

藏象理论联合五行学说视域下放大反馈通路的构建与解析——以胸痹发生发展为例^{*}

刘 迈, 王 晶, 刘永月, 张晓晴^{**}

(北京中医药大学生命科学学院 北京 100029)

摘 要:放大反馈通路是电子学与控制论的交叉内容,涉及放大与反馈两个过程,能够揭示系统在这两个过程共同作用下的动态演变机制;胸痹作为本虚标实证,其病位在心,与肝、脾、肾等脏密切相关,文章着眼于脏腑功能失调与五行生克制化失常相互关联的角度,运用放大反馈的理论及模型,联合胸痹的心肾阳虚证、气滞心胸证,以及在脾胃功能失调等多因素交互作用下,构建并解析了由心、肝、肾组成的单级放大反馈通路及心、肝、肾、脾组成的双级放大反馈通路,着重分析了深度反馈现象与自激振荡现象,再用具体方证对分析结果进行验证,明确了相关脏腑功能变化在胸痹病机演绎中的作用,探讨了在疾病病机演变过程中可能存在的量化关系。文章期望从控制论角度为研究难治性疾病的复杂病机演变过程提供新思路,为数字技术赋能中医理论现代化研究提供新思路,为未来设计有关在中医理论指导下的仿真模拟数字系统提供一定的理论支持。

关键词:胸痹 五行学说 藏象学说 放大 反馈

DOI: 10.11842/wst.20240413001 CSTR: 32150.14.wst.20240413001 中图分类号: R312 文献标识码: A

胸痹,最早记载于《黄帝内经》中,临床主要表现为胸闷胸痛、心悸气短。《胸痹心痛中医诊疗指南》^[1]指出胸痹的病位在心,与肝、脾、肾三脏密切相关,尤其是与心气虚、心阳不足,肝气郁滞,脾气虚弱及肾阴阳两伤最为密切,《冠状动脉微血管病中医诊疗指南》^[2]认为冠状动脉微血管病(Coronary microvascular disease, CMVD)属于胸痹心痛的范畴,认为其病位在心,与肝、脾、肾三脏功能失调有关;因此,胸痹的发生发展往往涉及多脏腑功能的失常,文章以五行学说联合藏象学说为基础,构建并解析了心阳虚、肝气郁滞、脾气虚弱、肾阳虚衰多种病机变化要素交互作用下的模拟框图与放大反馈通路。

在当前运用现代科学解读中医药学原理的背景下,可以创造性地应用电子工程学中有关放大反馈的理论及模型,开展基于中医原创理论的通路研究,有

助于揭示疾病在发生发展过程中的动态演变机制。在生物领域内有细胞内进行信息传递的信号通路,在物理领域中有交流信号在输入信号的作用下流经的交流通路^[3],故笔者尝试从脏腑功能出发,进一步联合五行之间的生克关系,运用电子工程学中的放大反馈模型,构建胸痹形成及发展的放大反馈通路,推演并揭示脏腑功能失调在胸痹发生与发展过程中动态变化的机制。通路的构建不仅为促进学科的发展奠定了基石,还能够基于该通路理论下仿真模拟数字系统的设计提供理论依据与工程化方法。

1 胸痹发生发展与五脏功能失调密切相关

1.1 胸痹的发生发展与心阳亏损密切相关

《金匱要略·胸痹心痛短气病脉证治》^[4]曰:“夫脉当取太过不及,阳微阴弦,即胸痹而痛,所以然者,责

收稿日期:2024-04-13

修回日期:2024-09-20

^{*} 科技部国家重点研发计划(2022YFC3502301):广义望诊多维信息采集与智能处理技术的数智中医诊疗研究:头部望诊神色智能采集分析关键技术与装备,负责人:张晓晴;国家中医药管理局高水平中医药重点学科中医生命科学学科建设(zyyzdxk-2023263),负责人:徐安龙。

^{**} 通讯作者:张晓晴(ORCID:0000-0002-2195-9574),教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向:中医智能化与数字名老中医传承。

其极虚也。今阳虚知在上焦,所以胸痹、心痛者,以其阴弦故也。”“阳微阴弦”作为胸痹的基本病机,从脉象、脉位、三焦、左右、病机的角度有着不同的解释,但多数医家认为“阳微”指上焦心阳虚衰^[5-8],郭士魁教授也认为“阳微阴弦”可释为心、脾、肾阳虚而引发实邪阻滞,为本虚标实之证^[9],故心阳虚衰,在胸痹发生中具有重要作用,本文以心阳虚证作为胸痹发病基础。

1.2 胸痹的发生发展与肝脾肾肺功能失调密切相关

国医大师路志正教授指出了脾胃功能失调形成胸痹的具体机理,认为肝失疏泄、脾失健运是胸痹发生的关键所在^[10-11];国医大师阮士怡教授认为胸痹的发生发展与心脾肾三脏亏损最为相关,尤为强调肾阳虚、脾失健运在胸痹病机变化中的作用^[12];国医大师方和谦教授认为心有疾,可为四脏所致^[13];王阶教授也强调胸痹的病机为脾肾亏损^[14];因此胸痹的发生发展过程与五脏功能失调密切相关。

从调心肝、补心脾肾角度治疗胸痹也是临床的常用方法^[15-17],故本文探讨胸痹证型中与肝气郁滞相关的气滞心胸证,与肾阳虚相关的心肾阳虚证,以及国医大师路志正所提出的脾胃功能失调所引起的胸痹,因《胸痹心痛中医诊疗指南》^[1]中并未涉及病位在肺,故文章不再讨论肺功能失调在胸痹发生发展中的作用。

2 藏象理论结合五行学说论胸痹发生发展中脏腑功能的失调

脏腑功能发挥是否正常与该脏腑正气盛衰情况密切相关,《素问·六微旨大论》^[18]有关正邪之所述为:“非其位则邪,当其位则正,邪则变甚,正则微。”从正的角度来看,肾的藏精、肝的疏泄、脾的运化等脏腑功能都依赖对应脏腑精气阴阳的充盛;若脏腑功能较差或抵御邪气能力较差,即该脏腑正气较弱,《素问·水热穴论》^[18]曰“肾者,至阴也。至阴者,盛水也”,阐明了水在脏为肾,肾精不足、肾阳虚、肾阴虚、肾气虚察五行虚衰角度可为水行虚弱^[19],脾气虚、脾阳虚等可称土虚,心气虚、心阳虚等可称火位不及,本文在所构建的放大反馈结构中,水行虚弱多指肾阳虚、火行虚弱多指心阳虚、土行虚弱多指脾气虚。从邪的角度来看,肝的疏泄功能失常或外邪侵袭于肝最终都会导致肝气不舒,气机紊乱^[20],最终木失本位,可谓木行失常。若寒、痰、瘀、热、毒^[21]等邪气侵犯心,不断损耗心之正

气,逐渐累及心阳,导致心阳受损。因此,五行之间的正常生克制化能维持脏腑之气的平衡之象,基于某一脏腑邪正态势的动态变化可通过相乘或相侮等关系影响到其他脏腑邪正态势的变化,故疾病的发生状态、发展机制需从藏象理论结合五行学说角度进行动态关系的探讨。因此本文基于胸痹发生发展过程中所涉及的心、肝、脾、肾四脏,应用电子工程学中的相关理论构建其的放大反馈通路,并用某一行的态势变化来表征某一脏腑的邪正,更有利于对放大反馈通路的解析。

3 放大反馈理论在中医理论中的应用

在系统控制论中,控制理论的任务是对被控对象设计反馈控制律方式,以获得所需要的指标,控制系统设计中通过测量到的状态和输出作为反馈量以构成反馈控制律,从而实现对系统的闭环控制^[22]。人体是一个开放的复杂巨系统^[23],从五行正邪动态演变的宏观角度来看,心阳虚证的发生发展对各个脏腑邪正关系的影响可作为一个复杂的巨系统;从临床辨证的微观角度来看,心阳虚证是由固定的、具有内在联系的、能够揭示疾病发生阶段或本质的多个症状和体征所构成的子系统所组成。阳微阴弦的解释运用了五行学说,而五行学说的生克作用通过控制论中的闭路反馈进行自主调理,使五脏在变动中保持整体稳定^[24]。从状态反馈量和输出反馈量的角度来看,既有通过木盛水虚组成的结构来对心阳虚状态进行闭环控制,又有心阳虚和木盛水虚的程度改变等。研究开放的复杂巨系统不能用 Prigogine 的方法,也不能用 Haken 方法,那些都不行,只能用从定性到定量综合集成法^[23],基于此,文章先构建放大反馈通路,再用定性到定量的综合集成法去分析这一系统。

3.1 放大理论在中医诊断学中的应用探讨——以心阳虚证为例

在自然科学领域中都有放大现象的存在。在生物学中,生物信号通路中有放大现象^[25]。在电子工程中有对放大现象的描述,认为放大的本质是一种能量的控制,它的对象是变化量,放大的基本要求是放大幅度而不改变信号的变化规律,即不失真^[3]。在中医学同样也存在放大现象,如中药药性中的相使、辅药可看作放大工具,增强主药的某一特定功效,这种现象表明,中医学理论中可能普遍存在类似的放大效

应,不仅限于药性理论,还可能体现在其他理论和实践中。钱学森^[23]提到:人的功能态有健康与非健康之分,健康态是“亚稳态”,可以在一定范围内波动或转换,一旦超出正常范围,就进入疾病功能态,疾病功能态有多种,中医所辨的各种“证”,就是一些不同的疾病功能态。文章认为心阳虚证也符合钱老所提出的观点,“阳微”内涵中一定存在心阳虚证,不同程度的心阳虚证可以随时间在不同范围内进行动态变化,它的变化规律本就受患者所处未知环境、患者情志等因素对该系统的动态扰动,因此心阳虚证可以随时间这一变量进行非线性的连续性变化^[26],这种变化规律的描述既要表达出它的变化幅度,也要表现出它随时间变化的周期状态,即使幅值变化范围的最大值与最小值都上升,导致心阳暴脱,也不会改变心阳虚证这个本质。此外,这种心阳虚证程度变化本质也是能量控制,故满足电子工程学中放大的定义要素,放大首先考虑所涉及的两脏直接影响。

3.2 反馈理论在五行学说中的应用

电子工程学中有关于反馈的描述,认为将输出量即输出电压或者输出电流的一部分或全部通过一定的电路形式作用到输入回路,用来影响其输出量即放大电路的输入电压或输入电流的措施称为反馈,其中使净输入量增大或反馈结果使输出量的变化减少的反馈称为正反馈,反之则为负反馈^[3]。而信号只有单一的从输入到输出的流向,称为信号的前向通道,此时电路工作在开环状态;若将某一支路引入到从输出到输入的流向,称为信号的反馈通道,由于反馈通道的存在,使系统工作在闭环状态。反馈理论在五行学说中有很好的应用,有学者运用系统论的相关内容研究五脏之间生克制化的复杂关系,祝世讷^[24]认为五脏之间的生或克可从单向通道形成闭路反馈,此闭环回路若某脏腑处于疾病状态,该闭环回路就有部分结构为疾病程度的不断加重。孟庆刚^[27]等人认为阴阳偏颇的调节过程可以用生物控制论中的反馈原理与中医诊疗过程的契合点来调节。

4 放大反馈关系式与模型的引入

4.1 关系式的引入

如图1所示^[3],从输入量到输出量前向通道中的方框表示该系统的放大环节,所构建的放大反馈通路中,木盛和水虚均可作为“该环节”的成分因素,分别可从不同角度影响该放大反馈通路,该环节的输出与输入的比值为 A ;从输出量经反馈量流向输入量的反向通道中的方框,为该系统的反馈网络,在所构建的放大反馈通路中土虚与水虚可作为该环节,该环节的输出量和输入量的比值为 F ,是该反馈网络中的反馈系数,其中:

$$A = X_o / X_{id} \quad (1)$$

该系统的开环增益:

$$F = X_f / X_o \quad (2)$$

该系统的反馈系数:

$$A_f = X_o / X_i \quad (3)$$

该系统的闭环放大倍数:

$$X_i = X_{id} - X_f \quad (4)$$

输入量 X_i 表示该系统的总输入,与净输入量 X_{id} 反馈量 X_f 的关系:

$$A_f = X_o / X_i = X_o / X_{id} - X_f = A / 1 - AF \quad (5)$$

由(1)、(2)、(4)式可得:

$$X_i = X_{id} - X_f = X_{id} - AF X_{id} = (1 - AF) X_{id}$$

$$\text{故 } X_{id} = X_i / 1 - AF \quad (6)$$

4.2 模型原理的构思

图2为集成运算放大器的符号,它的功能就是对信号进行放大,从模型外观来看为双端输入,单端输出的系统,需要解释的是这里的同相输入端和反相输入端,这里的“同相”和“反相”是指运算放大器的输入电压与输出电压之间的相位关系^[28], A 代表该集成运算放大器的放大倍数,本篇文章只讨论单输入单输出系统(Single input single output)即SISO系统,也就是输入心阳虚经过放大再输出,输入和输出只讨论心阳虚的关系。

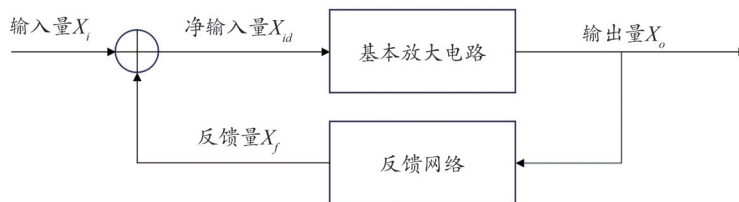


图1 放大反馈电路的通用框图

如图3所示是集成运算放大器引入负反馈的符号^[3],因为是将输出引入反相输入端故这里是负反馈。

5 胸痹发病与进展的SISO放大反馈通路构建

胸痹的基本病机为阳微阴弦,心阳虚衰与胸痹的发生密切相关,而肝、脾、肾三脏同样影响着胸痹的发病与进展。因此,本文着重探讨心、肝、肾、脾之间的放大反馈模型。在构建心、肝、肾、脾功能同时失调的模型时,需将脾功能失调视为误差中的偏移因素,因

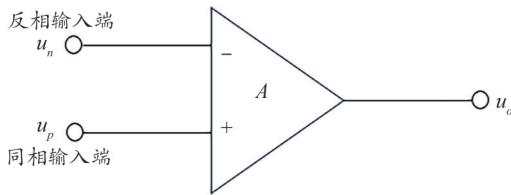


图2 集成运算放大器的符号

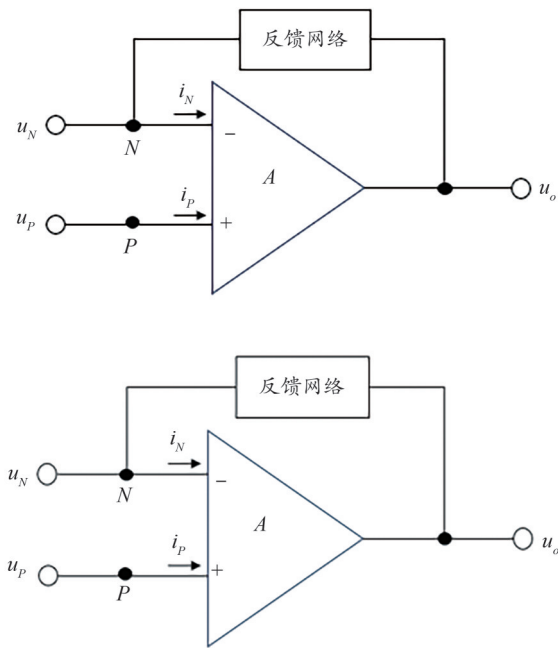


图3 集成运放引入负反馈

为脾失健运会导致宗气匮乏,久而久之引起心阳虚衰,进而影响系统地输出心阳虚信号。

《脾胃论·脾胃胜衰论》中指出:“大抵脾胃虚弱,阳气不能生长,是春夏之令不行,五脏之气不生。”国医大师路志正也强调脾失健运导致宗气匮乏,久则心阳虚衰。因此,这种偏移现象影响的是输出的心阳,其发生机制类似于电子工程中的偏移现象,都是系统中非理想状态对输出结果的影响。

因此,在中医理论指导下构建的放大反馈通路中,偏移因素不容忽视,其重要性甚至超过了传统电子工程学中对该现象的关注。需要指出的是,脾失健运还会生痰生湿,容易痹阻心阳,而非直接导致心阳虚衰。如果整个放大反馈网络以心阳虚作为信号,那么脾功能失调只能作为偏移部分来考虑。

5.1 胸痹发生发展过程中气滞心胸证与心肾阳虚证交互作用下SISO单级单放大反馈通路的构建

气滞心胸证有表现为肝气郁滞的部分症状,而心肾阳虚既有表现为肾阳虚的症状也有本身所表现为心阳虚的症状,而在胸痹发生发展过程中,心阳虚、肝气郁滞、肾阳虚可以组合为如图4所示的正反馈放大框图,图5的放大反馈通路是根据该框图构建的,其中 X_i 作为输入心阳虚,即心阳虚的程度。 X_o 作为输出心阳虚,即原本的心阳虚通过肝木郁,肝气不畅,木不生火^[29]进行放大所产生的心阳虚。 X_f 作为反馈心阳虚,代表着因肾阳失于心阳的统帅、振奋作用,肾阳保持充沛能力下降,水行虚弱^[30],心阳失于肾阳的资助所致的心阳虚。这里实质上是输出心阳虚程度所代表的量引入输入心阳虚端通过反馈结构对输出心阳虚进行取样,获得反馈量,反馈量与输出量成一定的比例,输出量越大反馈量就越大^[3],在这里这个比例可以在小范围内进行波动,也就是心阳虚越重,越容易引起肾阳虚,肾阳虚加重心阳虚的程度又会增强,反馈结构可以使整个系统工作在闭环状态。

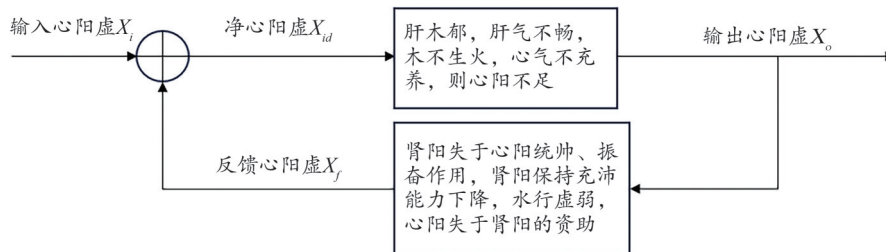


图4 心阳虚证在气滞心胸证与心肾阳虚证交互作用下的放大反馈框图

在图5中,只从输入心阳虚到输出心阳虚这个流向就是前向通道,从输出心阳虚经过反馈心阳虚到输入心阳虚这个流向为反馈通道,若引入反馈心阳虚,那么该系统就可以称工作在闭环状态。这里的开环状态下增益 A 为输出心阳虚与净心阳虚的比,闭环状态下增益 A_f 为输出心阳虚与输入心阳虚的比。

5.1.1 胸痹发生发展过程中脾功能失调下的SISO单级双放大反馈通路构建

心脉痹阻在脾失健运的情况下,由于生痰生湿,可以加重心脉痹阻,作为放大部分;痰浊也可能进入血液,导致瘀阻心脉,形成反馈的心脉痹阻,作为反馈部分。正如《灵枢·邪客》所述:“五谷入于胃也,糟粕、

津液、宗气,分为三隧。故宗气积于胸中,出于喉咙,以贯心脉。”当脾胃运化功能失常时,胸中宗气生成不足,贯心脉以行心血的功能减弱,导致血行瘀滞,这构成了放大部分;心络瘀阻、气血失和,久而久之心络受损,产生反馈的心脉痹阻,作为反馈部分。由此形成了单级双放大反馈网络。需要说明的是反馈心脉痹阻的大小仅仅取决于输出反馈心脉痹阻的大小,即反馈量的大小仅取决于输出量,而反馈系数 F 的大小仅取决于所选择的反馈网络。若不考虑反馈网络之间的相互影响,其闭环放大倍数如式7所示:

$$A_f = \frac{A_1}{1 - A_1 F_1} + \frac{A_2}{1 - A_2 F_2} \quad (7)$$

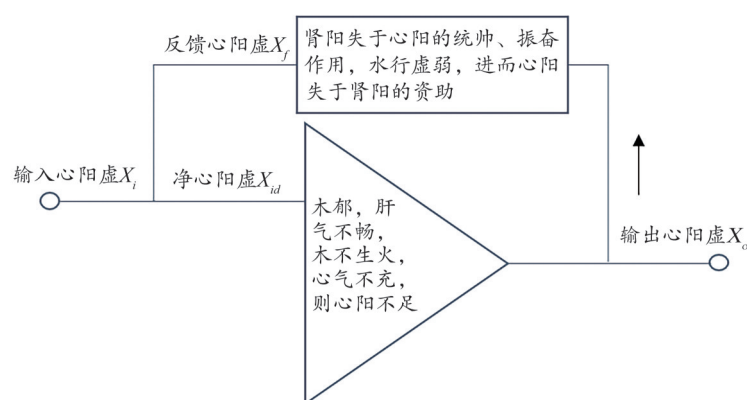


图5 心阳虚证在气滞心胸证与心肾阳虚证交互作用下的放大反馈通路

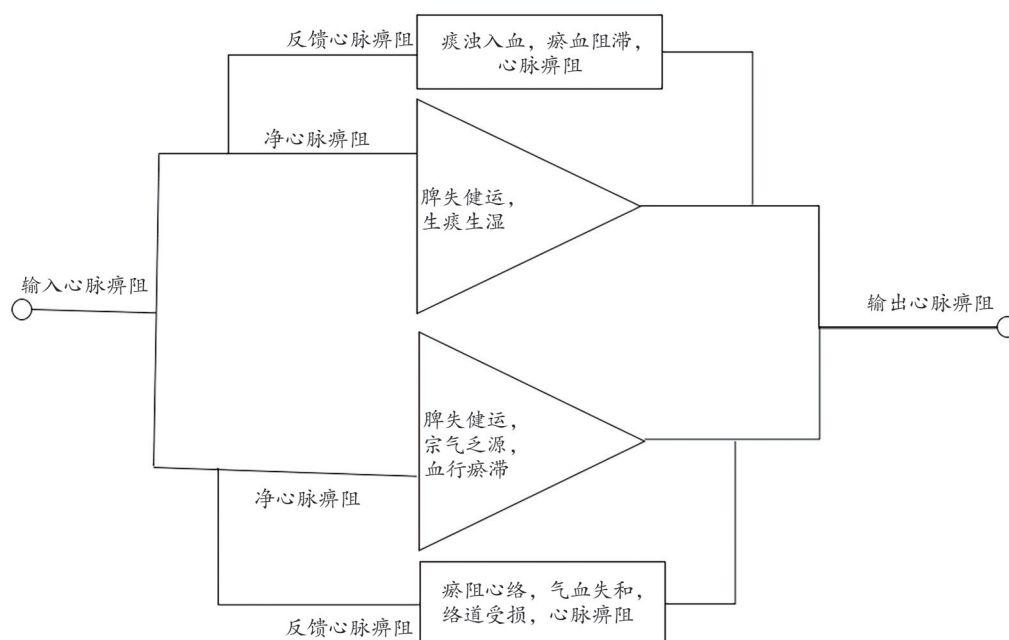


图6 心脉痹阻在脾功能失调下的SISO双放大反馈通路

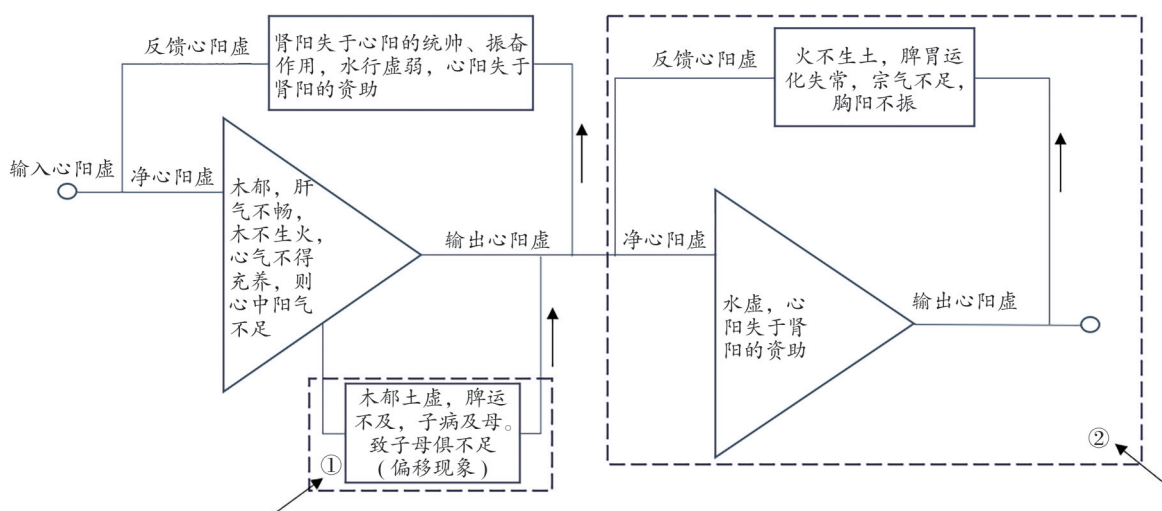


图7 心阳虚证在肝、脾、肾三脏功能失调下的SISO双级放大反馈通路

5.2 心肝脾肾功能失调在胸痹发生发展中SISO双级放大反馈通路的构建

图6是在图2、图3、图5的基础上,构建的SISO双级放大反馈通路,对误差进行补充并加入本就存在的肾阳虚,补充了脾、肾两脏病变在胸痹中的作用。在误差结构①中,因木旺克土,导致脾土运化失常,脾为心之子,心阳本虚,脾土不足,子令母虚,则心气不足,导致心阳虚加重。它在图5通路中,应作为放大模块本身所产生的误差,而这种误差在电子工程学中叫做偏移现象^[3],前半部分的单级放大反馈通路与图5相同的地方在此不再赘述。

在第二级放大反馈通路②中,①所在的放大反馈通路输出作为②的输入,放大部分是本就存在肾阳虚,进一步心阳失于肾阳的资助,导致心阳虚程度加重,而反馈部分则为火不生土导致脾土虚弱,运化失常,宗气生成不足,胸阳不振,最终子母俱不足。该双级放大反馈通路的闭环放大倍数如式8示:

$$A_f = \frac{A_1}{1 - A_1 F_1 - A_1 A_2 F_2} \quad (8)$$

6 基于放大反馈通路的关系式分析胸痹发生机制与方证验证

6.1 放大反馈通路中反馈深度的分析

如式5-式6所示,在引入正反馈后,由于 $|X_{id}| > |X_i|$,因此 $|1 - AF| < 1$,这里 $|1 - AF|$ 能反映出引入正反馈以后,闭环增益相比开环增益增加的程度,故可称反馈深度,在这里是加入了水行虚弱之后,与之前只有木盛使心阳虚加重的程度比较增加了 $|1 - AF|$ 倍,若 $|1 -$

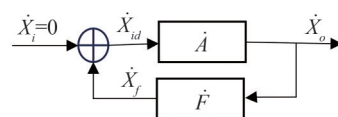


图8 自激振荡现象

$AF| > 1$,则该系统进入了深度反馈状态^[3],也就是心阳虚的程度几乎只取决于肾阳的虚衰程度,但这里的反馈网络所输出的反馈心是因心阳虚引起的肾阳虚而再次引起心阳虚,因此这里的反馈心阳虚在一般条件下应当是比输出心阳虚小的阳虚,故 $\frac{X_f}{X_o}$ 中的 X_f 小于

X_o ,它的反馈系数 F 应当大部分情况下是小于1的,放大倍数与反馈系数的积不会远远大于1,故该系统不会产生深度反馈。在SISO双级放大反馈通路中,由式8知,若想达到深度反馈状态需满足 $|1 - A_1 F_1 - A_1 A_2 F_2| > 1$,实际情况它的放大倍数和反馈系数并不会特别大,所以实际情况下不容易进入深度反馈状态。

6.1.1 放大反馈通路中自激振荡现象的产生

需要指出的是,该系统会有自激振荡的产生,即反馈信号,也就是净输入信号,维持着输出信号,而输出信号又维持着反馈信号,它们互相依存,则称通路产生了自激振荡^[3],如图8所示。该放大反馈通路的起振条件为 $AF > 1$,因 X_o 与 X_f 相互维持,故维持动态平衡的条件为 $X_o = AX_{id} = AFX_o$,即 $AF = 1$,在SISO单级单放大反馈通路中,若患者平素急躁易怒,该反馈通路的放大倍数容易较大,易满足起振条件,也可能在某一时刻,它的 AF 约等于1,即便输入为零,因外界条件影响,该放大器本身产生了一个小的心阳虚信号,再通

过反馈一直产生净输出,最终不断产生输出,直到受到系统自身的限制。在该单级放大反馈通路中的意义为即便对此类胸痹患者进行了治疗,输入心阳虚变得很小,但只要木行亢盛以及因心阳虚导致的水行虚弱仍然存在,心阳虚导致的肾阳虚程度较小,且木行亢盛如果很重的情况下,该系统闭环放大倍数较大,会有持续性的心阳虚输出,进而引起胸痹的发生。

在SISO单级双放大反馈通路中,脾胃虚弱的放大倍数相较于脾气突然急躁的情况下较为有限,因此以脾胃虚弱作为放大器要比肝气郁滞作为放大器更难达到起振条件,但它是双放大反馈通路,若忽略两个通路之间的相互作用,只要其中任意通路进入自激振荡状态,整个系统便可能进入自激振荡。因此,脾胃功能失调在胸痹的发生与进展过程中具有关键作用。

6.2 单级放大反馈通路中反馈深度分析下方证的探讨

自激振荡现象的产生,从上述分析可知,与肝气郁滞较重、心阳虚引起的肾虚密切相关。肾主元气,陈无择在《三因极一病证方论·水肿叙论》中论曰:“夫肾主元气,天一之水生焉。”肾气对全身精、气、血、津液有着推动作用,促进其不断运动化生;肾气不足也会导致气血津液运行不畅,日久会生痰生瘀^[31]。而又加上木行亢盛,肝气不畅,致血液在脉道中流通不利而为瘀,疏泄功能失调,气化失权,不能散发水液,导致水液停滞不行,积聚而生痰湿,久而生热^[32]。使用旋覆花汤可以通过调畅肝气,调节宗气和血脉以调畅心肺之气在胸中的运行,就能治疗胸痹^[33],而桂枝去芍药加附子汤可以治疗心阳和肾阳虚衰型的胸痹,可以用它们合方加减治疗该类胸痹,如加瓜蒌、半夏等化痰药。旋覆花汤出自《金匱要略·五脏风寒积聚病脉证并治》,其原文为:“肝着,其人常欲蹈其胸上,先未苦时,但欲饮热,旋覆花汤主之。”《金匱要略心典》^[34]云:“肝脏气血郁滞,着而不行故名肝着。”邪气侵犯于肝,导致肝的疏泄功能失常,其经脉气血瘀滞,揭示了“肝着”气滞血瘀的病机特点^[35],肝失疏泄导致心脉不和,久则心阳渐损,肝失疏泄,脾失健运,内生痰湿,最终痰瘀实邪阻滞,发为胸痹,表现为胸闷、心悸,平素急躁易怒,食少纳呆,面色㿔白,活动后胸闷、心悸加重,舌苔腻,舌质暗红^[36],患病日久,心气受累,心阳不振,无力行血,血脉滞涩,以致瘀血痰浊阻遏继续影响反馈部分。本证治宜疏肝健脾,温补心阳,散瘀化痰。

6.3 双级放大反馈通路中考虑偏移现象后的用方探讨

《金匱要略·胸痹心痛短气病脉证治》中有“胸痹缓急者,薏苡附子散主之”,这一条原本解释为胸中阳气不足,又被寒湿之邪所乘,描述阴邪与阳气争斗互有胜负故有时缓时急之象,从用药角度来看,炮附子在此不仅取它散寒止痛之效,更取它补火助阳之功^[37],这个补火助阳取它对肾阳虚、脾阳虚、心阳虚之效,就包括薏苡仁不单取其除痹之效,更取其健脾之功,就简单两味药,看似急则治标,实际它标本兼顾,更好地发挥此方温通止痛之功。也可以使用小建中汤加減治疗,如《伤寒论》^[38]中有“伤寒二三日,心中悸而烦者,小建中汤主之”。再加柴胡之类疏肝解郁,使脾胃健运,中气立则气血化源充足,心得其养而悸症自愈。

6.4 从放大反馈通路的角度解释用方

解析以上用药干预,该放大反馈通路中的正反馈会转化为负反馈,并且加入了补偿结构来消除偏移现象,负反馈的反馈深度为 $1+AF$,该反馈深度取决于用药的准确性与剂量等,最终目的是使输出心阳虚减少或保持稳定,最佳状态应当是用该方剂所达到的效果能够纠正放大器所产生的输出心阳虚与反馈心阳虚,即 $X_{id}(\text{负反馈})=X_{id}(\text{正反馈})+X_o$,再对放大器、偏移结构、正反馈网络进行破坏,防止疾病进一步发展。

7 真实世界下研究放大反馈系统控制效果的方法介绍

在真实世界视域下,该放大反馈系统应当是一种闭环放大倍数未知且受不确定、不可测量非线性模糊系统控制^[39]的动态复杂系统。文章所构建关于心阳虚的肝木郁滞、肾水虚弱、脾运不畅的SISO放大反馈通路的闭环放大倍数非常数,是时刻变化的,甚至会表现出一定的规律性,故需用模糊自适应输出反馈反推控制方案以消除虚拟控制增益和实际控制闭环放大倍数的函数必须为常数这一限制性假设^[40],在文章所构建的模型中,为了简化分析,首先假设肝木郁滞、肾水虚弱、脾运不畅等状态变量在理想情况下仅受时间的影响;然而,在真实世界中,这些状态变量还会受到其他复杂因素的共同作用。因此,通过逐步引入这些复杂因素,逐渐逼近真实情况下变量参数的动态变化规律,最终构建出放大反馈通路中输出心阳虚与状态变量之间的关系,利用模糊逻辑系统,选择关于输入

和输出之间的合适模糊集合,建立了一种合适的模糊状态观测器,例中模糊状态观测器的类型是单输入单输出模糊观测器,但在中医理论中应当还需设计关于非线性的 SISO 系统、多输入多输出(Multiple input multiple output, MIMO)系统以及单输入多输出(Single input multiple output, SIMO)系统的模糊状态观测器。不论是心阳虚、肝气郁滞、肾水虚、脾运不畅哪一种变量随时间进行连续变化,它的变化率在病人处于正常状态下逐渐收敛,即在有限的时间内,无论其初始条件如何,系统或信号在特定的区域内保持有界,因它在特定条件下是有界的,故可用该分析方法进行研究。

8 讨论

胸痹的发生发展受多种因素影响,与五脏功能失调关系尤为密切,阳微阴弦作为其核心病机有助于构建该疾病的动态放大反馈通路。文章突破性地应用电子工程学中有关放大反馈的理论及模型,结合脏腑正邪之气的盛衰变化再联合五行学说构建并深入分析该动态系统。通路所产生的自激震荡现象能够让研究者清晰地看到病机演变过程,反馈深度、偏移补偿、放大规律、反馈转化研究能更有效指导准确用方用药,如根据对反馈深度的分析,在胸痹缓解期除了根据辨证情况用药外,还需着重偏向于使肝的亢奋功能恢复正常或祛除客于肝位之邪,调整脾、肾的功能,防止胸痹再次发生。

钱学森^[23]、凌耀星^[41]、祝世讷^[24]、孟庆刚^[27]等学者应用反馈理论在中医领域做了一定的研究,但尚未涉及电子工程学在阳微阴弦理论研究中的应用。本文在他们研究所涉及的反馈理论基础上进一步结合电子

工程学中的内容,构建并分析了“阳微阴弦”单级、双级放大反馈通路,明确了阳微阴弦释义下病机演变的基本通路。此外,针对更多难治性疾病的动态复杂系统构建, SIMO、MIMO 的放大反馈通路将会有更大的研究空间,因为它们往往可以组合成更大、更复杂的动态系统,可使用本文的分析方法对该系统定性化分析,有利于我们分析疾病的演变规律、演变条件,从而找到合适的治疗方法,提高疗效,有利于着手于其他脏腑来促进本脏腑正气的恢复。

本文仅讨论了 SISO 的放大反馈通路,因理论在初探阶段,仅对胸痹心阳虚证的发生发展部分过程进行了探讨,未对双级放大反馈通路进行反馈深度分析,也未将肺考虑在内,需要指出的是,上焦阳虚,肺助心行血功能也会变差,与心气的推动有一定的关系,若将肺考虑在内,需构建三级放大反馈通路,将肺功能的失调放入放大部分,使阳微阴弦释义下 SISO 的放大反馈通路构建更为完善,从而更客观地反映病机变化的规律。

证候量化技术研究是中医数字化的共性关键技术,所组成复杂放大反馈通路的动态特征描述,涉及的证候由于其“内实外虚”“动态时空”和“多维界面”的特征处于诊疗的核心位置^[42],构建证候方程对中医现代化进程有巨大的推动作用,在本文所构建的放大反馈模型中,也需要进一步开展研究并构建关于心阳虚证发展过程中与多种变量的函数关系,能够清晰地描述幅值与相位的变化情况。在证候量化后通过分析反馈深度、闭环放大倍数及其他参数来提高放大反馈通路的整体性能^[43],以期发现更多有价值的脏腑功能演变规律,用以指导重大疾病的理论与临床实践。

参考文献

- 胡元会. 胸痹心痛中医诊疗指南. 中国中医药现代远程教育, 2011, 9(23):106-107.
- 刘红旭, 邢文龙, 魏鹏路, 等. 冠状动脉微血管病中医诊疗指南. 中医杂志, 2023, 64(21):2261-2268.
- 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础. 4版. 北京:高等教育出版社, 2013.
- 张仲景. 金匮要略. 于志贤, 张智基点校. 北京:中医古籍出版社, 1997.
- 郑虎占. 对《金匮要略》“阳微阴弦”的认识及应用体会. 北京中医药, 2008, 27(4):270-271.
- 毕颖斐, 王贤良, 王帅, 等. 胸痹“阳微阴弦”病机内涵的时代演变及现代认识. 中华中医药杂志, 2023, 38(11):5266-5270.
- 张笑平. 阳微阴弦新解. 中医杂志, 1987, 28(11):68.
- 魏荔彤. 金匮要略方论本义. 杜雨茂等点校. 北京:人民卫生出版社, 1997.
- 李军. 浅谈郭士魁治疗胸痹的经验及学术思想. 河北中医, 2009, 31(3):325-326.
- 路志正. 调理脾胃法在胸痹治疗中的运用. 中国中医急症, 1999, 8(5):198-199.
- 李维娜, 冯玲, 王秋风, 等. 国医大师路志正从肝脾论治胸痹摘英.

- 中华中医药杂志, 2020, 35(9): 4432-4435.
- 12 王晓景, 张军平, 李明. 阮士怡心脾肾三脏同调治疗冠心病经验. 中医杂志, 2017, 58(6):464-466.
 - 13 朱宏勋, 董珍宇, 权红, 等. 传承发展方和谦“五脏相关治心病”思想辨治胸痹. 北京中医药, 2023, 42(10):1053-1056.
 - 14 陈寅莹, 王阶. 王阶教授从脾肾论治胸痹经验探析. 中国中医急症, 2023, 32(10):1832-1835, 1853.
 - 15 韩朋朋, 陈亚南, 李亨达, 等. 袁海波从心肝辨治冠心病稳定型心绞痛经验. 中医学报, 2023, 38(1):88-93.
 - 16 辛来运. 心肝同治法治疗气滞血瘀型稳定型心绞痛的临床研究. 济南:山东中医药大学, 2019.
 - 17 姜苑宗. 冠心病(胸痹)中医论治规律研究. 成都:成都中医药大学, 2009.
 - 18 王冰. 黄帝内经素问. 鲁兆麟主校. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 1997.
 - 19 宋长恒, 马玉杰, 程引, 等. “水虚土乘”是更年期女性代谢综合征的核心病机. 中国中医基础医学杂志, 2023, 29(4):546-549.
 - 20 吴聪, 孟令鑫, 罗成, 等. 基于木盛侮金角度论治支气管扩张症验案两则. 环球中医药, 2022, 15(2):332-334.
 - 21 常艳鹏, 李德需. 胸痹证治. 实用中医内科杂志, 2014, 28(6):25-27.
 - 22 王焕清, 王立彬, 陈明. 非线性系统的输出反馈控制研究综述. 渤海大学学报(自然科学版), 2022, 43(4):330-335.
 - 23 钱学森. 论人体科学. 北京:人民军医出版社, 1988:301, 302.
 - 24 祝世讷. 中医系统论基本原理阐释. 山东中医药大学学报, 2021, 45(1):7-21.
 - 25 唐清亮. NF- κ B通路介导的正反馈环路将小鼠Ras的活性放大至病理水平. 中国病理生理杂志, 2012, 28(9):1596.
 - 26 杨阳. 冠心病中医证候的自主神经功能状态及非线性特征. 北京:中国中医科学院, 2010.
 - 27 胡佳卉, 谢晴宇, 孟庆刚. 生物控制论中的反馈原理与中医诊疗过程研究初探. 中医杂志, 2012, 53(24):2071-2074.
 - 28 邱关源, 罗先觉. 电路. 6版. 北京:高等教育出版社, 2022.
 - 29 刘翔宇, 张艳, 张薇, 等. 基于“肝心同病”探讨冠心病的辨析思路. 实用中医内科杂志, 1-6[2024-12-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1187.R.20230918.0942.002.html>.
 - 30 吕艳. 心阳与肾阳的理论文献研究. 北京:北京中医药大学, 2016.
 - 31 师双斌. “肾藏精”藏象基础理论核心概念诠释. 沈阳:辽宁中医药大学, 2013.
 - 32 李维娜, 冯玲, 王秋风, 等. 国医大师路志正从肝脾论治胸痹撷英. 中华中医药杂志, 2020, 35(9):4432-4435.
 - 33 周鹏超, 吕翠霞. 吕翠霞教授茯苓杏仁甘草汤合旋覆花汤经验. 光明中医, 2023, 38(6):1149-1152.
 - 34 尤怡. 金匱要略心典. 高春媛点校. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 1997.
 - 35 李珍珍, 张建英, 乔明琦, 等. 基于“肝气通则心气和”论治冠心病思路分析. 江苏中医药, 2023, 55(6):33-36.
 - 36 徐立思, 何新慧. 基于心阳功能探讨仲景“阳微阴弦”理论对冠心病治疗的启示. 上海中医药杂志, 2021, 55(11):46-49.
 - 37 关芳, 艾梦环, 王骄, 等. 《金匱要略》分期辨治“心病”. 实用中医内科杂志, 2018, 32(9):10-12.
 - 38 张仲景. 伤寒论. 钱超尘, 郝万山整理. 北京:人民卫生出版社, 2005.
 - 39 Zhao J P, Tong S C, Li Y M. Fuzzy adaptive output feedback control for uncertain nonlinear systems with unknown control gain functions and unmodeled dynamics. 2021, 558, 140-156.
 - 40 Tong S C, Min X, Li Y X. Observer-based adaptive fuzzy tracking control for strict-feedback nonlinear systems with unknown control gain functions. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2020, 50(9): 3903-3913.
 - 41 凌耀星. 中医藏象学说与控制论. 上海中医药大学学报, 2011, 25(4):4-8.
 - 42 李涵. 结构方程模型在冠心病证候研究中的应用. 沈阳:辽宁中医药大学, 2013.
 - 43 黄仲羽. 基于多维计算机自适应测试的FGIDs中医证候量化诊断模型研究. 广州:广州中医药大学, 2018.

The Construction and Analysis of Amplified Feedback Pathways under the Perspective of Zang-Xiang Theory and the Five Elements Theory: Taking the Occurrence and Development of Chest Bi Syndrome as an Example

LIU Mai, WANG Jing, LIU Yongyue, ZHANG Xiaoqing

(School of Life Sciences, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China)

Abstract: The concept of amplification feedback pathways represents an intersection between electronics and control theory, involving both amplification and feedback processes. It reveals the dynamic evolution mechanisms of systems under the combined influence of these two processes. In Traditional Chinese Medicine (TCM), Chest Bi syndrome is considered a "ben xu biao shi" condition, with its primary pathology located in the heart and closely related to other

organs such as the liver, spleen and kidneys. This article focuses on the interrelationship between organ dysfunction and the imbalance of the Five Elements Theory. By applying amplification feedback theory and models, the study constructs and analyzes single-stage amplification feedback pathways involving the heart, liver and kidneys, as well as double-stage amplification feedback pathways involving the heart, liver, kidneys and spleen, in the context of multifactorial interactions such as heart and kidney Yang deficiency, Qi stagnation in the heart and chest, and spleen-stomach dysfunction. Particular emphasis is placed on analyzing the phenomena of deep feedback and self-excited oscillation, and specific formulas and clinical evidence are used to validate the analysis results, clarifying the role of relevant organ function changes in the pathogenesis of Chest Bi syndrome. The article aims to provide new insights into the complex pathogenesis of refractory diseases from a control theory perspective, offering new directions for modernizing TCM research with digital technology and theoretical support for future simulation-based digital systems guided by TCM theory.

Keywords: Chest Bi syndrome, the Five Elements Theory, Zang-Fu Theory, Amplification, Feedback

(责任编辑: 刘玥辰)