

原文

Zhang WJ, Qi YH. 2023. Construction and analysis of acupoint network with function similarity in Traditional Chinese Medicine. *Network Biology*, 13(3): 74-83

[http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13\(3\)/1-Zhang-Abstract.asp](http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13(3)/1-Zhang-Abstract.asp)

中医功效相似性穴位网络的构建和分析

摘要

在本研究中，我们基于先前研发的中医穴位诊治信息系统，构造了穴位功效数据表。基于穴位功效数据表，计算两两穴位间的点相关。将点相关在统计上显著的穴位链接起来，构建了中医功效相似性穴位网络。各穴位的度中心性值显示，正营穴 (GB17)、清冷渊 (SJ11)、夹脊穴 (EX-B2) 等等，度中心性值居前列。这些穴位，多数位于头颈部，其功效具有普遍性。隐白穴 (SP1) 和中魁穴 (EX-UE4) 等功效特殊性较强，可替代性较弱。频率分布、偏度、聚集指标、变异系数、熵、概率分布的结果表明，所得到的中医功效相似性穴位网络是一个无尺度复杂网络。其中，幂律分布的概率密度函数为 $p(x)=x^{-6.1818}$, $x \geq 36$ 。

1 引言

穴位，为人体经络的节点。人体经络有五个特点：(1) 经络运转人体气血。(2) 经络联络人体脏腑。(3) 经络无法肉眼直接看见。(4) 经络传导人体病情。(5) 经络保护人体脏腑。经络理论是中医学理论体系的主要组成部分。

经络和穴位，是一种物质、能量和信息生物网络，其结构、功能、动态和调控遵循网络生物学规律，可将网络生物学理论和方法应用于经络和穴位(Pujol et al., 2010; Ibrahim et al., 2011; Budvsky and Fraifeld, 2012; Li and Zhang, 2013; Rahman et al., 2013; Iqbal et al., 2014; Jesmin et al., 2016; Habib et al., 2016; Narad et al., 2017; Zhang and Feng, 2017; Banerjee, 2018; Benias et al., 2018; Zhang and Liu, 2019; Zhang and Zhang, 2019; Li et al., 2021; Xin and Zhang, 2020, 2021; Zhang, 2012a, 2016a-c, 2017a-d, 2018, 2021b; Lem et al., 2021; Yang and Zhang, 2022)。

最近，我们建立了中医穴位诊治信息系统。在该系统中，既可选择列出中医穴位诊治信息全集，也可按穴位主治与临床运用，穴位，十二经脉，奇经八脉，五行等关键词查询中医穴位诊治信息。在本研究中，我们基于中医穴位诊治信息系统的网络数据库，构造了穴位功效数据表。在此基础上，构建了中医功效相似性穴位网络，并对网络类型和网络拓扑学特性进行了分析，以期为进一步研究提供依据。

2 材料与方法

2.1 数据来源

用以构建中医功效相似性穴位网络的数据，来自中医穴位诊治信息系统(Zhang and Qi, 2023)。我们设计了一个 Matlab 简单程序：

```
for i=1:651
func(:,i) = ~cellfun(@isempty, strfind(acufunctions,indicesfunctions{i}));
end
```

对每个穴位(共 311 个穴位)，按 651 个穴位主治与临床运用(简称穴位功效)分别从网络数据库(Zhang and Qi, 2023)的穴位主治与临床运用字段中进行匹配。若存在匹配，则该穴位的相应功效指标为 1，

否则为 0。从而，就形成了一个大小为 311×651 的 0-1 编码表，即本研究的穴位功效数据表。

2.2 穴位度中心性

度中心性用来测度网络中每个穴位与其它穴位间的功效相似性(Kuang and Zhang, 2011; Shams and Khansari, 2014; Jiang and Zhang, 2015; Zhang, 2012a, 2012c, 2016, 2018; Zhang and Zhan, 2011; Zhang and Feng, 2017; Zhang and Zhang, 2019; Xin and Zhang, 2020, 2021; Yang and Zhang, 2022)。对某个穴位，具有相同功效的其它穴位越多，则该穴位的度中心性值就越大。对每个穴位，与其点相关在统计上显著的穴位总数，即为该穴位的度中心性值。

2.3 点相关

点相关是 0-1 数据型变量的相关性测度(Zhang, 2012b, 2014, 2015, 2016, 2017b, 2018, 2021b; Zhang et al., 2014)。基于穴位功效数据表，按 Zhang(2017b)的方法计算两两穴位间的点相关。设检验临界值 $p=0.00000001$ (Zhang, 2022)，取统计上显著的穴位间点相关，用以构建中医功效相似性穴位网络。

2.4 网络构建

基于统计上显著的穴位间点相关，将各穴位链接起来(Zhang, 2012b, 2016, 2018)，即可得到中医功效相似性穴位网络。由在线软件(<http://www.iaees.org/publications/software/netJa/netGen.htm>)构造网络动图(Zhang, 2021a)。

2.5 网络类型

在本研究中，我们用度，频率分布，偏度，聚集指标，变异系数，熵，二项分布，泊松分布，指数分布，幂律分布(Zhang and Liu, 2012; Zhang and Zhan, 2012; Zhang, 2012a, 2016, 2018; Zhang and Li, 2016)，等等，来判断网络类型。

3 结果

3.1 穴位度中心性

各穴位的度中心性值见表 1 所示。表 1 显示，正营穴 (GB17)，清冷渊 (SJ11)，夹脊穴 (EX-B2)，颊息穴 (SJ19)，青灵穴 (HT2)，率谷穴 (GB8)，足窍阴 (GB44)，风门穴 (BL12)，颌厌穴 (GB4)，侠溪穴 (GB43)，强间穴 (DU18)，束骨穴 (BL65)，耳尖穴 (EX-HN6)，浮白穴 (GB10)，眉冲穴 (BL3)，阳溪穴 (LI5)，风府穴 (DU16)，完骨穴 (GB12)，等穴位，度中心性值居前列。这些穴位，多数位于头颈部，其功效具有普遍性。隐白穴 (SP1)和中魁穴 (EX-UE4)等功效特殊性较强，可替代性较弱(见附件材料)。

表 1 穴位度中心性

穴位 (Acupoint)	度中心性 (Degree centrality)	穴位 (Acupoint)	度中心性 (Degree centrality)	穴位 (Acupoint)	度中心性 (Degree centrality)	穴位 (Acupoint)	度中心性 (Degree centrality)
正营穴 (GB17)	64	支正穴 (SI7)	28	颊车穴 (ST6)	15	腰俞穴 (DU2)	9
清冷渊 (SJ11)	62	臂臑穴 (LI14)	27	鸠尾穴 (RN15)	15	筑宾穴 (KI09)	9
夹脊穴 (EX-B2)	57	地机穴 (SP8)	27	膀胱俞 (BL28)	15	承山穴 (BL57)	8
颊息穴 (SJ19)	57	肩中俞 (SI15)	27	通里穴 (HT5)	15	鹤顶穴 (EX-LE2)	8
青灵穴 (HT2)	56	巨髎穴 (ST3)	27	太白穴 (SP3)	15	环跳穴 (GB30)	8
率谷穴 (GB8)	56	乘风穴 (SI12)	26	膝阳关 (GB33)	15	筋缩穴 (DU8)	8
足窍阴 (GB44)	53	关门穴 (ST22)	26	小骨空 (EX-UE6)	15	十宣穴 (EX-UE11)	8
风门穴 (BL12)	52	脾俞穴 (BL20)	26	阳白穴 (GB14)	15	神门穴 (HT7)	8
颌厌穴 (GB4)	52	府舍穴 (SP13)	25	腰阳关 (DU3)	15	阳陵泉 (GB34)	8
侠溪穴 (GB43)	49	膈俞穴 (BL17)	25	华盖穴 (RN20)	14	承筋穴 (BL56)	7

强间穴 (DU18)	48	天府穴 (LU3)	25	髌骨穴 (EX-LE1)	14	大椎穴 (DU14)	7
束骨穴 (BL65)	48	天泉穴 (PC2)	25	日月穴 (GB24)	14	胆俞穴 (BL19)	7
耳尖穴 (EX-HN6)	47	足临泣 (GB41)	25	不容穴 (ST19)	13	地五会 (GB42)	7
浮白穴 (GB10)	47	会宗穴 (SJ7)	24	承泣穴 (ST1)	13	会阴穴 (RN1)	7
眉冲穴 (BL3)	47	少海穴 (HT3)	24	承灵穴 (GB18)	13	箕门穴 (SP11)	7
阳溪穴 (LI5)	47	天窗穴 (SI16)	24	兑端穴 (DU27)	13	肩髃穴 (LI15)	7
风府穴 (DU16)	46	大横穴 (SP15)	23	带脉穴 (GB26)	13	脊中穴 (DU6)	7
完骨穴 (GB12)	45	耳门穴 (SJ21)	23	伏兔穴 (ST32)	13	厉兑穴 (ST45)	7
金门穴 (BL63)	44	气海穴 (RN6)	23	魂门穴 (BL47)	13	内关穴 (PC6)	7
至阴穴 (BL67)	44	天柱穴 (BL10)	23	育门穴 (BL51)	13	气舍穴 (ST11)	7
当阳穴 (EX-HN2)	43	听宫穴 (SI19)	23	口禾髎 (LI19)	13	曲池穴 (LI11)	7
紫宫穴 (RN19)	43	小肠俞 (BL27)	23	太冲穴 (LR3)	13	丘墟穴 (GB40)	7
步廊穴 (KI22)	42	陷谷穴 (ST43)	23	温溜穴 (LI7)	13	四缝穴 (Ex-UE10)	7
解溪穴 (ST41)	42	云门穴 (LU2)	23	外丘穴 (GB36)	13	肾俞穴 (BL23)	7
神庭穴 (DU24)	42	八风穴 (EX-LE10)	22	胃仓穴 (BL50)	13	天髎穴 (SJ15)	7
悬厘穴 (GB6)	42	攒竹穴 (BL2)	22	殷门穴 (BL37)	13	胃腕下俞 (EX-B3)	7
跗阳穴 (BL59)	41	大都穴 (SP2)	22	中渚穴 (SJ3)	13	阴包穴 (LR9)	7
京骨穴 (BL64)	40	大赫穴 (KI12)	22	子宫穴 (EX-CA1)	13	腰眼穴 (EX-B7)	7
支沟穴 (SJ6)	40	天突穴 (RN22)	22	白环俞 (BL30)	12	中枢穴 (DU7)	7
库房穴 (ST14)	39	交信穴 (KI8)	21	冲阳穴 (ST42)	12	章门穴 (LR13)	7
彘中穴 (KI26)	39	期门穴 (LR14)	21	长强穴 (DU1)	12	梁门穴 (ST21)	6
大杼穴 (BL11)	38	天枢穴 (ST25)	21	大肠俞 (BL25)	12	灵道穴 (HT4)	6
丰隆穴 (ST40)	38	瞳子髎 (GB1)	21	大陵穴 (PC7)	12	臑俞穴 (SI10)	6
角孙穴 (SJ20)	38	腹哀穴 (SP16)	20	风市穴 (GB31)	12	人迎穴 (ST9)	6
神封穴 (KI23)	38	合谷穴 (LI4)	20	腹结穴 (SP14)	12	三间穴 (LI3)	6
玉枕穴 (BL9)	38	曲差穴 (BL4)	20	晴明穴 (BL1)	12	委中穴 (BL40)	6
液门穴 (SJ2)	38	上巨虚 (S37)	20	急脉穴 (LR12)	12	承浆穴 (RN24)	5
足通谷 (BL66)	38	悬钟穴 (GB39)	20	建里穴 (RN11)	12	合阳穴 (BL55)	5
中泉穴 (EX-UE3)	38	鱼际穴 (LU10)	20	阑尾穴 (EX-LE7)	12	间使穴 (PC5)	5
承光穴 (BL6)	37	承满穴 (ST20)	19	曲泽穴 (PC3)	12	然谷穴 (KI2)	5
肩贞穴 (SI9)	37	公孙穴 (SP4)	19	条口穴 (ST38)	12	少府穴 (HT8)	5
申脉穴 (BL62)	37	少泽穴 (SI1)	19	太溪穴 (KI3)	12	天鼎穴 (LI17)	5
耳和髎 (SJ22)	36	天髎穴 (SJ16)	19	心俞穴 (BL15)	12	阴郄穴 (HT6)	5
灵墟穴 (KI24)	36	足三里 (ST36)	19	中脘穴 (RN12)	12	督俞穴 (BL16)	4
神藏穴 (KI25)	36	至阳穴 (DU9)	19	独阴穴 (EX-LE11)	11	二白穴 (Ex-UE2)	4
璇玑穴 (RN21)	36	大包穴 (SP21)	18	归来穴 (ST29)	11	附分穴 (BL41)	4
天宗穴 (SI11)	35	光明穴 (GB37)	18	肩髎穴 (SJ14)	11	关冲穴 (SJ1)	4
翳风穴 (SJ17)	35	前项穴 (DU21)	18	巨阙穴 (RN14)	11	关元穴 (RN4)	4
周荣穴 (SP20)	35	曲泉穴 (LR8)	18	廉泉穴 (RN23)	11	臑关穴 (BL46)	4
水突穴 (ST10)	34	阴陵泉 (SP9)	18	灵台穴 (DU10)	11	会阳穴 (BL35)	4
外关穴 (SJ5)	34	阳谷穴 (SI5)	18	上腕穴 (RN13)	11	极泉穴 (HT1)	4
本神穴 (BG13)	33	意舍穴 (BL49)	18	腕骨穴 (SI4)	11	肩前穴 (Ex-UE12)	4
次髎穴 (BL32)	33	腹通谷穴 (KI20)	17	阴谷穴 (KI10)	11	手三里 (LI10)	4
昆仑穴 (BL60)	33	肩外俞 (SI14)	17	迎香穴 (LI20)	11	素髎穴 (DU25)	4
神堂穴 (BL44)	33	列缺穴 (LU7)	17	中冲穴 (PC9)	11	小海穴 (SI8)	4
陶道穴 (DU13)	33	漏谷穴 (SP7)	17	中渚穴 (GB32)	11	水泉穴 (KI5)	3
俞府穴 (KI27)	33	三阴交 (SP6)	17	髀关穴 (ST31)	10	水沟穴 (DU26)	3
八邪穴 (EX-UE9)	32	手五里 (LI13)	17	臑中穴 (RN17)	10	委阳穴 (BL39)	3

定喘穴 (EX-B1)	32	太渊穴 (LU9)	17	肺俞穴 (BL13)	10	照海穴 (KI6)	3
风池穴 (GB20)	32	涌泉穴 (KI1)	17	关元俞 (BL26)	10	志室穴 (BL52)	3
膏肓穴 (BL43)	32	地仓穴 (ST4)	16	后溪穴 (SI3)	10	百虫窝 (EX-LE3)	2
孔最穴 (LU6)	32	大迎穴 (ST5)	16	金津玉液穴 (EX-HN12)	10	二间穴 (LI2)	2
侠白穴 (LU4)	32	经渠穴 (LU8)	16	命门穴 (DU4)	10	巨骨穴 (LI16)	2
尺泽穴 (LU5)	31	厥阴俞 (BL14)	16	胞肓穴 (BL53)	9	内踝尖 (EX-LE8)	2
瘦脉穴 (SJ18)	31	肩井穴 (GB21)	16	冲门穴 (SP12)	9	外踝尖 (EX-LE9)	2
横骨穴 (KI11)	31	居髎穴 (GB29)	16	大敦穴 (LR1)	9	血海穴 (SP10)	2
颈百劳 (Ex-HN23)	31	蠡沟穴 (LR5)	16	犊鼻穴 (ST35)	9	养老穴 (SI6)	2
外陵穴 (ST26)	31	内庭穴 (ST44)	16	大骨空 (EX-UE5)	9	承扶穴 (BL36)	1
印堂穴 (DU29)	31	气冲穴 (ST30)	16	复溜穴 (KI7)	9	大钟穴 (KI4)	1
飞扬穴 (BL58)	30	颧髎穴 (SI18)	16	肝俞穴 (BL18)	9	梁丘穴 (ST34)	1
缺盆穴 (ST12)	30	少商穴 (LU11)	16	后项穴 (DU19)	9	落枕穴 (EX-UE8)	1
身柱穴 (DU12)	30	神阙穴 (RN8)	16	滑肉门穴 (ST24)	9	气端穴 (EX-LE12)	1
阳辅穴 (GB38)	30	上廉穴 (LI9)	16	聚泉穴 (EX-HN10)	9	神道穴 (DU11)	1
百会穴 (DU20)	29	胃俞穴 (BL21)	16	少冲穴 (HT9)	9	阴市穴 (ST33)	1
肓俞穴 (KI16)	29	阳池穴 (SJ4)	16	三焦俞 (BL22)	9	膝眼穴 (EX-LE5)	0
哑门穴 (DU15)	29	扶突穴 (LI18)	15	上髎穴 (BL31)	9	隐白穴 (SP1)	0
大巨穴 (ST27)	28	浮郄穴 (BL38)	15	石门穴 (RN5)	9	中魁穴 (EX-UE4)	0
中府穴 (LU1)	28	京门穴 (GB25)	15	五处穴 (BL5)	9		

3.2 点相关

经综合权衡，设检验临界值 $p=0.00000001$ (Zhang, 2022)。计算两两穴位间的点相关。取统计上显著的穴位间点相关，共得到 2953 对功效点相关显著的穴位 (见附件材料：[http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13\(3\)/e-suppl/Zhang-Supplementary-Material.rar](http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13(3)/e-suppl/Zhang-Supplementary-Material.rar))。表 2 列出了度数居前三位的穴位。

表 2 统计上显著的中医穴位间点相关($p=0.00000001$, $n=651$; 共 2953 对穴位, 只列出度数前三位的穴位)

穴位 (Acupoint)	穴位 (Acupoint)	点相关 (Point Corr.)	穴位 (Acupoint)	穴位 (Acupoint)	点相关 (Point Corr.)	穴位 (Acupoint)	穴位 (Acupoint)	点相关 (Point Corr.)
正营穴 (GB17)	百会穴 (DU20)	0.2594	清冷渊 (SJ11)	臂臑穴 (LI14)	0.3481	夹脊穴 (EX-B2)	臂臑穴 (LI14)	0.3096
正营穴 (GB17)	本神穴 (BG13)	0.4103	清冷渊 (SJ11)	百会穴 (DU20)	0.2594	夹脊穴 (EX-B2)	百会穴 (DU20)	0.3508
正营穴 (GB17)	八邪穴 (EX-UE9)	0.4957	清冷渊 (SJ11)	本神穴 (BG13)	0.2698	夹脊穴 (EX-B2)	本神穴 (BG13)	0.3648
正营穴 (GB17)	八风穴 (EX-LE10)	0.5265	清冷渊 (SJ11)	八邪穴 (EX-UE9)	0.4957	夹脊穴 (EX-B2)	八邪穴 (EX-UE9)	0.291
正营穴 (GB17)	攒竹穴 (BL2)	0.2336	清冷渊 (SJ11)	八风穴 (EX-LE10)	0.3481	夹脊穴 (EX-B2)	八风穴 (EX-LE10)	0.3096
正营穴 (GB17)	承光穴 (BL6)	0.4103	清冷渊 (SJ11)	攒竹穴 (BL2)	0.2336	夹脊穴 (EX-B2)	承光穴 (BL6)	0.239
正营穴 (GB17)	瘦脉穴 (SJ18)	0.2815	清冷渊 (SJ11)	承光穴 (BL6)	0.2698	夹脊穴 (EX-B2)	瘦脉穴 (SJ18)	0.2496
正营穴 (GB17)	大杼穴 (BL11)	0.2594	清冷渊 (SJ11)	瘦脉穴 (SJ18)	0.2815	夹脊穴 (EX-B2)	大杼穴 (BL11)	0.2295
正营穴 (GB17)	当阳穴 (EX-HN2)	0.2815	清冷渊 (SJ11)	大杼穴 (BL11)	0.2594	夹脊穴 (EX-B2)	当阳穴 (EX-HN2)	0.2496
正营穴 (GB17)	耳尖穴 (EX-HN6)	0.373	清冷渊 (SJ11)	当阳穴 (EX-HN2)	0.2815	夹脊穴 (EX-B2)	耳尖穴 (EX-HN6)	0.332
正营穴 (GB17)	耳和髎 (SJ22)	0.3098	清冷渊 (SJ11)	耳尖穴 (EX-HN6)	0.373	夹脊穴 (EX-B2)	耳和髎 (SJ22)	0.2752
正营穴 (GB17)	丰隆穴 (ST40)	0.2698	清冷渊 (SJ11)	耳和髎 (SJ22)	0.3098	夹脊穴 (EX-B2)	丰隆穴 (ST40)	0.3648
正营穴 (GB17)	风门穴 (BL12)	0.4434	清冷渊 (SJ11)	丰隆穴 (ST40)	0.2698	夹脊穴 (EX-B2)	风门穴 (BL12)	0.3954
正营穴 (GB17)	风府穴 (DU16)	0.3098	清冷渊 (SJ11)	风门穴 (BL12)	0.4434	夹脊穴 (EX-B2)	风府穴 (DU16)	0.2752

正营穴 (GB17)	飞扬穴 (BL58)	0.4697	清冷渊 (SJ11)	风府穴 (DU16)	0.3098	夹脊穴 (EX-B2)	风池穴 (GB20)	0.2629
正营穴 (GB17)	浮白穴 (GB10)	0.2815	清冷渊 (SJ11)	飞扬穴 (BL58)	0.3098	夹脊穴 (EX-B2)	飞扬穴 (BL58)	0.2752
正营穴 (GB17)	跗阳穴 (BL59)	0.3098	清冷渊 (SJ11)	浮白穴 (GB10)	0.2815	夹脊穴 (EX-B2)	浮白穴 (GB10)	0.2496
正营穴 (GB17)	光明穴 (GB37)	0.2947	清冷渊 (SJ11)	跗阳穴 (BL59)	0.3098	夹脊穴 (EX-B2)	跗阳穴 (BL59)	0.2752
正营穴 (GB17)	颌厌穴 (GB4)	0.381	清冷渊 (SJ11)	关冲穴 (SJ1)	0.274	夹脊穴 (EX-B2)	关冲穴 (SJ1)	0.2415
正营穴 (GB17)	金门穴 (BL63)	0.373	清冷渊 (SJ11)	光明穴 (GB37)	0.4472	夹脊穴 (EX-B2)	光明穴 (GB37)	0.2615
正营穴 (GB17)	京骨穴 (BL64)	0.3481	清冷渊 (SJ11)	颌厌穴 (GB4)	0.25	夹脊穴 (EX-B2)	金门穴 (BL63)	0.332
正营穴 (GB17)	解溪穴 (ST41)	0.3481	清冷渊 (SJ11)	金门穴 (BL63)	0.373	夹脊穴 (EX-B2)	京骨穴 (BL64)	0.4693
正营穴 (GB17)	肩贞穴 (SI9)	0.2815	清冷渊 (SJ11)	京骨穴 (BL64)	0.3481	夹脊穴 (EX-B2)	解溪穴 (ST41)	0.3096
正营穴 (GB17)	角孙穴 (SJ20)	0.3274	清冷渊 (SJ11)	解溪穴 (ST41)	0.3481	夹脊穴 (EX-B2)	肩贞穴 (SI9)	0.3804
正营穴 (GB17)	夹脊穴 (EX-B2)	0.4434	清冷渊 (SJ11)	肩贞穴 (SI9)	0.2815	夹脊穴 (EX-B2)	肩髃穴 (LI15)	0.2752
正营穴 (GB17)	孔最穴 (LU6)	0.2414	清冷渊 (SJ11)	角孙穴 (SJ20)	0.3274	夹脊穴 (EX-B2)	角孙穴 (SJ20)	0.291
正营穴 (GB17)	昆仑穴 (BL60)	0.4472	清冷渊 (SJ11)	夹脊穴 (EX-B2)	0.4434			
正营穴 (GB17)	列缺穴 (LU7)	0.25	清冷渊 (SJ11)	孔最穴 (LU6)	0.2414			
正营穴 (GB17)	颊息穴 (SJ19)	0.373	清冷渊 (SJ11)	昆仑穴 (BL60)	0.2947			
正营穴 (GB17)	眉冲穴 (BL3)	0.373	清冷渊 (SJ11)	列缺穴 (LU7)	0.381			
正营穴 (GB17)	清冷渊 (SJ11)	0.4969	清冷渊 (SJ11)	颊息穴 (SJ19)	0.373			
正营穴 (GB17)	强间穴 (DU18)	0.5636	清冷渊 (SJ11)	眉冲穴 (BL3)	0.373			
正营穴 (GB17)	青灵穴 (HT2)	0.4434						
正营穴 (GB17)	少海穴 (HT3)	0.2265						
正营穴 (GB17)	少泽穴 (SI1)	0.2947						
正营穴 (GB17)	神庭穴 (DU24)	0.3481						
正营穴 (GB17)	上廉穴 (LI9)	0.2947						
正营穴 (GB17)	率谷穴 (GB8)	0.3274						
正营穴 (GB17)	束骨穴 (BL65)	0.4697						
正营穴 (GB17)	申脉穴 (BL62)	0.2947						
正营穴 (GB17)	天柱穴 (BL10)	0.381						
正营穴 (GB17)	陶道穴 (DU13)	0.2698						
正营穴 (GB17)	天牖穴 (SJ16)	0.3098						
正营穴 (GB17)	外关穴 (SJ5)	0.2265						
正营穴 (GB17)	完骨穴 (GB12)	0.2594						
正营穴 (GB17)	外踝尖 (Ex-LE9)	0.2454						
正营穴 (GB17)	悬钟穴 (GB39)	0.2265						
正营穴 (GB17)	悬厘穴 (GB6)	0.2947						
正营穴 (GB17)	侠溪穴 (GB43)	0.2815						
正营穴 (GB17)	玉枕穴 (BL9)	0.5265						
正营穴 (GB17)	阳溪穴 (LI5)	0.2414						
正营穴 (GB17)	阳辅穴 (GB38)	0.3098						
正营穴 (GB17)	翳风穴 (SJ17)	0.3367						
正营穴 (GB17)	印堂穴 (DU29)	0.25						
正营穴 (GB17)	哑门穴 (DU15)	0.2698						
正营穴 (GB17)	液门穴 (SJ2)	0.2594						
正营穴 (GB17)	中渚穴 (SJ3)	0.25						
正营穴 (GB17)	足临泣 (GB41)	0.3277						
正营穴 (GB17)	足窍阴 (GB44)	0.2265						
正营穴 (GB17)	足通谷 (BL66)	0.373						
正营穴 (GB17)	支沟穴 (SJ6)	0.2815						
正营穴 (GB17)	支正穴 (SI7)	0.4103						
正营穴 (GB17)	至阴穴 (BL67)	0.4038						

3.3 中医功效相似性穴位网络

将点相关在统计上显著的穴位链接起来，得到中医功效相似性穴位网络。由在线软件构造的网络动图(Zhang, 2021a; 见附件材料)见图 1 所示。可在网络浏览器中打开主页查看动图([http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13\(3\)/e-suppl/AcupointFuncNetwork.html](http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13(3)/e-suppl/AcupointFuncNetwork.html))。在动图中，按住目标穴位并拖曳，可观察与该穴位功效相似性较强的其它穴位(Zhang, 2021a)。一般而言，B 穴位与 A 穴位功效相似性越强，到 A 穴位的最短路链接数就越少，拖曳 A 穴位时 B 穴位的动幅就越大。

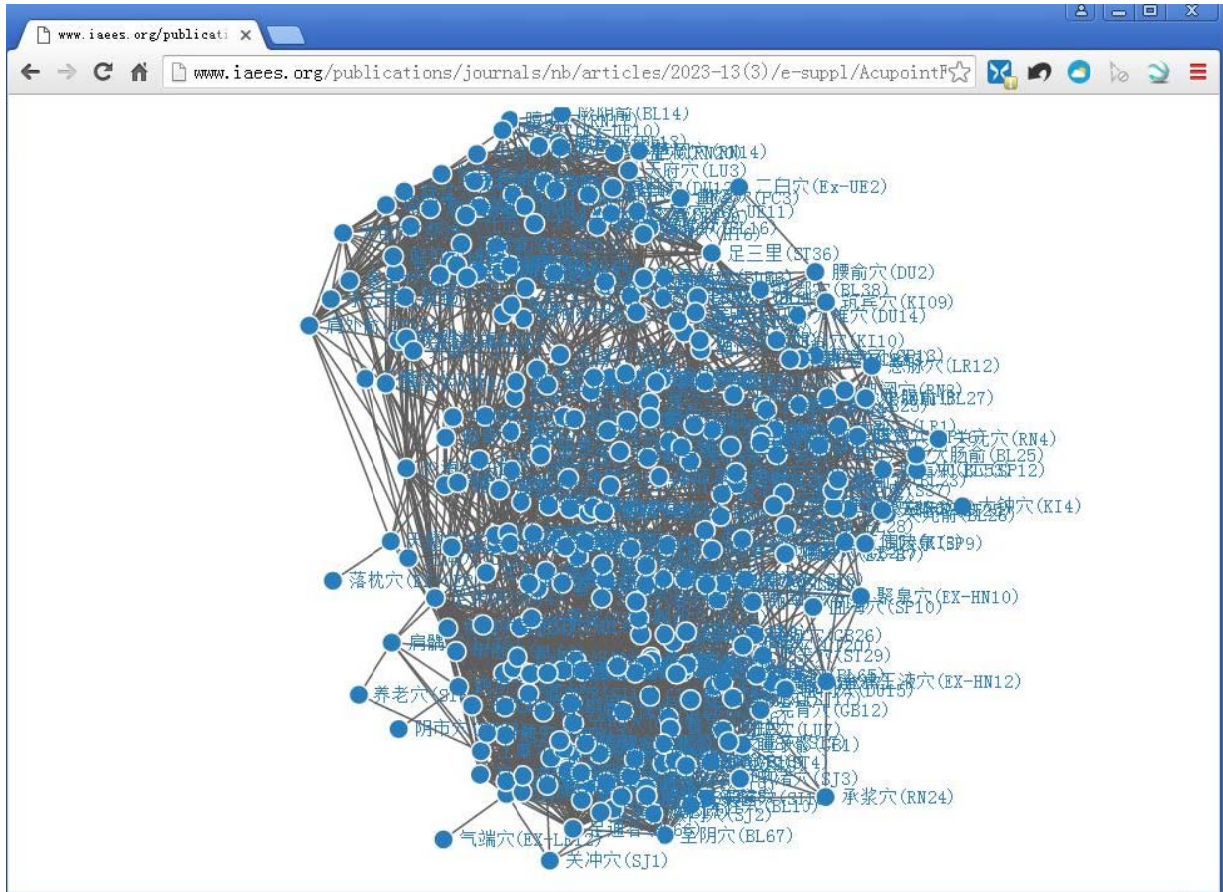


图 1 中医功效相似性穴位网络动图主页。点击本图，可在网络浏览器中打开主页查看动图([http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13\(3\)/e-suppl/AcupointFuncNetwork.html](http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13(3)/e-suppl/AcupointFuncNetwork.html))。在动图中，按住目标穴位并拖曳，可观察与该穴位功效相似性较强的其它穴位(Zhang, 2021a)。

3.4 网络类型

(1) 度分布偏度和网络聚集指标

穴位度分布的偏度=0.073395 ($\neq 0$)，网络聚集指标为 1.4674 (>1)，该网络倾向于复杂网络。

(2) 网络变异系数和熵

网络变异系数 $H=9.9023$ (>1)，网络熵 $E=169.0579$ ，该网络倾向于复杂网络。

(3) 度的频率分布

网络中穴位度的频率分布见表 3。从表中可见，度的频率分布高度不对称。低度数的穴位比例明显占优势，高度数的穴位占比很小。该网络倾向于非随机网络。

表 3 网络中穴位度的频率分布

平均度	3.2	9.6	16	22.4	28.8	35.2	41.6	48	54.4	60.8
频率	0.1511	0.2572	0.2154	0.0997	0.0739	0.0997	0.045	0.0289	0.0225	0.0032

(4) 度的概率分布类型

二项分布参数 $p=0.2737$, $\chi^2=184.6788$, 该网络倾向于非随机网络。

泊松分布参数 $\lambda=18.9904$, $\chi^2=1255570792.8868$, 该网络倾向于非随机网络。

指数分布参数 $\lambda=0.0527$, $\chi^2=71.7152$, 该网络不是指数分布网络。

幂律分布参数 $\alpha=6.1818$, $x_{\min}=36$; 概率密度函数为 $p(x)=x^{-6.1818}$, $x \geq 36$; Kolmogorov-Smirnov 拟合优度统计检验 $D=0.1153$ 。节点度呈幂律分布, 该网络是一个无尺度复杂网络。

总体上, 前述中医功效相似性穴位网络是一个无尺度复杂网络。

4 讨论

本研究的穴位网络, 基于中医功效相似性。对穴位 A, 若穴位 B 与穴位 A 的相同功效越多, 也即功效相似性越大, 则穴位 A 与穴位 B 的点相关越强, 作为网络链接的可能性也越大。因此, 中医功效相似性穴位网络反映的是穴位功效相似性。对穴位 A, 与其具有相同功效的其它穴位越多, 则穴位 A 的度中心性值就越大。因此, 基于功效相似性的度中心性值并不代表穴位的重要性, 而是代表穴位的功效普遍性。例如, 足三里, 关元穴, 涌泉穴, 大椎穴, 等等, 均为人体最重要的穴位之一, 但它们基于功效相似性的度中心性值并不大。若需建立基于穴位重要性的网络, 就要选取反映穴位重要性的有关属性, 用同样的方法构建网络。

参考文献

- Banerjee S. 2018. A bioinformatics and network analysis framework to find novel therapeutics for autoimmunity. *Network Biology*, 8(1): 44-54
- Benias PC, Wells RG, Sackey-Aboagye B. et al. 2018. Structure and Distribution of an Unrecognized Interstitium in Human Tissues. *Scientific Report*, 8: 4947. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23062-6>
- Habib N, Ahmed K, Jabin I, Rahman MM. 2016. Application of R to investigate common gene regulatory network pathway among bipolar disorder and associate diseases. *Network Biology*, 6(4): 86-100
- Ibrahim SS, Eldeeb MAR, Rady MAH. 2011. The role of protein interaction domains in the human cancer network. *Network Biology*, 1(1): 59-71
- Iqbal S, Ejaz H, Nawaz MS, et al. 2014. Meta-analysis of cancer transcriptomes: A new approach to uncover molecular pathological events in different cancer tissues. *Network Biology*, 4(1): 1-20
- Jesmin T, Waheed S, Al-Emran A. 2016. Investigation of common disease regulatory network for metabolic disorders: A bioinformatics approach. *Network Biology*, 6(1): 28-36
- Jiang LQ, Zhang WJ. 2015. Determination of keystone species in CSM food web: A topological analysis of network structure. *Network Biology*, 5(1): 13-33
- Kuang WP, Zhang WJ. 2011. Some effects of parasitism on food web structure: a topological analysis. *Network Biology*, 1(3-4): 171-185
- Lem FF, Opook F, Lawson FP, et al. 2021. Network pharmacology and component analysis of four herbs decoction molecular mechanism in hypertension treatment. *Network Biology*, 11(2): 54-67
- Li JR, Zhang WJ. 2013. Identification of crucial metabolites/reactions in tumor signaling networks. *Network*

- Biology, 3(4): 121-132
- Li TJ, Tang BQ, Zhang WB, et al. 2021. In vivo visualization of the pericardium meridian with fluorescent dyes. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021: Article ID 5581227. <https://doi.org/10.1155/2021/5581227>
- Narad P, Upadhyaya KC, Som A. 2017. Reconstruction, visualization and explorative analysis of human pluripotency network. Network Biology, 7(3): 57-75
- Pujol A, Mosca R, Farres J, et al. 2010. Unveiling the role of network and systems biology in drug discovery. Trends in Pharmacological Sciences, 31: 115-123
- Rahman KMT, Md. Islam F, Banik RS, et al. 2013. Changes in protein interaction networks between normal and cancer conditions: Total chaos or ordered disorder? Network Biology, 3(1): 15-28
- Shams B, Khansari M. 2014. Using network properties to evaluate targeted immunization algorithms. Network Biology, 4(3): 74-94
- Xin SH, Zhang WJ. 2020. Construction and analysis of the protein-protein interaction network for the olfactory system of the silkworm *Bombyx mori*. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 105(3): e21737
- Xin SH, Zhang WJ. 2021. Construction and analysis of the protein-protein interaction network for the detoxification enzymes of the silkworm, *Bombyx mori*. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 108(4): e21850
- Yang S, Zhang WJ. 2022. Systematic analysis of olfactory protein-protein interactions network of fruitfly, *Drosophila melanogaster*. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 110(2): e21882
- Zhang GL, Zhang WJ. 2019. Protein-protein interaction network analysis of insecticide resistance molecular mechanism in *Drosophila melanogaster*. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 100(1): e21523
- Zhang WJ. 2012a. Computational Ecology: Graphs, Networks and Agent-based Modeling. World Scientific, Singapore
- Zhang WJ. 2012b. How to construct the statistic network? An association network of herbaceous plants constructed from field sampling. Network Biology, 2(2): 57-68
- Zhang WJ. 2012c. Several mathematical methods for identifying crucial nodes in networks. Network Biology, 2(4): 121-126
- Zhang WJ. 2014. Interspecific associations and community structure: A local survey and analysis in a grass community. Selforganizology, 1(2): 89-129
- Zhang WJ, Wang R, Zhang DL, et al. 2014. Interspecific associations of weed species around rice fields in Pearl River Delta, China: A regional survey. Selforganizology, 1(3-4): 143-205
- Zhang WJ. 2015. Calculation and statistic test of partial correlation of general correlation measures. Selforganizology, 2(4): 65-77
- Zhang WJ. 2016. Selforganizology: The Science of Self-Organization. World Scientific, Singapore
- Zhang WJ. 2017a. Network pharmacology of medicinal attributes and functions of Chinese herbal medicines: (I) Basic statistics of medicinal attributes and functions for more than 1100 Chinese herbal medicines. Network Pharmacology, 2(2): 17-37. [http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2\(2\)/basic-statistics-of-medicinal-attributes-and-functions.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2(2)/basic-statistics-of-medicinal-attributes-and-functions.pdf)
- Zhang WJ. 2017b. Network pharmacology of medicinal attributes and functions of Chinese herbal medicines: (II) Relational networks and pharmacological mechanisms of medicinal attributes and functions of Chinese herbal medicines. Network Pharmacology, 2(2): 38-66. [http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2\(2\)/networks-and-mechanisms-of-medicinal-a](http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2(2)/networks-and-mechanisms-of-medicinal-a)

ttributes-and-functions.pdf

- Zhang WJ. 2017c. Network pharmacology of medicinal attributes and functions of Chinese herbal medicines: (IV) Classification and network analysis of medicinal functions of Chinese herbal medicines. *Network Pharmacology*, 2(3): 82-104. [http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2\(3\)/classification-and-network-analysis-of-medicinal-functions.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2(3)/classification-and-network-analysis-of-medicinal-functions.pdf)
- Zhang WJ. 2017d. Network pharmacology of medicinal attributes and functions of Chinese herbal medicines: (III) Canonical correlation functions between attribute classes and linear eigenmodels of Chinese herbal medicines. *Network Pharmacology*, 2(3): 67-81. [http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2\(3\)/canonical-correlation-functions-between-a-tribute-classes.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2017-2(3)/canonical-correlation-functions-between-a-tribute-classes.pdf)
- Zhang WJ. 2018. *Fundamentals of Network Biology*. World Scientific Europe, London, UK
- Zhang WJ. 2021a. A web tool for generating user-interface interactive networks. *Network Biology*, 11(4): 247-262. [http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2021-11\(4\)/web-tool-for-generating-user-interface-interactive-networks.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2021-11(4)/web-tool-for-generating-user-interface-interactive-networks.pdf)
- Zhang WJ. 2021b. Construction and analysis of the word network based on the Random Reading Frame (RRF) method. *Network Biology*, 11(3): 154-193
- Zhang WJ. 2022. *p*-value based statistical significance tests: Concepts, misuses, critiques, solutions and beyond. *Computational Ecology and Software*, 12(3): 80-122
- Zhang WJ, Qi YH. 2023. Information system of acupoint diagnosis and treatment in Traditional Chinese Medicine. *Network Biology*, 13(2): 53-73. [http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13\(2\)/information-system-of-acupoint-diagnosis-and-treatment.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/nb/articles/2023-13(2)/information-system-of-acupoint-diagnosis-and-treatment.pdf)
- Zhang WJ, Feng YT. 2017. Metabolic pathway of non-alcoholic fatty liver disease: Network properties and robustness. *Network Pharmacology*, 2(1): 1-12
- Zhang WJ, Li X. 2016. Generate networks with power-law and exponential-law distributed degrees: with applications in link prediction of tumor pathways. *Network Pharmacology*, 1(1): 15-35
- Zhang WJ, Liu GH. 2012. Creating real network with expected degree distribution: A statistical simulation. *Network Biology*, 2(3): 110-117
- Zhang WJ, Liu GH. 2019. Naturalness and preference for species selection of Chinese medicinal seed plants. *Network Pharmacology*, 4(1-2): 1-5. [http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2019-4\(1-2\)/naturalness-and-preference-for-species-selection-of-Chinese-medicinal-plants.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/np/articles/2019-4(1-2)/naturalness-and-preference-for-species-selection-of-Chinese-medicinal-plants.pdf)
- Zhang WJ, Zhan CY. 2011. An algorithm for calculation of degree distribution and detection of network type: with application in food webs. *Network Biology*, 1(3-4): 159-170