



从“植物神经生物学”和动物神经进化 看经络的生物学本质*

□印大中** (广东省中医药科学院 广州 510120)
(广东省中医院
湖南师范大学生命科学学院 长沙 410081)
(蛋白质化学与发育生物学教育部重点实验室)

赵林立 (湖南师范大学生命科学学院 长沙 410081)
(蛋白质化学与发育生物学教育部重点实验室)

摘要:由于没有明确、独立的解剖结构,经络的生物学本质以及与之直接相关的针灸等防病治病机理仍是中西生物医学研究领域的不解之谜。本文通过分析比较动物神经系统的进化衍变,尤其是近年来逐渐发展成熟的植物信息传导系统,即所谓“植物神经生物学”的研究成果,开拓解读生物界中有机体对于外界环境感应的共同结构基础与信息传递的基本规律。本文开拓性地将生物体信息传导系统分为3个系统(水平):大脑相关高级神经系统(神经水平);没有神经结构但可传递生物电信号和递质的导管相关信息传导系统(导管水平);细胞间以及细胞与环境间的电信号与理化物质传导系统(细胞水平)。本文还提出生物体内的信息及其传导媒介,主要可分为电信号和化学信号2大类型。提出经络相关的信息传导机制为上述3水平、2类型作用的有机整体集成,简称“321集成理论”,进而一统解读错综复杂的经络现象的生物学本质。

关键词: 针灸 动物神经进化 经络 植物信息传导机理 植物神经生物学

一、关于“经络本质”及其研究现状

关于经络本质及其机制的假说百花齐放,研究精彩纷呈。中、外学者在近几十年的针灸经络探秘研究中,逐渐形成了经络研究的4大主流学派:神经生理学派、生理生化学派、生物场学派、结缔组织结构学派。神经生理学派认为经络现象是神经系统的一

种功能表现,研究涉及大脑皮层、海马、下丘脑、脑干网状结构、脊髓及周围神经和植物神经,但显然不能解释循经感传的慢速度,双向传递,低电阻,高氧分压等现象。生理生化学派发现经络与多种流动的理化成分和生化物质相关,如神经激肽、P物质、降钙素基因相关肽、五羟色胺、组织胺等多种递质和多种离子等。该理论与神经论相似,涵盖面很广,但却不能单独解释经络现象。生物场学派提出了与声、光、电、热、磁相关的诸多理论,但缺少对经络明确的三维物

收稿日期:2009-06-14

修回日期:2009-10-19

* 湖南省科技厅重点项目(06FJ3001): 应激反应在衰老机理与睡眠生化中的重要作用,负责人:印大中;国家高技术研究发展(863)计划(2008AA02Z411): 针对亚健康药物分子设计,负责人:印大中。

** 联系人:印大中,湖南师范大学教授,博士生导师,主要研究方向:衰老生化研究, Tel: 0731-88872786, E-mail: dazhongyin@hotmail.com。

质结构的界定。结缔组织结构学派认为结缔组织中的筋膜是经络的物质基础:经脉是附着于筋膜组织,借助神经、血管、淋巴管,调整人体机能的带状结构,络脉是小血管,借助神经、血管、淋巴管,调整人体机能的网状结构^[1]。对这些研究结果和现象的解读错综复杂,莫衷一是,给现代中西医结合生物科学研究留下了一连串不解之谜。

1. 经络的物质结构及特性

经络到底是否有其客观的物质形态结构?1963年,朝鲜的金凤汉曾轰动一时地报道说找到了经络和穴位的实体,即发现了所谓“凤汉小体和凤汉管”等结构^[2],但最终以身败名裂收场。我国也有学者研究称经络是宽度在1mm以内,且有形态学根据的组织^[3],但至今没有下文。

然而,尽管至今经络的生物学结构无从确定,以传统经络图为基础的经络特性研究却成果丰硕。例如半个世纪来,国内外不断有学者在对经络的低阻抗特性进行研究。19世纪50年代,日本学者中古义雄等^[4]首先测量了人体体表的低电阻点,发现人体躯干上可联出26条低阻线(左右对称24条,正中前后共2条)称为“良导体”(虽然与中国12+2的经线数有所不同)。接着,相关内容有了愈来愈多的研究报道,例如有研究报道经络穴位上的低阻性质,其阻抗一般为80~100K Ω ,其周围非低阻点的阻抗值则在600K Ω 以上,低阻点的分布基本上是循经的,90%的低阻点都分布在经脉(与本实验室目前的研究结果不尽相同)。Lee^[6]研究发现经络线上合谷和曲池段的导电性明显高于合谷和非经穴段,经络线上的导电性高于非经络,优先电传导现象存在于两个腧穴点之间。陈道亮^[7]等的研究表明家兔和小鼠表皮深层存在着沿经脉线连续分布的细胞连接通讯,提出在表皮深部沿经的方向存在着可能贯通全经的、连续无阻隔的细胞连接通讯。李刚从经络低阻抗特性入手,提出“经络是一种具有特殊电特性细胞组成的信号传导组织”的假说,认为因此有可以找到经络实质研究的突破口。

1973年,祝总骧^[8]进一步发现了普遍存在的经络现象。而后的众多学者也报道经络在皮肤表面的定位和相应的生理生化表象,如:隐性感传、双向传递、跨体节传导、低阻高导、高氧分压、高振动声、传输示踪物质、发光和发热、Ca²⁺浓度增加、经穴-脏腑相关、刺激后产生高频振动和低频振动传导等等。另外,以诸多生物物理概念为理论基础提出了多种关于经络

的生物场学说,包括电场、磁场、红外线、电磁驻波叠加、孤立子波等。

但是,由于生物医学研究至今仍没有发现人体或动物体经络的实际解剖学结构,因此,人体生物体内到底有没有经络依然争辩不断。

2. 络病理论对气血调控的机理研究

在传统经络理论上,吴以岭教授等近年来提出了一个“络病理论框架”-所谓人体组织的“三维立体网络系统”。该理论提出:“络脉是从经脉支横别出、逐层细分、纵横交错、遍布全身,广泛分布于脏腑组织间的网络系统,虽庞大繁杂,却具有明显细化分层和空间分布规律,按一定速度与常度,把经脉运行的气血,输布、弥散、渗灌到脏腑周身”。他认为输布于络脉网络系统中的气血运行速度和长度显然与经脉气血运行不同,具有“气血流缓、面性弥散、末端连通、津血互换、双向流动、功能调节”的特点。

该理论从狭义角度将络脉分为经络之络(气络)和脉络之络(血络):“气络运行经气,脉络运行血液”,认为气络的络气涵盖了西医学神经、内分泌、免疫调节功能。另外,“行气血”是络脉的基本功能,络中气血畅行无阻是络脉系统维持人体正常生命运动保持内环境稳定的基础。而且“由于络脉是气血津液输布环流的通路,且络体细小,分布广泛,分支众多,邪客络脉容易影响络中气血津液的运行与输布,致使络失通畅或渗灌失常,导致络气郁滞、络脉淤阻、络脉细急、络脉淤塞、络息成积、热毒滞络等八类病机变化”,提出络气因虚而滞,是络脉病变由功能性病变向器质性病变发展的早期阶段^[9]。

3. 经络信息传导的物质载体

关于经络信息传递的物质载体也有多种假说见诸文献:

例如,杨威生^[10]推测:经络是信息载体物质扩散的低阻通道,经络信息载体物质是组胺,以及经络生物信息放大器是肥大细胞,进而在此基础上又提出关于经络功能的“疏松结缔组织-血管-神经机能一体化”假说。

又如,谢浩然^[11]认为:中医的人体经络在皮肤与肌肉和骨骼等器官之间的筋膜间隙中,其中有疏松结缔组织、组织液气、能量物质、神经、血管和淋巴等现代医学已知的几种组织结构,这些组织结构共同参与未知的综合功能的系统调控。

另外,非现代医学领域经常以虚代实,以想象代

物质,关于经络是“气”之通路的假说和理论,不断花样翻新,充斥书籍刊物,可谓洋洋大观。

以作者的观点:与经络相关的生物信息传导载体,并不虚无缥缈,就在目前已知的理化物质中。归纳总结现代神经生物学的已知研究成果和知识,我们可以看到,生物体内主要有“电信号”和“理化物质信号”(神经递质、激素、细胞因子、第二信使、代谢产物等)这两大类信息传导的基本方式。例如,神经系统的信息传导就是“电信号”传导和“神经递质信号”传导的精致组合(详情请见现代神经生物学的有关书籍)。

4. 动植物感应性(经络现象)的普适性

大量事实表明,“经络现象”似乎不仅仅在动物体内存在,达尔文从进化论的角度推测动物与植物的感应性应有共同的解剖学和生理生化基础^[12],祝总甯^[13]通过对哈密瓜和香蕉的研究证明了植物体内也有“经络”的客观存在。

为了更好地解读上述种种人体经络现象及其特性,下面我们暂时避开高级动物神经系统,看看是否可从植物组织细胞的信息传导机制得到关于经络结构和表象的有益启发。

二、“植物神经生物学”及相关研究

高等植物的信号系统主要是指植物体某一部位受外界刺激而发出的或是自行发出的信号,传递给接受信号的靶部位,启动它作出相应的反应^[14]。植物的细胞刚性结构虽然限制了它的活动,细胞膜的功能却和动物的基本相似^[12]。物理性冲击(电流、震击、温度骤变等)或有机溶剂等都会改变质膜的结构,使膜电位发生变化。与动物神经细胞轴突部的电信号传递类似,当刺激强度超过临界值(通称阈值)时,膜电位变化会爆发出电波冲动并伴有生理活性物质的释放,如多种激素、伤素和乙酰胆碱。这种冲动可以实现远距离的传递。膜电位的波动还可以进一步操纵离子通道的启闭,进而,或者继续推进信号在胞间传

递,或者在细胞内进行信号转导^[14]。

尽管在植物体内至今没有发现类似动物体内专事电信号传递的神经系统,相关研究早已确切地发现植物体内存在着类似动物体组织内的电位传递。例如,印度学者 Bose 的研究早就证明了含羞草在无伤害的刺激下就能引发出动作电波的传递,而且植物体内的动作电波传递基本上遵循动物神经电波传递中“全或无、不应期、调应现象、阴联阳断”等规律^[15]。这说明动物与植物的可兴奋组织具有共同的电生理基础。轮藻的节间巨细胞就常用来作动物神经纤维的活模型。又如,在高等植物中伤害性刺激引起的电化学波的传递则主要是靠细胞的局部电流和伤素释放,这两种类型(与动物组织信号传导机理相同)的信息传导途径来实现的^[16]。

1. 植物电信号的传递方式

一般来讲,植物电信息传递研究主要可观察到与动作电位相关的动作电波(Action Wave)和与变异电位相关的变异电波(Variation Wave)两种波形(如图1)^[12]。

(1)动作电位的传递方式。

①局部电流式传递(细胞膜去极化相关信息传递)

早在1930年Osterhout等^[17]就发现,动作电位在柔曲丽藻节间细胞膜上传递时可被氯仿阻断,但如

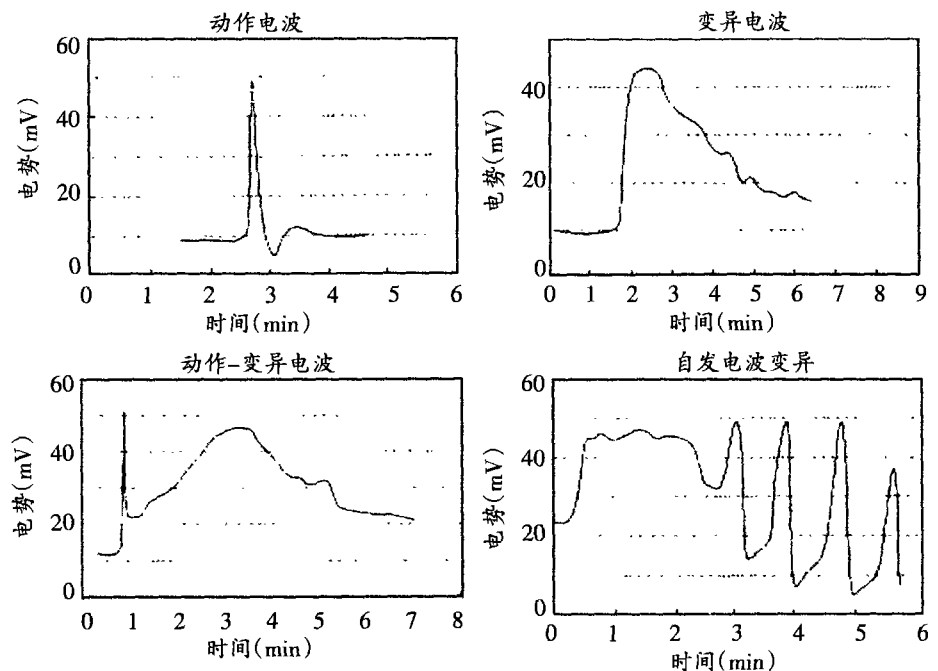


图1 高等植物信号传导实验研究所观察到的几种主要波型

果在氯仿阻碍区的两端用一个盐桥连接起来,动作电位便能绕过此阻碍区,沿膜继续传递。这说明动作电位在植物细胞膜上的传递是通过局部电流循环来实现的。随后 Auger^[18]和 Sibaoka^[19]的实验发现当外界介质电阻降低时,动作电位的传递速度增加,进一步证实了局部电流学说。Tabata 等^[20]在布氏轮藻节间细胞中,以电桥代替盐桥也证实了 Osterhout 等^[17]的实验。无疑,动作电位在细胞膜上的传递符合局部电流说。

②电偶联式传递(胞间连丝通路相关电信号传递)

1955 年娄成后等^[21]将电阻测量和胞间连丝联系起来,发现胞间连丝的存在能使细胞间的电阻大大降低,为电流从一个细胞进入邻近的另一个细胞提供有效通道,从而首先在植物组织中发现细胞间的电偶联现象(Electric Coupling)。

在高等植物中,动作电位的传递也可以通过电偶联进行。在含羞草的叶柄中,0.01M KCl 浸泡可使动作电位的速度提高 10%,0.1M NaCl 可使其速度提高 60%,这符合电偶联学说^[22]。若用手术的方法切断维管束,动作电位仍可以很快地传过非兴奋细胞^[23],这很难用化学递质扩散来解释。此外,Zawadzki 等^[24]在羽扇豆茎中证明,动作电位是通过电偶联从刺激一端跨过阻碍区传递到另一端的。

(2)变异电位的传递方式(递质相关信息传递)。

1916 年,Ricca^[25]发现伤害刺激(如切伤或灼伤)在引起变异电位传递的同时,可从伤口处释放出某种物质(此物质后来被称为伤素或 Ricca 因子),可通过非生活组织,并在附近生活组织中引起电位变化。随后 Van Sambeek 等^[26]用从植物中提取的含有“伤素”的粗提液处理离体番茄叶柄基部,发现能引起变异电位传递。近年来,德国有机化学家 Schildknecht 及其研究小组从含羞草和金合欢中分离纯化出类似 Ricca 因子的化合物。对其结构鉴定表明,它是含有 β -糖苷的没食子酸(PLMF)。它可随蒸腾流传递至叶枕,导致小叶片合拢,在 $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 即有活性。总之,变异电位传递过程中确有化学物质参与。

Ricca 于 1916 年发现伤素物质的存在后,提出了伤素物质随蒸腾流传递的设想,此后,Snow^[27],Van Sambeek^[26]等支持和发展了蒸腾流假说。后来的研究表明,变异电位不像蒸腾流那样只能单方向传递,其传递速率也大于蒸腾流的速率,如含羞草,变异电位的速率为蒸腾流最大速率的 10 倍,分别为 $3 \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$

和 $0.3 \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[15],因此,变异电位的传递与蒸腾流有关,但并不是由蒸腾流所决定的。

此外,任海云等^[28]在利用胞外、胞内微电极及显微注射等方法,研究白花紫露草体内变异电位传递方式时发现,白花紫露草叶片可分为不同的共质体区。在共质体区内,变异电位传递很快,远高于液相中物质的扩散速度(类似中医的‘经’向传递,以下简称‘经向’);而在各共质体区间,变异电位传递出现时间上的延迟,与共质体内变异电位传递速度相差一个数量级(类似中医的‘络’向传递,以下简称‘络向’)。

对于有化学物质参与的变异电位的传递,娄成后^[29]认为是通过如下方式进行的:组织受伤害刺激后释放的伤素物质引起其周围组织的电位变化,电位的突发性变化又引起这一组织伤素的释放,新产生的伤素又以同样方式激发其邻近组织的电位变化,变异电位就是这样以电化学波的方式传递下去。

2. 植物电信号的传递途径

(1)动作电位的传递途径。

大量研究表明,植物茎中的韧皮部和大多数皮层都参与了动作电位的传递。动作电位可以在不同组织中传递,最先,Bose^[15]将电极刺进含羞草叶柄的不同深度,发现韧皮部和木质部都能传递动作电位。Sibaoka^[30]用微电极配合荧光染料注射方法,发现含羞草叶柄的原生木质部薄壁细胞和韧皮部细长薄壁细胞是动作电位的传递细胞。这些细胞的膜电位较高($-150 \text{mV} \sim -160 \text{mV}$);而周围细胞的膜电位较低(约 -50mV)。进一步的研究表明,在茎中则通过维管束中某些膜电位较高的细长薄壁细胞传递(经向),各维管束间通过束间薄壁细胞传递。与之不同的是,在含羞草的叶中,动作电位通过可兴奋细胞,在各个方向上传递(络向)。此外,用微电极技术,也发现在南瓜等具有双韧维管束的植物中,动作电位能沿外韧皮部和内韧皮部同时向一个方向或相反方向传递(经向)。

总之,植物体内所观察到的多元化的组织细胞承担传递动作电位的现象,早已比在动物细胞间的信息传递的研究深入详尽许多,给研究动物细胞间的信息传递作出了极好的提示。

(2)变异电位的传递途径。

早在 1935 年 Houwink^[31]在区分动作电位和变异电位的传递时就已经注意到,伤害性刺激含羞草引起的动作电位的峰值之后常常出现变异电位。随后娄成后等^[16]利用旱金莲进行叶脉的切割实验,发现灼伤早

金莲叶片引起的变异电位既可沿维管束(叶脉)传递(经向),也可沿薄壁组织传递(络向)。前者的传递速度较快,而这两种传递速度都高得不能靠单纯的伤害物质扩散或流动所能解释。以后,在几十个属的高等植物中都观察到了同样的情况^[28-29]。在蚕豆和水田芥的茎中也观察到变异电位通过维管束间薄壁细胞传递。Roblin 等^[32]灼伤蚕豆叶片时发现,变异电位顺蒸腾流传递的速度要快于逆蒸腾流的传递速度。当逆转蒸腾流时,上述现象发生逆转。此外还发现变异电位可以从茎内的一个维管束传递到另一个维管束中,这表明动作电位可横向传递(络向)。研究表明,变异电位的传递可以通过细胞靠电偶联进行,也可以通过化学刺激物质的转移进行。水田芥的叶序为 2/5,即第 1 叶和第 6 叶、第 2 叶则和第 7 叶的维管束连结在茎中的同一维管束上,以此类推。通过维管束切割等实验,研究水田芥各侧枝间变异电位传递的规律时,发现烧伤引起的变异电位在茎中主要是通过分立的维管束独立地在侧枝间传递(经向),并且维管束之间也有电位的传递(络向)。在电位传递过程中,皮层和髓的薄壁细胞都发生了相应的电位变化。

此外,还有实验表明,将植物某一茎段的其它组织剥去,只留维管束,而后刺激叶片,变异电位可从维管束的这一端传递到另一端,从而证明变异电位能沿维管束传递(经向)。进一步切断维管束并在两断茎间套一装水的塑料管,发现变异电位能通过此管传递,证明变异电位可以在质外体间传递^[25]。综上所述,变异电位的传递既可沿共质体进行,也可在质外体间进行。

3. 植物电信号传递的生理功能

植物电信号传递与植物器官运动、伸长生长、气孔运动、物质代谢等生理功能密切相关^[33]。Davies^[34]认为植物电信号的动作电位在生理需要中有着迅速、无处不在、信息瞬时等特点;此信号可将信息由植物体的一部分带到另一部分,激发植物体产生运动、生长、生理代谢和物质运输等多方面的生理变化,协调植物体内各部分之间以及植物体和外部环境之间的联系^[35]。Wildon^[36]在西红柿中发现局部受伤可以通过电信号迅速地启动在远处的蛋白酶抑制基因,而这种电信号就是动作电位。最近研究表明植物的电信号在更多的生理功能中起作用,如转录、翻译^[37]、钙离子水平、过氧化^[38]、呼吸^[39]、光合作用^[40]。还有报道认为动作电位与蓝光诱导植物趋光性^[41-42]、诱导开花^[43]、传粉^[44-45]、韧皮部运输^[46-48]、迅速地展开防御有着紧密联系^[49-54]。

三、从动物神经进化史看“经络信息传导”现象

经络信息传导研究观察到的诸多表象似乎不仅与植物信息传递的种种表现关系密切,也与初级动物体内的信息传导有着千丝万缕的关系。

1. 动物的神经进化史

单细胞原生动物没有神经系统,如眼虫、草履虫,但它们却能够感受外界刺激,并作出相应的反应。多细胞动物海绵有一个原始的神经系统,该动物神经元之间没有突触性联系,却有感觉和运动的机能。

腔肠动物有双极神经元、多级神经元和来自感觉细胞的纤维组成的通过突触使兴奋进行弥漫性传递的神经网络,如水螅和水母。在扁形动物中出现了脑神经结和连接横向神经的神经索。环节动物出现了可以支配肌肉收缩的神经节连成中枢神经链。节肢动物的这种神经链就更趋于集中。

软体动物拥有脑、侧、脏、足 4 对神经节及其相互连接而成的神经系统,特别是出现了有脑神经节集中组成的脑。脊椎动物的进化主要就是脑的结构与机能的进一步完善。总的说来,动物神经系统的进化就是由弥散、网状、梯形、链状到管状,直至前端分化成大脑的 5 个部分及大脑皮层^[55]。

2. 从动物神经进化史所得到的启示

细胞是基本的生命单位,无论单细胞或多细胞生物,细胞活动都是在一定的环境下进行,细胞生命活动具有社会性,细胞间以及细胞与环境间发生的复杂精细的信息关系即为细胞通讯^[56]。在细胞通讯过程中,细胞识别周围细胞或环境中各种信号,并将其转变为细胞内分子的和功能的变化,同时以其产物或行为对环境及其它细胞产生影响^[57]。

动物进化之初,在低等动物体内分化程度尚未完善,没真正的大脑、神经元、突触,但是依然可以处理从外界获取的信息,对外界刺激具有直接反应的特性^[58]。单细胞有机体没有神经系统,例如从变形虫我们可看得很清楚,它们的整个生活过程—呼吸、消化、分泌、运动等等都是由它单个的细胞来执行。同时变形虫也能通过对物质信号的反应,完成对外界刺激的最简单的分析,例如离开有害的刺激,而向食物靠近^[59]。初级动物表现出来的这种信息应答能力和达尔文所提出的植物“根脑”极为类似,就像植物的根尖一样向营养丰富的地方延伸。多细胞初级动物的感知能力也应该是通过细胞间隙物质传导和电信

号传导来实现的。诸如此类的低等动物体内的次级信号传递系统无疑给经络信号传递相关的诸多现象,如隐性感传、双向传递、跨体节传导、低阻高导、高氧分压、高振动声、传输示踪物质、发光和发热等,提供了组织结构和细胞生物学的物质基础。

特别值得一提,英国关于神经胃肠学领域的研究发现:人体内具有不依赖于中枢神经系统的肠神经系统(ENS),该蠕动反射能够自主控制并推进食物在消化道前进。事实上早在19世纪中期,德国精神病医生奥尔巴赫在一次用简单显微镜观察被切开的内脏时,就曾惊奇地发现肠壁上的神经元多得惊人,当时他不知道他发现的正是人体消化器官的总指挥部。相关研究发现,当施压于麻醉犬的小肠腔时,可导致口侧收缩和肛侧松弛,并可检测到一个高强度的电波信号,他们称之为“小肠信号规律”。大量研究还表明,当切断中枢神经系统至膀胱和骨骼肌的联系后,所有运动元活动消失,而切断中枢神经系统至肠的联系后,功能仍然持续。不幸的是这一独立的肠神经系统概念一度被错误地认为是副交感的接替神经元,是中枢神经系统与肠道的效应器(如平滑肌、血管和腺体)之间的神经通路。这一观点甚至长期成为大多数医学院校教科书中的教学内容^[60]。近年来,美国哥伦比亚大学解剖学和细胞生物学教授 Gershon^[61]又重新研究并提出了“肠脑”或腹脑的概念,称之为人体内的“第二脑”。这对目前针灸研究发现的“经络-脏腑相关”的奇异生命现象无疑提供了极好地诠释。

四、“生命信息传导系统集成理论”

(321 集成理论)的提出

经络与针灸的防病治病机理是中西医学领域的千古之谜,也是生物医学研究的世纪难题。大量研究表明,生物界中的有机体对于外界环境的感应,不仅在不同物种间存在着不尽相同的信息传递机制,而且,同一个体上也并存着不同级别的信息传递系统。

我们从上述内容惊讶地看到,关于植物细胞组织的信息传导研究远比对动物细胞组织的信息传导研究要成熟和深入,这给我们对经络本质的解读提供了非常重要的启示。100多年前,达尔文在他的著作“The Power of Movement in Plant”中就已经提出植物的根部为植物的类似低等动物弥漫性大脑的说法^[62]。后来 Bose(1926年)第一次正式提出了植物神经生物学(Plant Neurobiology)这个概念^[63]。美国的测谎专家

Backster 对植物进行实验研究,于1968年在《国际超心理学杂志》发表了一篇论文题为“Evidence of a Primary Perception in Plant Life”,声称植物有记忆力,有类似动物的感知能力^[64]。

近年来,植物神经生物学再度兴起,Volkov(2000年)对植物韧皮部和动物的轴突进行比较研究显示,植物韧皮部是植物生物电化学脉冲传递的导体,和动物轴突一样是灌满电解质的管道^[65]。Balu·ka 等人(2004年)再次提出植物根尖大脑样区域为植物控制中心,起着与大脑一样的作用;认为植物拥有获取信息、学习、记忆的能力;植物可以通过动作电位长距离交流信息;贯穿于胞间连丝的植物肌动蛋白(F-actin)和肌球蛋白(Myosin VIII)细胞骨架分子结构为植物神经样突触;以生长素为植物神经递质样信号分子,通过维管组织进行地面生长点与根尖大脑样区域之间的高速的植物神经活动并传递信息^[66]。Stahlberg(2006年)认为植物神经不但拥有动物神经一样的动作电位(APs, Action Potentials),还有独特的慢波电位(SWPs, Slow Wave Potentials)^[67]。Brenner(2006年)等人把植物神经生物学阐述为植物体内以及植物之间的信号传导和处理植物从外界环境获取信息的机制^[68]。然而近来,“植物神经生物学”概念却遭到了33位专家学者的联名文章批评,认为这个概念没有增加对植物生理学、植物细胞生物学以及信号传导的认识;没有充分的证据说明植物体内存在神经元、突触、大脑^[69]。

经历激烈争论,虽然相关学界目前还不能认可植物和动物一样拥有神经系统,但植物体的种种“准神经系统”功能却似乎可与动物体的某些经络信号现象相互印证,不仅其形态结构和经络系统可以相提并论,其生理调节机制亦如出一辙——“电波”与“递质”2种传导方式相辅相成。从这个生命信息传导的“波粒二项性”角度上来说,人体在经络及其相关系统实施调控的物质基础和理化机理本质已经“呼之欲出”。因此,我们认为可以提出新的“生命信息传导系统集成理论”来诠释经络现象,进而统一动、植物信息传递调控系统。这一理论既可解释动植物神经的平行进化,又可阐明植物的信息处理过程。

宏观上,通过以上对动植物信息传导系统的比较分析,我们可以对生物体内存在的信息传导调控系统进行分类:神经系统(神经水平)、体液信息传导系统(导管水平)、细胞信息传导系统(细胞水平)。

首先,“神经系统”主要指拥有神经元、轴突、突触和神经递质的种种高速信息传导系统:包括高级神经结构,也包括不受大脑中枢控制的植物(性)神经,甚至还有相对独立自主的低级神经结构(肠脑等);其次,“体液信号传递系统”主要包括不具有典型的神经系统的生物体中通过各种生物导管来实现的信息传导,如植物的导管、筛管中传递营养和激素,以及动物体内的血管、淋巴等传递激素和各种信息因子等;再次,“细胞信息传导系统”为在进化上比较初级的细胞信号通讯,主要为细胞之间以及细胞与环境之间的电信号传导和较低速的理化物质信息的传导(见表1)。

从表1我们可以看出,生物体的信息及其传递主要可分为电信号和化学信号两大类,两类信息传导方式相辅相成,无论是动物还是植物,是高等生物还是低等生物;无论是3大系统中的哪一个子系统都不例外,只是在信号传递的生物结构、途径、速度和物质等方面有所不同。当然不同水平和类型的信息传导可以交叉重叠,也可以互补互扰,还可以相互转变。

我们应该承认,人类寻找经络解剖结构的努力迄今基本告败,但是大量相关的研究却揭示了在神经传导作用之外的种类繁多的电生理生化现象的客观存在。在对生物信息传导系统分级之后,我们可以清楚地看到针灸等中医治疗措施对于动植物体内的各个水平的信息传导系统造成刺激作用的物质基础。诸多高级神经活动之外的,与“经络”相关的作用和现象,无疑应该属于与所谓“植物神经生物学”相关的“次级信息传导”及其相关作用。

在“生命信息传导系统集成理论”指导下,在生物体中“2类型、3水平”的信息传导物质结构面前,经络已不再是看不见、摸不着的虚无飘渺的想象,而是有血有肉的有解剖学实体的宏观集成。与之相关的治疗原理和方法也因此可以找到具体的媒介和靶点,且符合生物物理和生物化学的种种基本规律。该理论在哲学上甚而体现了老子所提出的“一生二、二生三、三生万”的从宏观到微观的扩散式思维逻辑。

表1 生物信息传导系统分类及各子系统(水平)之间的异同

	生物学结构基础	信号传递方式	信息传递途径	物种种类
神经系统	神经结构	电信号、化学信号	神经	动物
体液信息传导系统	无神经结构,藉助导管类结构	电信号、化学信号	导管	动物、植物
细胞信息传导系统	无神经结构,不藉助导管类结构	电信号、化学信号	细胞	动物、植物

从微观回到宏观,我们由此可以简称该理论为“321集成理论”。生物体内“3水平、2类型”的信息传导集成最终产生了一个在宏观整体上与经络相关的对生物体造成的防病治病的综合效果。

我们将上述生物信息传导的“电-化学共性”与生物体的差异性和复杂性相结合,进而可以理解“经络线”:低阻性、直线性、滞缓性、自洽性、非确定性、筋腱特性、组织专属性、个体差异性、一定的可变性等生物医学的集成性状和效应。在哲学层面上,这似乎也可以很好地诠释大量的中医实践所遭遇的经络相关疗法的“不恒定”特征,或称“自洽原理”,所谓“哪里有效就在哪里施术”,又所谓“宁失其穴,不失其经”原则等理论问题。在方法学上,亦可以启迪理解中医在经络相关研究和临床实践中的压法、擦法、刺法、划法、刮法、扭法、振法、拔法、灸法等等千变万化的保健措施的深层内涵。

值此,我们认为科学地诠释经络相关生物学现象的时机已经到来。在“321集成理论”的框架下,我们认为针灸等方法的防病抗病作用,应该是该类措施通过对所有3大信息传导调控系统发生了作用(部分生化机理可参见本室相关文章“以现代科学解读中医治本”^[70]),通过电子和化学等物质把调节信号输送至机体各个组织,使得相关联的组织细胞及时或不及时地做出反应,而使相关区域或病变区域的组织改变内分泌性状、恢复机体平衡和增强应激防御,进而抵御种种病原或失衡造成的损伤积累,恢复机体健康。

参考文献

1 华萍,吕虎,原林,等. 经络研究的四大主流学派及其分析. 中国针灸, 2006, 26(6):407-413.

2 张维波,郭义,林玉英,等. 经络研究近50年回顾与今后研究方向. 世界科学技术-中医药现代化, 2005, 7(5):99-104.

3 祝总驷. 古典经络学说的现代生物物理学证实. 生物学通报, 1988, (6): 1-4.

4 长浜善夫,丸山昌朗. 经络的研究. 杏林书院, 1950.

5 中谷义雄. 良导络的全貌. 汉方的临床, 1956, 3(7):54.

6 Lee MS, Jeong SY, Lee YH, et al. Differences in electrical conduction properties between meridians and non-meridians. Am J Chin Med, 2005, 33 (5): 723-728.

7 陈道亮,万隆,谢建珍. 人胚胎发育中表皮细胞连接通讯沿经连续性的建立. 福建中医学院学报, 2000, 10(1):33-35.

- 8 祝总骧, 徐瑞民. 中国经络科学的现代化研究. 世界科学技术-中药现代化, 2000, 2(5):23~26.
- 9 吴以岭. 络病理理论体系构建及其学科价值. 前沿科学, 2007, (2):40~46.
- 10 杨威生. 低阻经络研究IV. 对经络生理学功能的推测. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(2):281~288.
- 11 谢浩然, 李芳春, 马小顺. 试论经络实质. 针刺研究, 2007, 32(3):210~213.
- 12 娄成后. 高等植物中电化学波的信使传递. 生物物理学报, 1996, 12(4):739~744.
- 13 祝总骧, 徐瑞民, 郝金凯, 等. 植物有无经络?——哈密瓜和香蕉循经低阻和高音线的发现. 自然杂志, 1988, 11(11):880.
- 14 娄成后, 花宝光. 植物信号系统——它在功能整合与适应环境中的作用. 生命科学, 2000, 12(2):49~51.
- 15 Bose C. The nerve mechanism in plants. Green Co, London Longman, 1926.
- 16 娄成后, 邵莉楣, 祝宗岭. 植物体内刺激的电波传递. 北京农业大学学报, 1959, (5):1~12.
- 17 Osterhout WJV, Hill SE. Negative variations in Nitella produced by chloroform and by potassium chloride. *J. Gen. Physiol.*, 1930, 13(4):459~467.
- 18 Auger D. Contribution a l'étude de la propagation de la variation électrique chez les Characées. *Compt rend Soc Biol.*, 1933, 113:1437~1440.
- 19 Sibaoka T. Conduction of action potential in the plant cell. *Trans. Bose Res. Inst.*, 1958, 22 (115):43~56.
- 20 Tabata T, Sibaoka T. An Analysis of Osterhout and Hill's Salt Bridge Experiments in *Characeae Internode*. *Plant and Cell Physiology*, 1986, 27 (4): 711~716.
- 21 娄成后. 植物体内原生质的连续性. 植物学报, 1955, 4(3):183~222.
- 22 Sibaoka T. Acceleration of the excitatory conduction in the submerged petiole of *Mimosa pudica*. *Sci. Rep. Tohoku Univ. (Biol.)*, 1960, 26: 199~204.
- 23 Sibaoka T. Action potentials in plant organs. *Symp Soc Exp Biol.*, 1966, 20:49~73.
- 24 Brant-Zawadzki MN, Minagi H, Federle MP, et al. High resolution CT with image reformation in maxillofacial pathology. *American Journal of Roentgenology*, 1982, 138(3):477~483.
- 25 Ricca U. Solution d'un problème de physiologie: la propagation de stimulus dans la sensitive. *Atchivcs Italiennes de Biologie*, 1916, 65: 219~232.
- 26 Van Sambeek JW, Picard BG. Mediation of rapid electrical, metabolic, transpirational, and photosynthetic changes by factors released from wounds. II. Mediation of the variation potential by Ricca's factor. *Can Bot.*, 1976, 54:2651~2661.
- 27 Snow R. Conduction of Excitation in Stem and Leaf of *Mimosa pudica*. *Proc R Soc Lond B*, 1924, 96:349~374.
- 28 任海云, 娄成后. 高等植物共质体区内与区间的电波传递. 植物生理与分子生物学学报, 1993, 19(3):265~273.
- 29 娄成后. 高等植物的命脉——维管系统之谜. 植物生理学通讯, 1992, 28(1):1~10.
- 30 Sibaoka T. Excitable cells in *Mimosa*. *Science*, 1962, 137(3525):226~227.
- 31 Houwink AL. The conduction of excitation in *Mimosa pudica*. *Rec Trav Bot Necl.*, 1935, 32:51~91.
- 32 Roblin G, Bonnemain JL. Propagation in *Vicia faba* Stem of a Potential Variation Induced by Wounding. *Plant Cell Physiol*, 1985, 26(7):1273~1283.
- 33 郭金耀, 杨晓玲. 高等植物中的电信号研究进展. 中国农学通报, 2005, 21(10):188~191.
- 34 Davies E. New functions for electrical signals in plants. *New Phytologist*, 2004, 161:607~610.
- 35 卢善发. 植物电信号的传递途径与方式. 植物学通报, 1996, 13 (4): 23~27.
- 36 Wildon DC, Thain JF, Minchin PEH, et al. Electrical signaling and systemic proteinase inhibitor induction in the wounded plant. *Nature*, 1992, 360:62~65.
- 37 Stankovic B, Davies E. Wounding evokes rapid changes in tissue deformation, electrical potential, transcription, and translation in tomato. *Plant and Cell Physiology*, 1997, 39(3):268~274.
- 38 Trebacz K, Dziubinska H, Krol E. Electrical signals in long-distance communication in plants. In *Communications in Plants. Neuronal Aspects of Plant Life* (Baluska, F. et al., eds). Springer Verlag, Amsterdam, 2006:277~290.
- 39 Filek M, Koscielniak J. The effect of wounding the roots by high temperature on the respiration rate of the shoot and propagation of electric signal in horse bean seedlings (*Vicia faba L. minor*). *Plant Science*, 1997, 123(1~2):39~46.
- 40 Koziolok C, Grams TEE, Schreiber U, et al. Transient knockout of photosynthesis mediated by electrical signals. *New Phytol*, 2004, 161: 715~722.
- 41 Volkov AG. Electrophysiology and phototropism. In *Communication in Plants: Neuronal Aspects of Plant Life* (Baluska, F. et al., eds), Springer Verlag, Amsterdam. 2006:351~368.
- 42 Volkov AG. Green plants: electrochemical interfaces. *J Electroanal Chem*, 2000, 483:150~156.
- 43 Wagner E, et al. Hydro-electrochemical integration of the higher plant basis for electrogenic flower initiation. In *Communication in Plants: Neuronal Aspects of Plant Life* (Baluska, F. et al., eds), Springer Verlag, Amsterdam. 2006:369~389.
- 44 Sinyukhin AM, Britikov EA. Action potentials in the reproductive system of plants. *Nature*, 1967, 215:1278~1280.
- 45 Spanjers AW. Bioelectric potential changes in the style of *Lilium longiflorum* Thunb. After self- and cross-pollination of the stigma. *Planta*, 1981, 153:1~5.
- 46 Fromm J, Eschrich W. Transport processes instigated and non-stimulated leaves of *Mimosa pudica*. *Trees - Structure and Function*, 1988, 2 (1):7~17.
- 47 Fromm J, Bauer T. Action potentials in maize sieve tubes change phloem translocation. *J Exp Bot.*, 1994, 45(4):463~469.
- 48 Fisahn J, Herde O, Willmitzer L, et al. Analysis of the transient increase in cytosolic Ca²⁺ during the action potential of higher plants with high temporal resolution: requirement of Ca²⁺ transients for induction of jasmonic acid biosynthesis and PINII gene expression. *Plant Cell Physiol*, 2004, 45(4):456~459.
- 49 Wildon DC, Thain JF, Minchin PEH, et al. Electrical signaling and systemic proteinase inhibitor induction in the wounded plant. *Nature*,

- 1992,360:62~65.
- 50 Malone M, Palumbo L, Boari F, *et al.* The relationship between wound-induced proteinase inhibitors and hydraulic signals in tomato seedlings. *Plant Cell Environ*, 1994, 17(1):81~87.
- 51 Herde O, Fuss H, Peña-Cortés H, *et al.* Proteinase inhibitor II gene expression induced by electrical stimulation and control of photosynthetic activity in tomato plants. *Plant Cell Physiol*, 1995, 36(4):737~742.
- 52 Herde O, Atzorn R, Fisahn J, *et al.* Localized wounding by heat initiates the accumulation of proteinase inhibitor II in abscisic acid deficient tomato plants by triggering jasmonic acid biosynthesis. *Plant Physiol*, 1996, 112(2):853~860.
- 53 Stankovic B, Davies E. Both action potentials and variation potentials induce proteinase inhibitor gene expression in tomato. *FEBS Lett*, 1996, 390(3):275~279.
- 54 Stankovic B, Davies E. The wound response in tomato involves rapid growth and electric responses, systemically upregulated transcription of proteinase inhibitor and calmodulin. *Plant Cell Physiol*, 1998, 39(3):268~274.
- 55 韩芬茹. 动物神经系统的进化. 甘肃高师学报, 1998, 3(3):62~64.
- 56 吴克复. 细胞通讯与疾病. 北京:科学出版社, 2006:1~3.
- 57 徐先祥, 戴岳, 刘青云. 细胞通讯与中药药理作用. 世界科学技术-中医药现代化, 2008, 10(1):98~102.
- 58 叶鹿鸣. 神经系统的发展. 中国医刊, 1954, (3):26~29.
- 59 Л.А.库库耶夫, Б.玛洛谢娃绘图, 范果仪. 神经系统的进化. 生物学通报, 1957, (2):39~43.
- 60 田在善, 吴咸中, 陈颢. 有关“腹脑(第二脑)”之说. 中国中西医结合外科杂志, 2005, 11(5):454~457.
- 61 Gershon MD. The second Brain. Harper Collins, New York, 1999.
- 62 Darwin C. The power of movement in plants. John Murray, London, UK. 1881.
- 63 Bose JC. The physiology of photosynthesis. Longmans, Green and Co., London, UK. 1924.
- 64 Backster C. Evidence of a primary perception in plant life. *International Journal of Parapsychology*, 1968, 10(4):329~348.
- 65 Volkov AG. Green plants: electrochemical interfaces. *J Electroanal Chem*, 2000, 483(1-2):150~156.
- 66 Balu-ka F, Mancuso S, Volkmann D, *et al.* Root apices as plant command centres: the unique ‘brain-like’ status of the root apex transition zone. *Biologia(Bratisl.)*, 2004, 59 (Suppl. 13):1~13.
- 67 Stahlberg R. Historical overview on plant neurobiology. *Plant Signal Behav*, 2006, 1(1):6~8.
- 68 Brenner E, Stahlberg R, Mancuso S, *et al.* Plant neurobiology: An integrated view of plant signaling. *Trends Plant Sci*, 2006, 11(8):413~419.
- 69 Alpi A, Amrhein N, Bertl A, *et al.* Plant neurobiology: no brain, no gain? *Trends in Plant Science*, 2007, 12(4):135~136.
- 70 印大中. 以现代科学解读中医治本. 中国中西医结合杂志, 2007, 27(7):581~583.

Interpretation of the Biological Essence of Meridians (Jingluo) with Plant Neurobiology and Animal Nerval Evolution

Yin Dazhong^{1,2}, Zhao Linli²

(1. Academy of Chinese Medical and Pharmacal Science of Guangdong, Guangdong Provincial Hospital of TCM, Dade Road 111, Guangzhou 510120, China

2. Key Laboratory of Protein Chemistry and Developmental Biology of Ministry of Education, College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: Owing to the absence of a clear and independent anatomical structure, the biological nature of meridians (Jingluo) and the mechanism of the acupuncture and moxibustion et al. to prevent and cure diseases in the Traditional Chinese Medicine still remain mysterious. Through summary and analysis of the evolution of animal nervous systems and comparison of the information transmission systems of plants (the so-called "plant neurobiology"), the common biological structure and the basic law of information transmission of biological systems are open-mindedly reviewed and illustrated in this paper. The information transmission systems of life are for the first time classified into three major levels: the brain-related central nervous system (the neural level); the vessel-dependent information transmission system without the typical nerval structure (the duct level); the inter-cellular and cell-environmental signal communication system (the cellular level). Electronic and biochemical signal transmissions were pinpointed as two major means of the information dissemination pattern in the life system. In summary, the complicated information transmission functions and traits of the meridians are thus suggested as an interplay of the performances of the three major systems applying electronic and physico-chemical materials, namely, the "321-Integration Theory" of meridians.

Keywords: Acupuncture and moxibustion; Animal nerval evolution; Meridians (Jingluo); Plant information transmission mechanisms; Plant neurobiology

(责任编辑:崔建华 李沙沙, 责任译审:张立威)