστού, ενώ παράλληλα διευκολύνεται η επιστροφή, με επαναπορρόφηση, του ασβεστίου από το γάλα στο αίμα.

Ραχίτιδα των αναπτυσσόμενων και οστεομαλάκυνση των αναπτυγμένων οργανισμών

Όταν για αρκετό χρονικό διάστημα εφαρμοστεί ανεπαρκής διατροφή με ασβέστιο ή φωσφόρο, είτε λόγω ανεπαρκούς περιεκτικότητας του σιτηρεσίου σε καθένα, ή και στα δύο όργανα αυτά στοιχεία, είτε λόγω μη ευνοϊκής ποσοτικής σχέσης των δύο αυτών ανοργάνων στο σιτηρέσιο, είτε, τέλος, λόγω ανεπαρκούς περιεκτικότητας του σιτηρεσίου σε βιταμίνη D, προκαλείται:

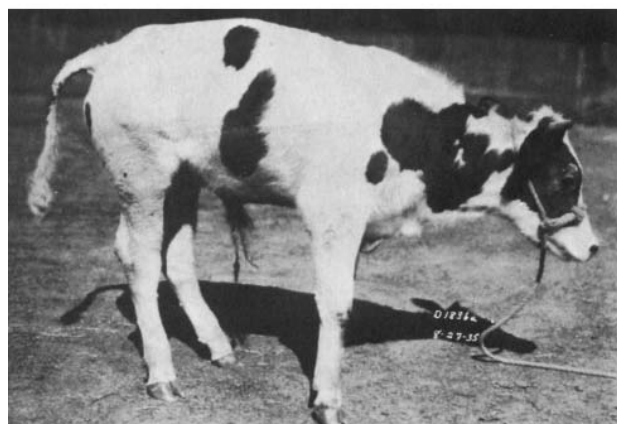
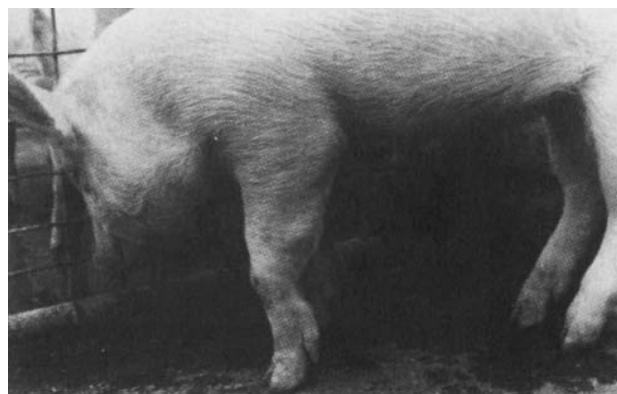
- **ραχίτιδα**, στους αναπτυσσόμενους οργανισμούς και
- **οστεομαλάκυνση**, στους αναπτυγμένους οργανισμούς

α) Η ραχίτιδα και τα συμπτώματά της

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα της μεταβολικής αυτής πάθησης είναι η **μείωση της περιεκτικότητας σε τέφρα των οστών**. Κατά τη ραχίτιδα το αίμα περιέχει ανεπαρκή ποσά ασβεστίου ή φωσφόρου ή και των δύο, με αποτέλεσμα την ελλιπή εναπόθεση αλάτων ασβεστίου επάνω στα αυξανόμενα οστά των νεαρών ζώων. Οι δυσμενείς επιδράσεις από την ελλιπή εναπό-

θεση αλάτων ασβεστίου είναι περισσότερο ορατές στην περίπτωση των οστών των οποίων το μήκος αυξάνει με ταχύ ρυθμό, όπως είναι π.χ. τα μακρά οστά των άκρων και των πλευρών. Έτσι, ο διάμεσος επιφυσιακο-διαφυσιακός χόνδρος, αν και συνεχίζει να αναπαράγεται, οστεοποιείται ατελώς, με αποτέλεσμα να παραμένει μαλακός, ενώ, παράλληλα, κάτω από την πίεση του σωματικού βάρους και της μυϊκής τάσεως, προκαλείται ακανόνιστη διόγκωση των άκρων των μακρών οστών. Επιπρόσθετα, παρατηρείται διόγκωση των αρθρώσεων των πρόσθιων και οπίσθιων σκελών, τα οποία, εξαιτίας της εξασθένησής τους, μπορεί να καμφθούν, κάτω από την πίεση του σωματικού βάρους, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται το κανονικό βάδισμα (εικ. 29.8).

Τα συμπτώματα ραχίτιδας απαντούν συχνότερα στα **αναπτυσσόμενα βοοειδή** και τους **αναπτυσσόμενους χοίρους** και είναι κατά βάση παρόμοια, είτε η ραχίτιδα προέρχεται από ανεπάρκεια ασβεστίου ή φωσφόρου, είτε από έλλειψη επαρκούς ποσότητας βιταμίνης D, αφού, σε κάθε περίπτωση, η βασική βλάβη συνίσταται σε ελλιπή εναπόθεση ασβεστίου και φωσφόρου στα οστά, η οποία και οδηγεί σε μη κανονική



Εικόνα 29.8. Άνω: κεκαμμένα άκρα σε ένα χοιρίδιο που πάσχει από ραχίτιδα, οφειλόμενη σε ανεπάρκεια Ca. Κάτω: Προχωρημένο στάδιο ραχίτιδας σε βοοειδές. (Από το βιβλίο *Basic Animal Nutrition and Feeding*. W.G. Pond et al., 1995, με την άδεια του εκδότη).

ανάπτυξη των οστών, τόσο ως προς το σχήμα όσο και ως προς την υφή. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι να στερούνται τα οστά της απαιτούμενης αντοχής και ακαμψίας καθώς επίσης και των απαιτούμενων εφεδρειών σε ασβέστιο και φωσφόρο.

Τα χαρακτηριστικά συμπτώματα της ραχίτιδας στα νεαρά βοοειδή συνοψίζονται ως εξής: 1) επιβράδυνση της ανάπτυξης, 2) διογκωμένες και δύσκαμπτες αρθρώσεις, 3) κεκαμμένα πρόσθια σκέλη, 4) κυρτή ράχη και δύσκαμπτο βάδισμα, με συρόμενα τα οπίσθια πόδια (εικ. 29.8).

Στους αναπτυσσόμενους χοίρους, τα πιο χαρακτηριστικά συμπτώματα της ραχίτιδας είναι: 1) βραδεία ανάπτυξη, 2) διογκωμένες αρθρώσεις, 3) δυσκαμψία των άκρων, 4) κύρτωση της ράχης και 5) ενδεχομένως παράλυση των οπίσθιων άκρων.

Στους αμνούς, τα συνηθέστερα συμπτώματα είναι: 1) η διογκωση των αρθρώσεων, 2) η κάμψη των σκελών, 3) το δύσκαμπτο βάδισμα και 4) η επιβράδυνση της ανάπτυξης.

Στους νεοσσούς, τέλος, η ραχίτιδα συνοδεύεται από: 1) επιβράδυνση της ανάπτυξης, 2) δύσκαμπτο βάδισμα, 3) διογκωση των αρθρώσεων των σκελών, καθώς και άλλες δυσμορφίες των οστών. Ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό σύμπτωμα συνίσταται στο γεγονός ότι το ράμφος καθίσταται μαλακό και ελαστικό, με αποτέλεσμα να κάμπτεται εύκολα.

Γενικά, τα ζώα που υποφέρουν από ραχίτιδα επανακτούν συνήθως την υγεία τους, όταν στο σιτηρέσιό τους προστεθούν συμπληρώματα με άφθονες ποσότητες βιταμίνης D, ασβεστίου και φωσφόρου, αρκεί βέβαια η κατάσταση να μην είναι πολύ προχωρημένη, διότι, στην αντίθετη περίπτωση, ο τρόπος αυτός θεραπείας είναι αναποτελεσματικός.

β) Οστεομαλάκυνση και τα συμπτώματά της

Με τον όρο “**οστεομαλάκυνση**” εννοούμε την κατάσταση των αναπτυσσόμενων οστών ύστερα από υπερβολική κινητοποίηση από αυτά ασβεστίου και φωσφόρου, για την ικανοποίηση των αναγκών του σώματος με αποτέλεσμα τα ποσά των ανόργανων αυτών ουσιών που αφαιρούνται από τα οστά να υπερβαίνουν τις κανονικές εφεδρείες τους και να μην αναπληρώνονται.

Κατά τη μεταβολική αυτή πάθηση, τα οστά καθίστανται ασθενικά και εύθραυστα, με άμεση συνέπεια τα συχνά κατάγματα, τόσο στα ζώα όσο και στους ανθρώπους. Έτσι π.χ., στην περίπτωση των **εγκύων χοίρων** είναι δυνατόν να συμβεί κάταγμα ενός σπονδύλου, το οποίο οδηγεί συχνά σε παράλυση των οπίσθιων άκρων, εξαιτίας της άσκησης πίεσης επί του νωτιαίου μυελού.

Οι περισσότερες από τις σοβαρές περιπτώσεις

οστεομαλάκυνσης εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης και της γαλακτοπαραγωγής, ειδικότερα όταν τα θηλυκά ζώα διατρέφονται με σιτηρέσια, τα οποία δεν περιέχουν επαρκείς ποσότητες ασβεστίου ή φωσφόρου ή και των δύο, οπότε ο οργανισμός της μητέρας αγωνίζεται με όλες του τις δυνάμεις για να προστατεύσει το αναπτυσσόμενο ζώο από την έλλειψη των ανόργανων αυτών ουσιών, αφαιρώντας τα από το σκελετό της. Σε ακραίες περιπτώσεις, παρακωλύεται η αναπαραγωγή και το νεογνό γεννιέται ασθενικό ή και νεκρό. Οι τελευταίες αυτές καταστάσεις, σχετικά σπάνιες στα χορτοφάγα ζώα, μπορούν να συμβούν, με περισσότερες πιθανότητες, στην περίπτωση των χοιρομητέρων αναπαραγωγής, εξαιτίας του ότι τα ζώα αυτά προσλαμβάνουν, κατά κανόνα, ανεπαρκείς ποσότητες ασβεστίου, αφού διατρέφονται κυρίως με καρπούς σιτηρών και τα υποπροϊόντά τους, δηλ. με τροφές χαμηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, πέρα από τη γέννηση, σε σημαντικό ποσοστό, ασθενικών ή και νεκρών χοιριδίων, μπορεί να παρατηρηθεί και σημαντική μείωση της γαλακτοπαραγωγής, στην οποία, άλλωστε, και πρέπει να αποδοθεί, κατά κύριο λόγο, η αυξημένη θνησιμότητα των χοιριδίων μέχρι τον απογαλακτισμό τους.

Συμπτώματα οστεομαλάκυνσης παρατηρούνται επίσης και στην περίπτωση της εντατικής ωοπαραγωγής των ορνίθων, εξαιτίας της αφαίρεσης μεγάλων ποσοτήτων ασβεστίου και φωσφόρου από τα οστά. Παράλληλα, στην περίπτωση αυτή, είναι δυνατόν να παρατηρηθεί και μείωση της ωοπαραγωγής καθώς και παραγωγή λεπτοκέλυφων αυγών.

Η παρατηρούμενη επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης αποδίδεται, κατά κύριο λόγο, στη μείωση της όρεξης, η οποία, όπως διαπιστώθηκε, καθίσταται σοβαρότερη κατά την προοδευτική αύξηση της ανεπάρκειας φωσφόρου.

γ) Οστεοπόρωση

Με την οστεομαλάκυνση δεν πρέπει να συγχέεται μία άλλη μεταβολική πάθηση, γνωστή ως **οστεοπόρωση**. Η οστεοπόρωση είναι μία άλλη διαταραχή του μεταβολισμού του Ca, η οποία οφείλεται σε ανεπάρκεια του ανόργανου αυτού στοιχείου. Κατά την οστεοπόρωση, η περιεκτικότητα των οστών σε ανόργανα παραμένει φυσιολογική, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει κατά την οστεομαλάκυνση, ενώ μειώνεται σημαντικά η απόλυτη **οστική μάζα**. Η μεταβολική αυτή πάθηση εμφανίζεται σε ηλικιωμένα άτομα και ενδιαφέρει, λόγω της υψηλής συχνότητας εμφάνισής της, ιδιαίτερα στην περίπτωση του ανθρώπου και περισσότερο στις γυναίκες. Έτσι, όπως διαπιστώθηκε, ένα ποσοστό τουλάχιστο 10% των γυναικών ηλικίας άνω των 50 ετών, στις

ΗΠΑ, εμφανίζει την πάθηση αυτή, με συνέπεια την εμφάνιση, πολύ συχνά, σοβαρών καταγμάτων, τόσο των άκρων όσο και της σπονδυλικής στήλης και των μακρών οστών γενικότερα, τα οποία ακολουθούνται συνήθως από μακρά περίοδο ανάρρωσης. Η υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης της μεταβολικής αυτής διαταραχής στις γυναίκες, (και μάλιστα, κατά κανόνα, μετά την εμμηνόπαυση) από ότι στους άνδρες, θα πρέπει να αποδοθεί στην κατάπληξη έκκρισης, από μέρους των ωοθηκών, οιστρογόνων, τα οποία φαίνεται να παρεμβαίνουν πολύ ενεργά στο μεταβολισμό του ασβεστίου. Η υψηλή αυτή συχνότητα εμφάνισης της οστεοπόρωσης θα μπορούσε, κατά ένα μέρος τουλάχιστο, να θεωρηθεί ότι οφείλεται σε χαμηλή, κάτω του φυσιολογικού, πρόσληψη ασβεστίου κατά την προεφηβική και εφηβική περίοδο, η οποία ακολουθείται από υψηλή πρόσληψη Ca κατά την ενηλικίωση.

Μία πολύ ενδιαφέρουσα ανασκόπηση των θρεπτικών παραγόντων που προδιαθέτουν το ζωικό (και επομένως και τον ανθρώπινο) οργανισμό στην εμφάνιση της οστεοπόρωσης έγινε από τον ερευνητή Heaney, το 1993.

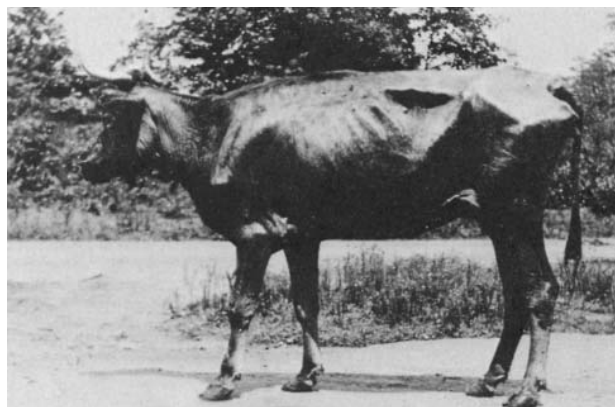
Ειδικότερα συμπτώματα της ανεπάρκειας φωσφόρου

Πέρα από τη μείωση της όρεξης του ζώου, η ανεπάρκεια φωσφόρου προκαλεί μείωση της παραγωγικής αξιοποίησης της τροφής, παρά το γεγονός ότι η πεπτικότητα του σιτηρεσίου δεν επηρεάζεται από την ανεπάρκεια αυτή. Έτσι, η μείωση της παραγωγικής αξιοποίησης της τροφής μπορεί να αποδοθεί στη **διαταραχή του μεταβολισμού ενέργειας**, η οποία οφείλεται στη μείωση της περιεκτικότητας σε φωσφόρο των σωματικών κυττάρων και υγρών σε επίπεδα χαμηλότερα του φυσιολογικού.

Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι, ούτε και η ανεπάρκεια ασβεστίου προκαλεί σημαντική μείωση της πεπτικότητας του σιτηρεσίου, όπως επίσης δεν προκαλεί και ανεπαρκή μεταβολισμό της τροφής που πέφθηκε, σε αντίθεση με την ανεπάρκεια φωσφόρου, η οποία, όπως αναφέρθηκε, προκαλεί ανεπαρκή μεταβολισμό ενέργειας.

Έτσι εξηγείται γιατί οι αγελάδες, ενώ, όταν υποφέρουν από ανεπάρκεια φωσφόρου, είναι συνήθως καχεκτικές, στην περίπτωση ανεπάρκειας ασβεστίου, είναι δυνατόν να εμφανίζουν καλή θρεπτική κατάσταση του σώματός τους, ενώ, αντίθετα, η γαλακτοπαραγωγή τους μειώνεται σημαντικά και τα οστά τους γίνονται εύθραυστα, ακόμα και χωρίς οποιαδήποτε σοβαρή πίεση (εικ. 29.9).

Όταν η ανεπάρκεια φωσφόρου συνεχιστεί, εκτός από την ανορεξία και την καχεκτική εμφάνιση των ζώ-



Εικόνα 29.9. Αγελάδα με ανεπάρκεια φωσφόρου. (Από το βιβλίο *Basic Animal Nutrition and Feeding*. W.G. Pond et al., 1995, με την άδεια του εκδότη).

ων, παρατηρείται και **διαστροφή της όρεξης**, η οποία είναι γνωστή ως **αλλοτριοφαγία** (pica) και η οποία οφείλει το όνομά της στο γεγονός ότι τα ζώα μασούν ξύλα, οστά, τρίχες, χώμα και άλλα μη εδώδιμα υλικά, στην ενστικτώδη προσπάθειά τους να εξασφαλίσουν τον απαραίτητο γι' αυτά φωσφόρο. Αποτέλεσμα της διαστροφής αυτής της όρεξης είναι η δυνατότητα πρόκλησης σοβαρής ασθένειας, γνωστής με τις ονομασίες **βοτουλισμός ή αλλαντίαση**.

Η ασθένεια αυτή έχει διαπιστωθεί ότι προκαλεί μεγάλες απώλειες ζώων που εκτρέφονται σε βοσκές διαφόρων περιοχών του κόσμου, των οποίων το έδαφος είναι φτωχό σε φωσφόρο. Οι θάνατοι λοιπόν αυτοί αποδίδονται στην κατανάλωση, από μέρους των ζώων, οργανικών ουσιών (π.χ. οστών) που βρίσκονται σε αποσύνθεση, λόγω προσβολής από το βακτηρίδιο *Clostridium botulinum*, το οποίο και παράγει επικίνδυνες τοξίνες.

Παρ' όλα αυτά όμως, στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η διαστροφή αυτή της όρεξης, για την οποία έγινε λόγος στις προηγούμενες παραγράφους είναι δυνατόν να προκληθεί και από διάφορους άλλους παράγοντες και δεν αποτελεί ειδικό σύμπτωμα της ανεπάρκειας φωσφόρου.

Ένα άλλο σημαντικό σύμπτωμα της ανεπάρκειας φωσφόρου είναι **η μείωση της γονιμότητας και της γαλακτοπαραγωγής**. Έτσι, σε περιοχές που το έδαφός τους είναι φτωχό σε φωσφόρο, συχνά παρατηρείται **διαταραχή του κύκλου του οίστρου**, των αγελάδων ιδιαίτερα, με αποτέλεσμα τα ζώα αυτά να μην έρχονται κανονικά σε οργασμό και να γεννούν, πολλές φορές, μία φορά ανά διετία. Σε σχετικά πειράματα διάρκειας δύο ετών, που πραγματοποιήθηκαν στη Νότια Αφρική, διαπιστώθηκε ότι σε περιοχές, όπου οι βοσκές ήταν φτωχές σε φωσφόρο, το ποσοστό γονιμότητας των αγελάδων με δυσκολία έφθανε το 51%, ενώ

αυξανόταν πολύ σημαντικά και έφθανε το 80% σε περίπτωση συμπληρωματικής χορήγησης, στις αγελάδες, κρεαταλεύρου, η οποία, εκτός των άλλων, προκάλεσε και σημαντική αύξηση της γαλακτοπαραγωγής.

Συστηματική περιγραφή των συνεπειών ανεπάρκειας Ca και P

Λόγω της μεγάλης πρακτικής σημασίας που εμφανίζει το θέμα της ανεπάρκειας του φωσφόρου και του ασβεστίου, θα ακολουθήσει μία συστηματικότερη περιγραφή των συνεπειών της ανεπάρκειας αυτής, χωριστά για τις διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες (γαλακτοπαραγωγή, γονιμότητα, ανάπτυξη κ.λ.π.).

1. Συνέπειες της ανεπάρκειας Ca και P στη γαλακτοπαραγωγή

Το ασβέστιο και ο φωσφόρος του γάλακτος (1,2 g Ca και 0,9 g P ανά kg γάλακτος) προέρχονται κατά μεγάλο μέρος από τα οστά, δεδομένου ότι η απορρόφηση των δύο αυτών ανόργανων στοιχείων, μέσω του πεπτικού σωλήνα, δεν είναι συνεχής και ως εκ τούτου δεν επαρκεί πάντα για τη βιοσύνθεση των συστατικών του γάλακτος. Η πηγή λοιπόν αυτή των οστών παρεμβαίνει, αναπόφευκτα, και αυτό θεωρείται συνεπώς φυσιολογικό φαινόμενο. Ειδικότερα, η παροχή, μέσω της διατροφής, των δύο αυτών στοιχείων χρησιμεύει στο να ανακόπτει τη μετακίνηση Ca και P από τα οστά, κατά τη διάρκεια της γαλακτικής περιόδου και προπαντός στο να αποκαθιστά τις εφεδρείες Ca και P στα οστά, αμέσως μετά την παύση της γαλακτοπαραγωγής. Παρ' όλα αυτά, η ανεπάρκεια P στο σιτηρέσιο θεωρείται επικίνδυνη διότι ο P των οστών δεν ελευθερώνεται εάν το σιτηρέσιο είναι ελλειμματικό μόνο σε φωσφόρο, ενώ η έλλειψη Ca προκαλεί κινητοποίηση των εφεδρειών Ca και P των οστών.

Πρακτικά, οι αγελάδες και οι προβατίνες υψηλής γαλακτοπαραγωγής είναι καταδικασμένες να καταφεύγουν στις εφεδρείες κινητοποιήσιμου Ca και P των οστών, τις οποίες και αποκαθιστούν κατά το τέλος της γαλακτικής περιόδου και κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

2. Συνέπειες της ανεπάρκειας Ca και P στη γονιμότητα

Τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα σχετικά με το θέμα αυτό είναι σε μεγάλο βαθμό αντικρουόμενα. Πάντως, κάτω από συνήθεις συνθήκες εκτροφής, οι αρνητικές επιδράσεις της ανεπάρκειας Ca θεωρούνται μάλλον αμφισβητούμενες, για το λόγο ότι τα θηλυκά ζώα κινητοποιούν τις εφεδρείες τους σε Ca αποτελεσματικά, κυρίως με την παρέμβαση της παραθορμόνης. Η ανεκτικότητα σε ενδεχόμενες ανεπάρκειες βελ-

τώνεται σημαντικά με την παρουσία της βιταμίνης D. Αντίθετα, οι αρνητικές συνέπειες της ανεπάρκειας P είναι: έλλειψη οργασμών και μείωση του ποσοστού συλλήψεων. Παρ' όλα αυτά, εάν υπάρξει εγκυμοσύνη δεν παρατηρείται ούτε αποβολή ούτε μείωση της βιωσιμότητας των νεογνών ή και των εμβρύων. Οι περισσότεροι ερευνητές δέχονται την άποψη ότι η σημαντική παροχή P μέσω των τροφών είναι απαραίτητη για μία φυσιολογική γονιμότητα των ζώων. Συγκεκριμένα μάλιστα διαπιστώθηκε ότι το σήμα συναγερμού, για τις χλωρές ή και τις ενσιρωμένες χονδροειδείς τροφές, τοποθετείται γύρω στα 2 g P ανά kg ξηράς ουσίας. Επιπρόσθετα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αρνητικές αυτές συνέπειες επιδεινώνονται με κάποια υπερβολική παροχή Ca, είτε με ενσωμάτωσή του στις τροφές, είτε με τη χορήγηση χόρτων (και φυτών) από εδάφη που υποβλήθηκαν σε **ασβέστωση**. Αυτό διότι η ασβέστωση, ενώ δεν αυξάνει σημαντικά την περιεκτικότητα σε Ca των αγρωστωδών, τροποποιεί τη χλωριδική σύσταση προς όφελος των ψυχανθών, τα οποία ως γνωστό είναι πλουσιότερα σε Ca, σε σύγκριση με τα αγρωστώδη. Παρ' όλα αυτά, η βιταμίνη D και το μαγγάνιο, όταν αυτά καταναλώνονται σε επαρκείς ποσότητες, μετριάζουν σημαντικά τις αρνητικές συνέπειες της ανεπάρκειας φωσφόρου.

3. Συνέπειες της ανεπάρκειας Ca και P στην ανάπτυξη

Θεωρούμε ότι περιττεύει να επιμείνουμε στην απόδειξη της σπουδαιότητας που μπορεί να έχει η ανεπάρκεια του Ca ή και του P στην ελλατωματική ανάπτυξη του σκελετού, διότι η σπουδαιότητα αυτή είναι αυτονόητη: οι ποσότητες Ca και P του σκελετού πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή >60, στην περίπτωση π.χ. ενός χοίρου για το διάστημα από τη γέννησή του μέχρι την επίτευξη του Ζ.Β. των 100 kg. Ανεπάρκεια Ca ή P (ή και των δύο) οδηγεί σε διαταραχές στην ανάπτυξη των οστών (ραχίτιδα στα αναπτυσσόμενα και οστεομαλάκυνση ή οστεοπόρωση στα αναπτυγμένα).

4. Συνέπειες (της ανεπάρκειας Ca και P) στην ωοτοκία

Η σπουδαιότητα του Ca στην ωοπαραγωγή είναι προφανής. Μία όρνιθα 2 kg διαθέτει 135 ml αίματος, που περιέχουν συνολικά 25 mg Ca. Στη διάρκεια 15 ωρών που απαιτούνται για την ασβεστοποίηση του κελύφους του αυγού, η όρνιθα αποθέτει 100 mg Ca ανά ώρα. Αυτό σημαίνει ότι το Ca του πλάσματος ανανεώνεται εξολοκλήρου κάθε 15 λεπτά, ότι δηλ. ο μεταβολισμός του στοιχείου αυτού είναι εξαιρετικά ενεργός.

Το Ca του σκελετού (24 g) μιας όρνιθας 2 kg Ζ.Β.

αντιπροσωπεύει το περιεχόμενο σε Ca 12 κελύφων αυγών μόνον, αλλά δεδομένου ότι το 50%, το πολύ, του Ca αυτού είναι κινητοποιήσιμο, ολόκληρος ο σκελετός περιέχει το Ca 6 κελύφων. Αυτό σημαίνει ότι η όρνιθα, και όταν ακόμη μπορεί να καταφύγει στις εφεδρείες της (σε Ca), δεν μπορεί να το κάνει για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εάν η παροχή Ca δεν είναι επαρκής, η όρνιθα γεννά αυγά λεπτοκέλυφα, εύθραυστα και, ως εκ τούτου, μη εμπορεύσιμα. Αυτό σημαίνει ότι είναι απόλυτα αναγκαίο να παρέχονται καθημερινά σημαντικές ποσότητες Ca (αλεσμένη κιμωλία, στρεϊδάλευρο), ώστε να μπορεί η όρνιθα να αποκαθιστά, έγκαιρα, τις εφεδρείες της (σε Ca).

Ο μεταβολισμός του P (στην περίπτωση πάντα της ωοτοκίας) είναι παρόμοιος με εκείνον του Ca, μόνο που η απομάκρυνσή του μέσω του αυγού είναι πολύ μικρότερη. Επίσης ο P που απελευθερώνεται από τα οστά (παράλληλα με το Ca), πρέπει να απεκκριθεί, σε περίπτωση περίσσειας, μέσω των νεφρών.

5. Συμπτώματα ανεπάρκειας Ca και P στα μηρυκαστικά, σε σύγκριση με τα μονογαστρικά

Στα μηρυκαστικά, η ανεπάρκεια P είναι πολύ σπουδαιότερη από εκείνη του Ca και είναι περισσότερο συνηθισμένη στα βοοειδή παρά στα πρόβατα. Ο λόγος είναι ευνόητος: τα πρόβατα έχουν εντονότερες εκλεκτικές συνήθειες βόσκησης και προτιμούν τα τμήματα των φυτών που αυξάνονται ταχύτερα και τα οποία είναι πλουσιότερα σε P. Τα ζώα, πέρα από τη μείωση της παραγωγικότητας, αδυνατίζουν, χάνουν την όρεξή τους και εμφανίζουν **διαστροφή ορέξεως**, με άμεση συνέπεια να καταναλώνουν χόμα, ακαθαρσίες, να γλείφουν τους τοίχους, να μη θέλουν να σηκωθούν και να πάσχουν από χολόπτες.

Στους χοίρους, αντίθετα, το βασικό περιοριστικό στοιχείο των κλασικών βασικών σιτηρέσιων είναι το ασβέστιο.

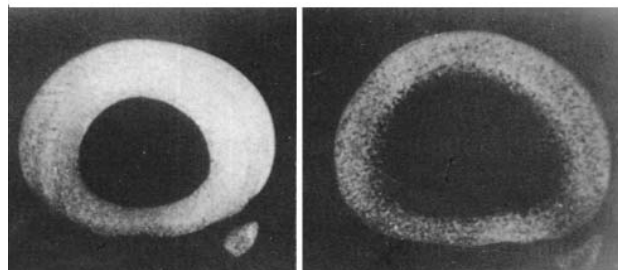
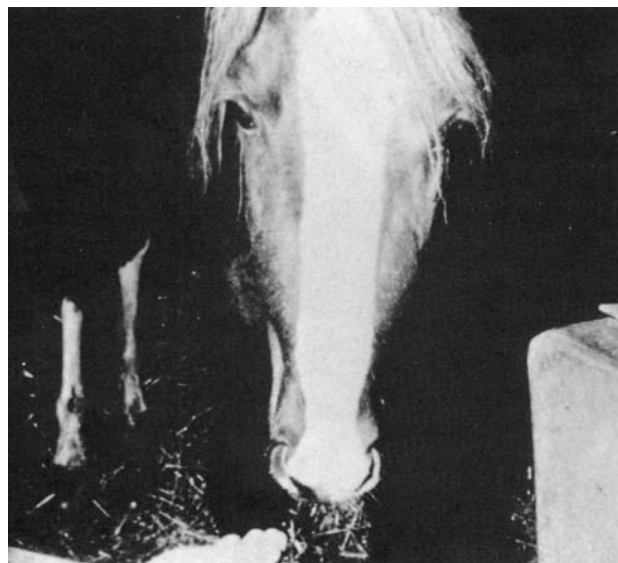
Συνέπειες της περίσσειας ασβεστίου και φωσφόρου

Περίσσεια φωσφόρου, έναντι του ασβεστίου, στο σιτηρέσιο μπορεί να προκαλέσει κάποια διαταραχή (ανωμαλία) των οστών, γνωστή ως **διατροφικός δευτερογενής υπερπαραθυρεοειδισμός** (Nutritional secondary hyperparathyroidism, NSHP). Μία υπερβολική ποσότητα φωσφόρου μειώνει την απορρόφηση ασβεστίου, πράγμα που έχει ως συνέπεια την πτώση του επιπέδου του ασβεστίου στο αίμα. Η επίδραση αυτή διεγείρει την απελευθέρωση της παραθορμόνης (PTH), η οποία συντελεί στην κινητοποίηση ασβεστίου από τα οστά, για την επαναφορά του επιπέδου του ασβεστίου του αίματος στα φυσιολογικά επίπεδα (βλ.

παραπάνω). Ο διατροφικός δευτερογενής υπερπαραθυρεοειδισμός απαντά κυρίως στους ίππους, όταν αυτοί διατρέφονται με μεγάλες ποσότητες δημητριακών καρπών, χωρίς συμπληρωματική χορήγηση ασβεστίου (εικ. 29.10) και είναι γνωστή ως **“big-head (μεγαλοκεφαλία)** των ίππων. Ανάλογη με την τελευταία αυτή μεταβολική πάθηση είναι η **σκελετική ασθένεια (bone disease)** των πιθήκων και το **συνεστραμμένο ρύγχος (twisted snuts)** των χοίρων (εικ. 29.11).

Μία άλλη διαταραχή που οφείλεται επίσης στην υπερβολική ποσότητα φωσφόρου είναι η **ουρολιθίαση**. Η μεταβολική αυτή πάθηση χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό λίθων στα νεφρά ή στην ουροδόχο κύστη, με άμεση συνέπεια την παρεμπόδιση της αποβολής των ούρων.

Περίσσεια ασβεστίου στο σιτηρέσιο προκαλεί μείωση της απορρόφησης και χρησιμοποίησης αρεκτών άλλων ανόργανων στοιχείων, ιδιαίτερα του φωσφόρου και μερικών ιχνοστοιχείων (βλ. παρακάτω). Η **παρακεράτωση** π.χ., δηλ. μία μεταβολική πάθηση των ανα-



Εικόνα 29.10. Άνω: Διατροφικός δευτερογενής υπερθυρεοειδισμός σε έναν ίππο (big-head). **Κάτω:** Ραδιογράφημα μιας τομής του μετακαρπίου ίππου που διατρέφεται με σιτηρέσιο που έχει κανονική σχέση Ca:P (αριστερά) και ενός ίππου που καταναλώνει σιτηρέσιο με υψηλή τιμή πηλίκου Ca:P. (Από το βιβλίο *Basic Animal Nutrition and Feeding*. W.G. Pond et al., 1995, με την άδεια του εκδότη).



Εικόνα 29.11. Χοίρος με συνεστραμμένο ρύγχος που οφείλεται σε διατροφικό δευτερογενή υπερθυρεοειδισμό, ο οποίος προκλήθηκε από μη κανονική τιμή του πηλίκου Ca:P (περίσσεια P). (Από το βιβλίο *Basic Animal Nutrition and Feeding*. W.G. Pond et al., 1995, με την άδεια του εκδότη).

πτυσσόμενων χοίρων, η οποία οφείλεται σε ανεπάρκεια ψευδαργύρου, μπορεί να προκληθεί και με σιτηρέσια που περιέχουν μεγάλη περίσσεια ασβεστίου, έστω και αν η περιεκτικότητά τους σε ψευδάργυρο είναι κανονική.

Οξείας μορφής τοξικότητα από μέρους της περίσσειας Ca δεν έχει διαπιστωθεί. Παρ' όλα αυτά, χρόνια πρόσληψη Ca σε περίσσεια προκαλεί δυσλειτουργίες των οστών, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως εκδηλώσεις τοξικότητας. Η τάση για υπερασβεστιαμία που προκύπτει από τη συνεχόμενη υπερβολική χορήγηση Ca, διεγείρει την παραγωγή καλσιτονίνης από μέρους του θυρεοειδή αδένου. Η έκκριση αυτή καλσιτονίνης προλαμβάνει την κινητοποίηση του Ca από τα οστά στον ορό του αίματος και αναστέλλει την επαναπορρόφηση των ιόντων Ca στους νεφρούς, με τελική συνέπεια την ταχεία μείωση του επιπέδου Ca στο αίμα. Παράλληλα, η καλσιτονίνη δρα διεγερτικά στη συσσώρευση της 1,25-διϋδροξυ-D₃ στα νεφρικά σωληνάκια. Η διατήρηση έκκρισης της καλσιτονίνης οδηγεί σε υπερβολική αύξηση της οστικής μάζας, η οποία αποτελεί μεταβολική διαταραχή αντίθετη της οστεοπόρωσης, γνωστή ως **οστεοπέτρωση**. Η διαταραχή αυτή παρατηρείται π.χ. σε αναπτυσσόμενους σκύλους (εικ. 29.12), όταν αυτοί διατρέφονται με σιτηρέσιο που περιέχει 2,0% Ca και 1,4% P, για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα (από τον απογαλακτισμό μέχρι την ενήβωση). Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί και σε ταύρους

γαλακτοπαραγωγικών εκμεταλλεύσεων, όταν αυτοί διατρέφονται, παρατεταμένα, με τα υψηλής περιεκτικότητας σε Ca σιτηρέσια των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής.

Οι ζωοτροφές ως πηγές ασβεστίου και φωσφόρου

Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο και φωσφόρο, τόσο των χονδροειδών όσο και των συμπυκνωμένων τροφών, κυμαίνεται σε πολύ πλατιά περιθώρια, πράγμα που σημαίνει ότι μία γενική γνώση της περιεκτικότητας των περισσότερων συνηθισμένων, τουλάχιστο, ζωοτροφών, στα δύο αυτά ανόργανα στοιχεία, θα ήταν μεγάλης πρακτικής σημασίας, μια και θα καθιστούσε δυνατή την εκτίμηση, στην πράξη, των προϋποθέσεων ενδεχόμενης ανεπάρκειας των σιτηρεσίων σε ασβέστιο και φωσφόρο.

α) Περιεκτικότητα σε Ca των διαφόρων ζωοτροφών

Πολύ πλούσιες πηγές ασβεστίου αποτελούν **τα χόρτα των ψυχανθών**. Έτσι, αν και η περιεκτικότητα σε ασβέστιο των χόρτων αυτών εξαρτάται, σε κάποιο αρκετά σημαντικό βαθμό, από την περιεκτικότητα του



Εικόνα 29.12. Περίσσεια οστικής μάζας (οστεοπέτρωση) σε σκύλο που διατράφηκε με περίσσεια Ca (άνω), ή με φυσιολογικά επίπεδα Ca (κάτω). (Από το βιβλίο *Basic Animal Nutrition and Feeding*. W.G. Pond et al., 1995, με την άδεια του εκδότη).

εδάφους σε ασβέστιο, παρ' όλα αυτά, αποτελούν πάντοτε σχετικά πλούσιες πηγές ασβεστίου, κι αυτό γιατί δεν αναπτύσσονται παρά μόνο σε εδάφη σχετικά πλούσια σε ασβέστιο.

Τα χόρτα των αγρωστωδών περιέχουν πολύ λιγότερο ασβέστιο, σε σύγκριση με τα χόρτα των ψυχανθών, ιδιαίτερα όταν αυτά αναπτύσσονται σε εδάφη φτωχά σε ασβέστιο.

Το χόρτο των λειμώνων, το οποίο, κατά κανόνα, αποτελείται από χόρτα αγρωστωδών και ψυχανθών (δηλ. είναι ανάμεικτο) αποτελεί συνήθως καλή πηγή ασβεστίου.

Άλλες ζωοτροφές πλούσιες σε ασβέστιο είναι: **το γάλα** και τα ζωικά υποπροϊόντα που περιέχουν οστά, όπως είναι π.χ. το **οστεοκρεατάλευρο** και το **ιχθυάλευρο**.

Αντίθετα, οι **καρποί των σιτηρών**, τα **υποπροϊόντα των καρπών αυτών** και οι **ρίζες** χαρακτηρίζονται από χαμηλή, κατά κανόνα, περιεκτικότητα σε ασβέστιο και ως εκ τούτου αποτελούν αρκετά φτωχές πηγές ασβεστίου.

β) Περιεκτικότητα σε φωσφόρο των διαφόρων ζωοτροφών

Σχετικά με την περιεκτικότητα των διαφόρων τροφών σε φωσφόρο, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι διακυμάνσεις της είναι εντυπωσιακές. Έτσι, γενικά, οι **χονδροειδείς τροφές** είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε φωσφόρο. Ακόμα και τα χόρτα των ψυχανθών, τα οποία, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι πλούσια σε ασβέστιο, αποτελούν φτωχές σχετικά πηγές φωσφόρου. Παρ' όλα αυτά όμως, είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι, κατά την πρώτη ανάπτυξή τους, τόσο τα αγρωστώδη όσο και τα ψυχανθή, χαρακτηρίζονται από κάποια σημαντική περιεκτικότητα σε φωσφόρο, η οποία όμως μειώνεται σημαντικά, με την πρόοδο της ανάπτυξής τους. Όταν το έδαφος είναι πολύ φτωχό σε φωσφόρο, μειώνεται σημαντικά η περιεκτικότητα σε φωσφόρο των χόρτων που φύονται σ' αυτό. Η μείωση μάλιστα αυτή είναι πολύ σημαντικότερη από την αντίστοιχη μείωση που προκαλεί η χαμηλή περιεκτικότητα, σε ασβέστιο, του εδάφους πάνω στην περιεκτικότητα των χόρτων σε ασβέστιο.

Σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στις χονδροειδείς τροφές, η περιεκτικότητα σε φωσφόρο των καρπών των σιτηρών επηρεάζεται σε πολύ μικρότερο βαθμό από την ανεπάρκεια φωσφόρου στο έδαφος, γεγονός που εξηγεί γιατί οι καρποί των σιτηρών αποτελούν, πάντοτε, πλούσιες πηγές φωσφόρου. Παρ' όλα αυτά βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι η ανεπάρκεια του εδάφους σε φωσφόρο προκαλεί σοβαρή μείωση των αποδόσεων, με άμεση συνέπεια τη σημαντική μείωση

της συνολικά παραγόμενης ποσότητας φωσφόρου ανά μονάδα επιφάνειας (π.χ. ανά στρέμμα).

Ως καλές πηγές φωσφόρου θεωρούνται: **οι καρποί των σιτηρών και τα υποπροϊόντά τους**, όπως επίσης **οι καρποί των ψυχανθών** καθώς και **οι πλακούντες των ελαιούχων καρπών**. Ειδικότερα, τα **πίτυρα σίτου** αποτελούν σημαντικότερη πηγή φωσφόρου, έτσι ώστε η συμμετοχή τους, σε σημαντικό ποσοστό, στα σιτηρέσια των αγροτικών ζώων να μας εξασφαλίζει, σε ένα σημαντικό βαθμό, απέναντι στην ανεπάρκεια φωσφόρου.

Τέλος, πολύ πλούσιες πηγές φωσφόρου, καθώς επίσης και ασβεστίου, αποτελούν: **το γάλα** καθώς και τα **ζωικά υποπροϊόντα που περιέχουν οστά** (π.χ. **το οστεοκρεατάλευρο** και **το ιχθυάλευρο**).

Θεωρείται σκόπιμο να σημειωθεί ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει να δοθεί προσοχή, πέρα από την περιεκτικότητα σε φωσφόρο των διαφόρων τροφών, και στη μορφή με την οποία ο φωσφόρος απαντά στις τροφές αυτές. Έτσι π.χ., το μεγαλύτερο μέρος του φωσφόρου στους καρπούς των σιτηρών και σε μερικές άλλες φυτικές τροφές βρίσκεται, όπως είναι γνωστό, με τη μορφή των αδιάλυτων αλάτων του φυτικού οξέος, (δηλ. του εξαφωσφορικού οξέος της ινοσιτόλης), με ασβέστιο και μαγνήσιο. Τα άλατα αυτά είναι γνωστά με το όνομα **φυτίνη**.

Όπως αποδείχτηκε από σχετικές έρευνες, τα μηρυκαστικά ζώα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν ικανοποιητικά το φωσφόρο της φυτίνης, κι αυτό διότι, στη μεγάλη κοιλία των ζώων αυτών τα αδιάλυτα αυτά άλατα του φυτικού οξέος (φυτίνη) υδρολύονται, όπως ήδη αναφέρθηκε, με τη βοήθεια των **βακτηριακών φυτασών**, σε ινοσιτόλη και φωσφορικό οξύ.

Στους **αναπτυσσόμενους χοίρους** και τα **ορνιθοειδή**, αντίθετα, σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι ο φωσφόρος της φυτίνης δε χρησιμοποιείται με την ίδια αποτελεσματικότητα με την οποία χρησιμοποιούνται άλλες μορφές φωσφόρου. Παρ' όλα αυτά βέβαια, είναι σκόπιμο να σημειωθεί ότι, με την παρουσία άφθονης ποσότητας βιταμίνης D, παρατηρείται μερική βελτίωση του βαθμού χρησιμοποίησης του φωσφόρου της φυτίνης.

Στα ορνιθοειδή, ειδικότερα, όπως αποδείχτηκε από σχετικές έρευνες με σιτηρέσια εφοδιασμένα με επαρκή ποσά βιταμίνης D, η αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης του φωσφόρου της φυτίνης ήταν ίση με το 10%, στην περίπτωση των ορνιθίων, ή με το 50%, στην περίπτωση των ωοτόκων ορνιθίων, σε σύγκριση με εκείνη του φωσφόρου των ανόργανων φωσφορικών αλάτων.

Στην περίπτωση των αναπτυσσόμενων χοίρων, με

τη δράση ενζύμων (**φυτασών**) που απαντούν στις φυτικές τροφές, βελτιώνεται μερικώς ο βαθμός χρησιμοποίησης του φωσφόρου της φυτίνης.

Συμπεράσματα

Από όλα όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα, σχετικά με την περιεκτικότητα σε ασβέστιο και φωσφόρο των ζωοτροφών που χρησιμοποιούνται συνήθως, συνάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Όταν το σιτηρέσιο των χορτοφάγων αγροτικών ζώων (βοοειδών, προβάτων, ίππων) αποτελείται, σε σημαντική αναλογία, από χόρτα ψυχανθών, είναι μάλλον απίθανο να παρατηρηθεί ανεπάρκεια ασβεστίου.
2. Και στην περίπτωση όμως που, στα χορτοφάγα αυτά ζώα, χορηγούνται άλλα είδη χόρτων (αντί των ψυχανθών), συνήθως δεν παρατηρείται ανεπάρκεια ασβεστίου, εκτός βέβαια εάν τα χόρτα που χορηγούνται προέρχονται από εδάφη πολύ φτωχά σε ασβέστιο, ή εκτός εάν στο σιτηρέσιο των ζώων αυτών τα χόρτα μετέχουν σε αρκετά περιορισμένη αναλογία, ενώ το μεγαλύτερο μέρος τους αποτελείται από καρπούς δημητριακών και άλλες συμπυκνωμένες ζωοτροφές.
3. Ειδικά στην περίπτωση **των αγελάδων υψηλής γαλακτοπαραγωγής**, επειδή οι ανάγκες των ζώων αυτών σε ασβέστιο είναι, λόγω του παραγόμενου γάλακτος, ιδιαίτερα υψηλές, η συμπληρωματική χορήγηση ασβεστίου θεωρείται απαραίτητη, ακόμη και στην περίπτωση που στα ζώα αυτά χορηγούνται κανονικές ποσότητες χόρτων καλής ποιότητας, κι αυτό για να εξασφαλιστούν απέναντι σε ενδεχόμενη ανεπάρκεια ασβεστίου.
4. Στους **χοίρους** και τα **ορνιθοειδή**, η συμπληρωματική χορήγηση ασβεστίου θεωρείται σχεδόν πάντα απαραίτητη, για τον απλό λόγο ότι τα σιτηρέσια των ζώων αυτών αποτελούνται κυρίως από δημητριακούς καρπούς και άλλες συμπυκνωμένες τροφές, οι οποίες, ως γνωστό, είναι κατά κανόνα χαμηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο.
5. Σχετικά με το φωσφόρο, μπορεί να πει κανείς ότι, εάν στα σιτηρέσια όλων των αγροτικών ζώων συμμετέχουν, σε σημαντική αναλογία, οι καρποί των σιτηρών και τα υποπροϊόντα τους καθώς και άλλες πλούσιες σε φωσφόρο συμπυκνωμένες ζωοτροφές, είναι μάλλον απίθανο να παρατηρηθεί οποιαδήποτε ανεπάρκεια φωσφόρου.
6. Στους **χοίρους** και τα **ορνιθοειδή** όμως τα πράγματα έχουν κάπως διαφορετικά. Έτσι, μόνο στην περίπτωση που το σιτηρέσιο των ζώων αυτών περιλαμβάνει, ως κύρια πρωτεϊνική πηγή οστεοκρεατάλευρο ή ιχθυάλευρο, η προσθήκη συμπληρώ-

ματος φωσφόρου δεν είναι απαραίτητη. Αντίθετα, όταν το σιτηρέσιό τους περιέχει, ως κύρια πρωτεϊνική πηγή, το σογιοπλακούντα (σογιάλευρο), τροφή όχι πολύ πλούσια σε φωσφόρο, η προσθήκη συμπληρώματος φωσφόρου είναι μάλλον επιβεβλημένη.

7. Και στην περίπτωση όμως **των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής**, πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω των υψηλότερων αναγκών των ζώων αυτών σε φωσφόρο, εάν το σιτηρέσιο αποτελείται αποκλειστικά από χόρτο (ή, ακόμη, και από χόρτο σε συνδυασμό με μικρές ποσότητες συμπυκνωμένων τροφών), είναι αρκετά πιθανόν να παρατηρηθεί ανεπάρκεια φωσφόρου. Στην περίπτωση λοιπόν αυτή είναι σκόπιμο να προστεθεί κάποιο συμπλήρωμα φωσφόρου, εκτός βέβαια και εάν τα χορηγούμενα χόρτα είναι αρκετά πλούσια σε φωσφόρο, ώστε, βάσιμα, να ικανοποιούν τις ανάγκες των γαλακτοπαραγωγών αγελάδων.
8. Όταν το σιτηρέσιο των χορτοφάγων ζώων αποτελείται κυρίως από χόρτα που φύονται σε εδάφη πολύ φτωχά σε φωσφόρο (όπως αυτό π.χ. συμβαίνει σε μεγάλες περιφέρειες πολλών χωρών), ενώ παράλληλα δε χορηγείται κάποια άλλη τροφή πλούσια σε φωσφόρο ή κάποιο συμπλήρωμα φωσφόρου, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στη ζωική παραγωγή.
9. Η λίπανση με φωσφορικά λιπάσματα εδαφών που είναι φτωχά σε φωσφόρο, πέραν του ότι αυξάνει σημαντικότερα τις στρεμματικές αποδόσεις των καλλιεργειών, συντελεί στον εμπλουτισμό των παραγόμενων χόρτων με φωσφόρο, αποτρέποντας έτσι τα δυσμενή για τη ζωική παραγωγή αποτελέσματα, που προκαλούνται από την ανεπάρκεια φωσφόρου. Εάν, για οποιονδήποτε λόγο, η λίπανση με φωσφορικά λιπάσματα των εδαφών αυτών, δεν μπορεί πρακτικά να εφαρμοστεί, η χορήγηση στα ζώα συμπληρώματος φωσφόρου αποτελεί επιβεβλημένη ανάγκη.
10. Τα συμπληρώματα ασβεστίου και φωσφόρου που συνήθως χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι: α) **το αποστειρωμένο οστεάλευρο**, β) **το φωσφορικό ασβέστιο**, γ) **το φωσφορικό διασβέστιο** (CaHPO_4), δηλ. το μονόξινο φωσφορικό ασβέστιο και δ) **το ανθρακικό ασβέστιο** (CaCO_3), δηλ. η **σκόνη ασβεστολίθου** (περιεκτικότητας σε CaCO_3 95% και σε Ca 38,5%).
Συχνά το φωσφορικό ασβέστιο είναι ορυκτό. Στην περίπτωση αυτή πρέπει οπωσδήποτε να ελέγχεται η περιεκτικότητά του σε **φθόριο** (F), η οποία δεν πρέπει να βρίσκεται πέρα από ορισμένα όρια (1 μέρος F ανά

100 μέρη P), διότι σε αντίθετη περίπτωση το συμπλήρωμα αυτό μπορεί να αποβεί τοξικό για τα ζώα.

Στον πίνακα 29.2 δίνεται η περιεκτικότητα σε ασβέστιο και φωσφόρο καθώς και ο πραγματικός συντελεστής πεπτικότητας των διαφόρων συμπληρωμάτων Ca και P που χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Πίνακας 29.2. Περιεκτικότητα σε Ca και P και πραγματικός συντελεστής πεπτικότητας των συνήθως χρησιμοποιούμενων συμπληρωμάτων ασβεστίου και φωσφόρου (κατά τον Gueguen)

	Ca (%)	P (%)	Πραγματ. συντελ. πεπτικ. P (%)
- Φωσφορικό μονοασβέστιο	15-16	23-24	60-70
- Φωσφορικό διασβέστιο	22-26	17-19	60-65
- Φωσφορικό τριασβέστιο	36-35	12-14	50-60
- Φωσφορικό μονοάτριο	-	21-23	70-80
- Φωσφορικό δινάτριο, υδατωμένο (ένυδρο)	-	8-10	70-80
- Οστεάλευρα ακατέργαστα	23-25	10-11	50-55
- Οστεάλευρα αποζελατινοποιημένα	30-33	13-15	
- Φυσικά φωσφορικά άλατα, αποθροισμένα	28-35	12-18	20-50
- Φωσφορικά άλατα αλουμινοασβεστούχα	6-8	14-15	<20%
- Τριπλό φωσφορικό άλας νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου	9	17	60-70
- Φωσφορικό οξύ (περιεκτικότητας 75% σε H ₃ PO ₄)	-	23-24	
- Ανθρακικό ασβέστιο ή κιμωλία (Ca CO ₃)	36-38		

Το μέγεθος των αναγκών των αγροτικών ζώων σε Ca και P

Οι ανάγκες των αγροτικών ζώων σε ασβέστιο και φωσφόρο δίνονται αναλυτικά στους Πίνακες Διατροφής.

Εδώ παραθέτουμε το κατά προσέγγιση μέγεθος των αναγκών των δύο αυτών ανόργανων στοιχείων σε μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις:

- Αγελάδες γαλακτοπαραγωγής: 4,5 g Ca και 4,5 g P** ανά 100 kg Ζ.Β. και ανά ημέρα, για τη συντήρηση και **3,0 g Ca και 1,6 g P** ανά kg γάλακτος, για τη γαλακτοπαραγωγή.
- Πρόβατα:**
 - **Προβατίνες σε κνοφορία:** 4,5 g Ca και 3,7 g P, για το 2ο μήνα κνοφορίας και 8,5 g Ca και 5,5 g P, για τον 5ο μήνα κνοφορίας.
 - **Προβατίνες γαλακτοπαραγωγής** (2,5 kg γάλακτος στο ric της γαλ/γής): 14 g Ca και 9 g P, για τον 1ο μήνα γαλακτοπαραγωγής και 8 g Ca και 6 g P, για τον 4ο μήνα γαλακτοπαραγωγής.
- Χοίροι:** 10 g Ca και 7 g P ανά kg Ξ.Ο. που καταναλώνεται, για τα πολύ νεαρά χοιρίδια και 8 g Ca και 6 g P ανά kg Ξ.Ο. που καταναλώνεται, για τα αναπτυσσόμενα - παχυνόμενα χοιρίδια, Ζ.Β. 10-50 kg.
- Ορνιθοειδή:** η περιεκτικότητα του σιτηρεσίου σε Ca και P πρέπει να είναι 1,0% και 0,7%, στην περίπτωση των νεοσσών 0-8 εβδομάδων και 2,75% και 0,6%, στην περίπτωση των ορνίθων (ωτόκων και αναπαραγωγής).