

QIANTING GONGNENG

JIANCHA JISHU

前庭功能检查技术

于立身 主编



人民军医出版社

1
R770.42
S

Y 889/04

前庭功能检查技术

QIANTING GONGNENG JIANCHA JISHU

主 编 于立身

副主编 刘 森

编 著 者

于立身 刘 森 王奎年

张红雷 毕红哲 戴建国

曾建海 肖瑞春 殷善开



人民军医出版社

(京)新登字 128 号

图书在版编目(CIP)数据

前庭功能检查技术/于立身主编. —北京:人民军医出版社,1994. 8

ISBN 7-80020-488-X

I. 前… II. ①于…②刘… III. 前庭功能试验-技术 IV. R770.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 04085 号

人民军医出版社

(北京复兴路 22 号甲 3 号 邮政编码:100842 电话:8222916)

空军指挥学院印刷厂印刷

新华书店总店北京发行社发行

*

开本:787×1092/32·印张:12·字数:307 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1~4,000 定价:12.00 元

ISBN 7 80020-488-X/R·429

(凡购买本社图书,因缺、损、倒、脱页者,本社负责调换)

前言

前庭神经系统是人空间定向、保持人体平衡的重要系统。它与人体其他系统在组织上和功能上有着极其广泛的联系,并且相互影响。

前庭神经系统功能异常和病理变化是眩晕的重要原因。人体有关系统功能异常和病理过程可直接、间接地影响前庭神经系统的功能状态。因此,前庭神经系统的功能检查和评定是各种眩晕病症的必要、不可缺少的手段。

由于前庭神经系统结构和功能复杂,不能靠一二种检查方法探测出其全面的功能状态。那种认为前庭功能检查只是“鉴定前庭器病变”的片面观点应当改变,而建立系统、动态评定前庭功能的观点,才能改变目前临床前庭功能检查效果不佳的状况。

眼震电图(ENG)技术的出现和发展,电子计算机的应用,使前庭功能检查走向了高层次的发展,但与临床实际需要仍相差甚远。

当前,深化、提高和发展前庭功能检查的总趋势是设备、方法上的综合、量化、自动化,更重要的是诊断评定上的定位化。

前庭功能检查的目的应当是:

- (1)客观证实病人的主诉症状和体征;
- (2)为眩晕病人定位诊断提供有价值的信息;
- (3)为确定病因提供信息;
- (4)探查特殊病因机制。

欲达到这些目的,目前从前庭学理论上、技术上尚有许多困难,但纵观前庭学发展趋势,是一定可以实现的。从当前前庭学发展水平来看,前庭功能检查能达到:①明确前庭神经系统功能状态是否异常或有无病损;②做出一定程度的定位评定;③对病因评定提供有价值的信息。

目前我国已有了前庭功能检查的国产化设备,如 VTS 型系列化前庭检查设备;前庭学基础理论、正常人前庭功能、新的检查方法等研究以及临床前庭学研究都正在开展,有的已经达到可以与国外相媲美程度。可以展望,前庭学在我国正在进入一个大发展时期。

为了读者深入掌握前庭功能检查方法和评定技术,本书将前庭神经系统组织结构、生理功能作为一篇简要叙述,在第二篇中着重介绍各种系列化前庭功能检查方法和前庭功能检查结果的分析和评定,在第三篇中集中介绍国产化前庭功能设备,特别是 VTS-III 型集控式前庭功能检查系统的性能、使用方法以及对眼震电图计算机分析技术作为重点介绍。

需要指出,听力检查是评定前庭神经系统功能不可缺少的一项重要检查。因听力检查已有统一、公认的检查方法和程序,在本书中不再重复。

本书是根据作者 20 余次授课讲稿整理而成,但由于编著者水平所限,所述内容难免有错误之处,敬请批评指正。

空军航空医学研究所 于立身

1994 年 3 月

目次

第一篇 前庭神经系统基本结构特点及功能

第一章 前庭神经系统的构成及基本功能	(1)
第一节 前庭感受器的组织结构特点及其功能原理.....	(1)
第二节 前庭神经与前庭神经核.....	(6)
第三节 前庭神经通路及其功能反应.....	(9)
第二章 视前庭功能相互作用	(22)
第一节 前庭眼动反射(VOR)通路及其生理功能	(22)
第二节 视眼动反射(OVR)通路及其生理功能	(23)
第三节 视前庭相互作用反射(VVOR)通路	(24)
第三章 前庭神经系统的后象反应及适应	(26)
第一节 前庭后象反应	(26)
第二节 前庭适应	(30)
第四章 综合加速度作用前庭神经系统的生理反应特点	(32)
第一节 概念	(32)
第二节 人体绕垂直轴(Z)旋转时头绕垂轴(X)在额状面内 倾动时产生的科里奥利加速度作用	(33)
第三节 人体绕垂直轴(Z)旋转时头绕横轴(Y)在矢状面内翻动时产生的 科里奥利加速度作用	(34)
第四节 人体绕三个轴向旋转时的反应	(34)
第五章 前庭代偿与失代偿	(36)
第一节 前庭代偿	(36)
第二节 前庭失代偿	(37)

第二篇 系列化前庭功能检查法

第一章 系列化前庭功能检查项目及要	(40)
第一节 系列化前庭功能检查分类	(40)
第二节 对影响前庭功能检查因素的控制	(41)
第三节 做前庭功能检查时对受检者和检查者的具体要求	(42)
第四节 前庭功能检查的适应症及禁忌症	(43)

第二章 眼震电图学基础	(44)
第一节 眼震电图发展简史和应用价值	(44)
第二节 眼震电图基本原理	(47)
第三节 眼震电图记录技术	(49)
第四节 眼震电图记录导程及记录技术	(52)
第三章 系列化前庭功能检查各项方法	(62)
第一节 自发性前庭反应检查及正常人与病人的反应	(62)
第二节 视眼动系统功能检查	(70)
第三节 前庭眼动系统功能检查	(83)
第四节 姿态稳定试验	(128)
第五节 晕机病预测方法	(130)
第四章 前庭功能检查结果评定	(135)
第一节 评定前庭功能检查结果应注意的问题	(135)
第二节 各种检查方法的单项评定	(137)
第三节 前庭功能检查结果综合评定	(143)

第三篇 前庭功能检查的设备及计算机分析处理系统

第一章 前庭功能检查设备	(147)
第一节 概述	(147)
第二节 系统简介	(147)
第三节 主控台	(150)
第四节 电动转椅	(152)
第五节 视动性眼震刺激器	(153)
第六节 视跟踪刺激器	(154)
第七节 人体重心平衡台	(157)
第八节 记录设备	(157)
第九节 定标器(视标灯)和凝视灯	(158)
第十节 电极和氯化箱	(158)
第二章 前庭功能检查的计算机分析处理	(160)
第一节 概述	(160)
第二节 眼震电图的计算机分析处理	(161)
第三节 视跟踪检查的计算机处理	(170)
第四节 平台人体重心信号的计算机处理	(172)
第五节 前庭功能检查的判别诊断分类模型	(174)
第三章 前庭功能检查计算机分析处理系统	(181)
第一节 概述	(181)
第二节 系统总体结构	(181)
第三节 系统功能	(183)
第四节 软件系统性能	(185)

第一篇 前庭神经系统基本结构特点及功能

第一章 前庭神经系统的构成及基本功能

一般临床耳鼻咽喉科医生常认为,前庭功能是指前庭感受器的功能。这种理解是很片面的。前庭神经系统是一个完整的系统,有感受器、传导通路和相对应的中枢,有传入、有输出,有复杂的相互联系的反馈,可以说在人体各系统中是属于一种严格的控制系统。

前庭神经系统内特异的感受器接受外界适宜刺激,经前庭神经把前庭信息传入到相应的前庭神经核,经六条神经通路分别把前庭神经信息传送到相应的更高层次的中枢,形成具有特异性的与非特异性的功能反应。

第一节 前庭感受器的组织结构特点及其功能原理

前庭感受器,又称前庭器官,是前庭神经系统接受外界信息的部分。它是内耳的一部分,属对称性器官。它由三对半规管——水平半规管、前垂直半规管和后垂直半规管及二对前庭囊——椭圆囊和球状囊组成。半规管和前庭囊有骨、膜半规管、前庭囊之分。骨、膜半规管、前庭囊之间,膜半规管、前庭囊内都充满淋巴液。内外淋巴液之间互不相通,在成分和比重上也不相同。

一、前庭感受器解剖空间位置特点

前庭感受器分别位于头的三个轴向平面内、颅骨矢状线的两侧。水平半规管位于横轴平面内,头直立时大约后仰 $24\sim 30^\circ$,即当头前倾 30° 时与地平面平行。前垂直半规管位于与矢状线约成 45° 的矢状平面内,后垂直半规管位于与冠状线呈 45° 的冠状平面内。一侧的前垂直半规管与对侧的后垂直半规管相平行。两前垂直半规管与颅骨矢状线各呈 45° ,呈 V 形排列,两后垂直半规管也与颅骨矢状线各呈 45° ,但呈 $\wedge$ 形排列。三对半规管互呈 90° 角。

椭圆囊与球状囊互呈 90° 。椭圆囊位于冠状平面内,球状囊位于矢状平面内。

前庭感受器所以能接受三度六维空间的外界刺激正是由于它的上述解剖空间位置特点决定的。

二、前庭感受器的形态结构特点

前庭感受器分为两部分,一是半规管系统,二是前庭囊耳石器系统。它们各有其自己的形

态结构特点。

(一)半规管的形态结构特点

半规管是个半环状管,约为圆周的 $\frac{2}{3}$ 。水平半规管长 $1.4\sim 1.6\text{cm}$,水平弓向外后方,前垂直半规管长 $1.8\sim 2.0\text{cm}$,内腔狭窄,弓向上方,后垂直半规管长为 2.2cm ,内径较阔,弓向后外方。三个半规管各有二脚,一脚膨大,称壶腹脚,感受器——壶腹嵴胶顶位于其中,另一脚为单脚;前后垂直半规管的单脚并为一脚,称总脚,故三个半规管共有五个管口,都与椭圆囊相通。骨半规管内径约为 1mm ,膜半规管内径约为 0.3mm ,壶腹嵴脚处比管的内径大一倍。壶腹处有一镰状隆起,称壶腹嵴。该嵴约等于壶腹直径的 $\frac{1}{3}$,是感受角加速度的感受器。

(二)前庭囊耳石器的形态结构特点

前庭囊耳石器分二种,一是椭圆囊,二是球状囊。椭圆囊是一微扁而略长的椭圆形囊,向后与三个半规管相连,向前以椭圆囊管与球状囊、内淋巴管相连。在椭圆囊的上端底部与前壁有一囊斑,长 3mm 、宽 2.5mm 呈白斑状,面积为 $4.20\sim 4.90\text{mm}^2$,是由感觉上皮组成,是重力加速度和惯性力的感受器。

球状囊是一扁平梨状,较椭圆囊小,位于椭圆囊的前下方,其下端以连合管与耳蜗管相连,其后方与椭圆囊及内淋巴管相接。在其前上壁有一卵圆形增厚区,为球囊斑,面积为 $2.08\sim 2.44\text{mm}^2$,也是由感觉上皮组成,是感受矢状平面内的重力加速度及惯性力的感受器。

三、前庭感受器微细结构特点

膜半规管和前庭囊,统称膜迷路,为纤维性囊管结构,以结缔组织小梁悬于骨迷路内。膜迷路的壁是由三层组成。外层是由含血管的纤维膜组成;中层为固有膜,向内呈乳头状突起;内层是由单层立方或多角形上皮组成,位于基底膜上。这类上皮细胞在一定部位上变形、增厚,含有丰富的感觉神经末梢,构成形态复杂的感受区——感受器,即半规管的壶腹嵴和前庭囊的囊斑耳石器。

(一)壶腹嵴

三个半规管壶腹处均有一个沿半规管内侧缘向壶腹腔突入,呈横位的镰状隆起——壶腹嵴。它的感觉上皮是前庭神经壶腹支的神经终末装置。壶腹嵴感觉上皮细胞有两种,支柱细胞和毛细胞。毛细胞的纤毛约长 $50\mu\text{m}$,自细胞表面伸出。整个毛束排列成棕刷状,插入由胶状物质构成的胶顶内。

(二)囊斑

位于椭圆囊上端底部和球状囊前上壁的上皮细胞增厚区,约厚 $30\sim 50\mu\text{m}$,两种囊斑互呈直角。它们分别是前庭神经椭圆囊枝和球状囊枝的神经终末装置。其上皮细胞也有两种,支柱细胞和毛细胞。毛细胞顶端的毛束较短,约长 $20\sim 25\mu\text{m}$,囊斑表面复盖一层胶质膜,较薄而平阔,称为耳石膜,毛束插入其中。耳石膜表面有一层棱形小结晶体,大小约为 $3\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$,由纯钙所组成,比重为 $2.93\sim 2.95$ 。耳石结晶在耳石膜上呈蹄状分布。

壶腹嵴和囊斑的毛细胞在电子显微镜下观察有两种:I型毛细胞——呈烧瓶状,主要位于囊斑与壶腹嵴的中心部位,II型毛细胞——呈柱状,主要位于囊斑与壶腹嵴的周边部位。

每个毛细胞有很多纤毛,其中一根活动的动纤毛和 $40\sim 70$ 根或更多的不活动的静纤毛。每根动纤毛含有 9 对周边纤维和二根中央纤维;每根静纤毛由 $70\sim 80$ 根互相紧贴着的细纤维组成。动静纤毛的空间位置排列的特点是,动纤毛比静纤毛长,并位于静纤毛束的外边。

四、前庭感受器的纤毛器官的极性特点

壶腹嵴和囊斑的感觉毛细胞,称纤毛器官,在排列上有一定的方向性,即有极性。

壶腹嵴的纤毛器官,其动纤毛排列的方向是:水平半规管的壶腹嵴动纤毛是向椭圆囊方向,垂直半规管的壶腹嵴动纤毛是背椭圆囊方向。

电生理学证明,作用力的方向当由静纤毛向动纤毛方向时产生兴奋效应,作用力方向由动纤毛向静纤毛方向时抑制自发兴奋性。由此,水平半规管内淋巴液向壶腹嵴,即向椭圆囊方向流动时,即胶顶向椭圆囊方向倾倒时在前庭神经内产生动作电流,而垂直半规管内淋巴液离壶腹嵴,即背椭圆囊方向流动时,即胶顶背椭圆囊方向倾倒时前庭神经内产生动作电流。

囊斑的感觉细胞分布也有明显的极性。椭圆囊囊斑的感觉细胞动纤毛是以囊斑中心线为界呈相对的方向排列,球状囊囊斑感觉细胞的动纤毛是以囊斑中心线为界相背的方向排列。

前庭感受器的感觉细胞这种极性排列,使它对适宜刺激的方向可做初级分析。但至今对外界刺激作用于感觉细胞后如何使这种力作用转化为神经冲动的,其机制还没有研究清楚。

五、在加速度力作用下前庭感受器感觉细胞的形态和生化改变特点

在一定值的加速度力作用下前庭感觉细胞在组织形态上和生物化学上都发生一系列的变化。这些改变在加速度力作用后都需一定时间过程才能恢复到原来的水平。这对了解机体对加速度力作用的耐受水平、作用后反应及其恢复过程从组织形态及生物化学水平上提供了客观依据。

如囊斑感觉细胞在 3~30g 的加速度力作用下发生的形态变化是:在 10g 以内静纤毛弯曲程度与加速度力值的增加呈正比,在 18g 时静纤毛发生膨胀,细胞核在 3g 作用下核中的小核向细胞核基极移动,在 10g 作用下细胞核膨胀、变大,有时缩小。细胞内的组织化学变化是:在 3g 作用 10 分钟时 I 型细胞内的核糖核酸(RNA)发生重新分配现象,有时小核的 RNA 进入细胞质内,作用力增加到 10g 时,这种变化更为明显,细胞质内的 RNA 可消失,蛋白质含量减少。

在加速度力作用消除后,经 1~3 小时先是 RNA 开始恢复,经 1~2 昼夜细胞质中的 RNA 才恢复到原来水平,而在第三、四昼夜时又有下降,直至第五、七昼夜细胞质中的 RNA 含量才完全恢复到正常水平。这是受一次刺激发生的变化周期。反复刺激所发生的变化与刺激在细胞受上一次刺激后,其组织化学变化恢复过程处于什么阶段有关。在细胞内代谢过程处于低下阶段时新的刺激会加重变化的程度,如在 RNA 和细胞质的蛋白质含量处于下降过程中,而蛋白质合成处于停滞中,再给一新的刺激时,会使 RNA 进一步下降,蛋白质代谢发生更加明显的障碍,在形态上可引起细胞质、细胞核内出现空泡, I 型细胞神经末梢水肿等。当细胞内的 RNA 处于恢复过程中,蛋白质处于合成中再给新的刺激时,对感觉细胞形态的恢复、蛋白质的合成等影响较小,甚至有时还会起到加速其恢复过程的作用。

六、前庭感受器的适宜刺激

地球重力场的基本常性——重力垂直性是决定动物体在系统发育中发展空间定向机制的根本因素,是动物体的万能定向点。

生物体首先发展起来的是静态定向系统,由囊斑耳石器官感受重力来完成静态平衡。其后才发展起来惯性定向系统。由囊斑耳石器官感受直线加速运动,由新发展起来的半规管壶腹嵴

感受器感受曲线加速运动。所以,高度发展的动物直至人类,其前庭器官都有两个定向系统,静态定向和惯性定向系统。静态定向系统起校正机体空间状态的作用,惯性定向系统起测量运动中的直线加速度值和角加速度值作用。

经前庭系统对加速度特性(方向、数值)进行整合产生有关运动的信息,对速度的整合使人获得已经经过的路程的表象。

前庭囊斑——纤毛细胞、耳石膜、内淋巴液系统的适宜刺激是直线加速度力、离心力——向心加速度力与重力。

直线加速度力计算公式:

$$a = \frac{V_t - V_o}{t \cdot g} \quad a = \frac{2(S - V_o t)}{t^2 g} \quad a = \frac{V t^2 - V_o^2}{2Sg} \quad (\text{式 1-1})$$

单位是 G。

向心加速度力计算公式:

$$a = \frac{V^2}{R \cdot g} \quad \text{单位是 G。} \quad (\text{式 1-2})$$

前庭半规管——壶腹嵴、纤毛细胞、胶顶、内淋巴液系统的适宜刺激是角加速度,计算公式:

$$\epsilon = \frac{W_t - W_o}{t} \quad \epsilon = \frac{2(\theta - W_o t)}{t^2} \quad \epsilon = \frac{(W_t^2 - W_o^2)}{2\theta} \quad (\text{式 1-3})$$

单位是 rad/s^2 , 或 $^\circ/\text{s}^2$ 。

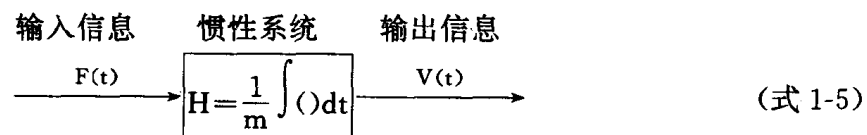
科里奥利加速度力是这两个系统的适宜刺激。

$$\text{计算公式: } a_c = 2WV_2 \Delta t \sin \varphi \quad (\text{式 1-4})$$

单位是 cm/s^2 。

七、前庭感受器的功能原理

无论是囊斑,还是壶腹嵴都是按下列模式起功能作用。也就是说,在外界力(方向、值、时间)的作用下经惯性系统(感受器的成对性、纤毛细胞的极性,内淋巴液流——惯性、摩擦阻力、稠度及胶顶、耳石膜的弹性和惯性)的初级分析把机械能信息转换为电信息——具有不同频率、波幅特性的神经冲动。



(一)半规管壶腹嵴纤毛细胞胶顶内淋巴液系统的功能机制

1. 基本原理模型

半规管系统对圆周运动做初级分析。胶顶、内淋巴液是半规管系统的惯性部分。机体做旋转加减速运动时内淋巴液和胶顶受惯性定律制约发生移动反应。胶顶的偏移使之与其相连的感觉细胞纤毛弯曲,由此经过复杂的生化反应而产生神经冲动。在这一运动过程中是否引起神

经冲动反应,引起的反应强弱、方向等,决定于以下诸因素:

- (1)作用于内淋巴液的惯性力的值和方向;
- (2)因淋巴液流动产生的胶顶两侧的压降差;
- (3)内淋巴液对膜半规管壁的摩擦阻力;
- (4)内淋巴液的惯性;
- (5)胶顶的弹性和惯性。

作用于内淋巴液的力越大,淋巴液的惯性力和对管壁的摩擦阻力越大,胶顶两侧产生的压降差越大,胶顶偏移的角度也越大,从而引起的神经冲动也就越大。上述变化在一定范围内是呈比例的,而越过该范围则不呈比例。内淋巴液使胶顶失去平衡状态,而胶顶借助于本身的弹性缓慢地(约 20 秒)恢复原位,同时使内淋巴液向胶顶回原位方向流动。

胶顶两侧的压降差为 $\Delta P = (+P) - (-P)$,而 $P = 2\epsilon\xi S$, P ——压降, ϵ ——角加速度, ξ ——内淋巴液稠度, S ——半规管切面积。一般在生理状态下 $\xi \cdot S$ 都是常值,故 P 主要决定于 ϵ 。

壶腹嵴神经中的放电频率变化(由最大 $\rightarrow 0$)与胶顶偏移角度的大小呈成正比,在时间上呈指数变化。

人的头动频率在 0.5~5Hz 范围内,角加速度作用时间在 2 秒内,内淋巴液流动角与胶顶偏移角相等,正确反映头动的速度和角度。

半规管系统的基本功能模式是:骨半规管处于静止状态下,内淋巴液无相对运动,胶顶处于直立位;骨半规管向某方向加速运动时,内淋巴液做相反方向流动,胶顶向内淋巴液流动方向偏移;骨半规管做恒速旋转时,内淋巴液经过一定时间后做与骨半规管恒速旋转一致的方向流动,胶顶恢复到直立位;当骨半规管突然停止旋转时内淋巴液因惯性关系继续向骨半规管原恒速旋转方向流动,胶顶也随之向该方向偏移,内淋巴液经过一定时间过程停止流动,胶顶借其弹性恢复到原来的直立位。

2. 半规管系统的功能效应基本定律

- (1)半规管处于旋转平面内才产生功能效应;
- (2)水平半规管的内淋巴液向壶腹嵴流动,垂直半规管的内淋巴液离壶腹嵴方向流动产生兴奋效应;
- (3)几对半规管同时或相继受力作用时产生合力方向的效应。

3. 半规管系统的功能阈值

大致在 $0.035^\circ \sim 8.2^\circ/s^2$ 范围之内,公认的平均值为 $0.5^\circ/s^2$ 。

(二)囊斑、纤毛细胞、耳石膜、内淋巴液系统的功能机制

1. 基本原理模型

耳石器系统对直线加速度、向心加速度、重力加速度等的力作初级分析。耳石砂、耳石膜、内淋巴液是惯性部分。机体作直线加速运动时,其加速度力的正切分力使耳石及耳石膜移动,纤毛弯曲,由此经过复杂的生化反应而产生神经冲动。在这一运动过程中是否引起神经冲动反应,引起的反应的强弱及方向等决定于以下诸因素:

- (1)作用于耳石、耳石膜的重力与惯性力的正切力的合力矢量;
- (2)耳石膜的弹性力;
- (3)摩擦力系数;
- (4)耳石膜自身摆动频率;
- (5)耳石砂的密度与质量。

神经冲动的产生及产生的量最终决定于耳石膜相对囊斑感觉细胞的直线移动距离。而耳石膜相对囊斑的直线移动距离是：

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = mg = \frac{m}{\rho}lg \quad \text{或} \quad (\text{式 1-6})$$

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + W_0^2x = \frac{\rho-1}{\rho+1}g \approx \frac{g}{2} \quad (\text{式 1-7})$$

式中： $\ddot{x}$ 、 $\dot{x}$ 、 x ——耳石膜相对于囊斑感觉细胞的移动距离(cm)； m ——耳石膜移动时内淋巴液移动的总质量(g)； C ——摩擦系数(g/s)； K ——弹性系数(g/s)； m 耳石质量(g)； $m/\rho lg$ 作用于耳石上的力； $\delta=c/2m_0$ ——衰减系数 s^{-1} ； $W_0=\sqrt{K/m_0}$ ——耳石膜自身摆动频率 s^{-1} ， δg ——重力加速度($981cm/s^2$)； ρ ——耳石密度(g/cm^3)。在生理状态下， m_0 、 c 、 K 、 ρ 、 δ 、 W_0 都是常值，所以耳石膜移动值主要决定于 $m/\rho lg$ ——作用力。

耳石器系统的基本功能模式是：当人体处于垂直位，受 $1g$ 的重力作用下因无水平切力，耳石、耳石膜处直位状态；头向某一侧倾斜时，受重力的水平(正切)合力作用，耳石、耳石膜向受力方向偏移产生的神经冲动正确反映头移动的方向和值；当人体受直线加速度的惯性力作用时，惯性力与重力的合力使耳石、耳石膜向合力方向偏移，在有直线加速度力与重力的合力作用下产生的神经冲动不能正确反映人体正确的空间状态。

2. 耳石器系统功能效应基本定律

- (1) 只对正切力或正切力的合力产生功能效应；
- (2) 作用力方向与纤毛细胞极性方向一致时产生兴奋效应；
- (3) 不能分辨重力、直线加速度力、向心加速度力的性质，只是对其合力产生效应。

3. 耳石器系统的功能阈值约为 $0.001\sim0.05g$ 或 $0.2\sim0.3m/s^2$ 。

第二节 前庭神经与前庭神经核

前庭神经节是双极性神经元，其树状突至前庭感受器的毛细胞轴突集合为束，构成前庭神经纤维，并与耳蜗神经纤维组成第八对脑神经进入内听道孔，经桥脑小脑角(Cerebellopontine angle)进入脑干，主要至前庭神经核。由这里形成前庭脊髓通路、前庭眼动通路、前庭小脑通路、前庭脑干网状结构通路、前庭皮层通路及前庭植物神经通路，并依此而有各种相应的前庭反应。

一、前庭神经纤维

前庭神经纤维是由输入纤维与输出纤维组成。其中主要是输入纤维，两者数的比例是600:1。输入纤维总数约为14 000~24 000根，分粗、中、细三种。粗纤维直径为 $2\sim9\mu m$ ，占前庭纤维总数的88.5%，它传递神经冲动的速度最快。中等粗的纤维占总数的7.3%，直径小于 $2\mu m$ 的细纤维占总数的4.2%。

前庭神经纤维与前庭感受器细胞的总数在一定年龄阶段相对不变，但随着年龄的增长趋向减少(表1-1)。

表 1-1 前庭感觉上皮细胞数与纤维数

	青 年 人	40 岁以上成年人
感觉上皮细胞数(平均数)		
球囊	18 800	14 200
椭圆囊	33 100	26 100
壶腹嵴	7 000	4 600
前庭神经纤维		
球囊	4 046	2 589
椭圆囊	5 952	3 600
壶腹嵴	2 782	1 570

(Engström H, et al. 1974)

二、前庭神经核(图 1-1)

前庭神经核是一个成对的组合,由四对基本的神经核:上核(Superior Vestibular nucleus, Bechterew; Nucleus dorsalis)、内侧核(Medial Vestibular nucleus, Schwalbo's triangular nucleus)、下核(inferior Vestibular nucleus, Roller's 核)与外侧核(lateral Vestibular nucleus, Deiter's 核)组成。另外还有些小细胞组合,即 f、i、x、y、z 等核群。

三、前庭感受器与前庭神经核之间的对应关系(图 1-2、3)

联结前庭感受器与前庭神经核的前庭神经初级神经元的轴突终止于前庭神经核内的部位,呈特异性的对应关系。

起始于半规管的初级神经元纤维先到前庭神经间质神经核(n. interstitialis nervi vestibularis),由此,每根轴突分成上行枝和下行枝,上行枝至前庭内侧核和外侧核(?),下行枝至下核与内侧核。

椭圆囊来的初级输入纤维也分成上下行枝,并分别终止于内侧核、下行核、外侧核(?)。

球状囊来的初级输入纤维主要终止于小细胞团(Y 核),并有纤维终止于下核、外侧核(?)。

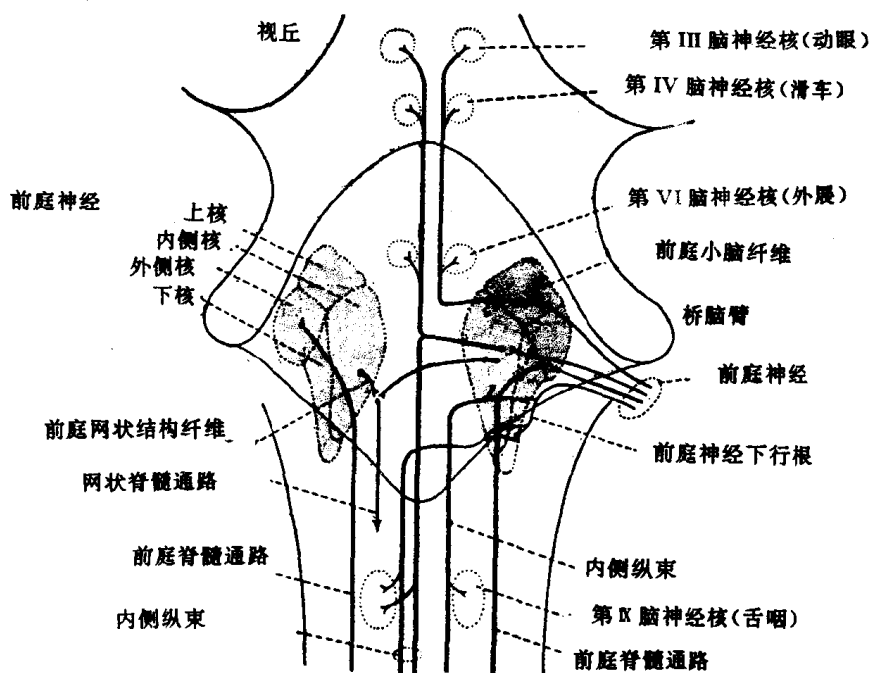


图 1-1 前庭神经核的位置及传导通路(引自 Bast and Anson, 1949)

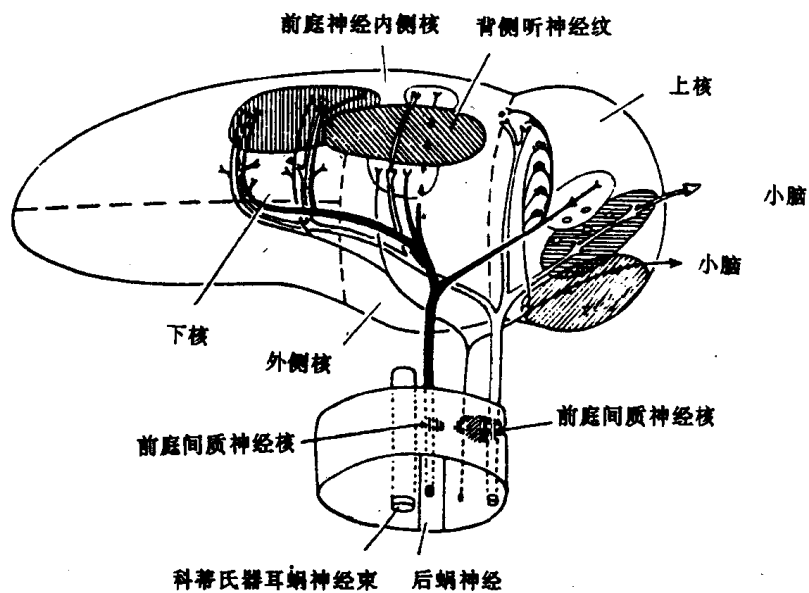


图 1-2 来自半规管感受器的神经纤维在前庭神经核内的分布(引自 Gacek, 1969, 猫)

四、前庭神经核之间的连合纤维(Vestibular Commissural fibers)

左右两侧的前庭神经核之间有连合纤维。已查清的前庭神经核间的连合纤维有：

上核→对侧上核、外侧核、下核、内侧核；下核→对侧下核、外侧核。外侧核之间、内侧核之间认为也有连合纤维，但没有完全查清(图 1-4)。核间的这种联系，其生理作用是调整来自两侧前庭感受器的兴奋差，对外界刺激的适应和整合起重要作用。

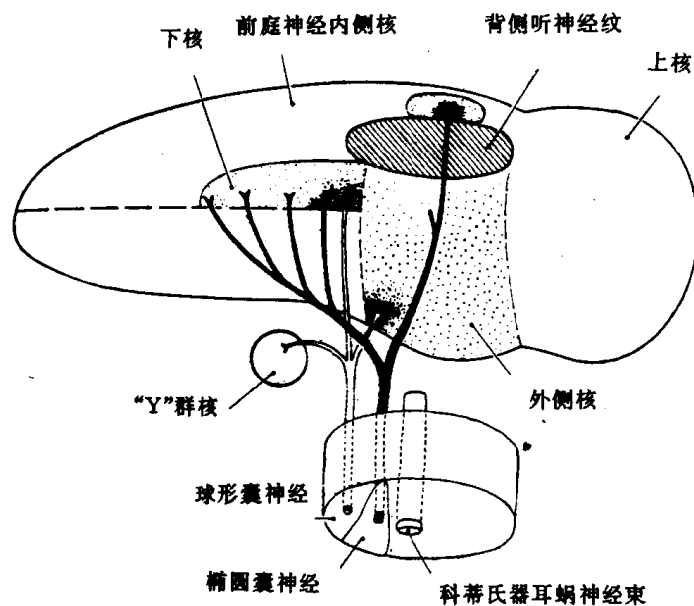
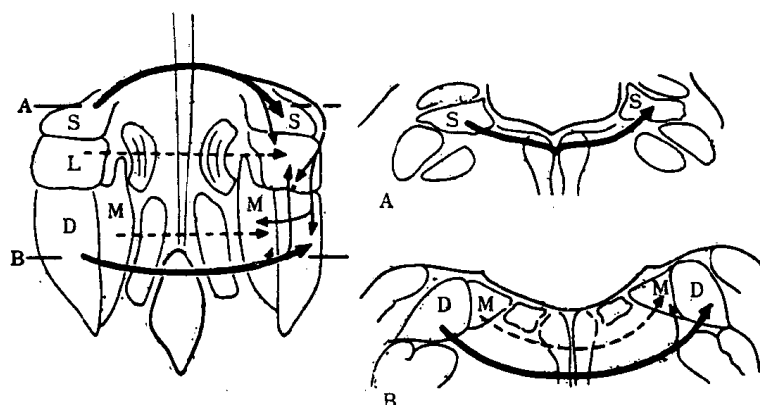


图 1-3 来自囊斑的神经纤维在前庭神经核内的分布(引自 Gacek, 1969 猫)



A、B:在该处做横断面图。虚线:未最后确定。S:上核;L:外侧核;D:下核;M:内侧核。

图 1-4 左右前庭神经核的连合纤维(脑干水平)(引自 Ladpl and Brodal,1968,猫)

第三节 前庭神经通路及其功能反应

一、前庭眼动神经通路

两侧各前庭神经核发出的次级纤维经内侧纵束(直接通路)和网状结构(间接通路)上行至三对眼动神经核(滑车、外展、动眼神经核),最后终止于 Cajal 间质核和 Darkschewitsch 核。

(一)半规管壶腹嵴神经、前庭神经核、眼动神经核通路(图 1-5)

同侧上行通路:由前庭上核起始经内侧纵束外半侧至同侧的滑车神经核,再到两侧的动眼神经核,终止于同侧的 Darkschewitsch 核和 Cajal 间质核。

对侧上行通路:起始于前庭内侧核,经对侧内侧纵束的内半部上行至滑车神经核、动眼神经核,终止于 Darkschewitsch 核与 Cajal 间质核。

两侧的内侧核都有神经纤维至外展神经核,而前庭外侧核的腹侧部发出的一部分纤维至外展神经核。

(二)囊斑的前庭神经、前庭神经核、眼动神经核通路(图 1-6)

从前庭外侧核腹侧发出次级传入纤维经内侧纵束外侧上行至同侧的动眼神经核背侧细胞群(支配下直肌)及至同侧的滑车神经核(支配上斜肌)。一侧的内侧前庭核发出的纤维至两侧的外展神经核(支配外直肌)。由对侧外展神经核再上行终止于滑车神经核和动眼神经核。

来自前庭上核的上行枝经同侧内侧纵束终止于两侧的支配眼外肌的神经核(图 1-7)。去对侧动眼神经核及滑车神经核的纤维在动眼神经核水平处横过正中线。从内侧核来的纤维在外展神经核与滑车神经核之间的水平处交叉至对侧内侧纵束上升(图 1-7)。

前庭神经核发出的纤维向各眼动神经核这样对称性的分布起着保证两眼球作圆滑运动的作用(图 1-8)。

前庭眼动反应是前庭分析器在适宜刺激作用下(角加、减速度,直线加减速速度)通过上述神经通路产生的一种重要躯体反应。其基本生理作用是保证视网膜随时能可靠进行视觉定向。由半规管壶腹嵴系统引起的典型的眼动反应是一种跳跃性眼动反应,即眼震;由耳石器系统引起的典型的眼动反应是眼球平行上下或左右移动性的眼动。

(三)前庭性眼震形成的基本机制

前庭性眼震有两种成分,即慢动相和快动相。有人称这两种成分为慢相系统和快相系统。但对这两种成分或系统发生机制尚未完全弄清,特别是快动相形成机制至今尚有争议。但多数学者根据组织结构和功能作用认为其发生机制大致如图 1-9,(本书作者根据文献资料制成)。

从图 1-9 中可以看出,来自前庭感受器(V·R)的前庭神经冲动输入进入相应的前庭神经核(V·N)后,分别经两条通路,内侧纵束(M·L·F)和网状结构(R·F),将神经冲动传送到相应的眼动神经核(O·N),最后支配相应的眼外肌,使之兴奋、收缩,眼球缓慢地向一侧偏移,形成眼震的慢动相成分。与此同时,进入网状结构的前庭神经冲动至网状结构内的高阈值神经元。在这里积累兴奋($\int$),达到该神经元的阈值(r)后,立即发放出与前相反的兴奋冲动(-1)至相应的眼动神经核,使已兴奋的眼动神经核神经元抑制,使与之拮抗的眼动神经核神经元兴奋,从而使眼球向相反方向快动,形成眼震快动相。当高阈值神经元积累的神经冲动“释放”完后,快动相结束,新的“循环”重新进行,从而形成连续的眼震。

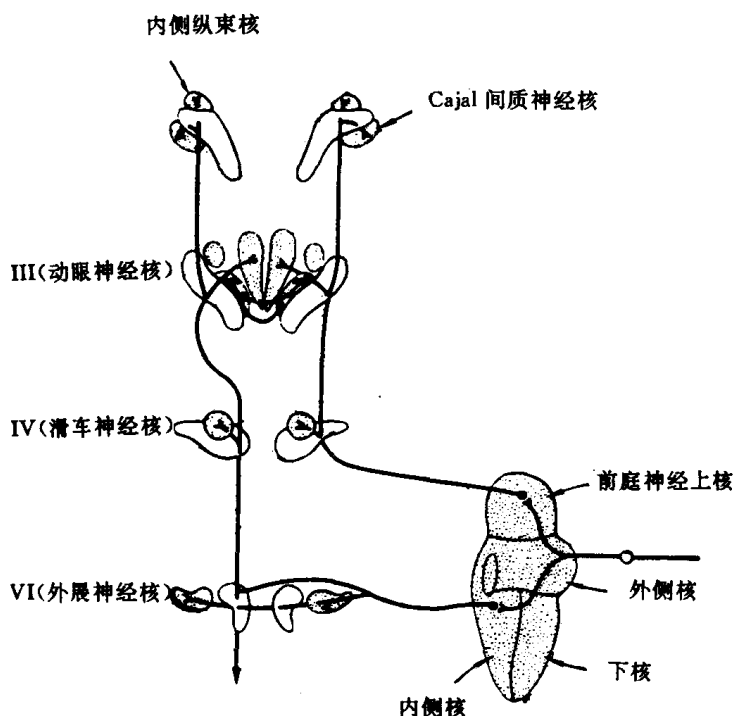


图 1-5 壶腹嵴神经、前庭神经核、眼动神经核通路
(引自 Gacek 1971, 猫)

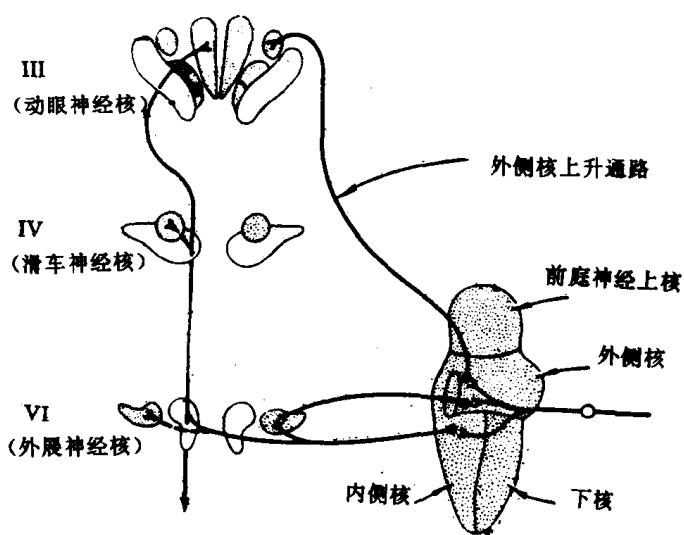


图 1-6 囊斑神经、前庭神经核、眼动神经通路
(引自 Gacek, 1971, 猫)

从上述眼震快、慢动相形成机制中可以看出：

(1)前庭性眼震起源于慢动相，主要决定于来自前庭感受器的前庭神经冲动输入、前庭神经核的加工处理和来自小脑的控制。

(2)前庭性眼震快动相是中枢机制作用的结果，主要决定于网状结构内的高阈值神经元的阈值和前庭神经冲动兴奋的积累过程。

(3)前庭性眼震快慢动相特性是相互联系的。

(四)前庭性眼震的基本特性

对前庭性眼震大致有两种分类方法。一是自发性前庭眼震与诱发性前庭眼震，一是生理性前庭眼震与异常性前庭眼震，或病理性前庭眼震。这两种分类各有其实际临床意义。但不管何类前庭性眼震，都有以下共同的基本特性。

(1)具有快动相和慢动相两种成分；

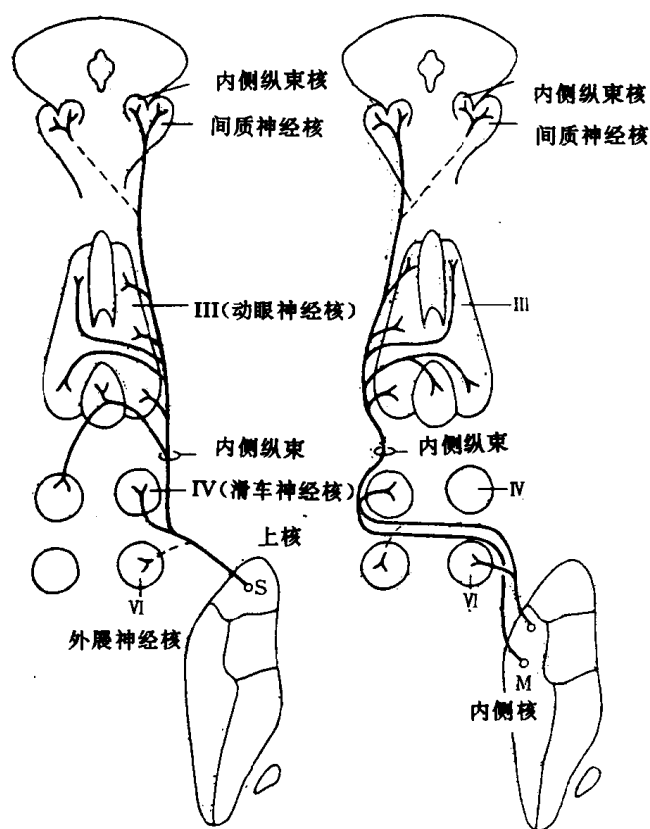
(2)闭眼或暗环境中睁眼眼震不消失；

(3)眼球向眼震快动相方向移动易引出，或可使眼震增强；

(4)在光照下眼震强度减弱，或不出现，或者说在暗环境下眼震强度比明环境下增强

(5)眼震快动相方向与受刺激平面内的半规管感受器相应，如水平性眼震是水平半规管感受器受刺激的反应，垂直性眼震是垂直半规管感受器受刺激的反应，斜向眼震和旋转性眼震是不同平面内的半规管感受器受刺激的反应。

(6)前庭性眼震是前庭刺激的响应信号，是以其全过程的动态变化——强度和节律变化反映前庭眼动系统的功能状态，从眼震及其全过程的动态变化中可提取出五类参数，即元素参数——眼震快慢动相的时间和幅度；过程参数——眼震持续时间、眼震总次数、眼震频率、快慢相幅度累加值及其斜率；相关参数——增益、快慢相幅度比值，快慢动相时间比值和各元素参数的相关系数；对称性参数——元素参数和相关参数两侧或两个方向的不对称百分比，如 DP、CP；模型参数——根据前庭神经系统对前庭刺激的反应物理特性建立的数学模型，从中提取的如模型系数、时间常数等参数。



前庭神经上核 前庭神经内侧核
前庭上核、内侧核经内侧纵束(MLF)至眼动神经核通路

图 1-7 前庭、眼动系统神经纤维联系模式图

(引自 Tarlov, 1970)