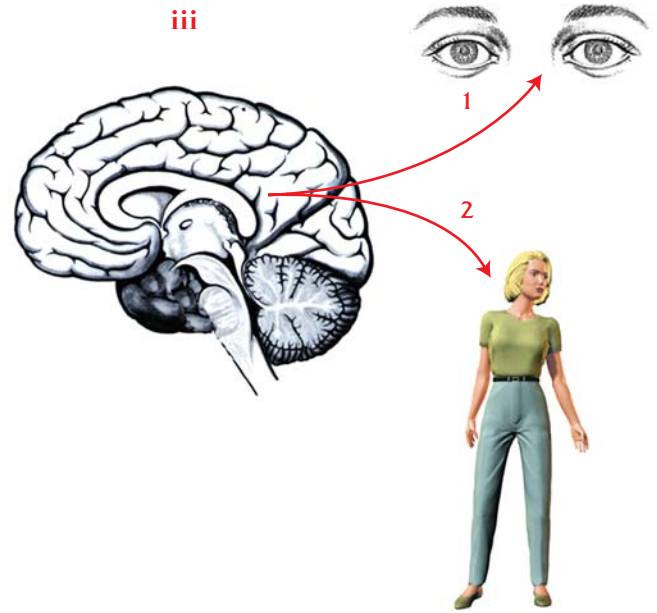
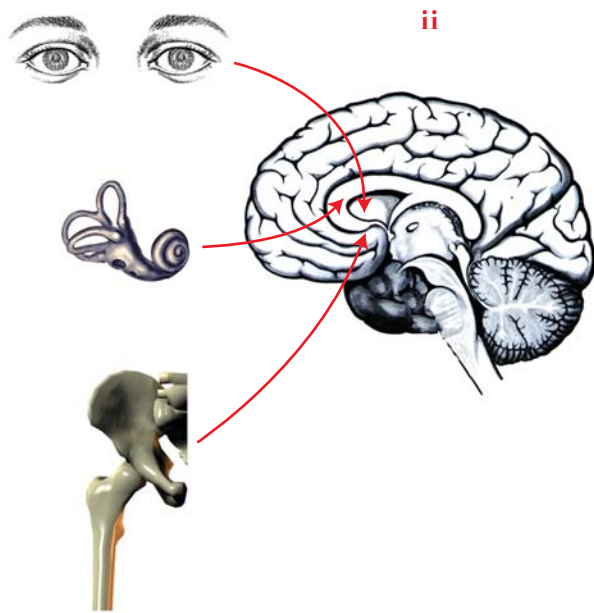
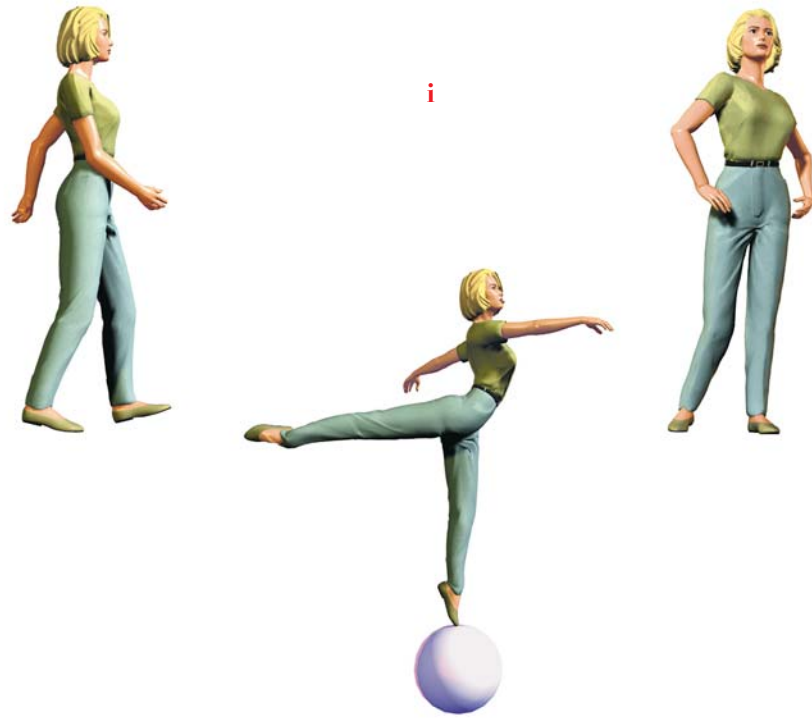


SECTION I

Structure of the vestibular labyrinth

ΜΕΡΟΣ Ι

Δομή του αιθουσαίου λαβύρινθου



Introduction

(i) Man maintains his erect position, walks and achieves minute, coordinative and harmonic movements by the ability to *balance*. Balance is the combination (1) of the reflective control of the head and body in respect to the environment, (2) of the reflective control of the muscular coordination in respect to the movement of the environment, and (3) of the brain's readiness, which is necessary for the voluntary regulation of the body's stance.

(ii) Maintenance of balance and spatial orientation in space depends upon the coordinated, harmonic cooperation of *vision*, *proprioception* and of the *vestibular function*. Man maintains his spatial orientation by integrating afferent impulses from the vestibular, ocular, and proprioceptive system. The central nervous system integrates these impulses and send messages to the peripheral system such that the balance of the body is achieved.

(iii) These messages are transmitted through the *medial longitudinal fasciculus* to (1) the nuclei of the three *oculomotor nerves* (vestibulo-ocular reflex), and to (2) the anterior part of the motor regions of the spinal cord and subsequently to the skeletal muscles of the neck, the trunk and the extremities (vestibulo-spinal reflex).

The aim of this complex system is to effect appropriate righting reflexes of the eyes and the skeletal muscles so that balance of the body is achieved when man stands and walks.

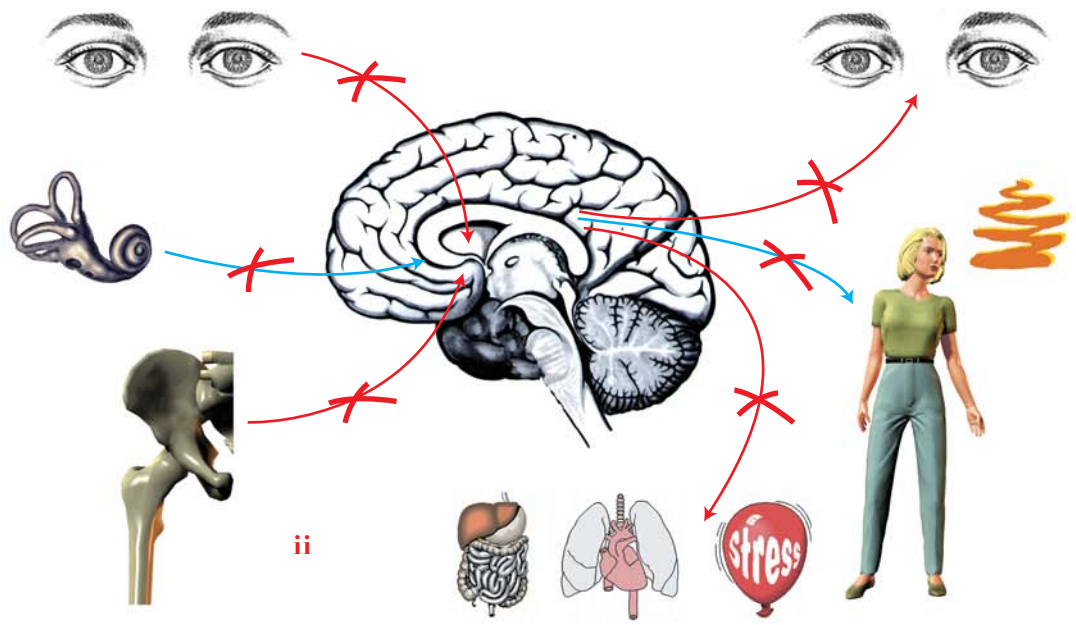
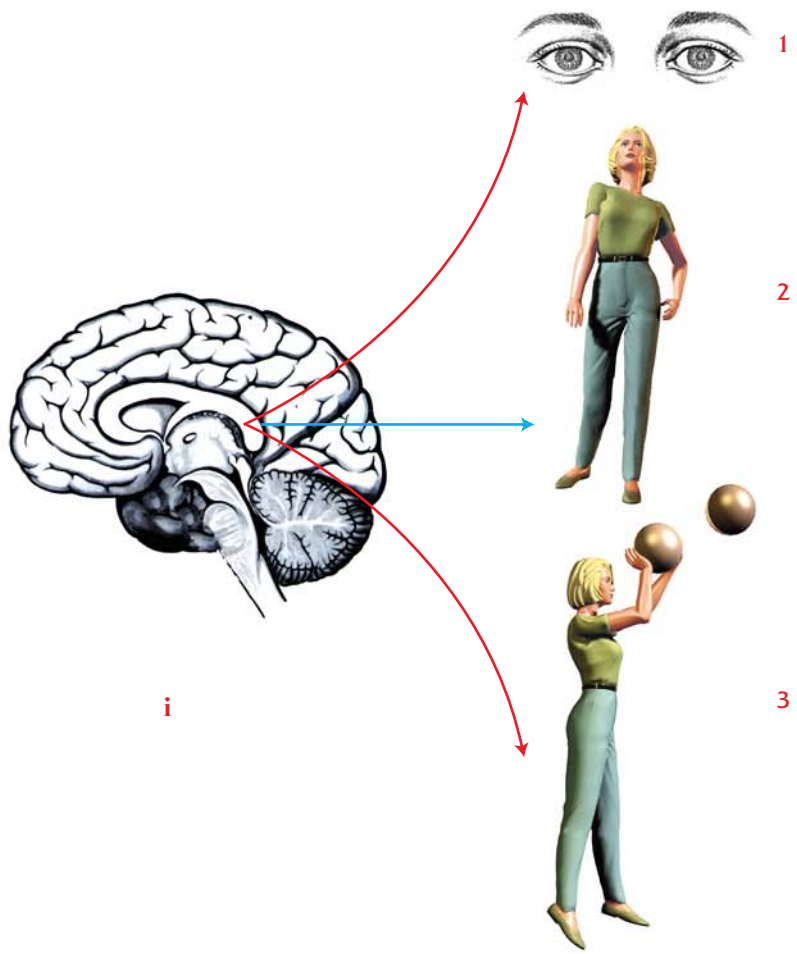
Εισαγωγή

(i) Ο άνθρωπος, για να σταθεί όρθιος, να περπατήσει, να κάνει λεπτές, συντονισμένες και αρμονικές κινήσεις, πρέπει να έχει την ικανότητα της *ισορροπίας*. Ως ισορροπία χαρακτηρίζεται ο συνδυασμός (1) του αντανακλαστικού ελέγχου της θέσης της κεφαλής και του σώματος ως προς το περιβάλλον, (2) του αντανακλαστικού ελέγχου της μυϊκής συνεργασίας σε σχέση με την κίνηση του περιβάλλοντος και (3) της φλοιϊκής ετοιμότητας, που είναι απαραίτητη για την εκούσια ρύθμιση της στάσης του σώματος.

(ii) Η διατήρηση της ισορροπίας του σώματος και του προσανατολισμού στον χώρο εξαρτάται από τη συνδυασμένη, αρμονική συνεργασία της *όρασης*, της *ιδιοδεκτικής αισθητικότητας* και της *λαβυρινθικής λειτουργίας*. Τα ερεθίσματα από την όραση, την ιδιοδεκτική αισθητικότητα και κυρίως από τον λαβύρινθο μεταδίδονται στο κεντρικό νευρικό σύστημα, όπου επιτελείται η κατάλληλη επεξεργασία και ολοκληρώσεώς τους.

(iii) Το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι η αποστολή οδηγιών από τον εγκέφαλο προς την περιφέρεια, τέτοιων, που εξασφαλίζουν την ισορροπία του σώματος. Αυτές οι οδηγίες, μέσω της *έσω επιμήκους δεσμίδας*, καταλήγουν (1) στους πυρήνες των τριών οφθαλμοκινητικών νεύρων και, κατ' επέκταση, στους *οφθαλμοκινητικούς μύες*, δημιουργώντας το αισουσο-οφθαλμικό αντανακλαστικό τόξο, και (2) στις κινητικές περιοχές των προσθίων κεράτων του νωτιαίου μυελού και, κατ' επέκταση, στους *σκελετικούς μύες* του τραχήλου, του κορμού και των άκρων, δημιουργώντας το αισουσο-νωτιαίο αντανακλαστικό τόξο.

Ο σκοπός αυτού του πολύπλοκου συστήματος συνίσταται στην επίτευξη των κατάλληλων αντανακλαστικών των ματιών και των σκελετικών μυών, ώστε να διατηρείται η ισορροπία κατά τη στάση και τη βάδιση.



Introduction

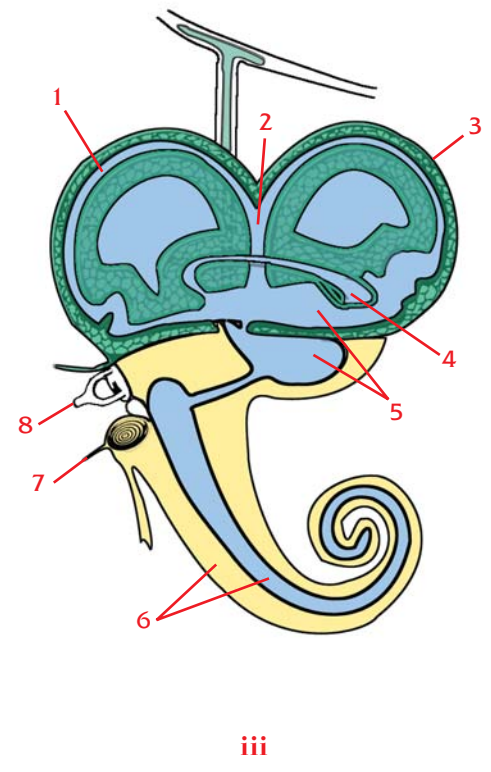
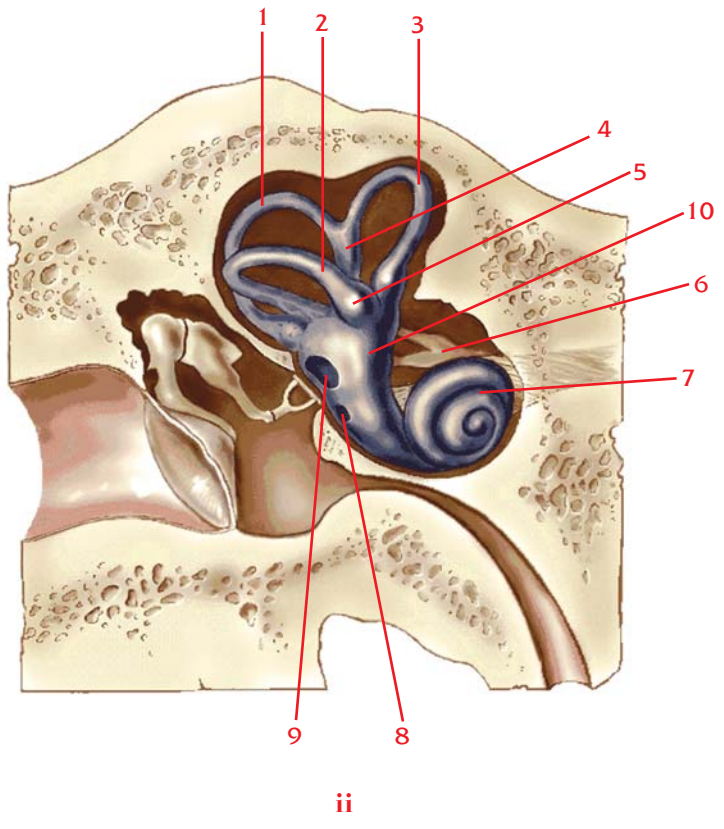
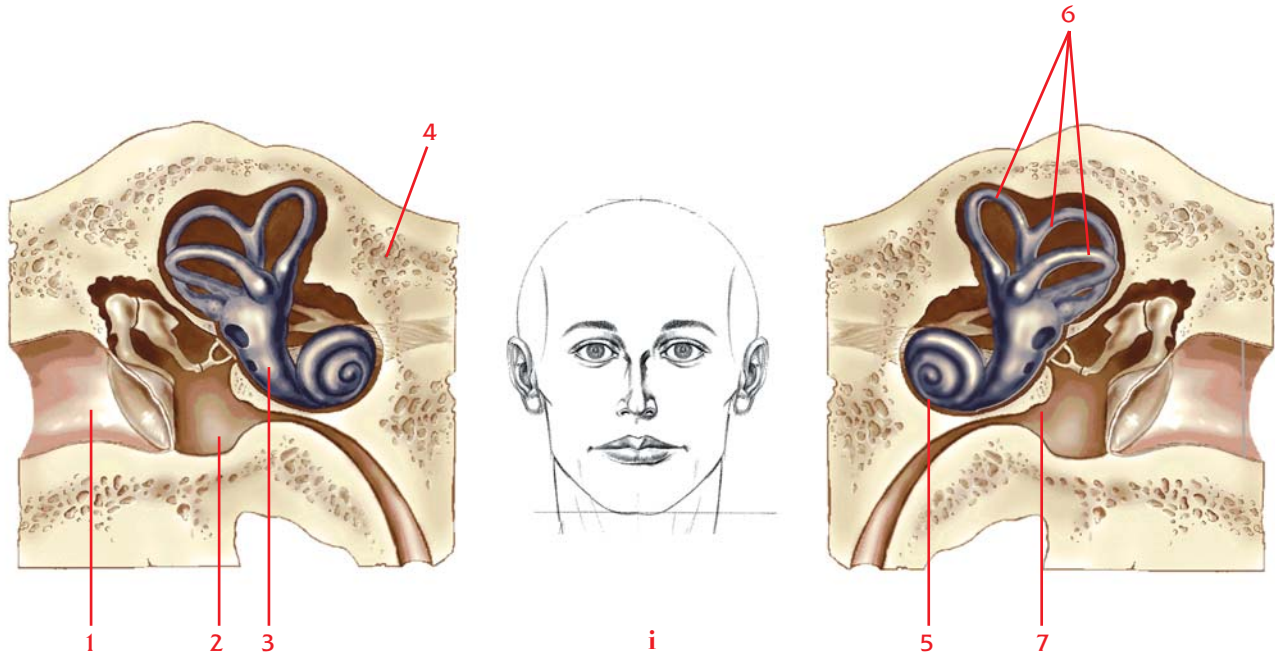
(i) The result of the messages transmission from the central nervous system to the peripheral, which is constantly monitored by the brain's readiness is the control (1) *of the eye movements*, (2) *of the stance of the body*, and (3) *of the body's movement*.

(ii) When a *conflict* does exist between the external stimuli and the internal points of reference, as these are developed through the every day experience or when a *lesion* exists at the transmission mechanisms of the impulses from the peripheral system to the central nervous system and from there to the eyes and the skeletal muscles the result is that the brain comprehends an illusion of false movement of the environment such that *nystagmus* and *balance disorder* are finally developed. Other symptoms and signs from the *autonomous nervous system* are also being developed .

Εισαγωγή

(i) Έτσι, κάτω από τη φλοιϊκή ετοιμότητα που απαιτείται για την εκούσια ρύθμιση της στάσης του σώματος, το αποτέλεσμα των οδηγιών από το κέντρο προς την περιφέρεια είναι (1) *ο έλεγχος των οφθαλμικών κινήσεων*, (2) *ο έλεγχος της στάσης του σώματος* και (3) *ο έλεγχος των κινήσεων του σώματος*.

(ii) Όταν υπάρχει *ασυμβατότητα* μεταξύ των εξωτερικών ερεθισμάτων και των εσωτερικών σημείων αναφοράς, έτσι όπως αυτά έχουν αναπτυχθεί από την καθημερινή εμπειρία, ή αν υπάρχει *οποιαδήποτε βλάβη* κατά την αποστολή ερεθισμάτων από την περιφέρεια προς το κεντρικό νευρικό σύστημα ή από το κεντρικό νευρικό σύστημα προς την περιφέρεια, το αποτέλεσμα είναι ότι ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται ψευδώς πως το περιβάλλον κινείται και τελικά αναπτύσσεται *νυσταγμός* και *διαταραχή της ισορροπίας* του σώματος. Με διαφορετική ένταση εκδηλώνονται και άλλα συμπτώματα από το *φυτικό νευρικό σύστημα*.



Bony labyrinth

(i) Coronal section of the head in which the two bony labyrinths are shown from the front. (1) external ear, (2) middle ear, (3) labyrinth or internal ear, (4) petrous part of the temporal bone, (5) bony cochlea, (6) bony semicircular canals, (7) bony vestibule.

(ii) Enlargement of picture i. (1) posterior vertical canal, (2) horizontal canal, (3) anterior vertical canal, (4) common crus, (5) ampulla of the horizontal canal, (6) VIII nerve, (7) cochlea, (8) round window, (9) oval window, (10) vestibule.

(iii) Diagram of the labyrinth in which the membranous labyrinth is shown (blue) lying into the bone labyrinth. (1) posterior vertical canal, (2) common crus, (3) anterior vertical canal, (4) horizontal canal, (5) membranous vestibule, (6) bony and membranous cochlea, (7) round window, (8) oval window with the stapes.

The *bony labyrinth* constitutes a system of cavities and ducts, which are hollowed within the petrous part of the *temporal bone*. It lies between the medial wall of the tympanic cavity (laterally) and the fundus of the internal acoustic meatus (medially). There are three incompletely divided regions: the *cochlea*, the *vestibule* and the three *semicircular canals*.

The *cochlea* which has the shape of a snail shell is a spiral tube comprising nearly two and three-quarters turns around a central axis, the *modiolus*.

The *vestibule* is the middle portion of the labyrinth lying behind and superiorly to the cochlea and in front of the semicircular canals. Anteroinferiorly the vestibule is connected to the cochlea, whereas posteriosuperiorly it receives the ends of the semicircular canals.

The bony semicircular canals at one end are dilated into the bony *ampulla*. The canals open into the vestibule with five apertures instead of six because one of the crus of each of the two vertical canals fuse into the *common crus*.

Within the bony labyrinth lies the *membranous labyrinth* which is filled with *endolymph*. The space between the bony and the membranous labyrinth is filled with *perilymph*.

Οστέινος λαβύρινθος

(i) Στεφαναία τομή του κρανίου, όπου φαίνονται από εμπρός οι δύο λαβύρινθοι: (1) εξωτερικό αυτί, (2) μέσο αυτί, (3) λαβύρινθος ή εσωτερικό αυτί, (4) λιθοειδής μοίρα του κροταφικού οστού, (5) οστέινος κοχλίας, (6) οστέινοι ημικύκλιοι σωλήνες, (7) οστέινη αίθουσα.

(ii) Μεγέθυνση της εικόνας (i): (1) οπίσθιος κάθετος ημικυκλικός σωλήνας, (2) οριζόντιος σωλήνας, (3) πρόσθιος κάθετος σωλήνας, (4) κοινό σκέλος, (5) λήκυθος οριζόντιου σωλήνα, (6) VIII νεύρο, (7) κοχλίας, (8) στρογγυλή θυρίδα, (9) ωοειδής θυρίδα, (10) αίθουσα.

(iii) Διάγραμμα του λαβυρίνθου, όπου απεικονίζεται ο υμενώδης λαβύρινθος (μπλε) που βρίσκεται μέσα στον οστέινο: (1) οπίσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας, (2) κοινό σκέλος, (3) πρόσθιος κάθετος σωλήνας, (4) οριζόντιος σωλήνας, (5) υμενώδης αίθουσα, (6) οστέινος και υμενώδης κοχλίας, (7) στρογγυλή θυρίδα, (8) ωοειδής θυρίδα με τον αναβολέα.

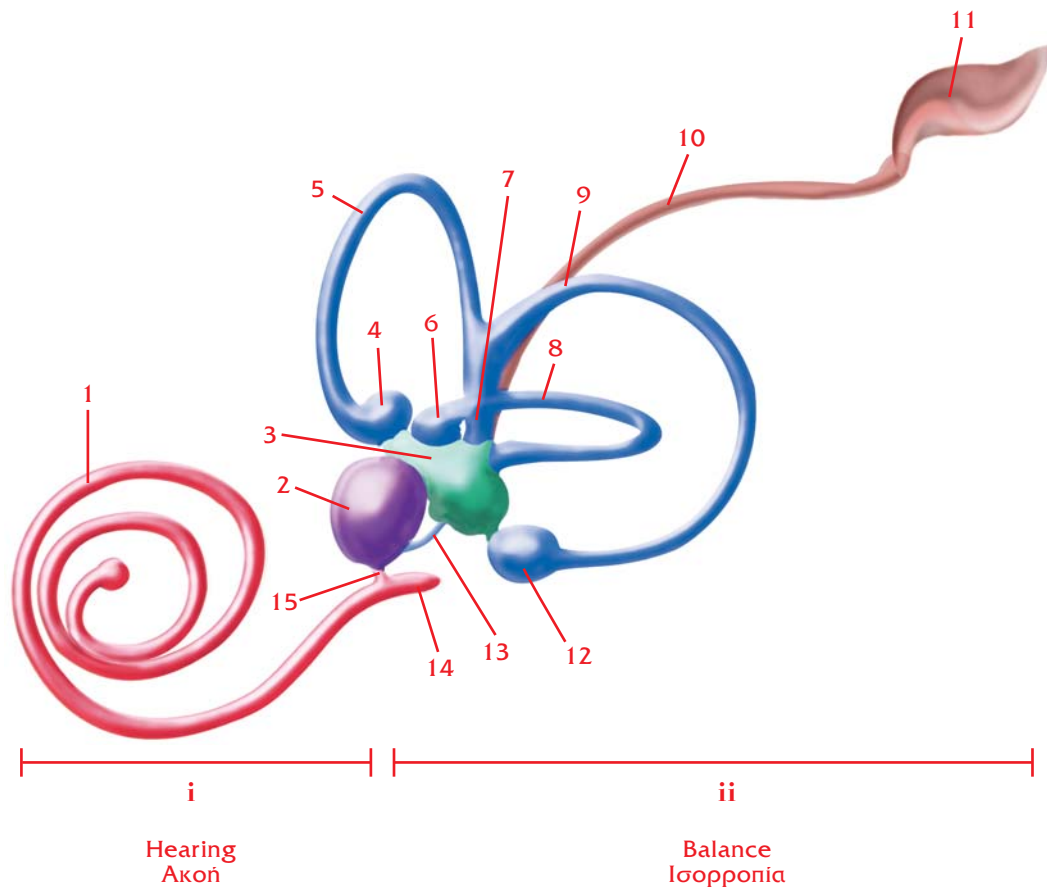
Ο οστέινος λαβύρινθος είναι ένα σύστημα κοιλοτήτων και σωλήνων, που είναι σκαμμένα μέσα στη λιθοειδή μοίρα του κροταφικού οστού. Είναι τοποθετημένος μεταξύ του έσω τοιχώματος της τυμπανικής κοιλοότητας (προς τα έξω) και του πυθμένα του έσω ακουστικού πόρου (προς τα έσω). Αποτελείται από τρία ατελώς διαχωρισμένα τμήματα: τον κοχλία, την αίθουσα και τους τρεις ημικύκλιους σωλήνες.

Ο κοχλίας, ο οποίος έχει το σχήμα κελύφους σαλιγκαριού, είναι ένας σωλήνας που διατρέχει περίπου δύο και τρία τέταρτα στροφές γύρω από έναν κεντρικό άξονα, την άτρακτο.

Η αίθουσα αποτελεί το μεσαίο τμήμα του λαβυρίνθου και βρίσκεται πίσω και πάνω από τον κοχλία. Προς τα εμπρός και κάτω συνδέεται με τον κοχλία, ενώ από πίσω και πάνω δέχεται τις εκβολές των ημικυκλίων σωλήνων.

Οι ημικύκλιοι σωλήνες στο ένα άκρο τους διευρύνονται και σχηματίζουν την οστέινη λήκυθο. Οι σωλήνες καταλήγουν στην αίθουσα με πέντε στόμια αντί έξι, γιατί ένα από τα σκέλη του οπίσθιου και του πρόσθιου κάθετου σωλήνα συγχωνεύονται στο κοινό σκέλος.

Μέσα στον οστέινο βρίσκεται ο υμενώδης λαβύρινθος, ο οποίος είναι γεμάτος με ενδόλημφο. Ο χώρος μεταξύ του υμενώδους και του οστέινου λαβυρίνθου είναι γεμάτος με περίλημφο.



Membranous labyrinth

(1) cochlear duct, (2) saccule, (3) utricle, (4) ampulla of the posterior semicircular canal, (5) posterior vertical canal, (6) ampulla of the horizontal semicircular canal (7) common limb of the posterior and anterior semicircular canals, (8) horizontal semicircular canal, (9) anterior vertical canal, (10) endolymphatic duct, (11) endolymphatic sac, (12) ampulla of the anterior vertical canal, (13) saccular duct, (14) end of the cochlear duct, (15) utricular duct.

The *membranous labyrinth* lies within the bony labyrinth. Its overall shape is almost identical to that of the bony labyrinth and the general arrangement of its various parts correspond to those of the bony labyrinth. It consists of a number of vesicles and ducts which are interconnected. Their walls are very thin and almost transparent and are made of connective tissue which is internally lined by epithelium. There are two distinct interconnected parts: the *cochlear duct* (i) in which the hearing sensory apparatus is found and the *vestibular labyrinth* (ii) which constitutes the peripheral apparatus of balance.

The vestibular labyrinth is made of two interconnected vesicles the *utricle* and the *saccule* and the three *membranous semicircular canals*. The utricle has an oval slightly flattened shape and occupies the superior portion of the bony vestibule. In the lateral utricular wall there is an oval bulging of the epithelium, the *utricular macula*. The saccule is almost spherical in shape and occupies the inferior part of the bony vestibule. Its medial wall has a similar epithelial bulging, the *saccular macula*.

Each one of the three membranous semicircular canals has two ends, one which is dilated into the *ampulla* and a non-dilated one. The non-dilated ends of the posterior and anterior vertical canals fuse into the *common crus*. Into each of the three ampullae there exists an elongated epithelium bulging, which protrudes from the floor of the ampulla, the *acoustic crest*.

Two very thin ducts, the *utricular* and the *saccular* ducts, emanate from the utricle and the saccule respectively and fuse into the *endolymphatic duct*, which ends at the *endolymphatic sac* at the posterior superior surface of the petrous pyramid under the *dura*.

Μεμβρανώδης λαβύρινθος

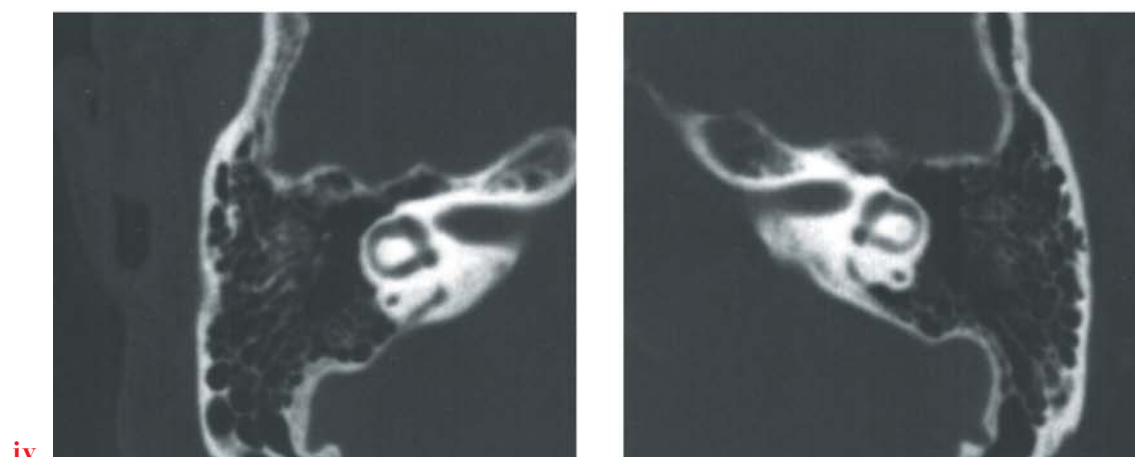
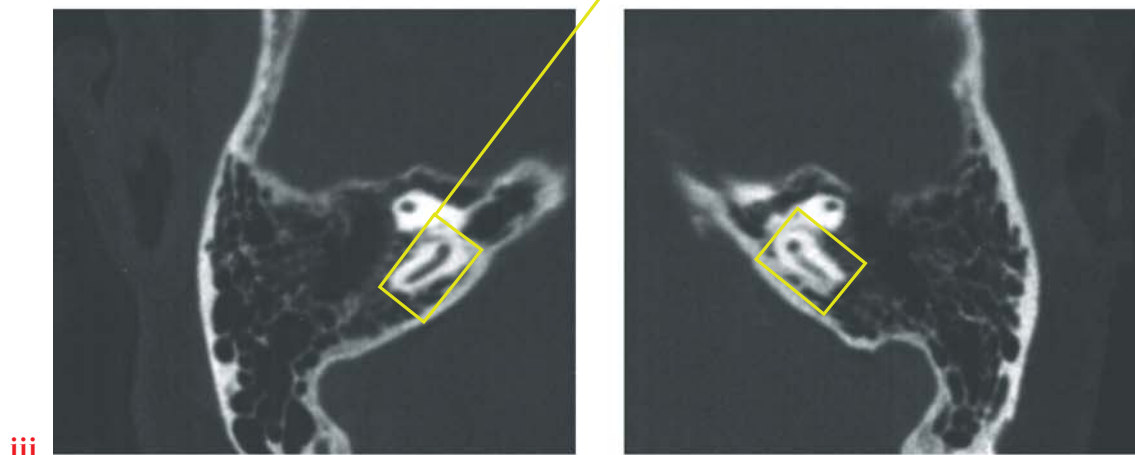
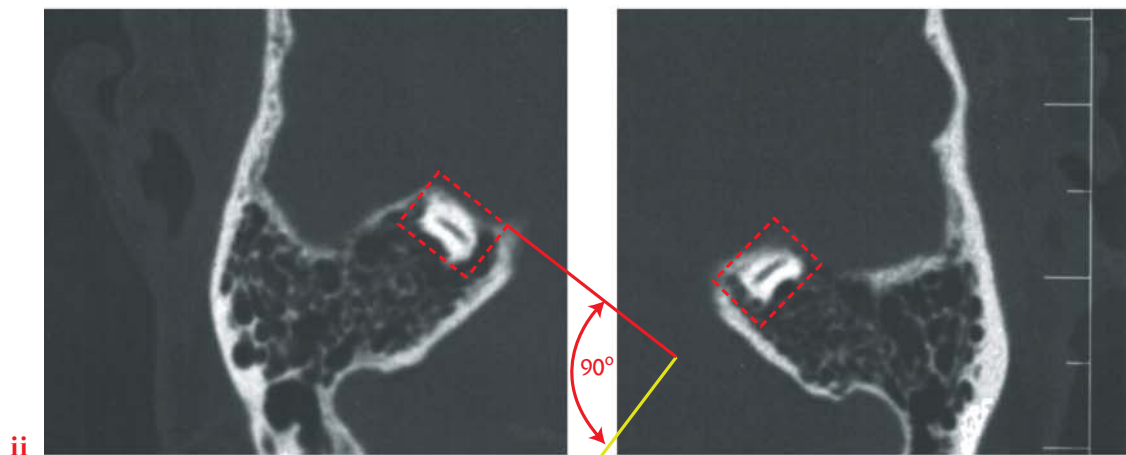
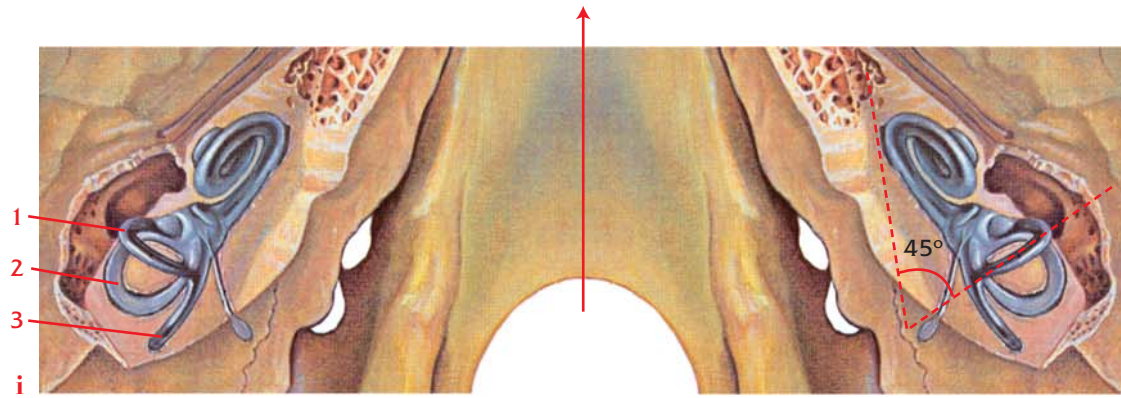
(1) κοχλιακός πόρος, (2) σφαιρικό κυστίδιο, (3) ελλειπτικό κυστίδιο, (4) λήκυθος του οπίσθιου κάθετου ημικύκλιου σωλήνα, (5) οπίσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας, (6) λήκυθος του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα, (7) κοινό σκέλος οπίσθιου και κάθετου ημικύκλιου σωλήνα, (8) οριζόντιος ημικύκλιος σωλήνας, (9) πρόσθιος κάθετος σωλήνας, (10) ενδολεμφτικός πόρος, (11) ενδολεμφτικός σάκκος, (12) λήκυθος του πρόσθιου κάθετου σωλήνα, (13) σφαιρικός πόρος, (14) τυφλό άκρο του κοχλιακού πόρου, (15) ελλειπτικός πόρος.

Ο *υμενώδης λαβύρινθος* βρίσκεται μέσα στον οστέينو. Το γενικό σχήμα του είναι σχεδόν ίδιο με εκείνο του οστέινου. Αποτελείται από μία σειρά ασκιδίων και σωληνίσκων, που επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα λεπτά, σχεδόν διαφανή τοιχώματά τους αποτελούνται από συνδετικό ιστό επαλειφόμενο εσωτερικά από επιθήλιο. Στον υμενώδη λαβύρινθο υπάρχουν δύο διαφορετικά τμήματα που επικοινωνούν: ο *κοχλιακός πόρος* (i), ο οποίος περιέχει το όργανο της ακοής, και ο *αιθουσαίος λαβύρινθος* (ii), ο οποίος περιέχει το περιφερικό όργανο της ισορροπίας.

Ο αιθουσαίος λαβύρινθος αποτελείται από το *ελλειπτικό* και το *σφαιρικό* κυστίδιο, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους, και από τους τρεις *ημικύκλιους σωλήνες*. Το ελλειπτικό κυστίδιο έχει ωοειδές και πεπλατυσμένο σχήμα και καταλαμβάνει το ανώτερο τμήμα της οστέινης αίθουσας. Το έξω τοίχωμα του ελλειπτικού κυστιδίου φέρει μία ωοειδή πάχυνση, την *ακουστική κηλίδα του ελλειπτικού κυστιδίου*. Το *σφαιρικό κυστίδιο* έχει σφαιρικό σχήμα και καταλαμβάνει το κατώτερο τμήμα της οστέινης αίθουσας. Το έσω τοίχωμά του φέρει μία πάχυνση, την *ακουστική κηλίδα του σφαιρικού κυστιδίου*.

Κάθε ένας από τους τρεις ημικύκλιους σωλήνες έχει δύο άκρα, εκ των οποίων το ένα είναι διογκωμένο, η *λήκυθος*, και το άλλο μη διογκωμένο. Τα μη διογκωμένα άκρα του οπίσθιου και του άνω ημικύκλιου σωλήνα συγχωνεύονται και σχηματίζουν το *κοινό σκέλος*. Σε κάθε λήκυθο υπάρχει μία επιμήκης έπαρση του βλεννογόνου, που προβάλλει από το έδαφος της λήκυθου, και καλείται *ακουστική ακρολοφία*.

Από το ελλειπτικό και το σφαιρικό κυστίδιο άρχονται δύο λεπτοί σωληνίσκοι, ο *ελλειπτικός* και ο *σφαιρικός πόρος* αντίστοιχα, οι οποίοι ενώνονται στον *ενδολεμφτικό πόρο*. Αυτός καταλήγει στον *ενδολεμφτικό σάκκο* στην οπίσθια άνω επιφάνεια του λιθοειδούς οστού, κάτω από τη μήνιγγα.



Orientation of the semicircular canals

(i) Schematic view from above of the two labyrinths (1) anterior vertical semicircular canal, (2) horizontal semicircular canal (3) posterior vertical semicircular canal (the arrow points forwards).

(ii, iii, iv) Computerized axial tomography of the petrous bones, in which the three semiscircular canals and their spatial relations are shown. (ii) The left and the right anterior semicircular canals (dotted rectangle) are almost orthogonal, (iii) The left and the right posterior vertical canals (bold box) are almost orthogonal. The left anterior vertical and the right posterior vertical canals lie in parallel planes. (iv) The left and the right horizontal semicircular canals lie on the same more or less horizontal plane.

The semicircular canals in each labyrinth are spatially sited in such a way that the level of each canal is perpendicular to the levels of the other two. This orientation of the canals functionally serves the perception of the head's movements in multiple planes.

Besides the interrelated orientation of the three canals in each one of the labyrinths their spatial relation with the canals of the opposite side is significant. The complex of the canals of each labyrinth is oriented laterally, such that the anterior vertical canal forms an angle of approximately 45° with the anterior-posterior axis of the head. This orientation results in the formation of three functional semicircular canals pairs. The first functional pair is formed by the two horizontal canals. When the head is in its natural upright position both horizontal canals lie on the same plane, which slopes inferiorly and posteriorly at an angle of approximately 30° to the horizontal plane. The second functional pair is formed by the right anterior and the left posterior vertical canals, because they both lie in vertical parallel planes. Finally, the third pair is formed by the right posterior and the left anterior vertical canals which also lie on vertical parallel planes.

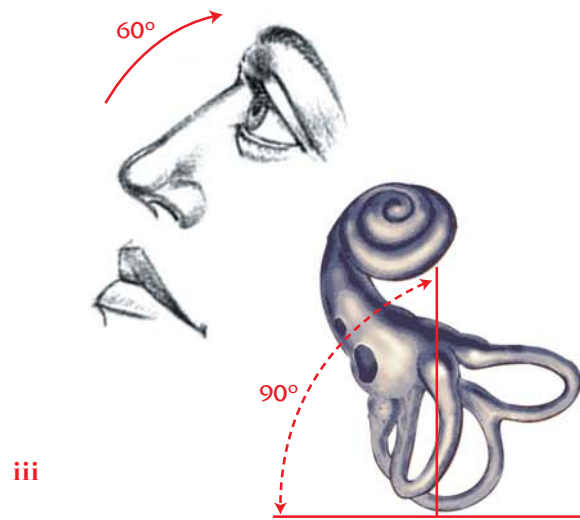
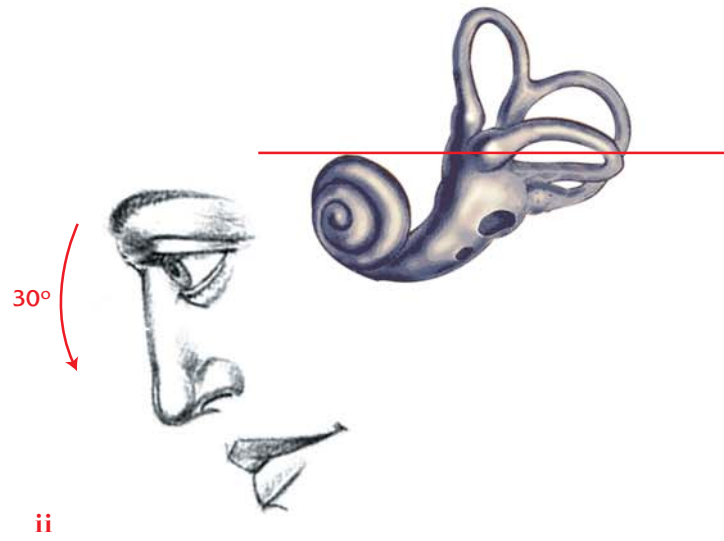
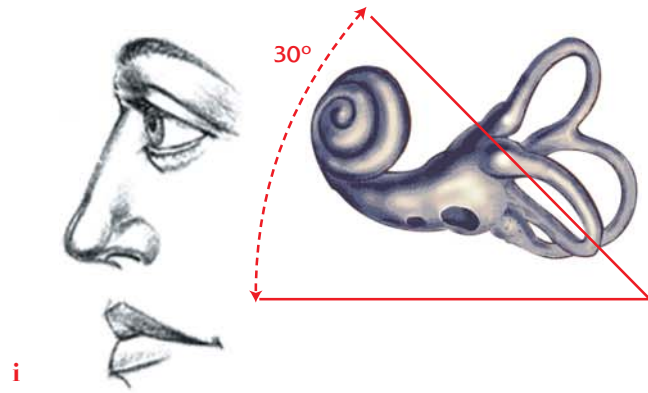
Προσανατολισμός των ημικυκλίων σωλήνων

(i) Σχηματική κάτοψη των δύο λαβυρίνθων (αριστερά απεικονίζεται ο αριστερός και δεξιά ο δεξιός λαβύρινθος): (1) πρόσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας, (2) οριζόντιος ημικύκλιος σωλήνας, (3) οπίσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας (το βέλος δείχνει εμπρός).

(ii, iii, iv) Αξονική τομογραφία των λιθοειδών, όπου φαίνονται οι τρεις ημικύκλιοι σωλήνες και οι σχέσεις μεταξύ τους: (ii) ο αριστερός και ο δεξιός πρόσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας (σε στικτό πλαίσιο) είναι περίπου κάθετοι μεταξύ τους, (iii) ο αριστερός και ο δεξιός οπίσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας (σε συμπηγές πλαίσιο) είναι περίπου κάθετοι μεταξύ τους. Επιπλέον, ο αριστερός πρόσθιος κάθετος και ο δεξιός οπίσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας είναι μεταξύ τους παράλληλοι, (iv). Ο αριστερός και ο δεξιός οριζόντιος ημικύκλιος σωλήνας βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

Στον χώρο, οι ημικύκλιοι σωλήνες της μιας πλευράς είναι έτσι τοποθετημένοι, ώστε το επίπεδο του καθ' ενός από αυτούς να είναι κάθετο με το επίπεδο των άλλων δύο ημικυκλίων σωλήνων. Αυτή η τοποθέτηση των σωλήνων εξυπηρετεί λειτουργικά την αντίληψη στροφών της κεφαλής σε πολλαπλά επίπεδα.

Εκτός από τη σχέση που έχουν μεταξύ τους οι τρεις ημικύκλιοι σωλήνες της μιας πλευράς, ιδιαίτερη σημασία έχει και η σχέση τους με τους άλλους τρεις σωλήνες της αντίθετης πλευράς. Το σύμπλεγμα των ημικυκλίων σωλήνων της κάθε πλευράς είναι στραμμένο προς τα έξω, έτσι ώστε ο πρόσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας να σχηματίζει γωνία 45° με τον προσθιοπίσθιο άξονα της κεφαλής. Αυτός ο προσανατολισμός στον χώρο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τριών λειτουργικών ζευγών ημικυκλίων σωλήνων. Το πρώτο λειτουργικό ζεύγος αποτελείται από τους δύο οριζόντιους ημικύκλιους σωλήνες, οι οποίοι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, το οποίο, όταν η κεφαλή βρίσκεται στη φυσιολογική όρθια θέση της, σχηματίζει γωνία 30° με το οριζόντιο επίπεδο. Το δεύτερο λειτουργικό ζεύγος αποτελείται από τον δεξιό πρόσθιο κάθετο και τον αριστερό οπίσθιο κάθετο ημικύκλιο σωλήνα, γιατί βρίσκονται σε επίπεδα που είναι παράλληλα μεταξύ τους. Το τρίτο λειτουργικό ζεύγος, τέλος, αποτελείται από τον δεξιό οπίσθιο κάθετο σωλήνα και τον αριστερό πρόσθιο κάθετο ημικύκλιο σωλήνα, οι οποίοι βρίσκονται σε κάθετα επίπεδα, τα οποία αντίστοιχα είναι κάθετα μεταξύ τους.



Orientation of the horizontal semicircular canal

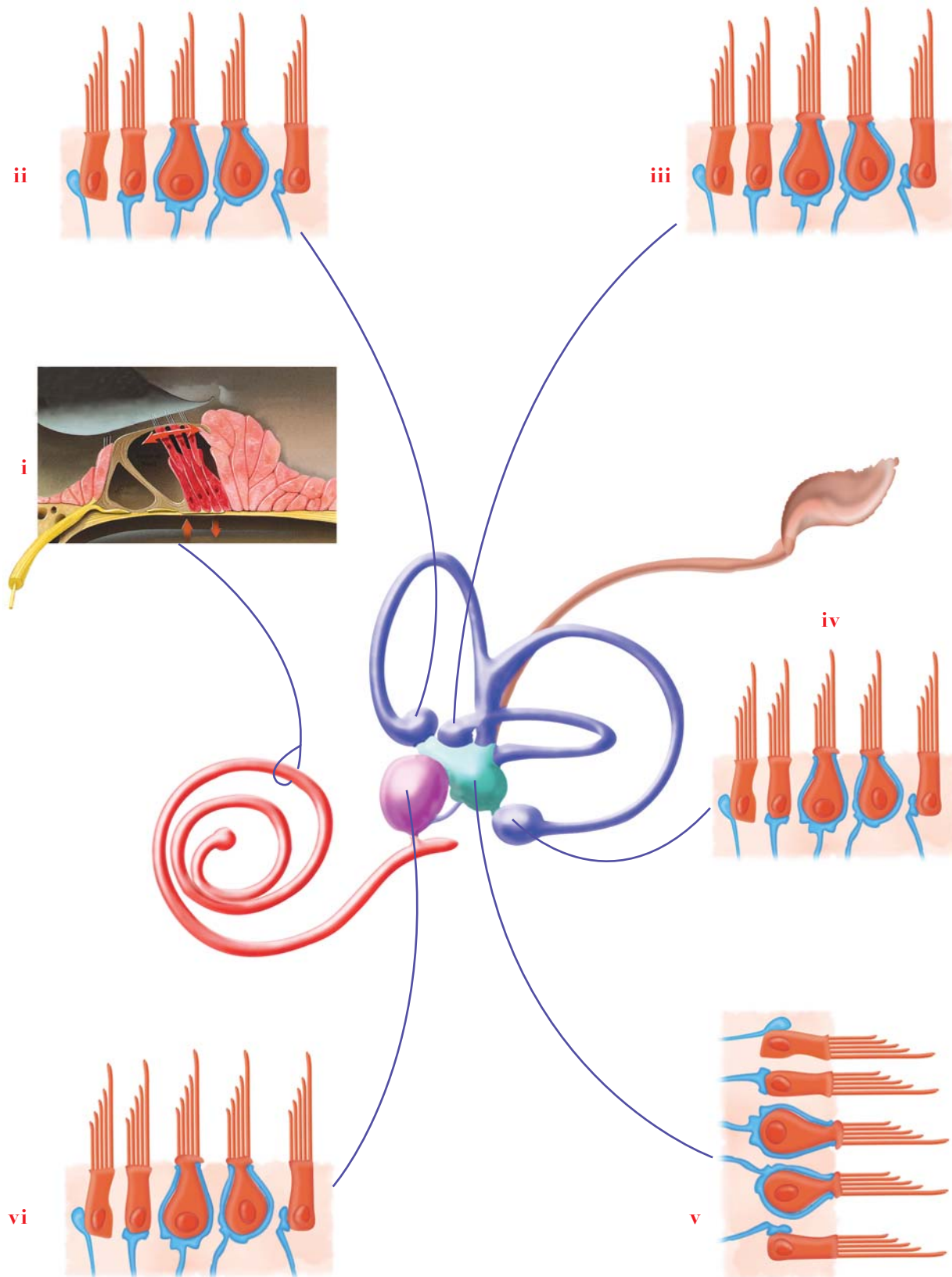
Due to the arrangement of the semicircular canals and the general position of the whole labyrinth in the cranium the horizontal semicircular canals subtend at an angle of 30° to the horizontal when the head is in its normal upright position **(i)**. Thirty degrees flexion of the head brings these canals to the true horizontal plane **(ii)**, while extension of the head for 60° brings the horizontal canals to the vertical plane **(iii)**.

The three dimensional orientation and the positioning of the semicircular canals is significant in various labyrinthine tests. The horizontal canals must be on a vertical plane during the caloric stimulation and horizontal (head flexed 30°) during rotational tests.

Προσανατολισμός του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα

Λόγω αυτής της θέσης των ημικυκλίων σωληνών, αλλιά και της γενικής θέσης του λαβυρίνθου στον χώρο, όταν το κεφάλι είναι στη φυσιολογική όρθια θέση του, οι οριζόντιοι ημικύκλιοι σωλήνες βρίσκονται σε επίπεδο, που σχηματίζει γωνία 30° με το οριζόντιο επίπεδο **(i)**. Η κάμψη της κεφαλής κατά 30° φέρει τους οριζόντιους ημικύκλιους σωλήνες στο οριζόντιο επίπεδο **(ii)**, ενώ η έκταση της κεφαλής κατά 60° τους φέρει σε κάθετο επίπεδο **(iii)**.

Ο τρισδιάστατος προσανατολισμός και η θέση των ημικυκλίων σωληνών έχει ιδιαίτερη σημασία στη διενέργεια ορισμένων εξετάσεων της λειτουργίας του λαβυρίνθου. Κατά τη διάρκεια του θερμικού διακλυσμού, για παράδειγμα, πρέπει να ερεθιστεί ο οριζόντιος ημικύκλιος σωλήνας. Για να επιτευχθεί ο βέλτιστος ερεθισμός του, πρέπει να βρίσκεται σε κάθετο επίπεδο. Αντίθετα, όταν εκτελούνται στροφικές δοκιμασίες, οι οριζόντιοι ημικύκλιοι σωλήνες πρέπει να βρίσκεται σε οριζόντιο επίπεδο (κάμψη της κεφαλής 30°).



Sensory epithelium of the labyrinth

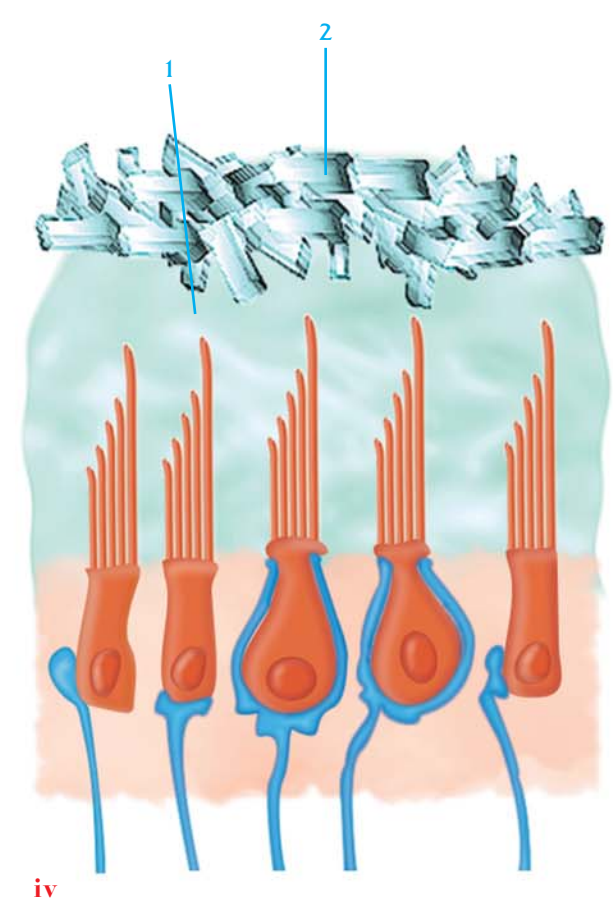
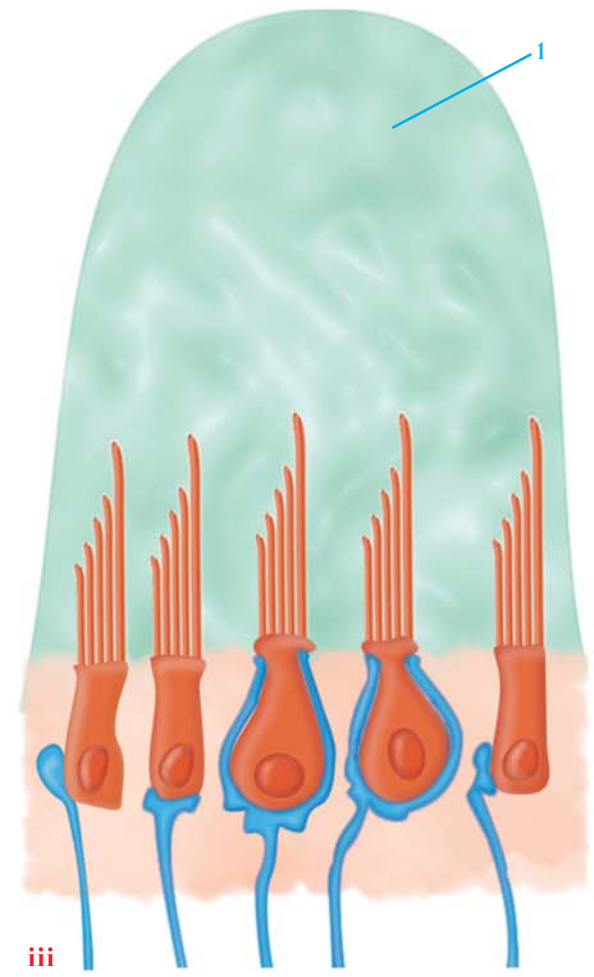
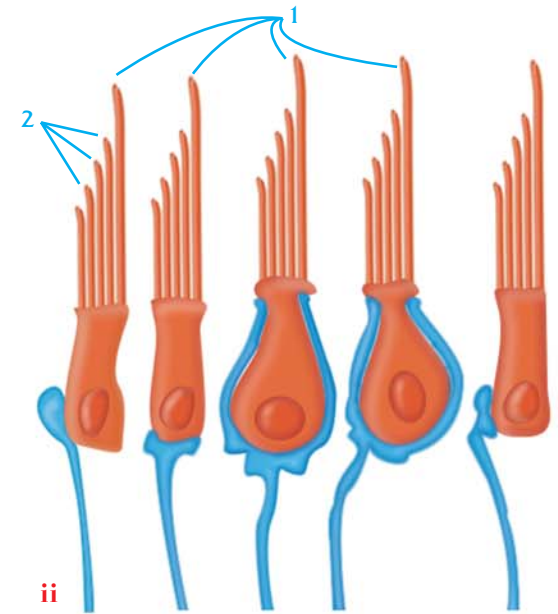
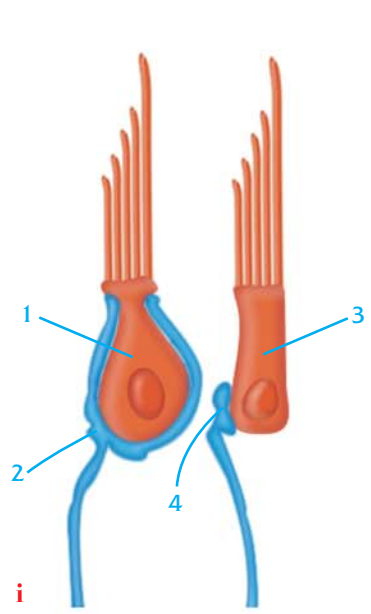
In certain areas within the membranous labyrinth the connective tissue which forms the labyrinthine walls thickens into specialized sensory epithelium. There are six such sensory areas which are sited **(i)** along the whole length of the cochlear duct and form the organ of Corti, **(ii, iii, iv)** at the ampullary crests of the three semicircular canals, **(v)** at the utricular macula, and **(vi)** at the saccular macula.

The six sensory areas found within each of the labyrinths can be grouped in respect to the special exogenous stimulus by which they are excited. The organ of Corti is stimulated by sound. The three sensory areas found at each of the ampullary crests of the semicircular canals form a homogeneous sensory group which responds to changes of the head's angular velocity (angular acceleration and deceleration). Finally, the sensory epithelium at the utricular and saccular maculae are sensitive to changes of the head's linear velocity (linear acceleration and deceleration).

Αισθητηριακό λαβυρινθικό επιθήλιο

Ο συνδετικός ιστός, από τον οποίο σχηματίζονται τα τοιχώματα του υμενώδους λαβυρίνθου, σε ορισμένες περιοχές παχύνεται και μεταπίπτει σε αισθητηριακό επιθήλιο. Υπάρχουν έξι τέτοιες αισθητηριακές περιοχές που βρίσκονται: **(i)** κατά μήκος όλη του κοχλιακού πόρου και σχηματίζουν το όργανο του Corti, **(ii, iii, iv)** στις ακουστικές ακρολοφίες των τριών ημικυκλίων σωλήνων, **(v)** στην ακουστική κηλίδα του ελλειπτικού κυστιδίου και **(vi)** στην ακουστική κηλίδα του σφαιρικού κυστιδίου.

Οι έξι αισθητηριακές περιοχές, που βρίσκονται στον καθένα από τους δύο λαβυρίνθους, μπορούν να ομαδοποιηθούν ανάλογα με το ειδικό εξωτερικό ερέθισμα από το οποίο διεγείρονται. Το όργανο του Corti ερεθίζεται από τον ήχο. Οι ημικύκλιοι σωλήνες αποτελούν έναν ομοειδή υποδοχέα που διεγείρεται από τις αλλαγές της γωνιακής ταχύτητας της κεφαλής (γωνιακή επιτάχυνση και επιβράδυνση). Τέλος, το αισθητηριακό επιθήλιο των ακουστικών κηλίδων αντιδρά στις αλλαγές της ευθύγραμμης ταχύτητας της κεφαλής (ευθύγραμμη επιτάχυνση και επιβράδυνση).



Structure of the vestibular end organs

In the five sensory areas of the vestibular membranous labyrinth, the connective membrane is thicker and the epithelium consists of sensory and supporting cells, which are similar in the cristae ampullares and in the maculae. The sensory cells are the sites of transformation of mechanical energy of the stimulus into bioelectrical energy which finally leads to the initiation of nerve impulses.

(i) Two types of hair cells can clearly be identified. The type I hair cell has the shape of a bottle (1) and is, with the exception of the apical part, surrounded by a nerve chalice (2). The type II hair cell has an irregular cylindrical shape (3) and is in contact with several small nerve endings (4).

(ii) Both cell types are found over the entire surface of the maculae and the cristae. From the apical part of each sensory cell one kinocilium (1) and a large number of stereocilia protrude (2). The length of the stereocilia increases from one side of the cell surface to the other. The kinocilium is the longest of the sensory hairs and it always lies next to the longest of the stereocilia.

(iii) In each of the two cristae the sensory epithelium is covered by the cupula (1), a gelatinous like structure which fits like a cap over the entire surface of the crista ampullaris and extends from the crista to the roof of the ampulla.

(iv) In the two maculae the sensory epithelium is covered by the otolithic membrane (1), a gelatinous mass which contains in its upper part a large number of crystalline particles, the otoliths (2) which mainly consist of calcium carbonate. The otoliths have a density of 2.71-2.93, which is much higher than that of the cupulae and twice as high as that of the endolymph.

Δομή των τελικών υποδεκτικών οργάνων της αίθουσας

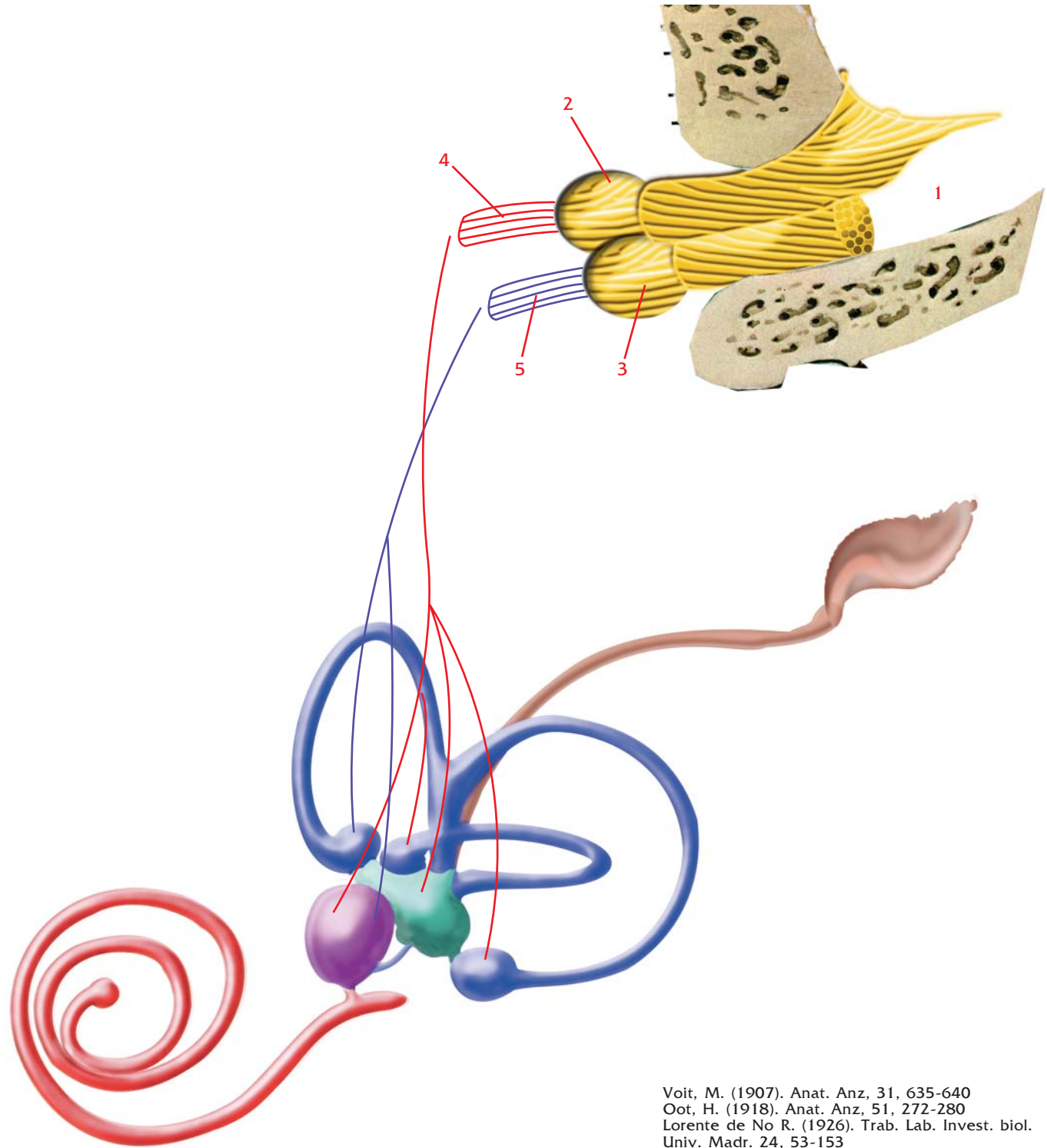
Στις πέντε αισθητηριακές περιοχές του μεμβρανώδους αιθουσαίου λαβυρίνθου, ο συνδετικός ιστός παχύνεται και το επιθήλιο αποτελείται από αισθητηριακά και στηρικτικά κύτταρα, τα οποία είναι όμοια τόσο στις ακουστικές ακρολοφίες όσο και στις ακουστικές κηλίδες. Τα αισθητηριακά κύτταρα είναι τα σημεία, όπου η μηχανική ενέργεια, που προκαλείται από τα εφαρμοζόμενα ερεθίσματα, μετατρέπεται σε βιοηλεκτρική ενέργεια, η οποία τελικά οδηγεί στην παραγωγή νευρικών ώσεων.

(i) Στις αισθητηριακές περιοχές υπάρχουν δύο είδη τριχωτών νευροαισθητηριακών κυττάρων. Το τριχωτό κύτταρο τύπου I έχει αποειδές σχήμα (1) και, με εξαίρεση το κορυφαίο του τμήμα, περιβάλλεται από μία νευρική κάλυκα (2). Το τριχωτό κύτταρο τύπου II έχει ανώμαλο κυλινδρικό σχήμα (3) και έρχεται σε επαφή με διάφορες μικρές νευρικές απολήξεις (4).

(ii) Τα δύο αυτά είδη των κυττάρων ανευρίσκονται σε όλη την επιφάνεια των ακουστικών ακρολοφιών και κηλίδων. Από το κορυφαίο τμήμα κάθε αισθητηριακού κυττάρου προβάλλει μία κινητή τρίχα (1) και ένας μεγάλος αριθμός ακίνητων τριχών (2). Το μήκος των κινητών τριχών σταδιακά αυξάνεται από τη μία προς την άλλη πλευρά της επιφάνειας του τριχωτού κυττάρου. Η κινητή τρίχα είναι η μακρύτερη από όλες τις αισθητηριακές τρίχες και πάντα είναι τοποθετημένη παρά τη μακρύτερη ακίνητη τρίχα.

(iii) Σε κάθε μία από τις τρεις ακουστικές ακρολοφίες το αισθητηριακό επιθήλιο καλύπτεται από το τελικό κυπέλλο (1), ένα ζελατινώδες όργανο, το οποίο εφαρμόζει ως κώδωνας πάνω σε ολόκληρη την επιφάνεια της ακουστικής ακρολοφίας και εκτείνεται από την επιφάνεια της ακουστικής ακρολοφίας ως την οροφή της ηνκύθου.

(iv) Στις δύο ακουστικές κηλίδες το αισθητηριακό επιθήλιο καλύπτεται από την ωτολιθοφόρο μεμβράνη (1), μία ζελατινώδη μάζα, η οποία στο ανώτερο τμήμα της περιέχει έναν μεγάλο αριθμό κρυσταλλικών σωματιδίων, τους ωτόλιθους (2), που αποτελούνται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο. Οι ωτόλιθοι έχουν πυκνότητα από 2.71 ως 2.93, η οποία είναι πολύ υψηλότερη από εκείνη του τελικού κυπέλλου και διπλάσια από εκείνη της ενδολήμφου.



Voit, M. (1907). *Anat. Anz*, 31, 635-640
Oot, H. (1918). *Anat. Anz*, 51, 272-280
Lorente de No R. (1926). *Trab. Lab. Invest. biol. Univ. Madr.* 24, 53-153

Innervation of the labyrinth

(i) The *vestibular ganglion* is situated within the internal auditory meatus (1) and it is double, being divided into an *upper* (2) and *lower* (3) part. The central processes of the superior vestibular ganglionic cells form the *upper division* of the vestibular nerve (4) while those of the inferior vestibular ganglion form the lower division of the vestibular nerve (5).

(ii) The peripheral branches of the superior vestibular ganglion run to the ampullae of the superior and lateral semicircular ducts, to the macula of the utricle and to the anterior-superior part of macula of the saccule. The inferior vestibular ganglion gives off the main nerve to the posterior ampulla (singular nerve) and to the main part of the saccule.

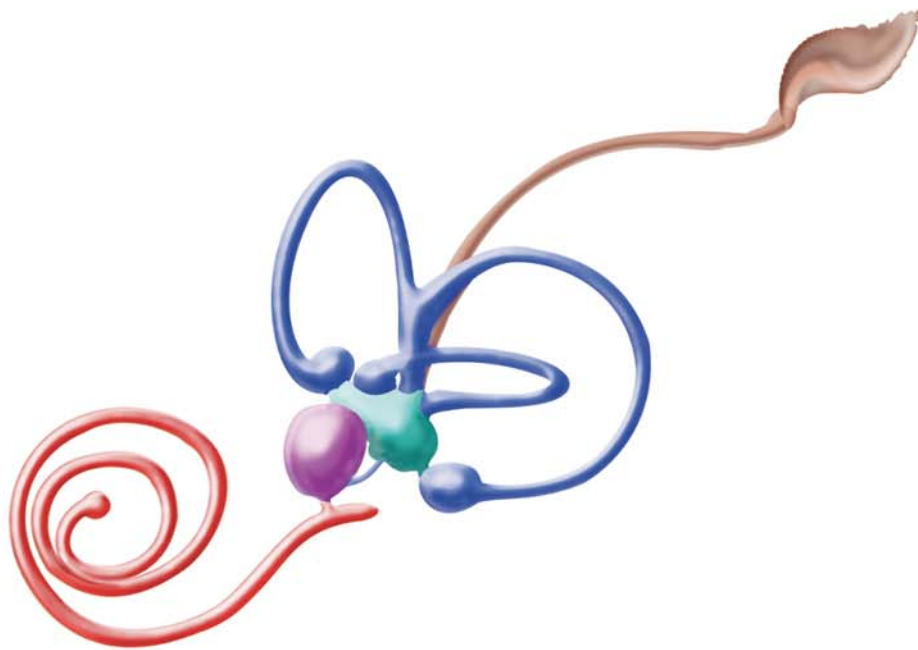
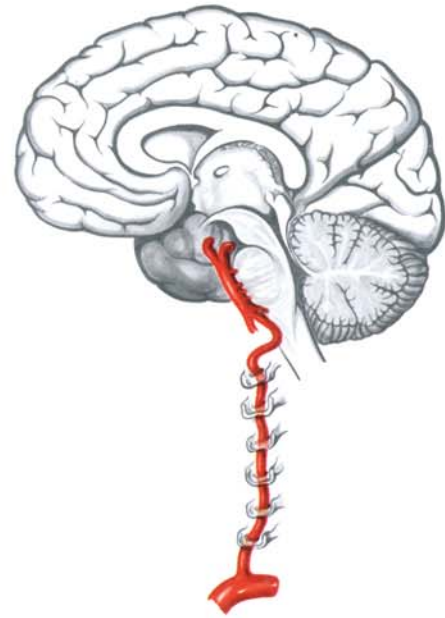
The spiral or cochlear ganglion occupies the spiral canal of the modiolus. Its central processes join those of the inferior vestibular ganglion to form the inferior division of the auditory nerve (VIII). Lorente de No (1926) demonstrated a facio-cochlear anastomosis which he believed carried sympathetic fibres to the cochlea from the internal carotid plexus via the petrosal nerves and the tympanic plexus. The vestibulo-cochlear anastomosis, described by Oort (1918), runs from the inferior vestibular ganglion to join the cochlear nerve in the region of the basal coil of the cochlea.

Νεύρωση του λαβυρίνθου

(i) Το *αιθουσαίο γάγγλιο* βρίσκεται μέσα στον έσω ακουστικό πόρο (1), είναι διπλό και χωρίζεται σε *άνω* (2) και *κάτω* (3) τμήμα. Οι κεντρικές αποφυάδες των γαγγλιακών κυττάρων του άνω αιθουσαίου γαγγλίου σχηματίζουν τον *άνω κλάδο* του αιθουσαίου νεύρου (4), ενώ εκείνες του κάτω αιθουσαίου γαγγλίου σχηματίζουν τον *κάτω κλάδο* του αιθουσαίου νεύρου (5).

(ii) Οι περιφερικοί κλάδοι του άνω αιθουσαίου γαγγλίου πορεύονται στις ακουστικές ακρολιφίες του πρόσθιου κάθετου και του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα, στην ακουστική κηλίδα του ελλειπτικού κυστιδίου και στο πρόσθιο-άνω τμήμα της ακουστικής κηλίδας του σφαιρικού κυστιδίου. Το κάτω αιθουσαίο γάγγλιο παρέχει το κύριο νεύρο της ακουστικής ακρολιφίας του οπίσθιου κάθετου ημικύκλιου σωλήνα (μόνιρες νεύρο) και του κυρίως τμήματος της ακουστικής κηλίδας του σφαιρικού κυστιδίου.

Το σπειροειδές ή κοχλιακό γάγγλιο βρίσκεται στην άτρακτο του κοχλίου. Οι κεντρικές αποφυάδες του ενώνονται με τις κεντρικές αποφυάδες του κάτω αιθουσαίου γαγγλίου και σχηματίζουν τον κάτω κλάδο του ακουστικού νεύρου (VIII). Ο Lorente de No (1926) απέδειξε την ύπαρξη μιας κοχλιο-προσωπικής αναστόμωσης, που θεωρήθηκε ότι μεταφέρει συμπαθητικές ίνες από το έσω καρωτιδικό πλέγμα στον κοχλίο μέσω των ριθοειδών νεύρων και του τυμπανικού πλέγματος. Η αιθουσο-κοχλιακή αναστόμωση περιγράφηκε από τον Oort (1918). Αυτή πορεύεται από το κάτω αιθουσαίο γάγγλιο και ενώνεται με το κοχλιακό νεύρο στην περιοχή της βασικής έλικας του κοχλίου.



Vascular supply of the labyrinth

The first description of the labyrinth's basic vascular supply came from Siebenmann, in 1890.

The membranous labyrinth, and its nerves are supplied by the *internal labyrinthine artery*. The internal auditory arteries are branches of the *anterior inferior cerebellar artery*, which also supplies the pons and the cerebellum, but sometimes they come directly from the basilar artery.

The labyrinthine arteries have two main branches: the *common cochlear artery* and the *anterior vestibular artery*. The former divides in the internal auditory canal into the *vestibulocochlear artery* and the *spiral modiolar* or *cochlear artery*. The vestibulocochlear artery divides into the *posterior vestibular artery* and the *cochlear branch*. The *anterior vestibular artery* supplies the utricle, the ampullae of the anterior and horizontal semicircular canals and a small portion of the saccule. The *posterior vestibular artery* supplies the inferior part of the saccule, the ampulla of the posterior semicircular canal and the lower part of the basal turn of the cochlea while the *cochlear branch* runs in the opposite direction toward the apex. The *spiral modiolar artery* enters the modiolus about half a turn from the basal end of the cochlea and runs towards the apex giving off the *external* and *internal radiating arterioles*. These are anastomoses between the *cochlear branch* and the *spiral modiolar artery*.

Αιμάτωση του λαβυρίνθου

Ο Siebenmann (1890) ήταν ο πρώτος που έδωσε τη βασική περιγραφή της αιμάτωσης του εσωτερικού αυτιού.

Ολόκληρος ο μεμβρανώδης λαβύρινθος και το ακουστικό και προσωπικό νεύρο αιματώνονται από την λαβυρινθική αρτηρία. Οι έσω ακουστικές αρτηρίες είναι κλάδοι της πρόσθιας κάτω παρεγκεφαλιδικής αρτηρίας, η οποία αιματώνει τη γέφυρα και την παρεγκεφαλίδα, μερικές φορές όμως εκφύονται απ' ευθείας από τη βασική αρτηρία.

Οι λαβυρινθικές αρτηρίες δίδουν δύο κύριους κλάδους: την κοινή κοχλιακή αρτηρία και την πρόσθια αιθουσαία αρτηρία. Η κοινή κοχλιακή αρτηρία χωρίζεται μέσα στον έσω ακουστικό πόρο στην αιθουσοκοχλιακή αρτηρία και στην ελικοειδή αρτηρία της ατράκτου ή κοχλιακή αρτηρία. Η αιθουσοκοχλιακή αρτηρία διαιρείται στην οπίσθια αιθουσαία αρτηρία και σε έναν κοχλιακό κλάδο. Η πρόσθια αιθουσαία αρτηρία είναι κλάδος της λαβυρινθικής αρτηρίας και παρέχει αίμα στο ελθειπτικό κυστίδιο, στις ληκύθους του πρόσθιου κάθετου και του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα και σε ένα μικρό τμήμα του σφαιρικού κυστιδίου. Η οπίσθια αιθουσαία αρτηρία παρέχει αίμα στο πρόσθιο τμήμα του σφαιρικού κυστιδίου, στη λήκυθο του οπίσθιου κάθετου ημικύκλιου σωλήνα και στο κατώτερο τμήμα της βασικής έλικας του κοχλία, ενώ ο κοχλιακός κλάδος στρέφεται στην αντίθετη κατεύθυνση προς την κορυφή του κοχλία. Η ελικοειδής αρτηρία της ατράκτου εισέρχεται στην άτρακτο του κοχλία σε σημείο μισής έλικας από το πέρας της βασικής έλικας του κοχλία και πορεύεται προς την κορυφή του κοχλία χορηγώντας τα έσω και έξω ακτινωτά αρτηριόλια. Αυτά είναι αναστομώσεις μεταξύ του κοχλιακού κλάδου και της ελικοειδούς αρτηρίας της ατράκτου.