

· 论坛 ·

磁疗用永磁磁源定量应用中的若干问题分析

王益民 孟庆楠 孟燕妮 张皓楠 王蕴华

磁疗是利用磁场作用于人体穴位或局部组织区域来达到治病或保健的目的。传统的磁疗方法所用的磁源为永磁磁源,具有操作简单、使用方便、无创无痛等特点,近年来受到人们的普遍关注^[1]。但磁疗基础研究薄弱,特别是在磁源使用方面有很多基本概念不清,造成磁源使用混乱,研究结果没有可比性,限制了磁疗的进一步发展。本文就磁疗用磁源特别是永磁磁源使用中的一些常见问题分析探讨如下。

磁疗研究的分类

一、永磁磁源和电磁源

根据磁场的产生方式,通常将磁源分为两种,即永磁磁源和电磁源。永磁磁源由永磁材料加工而成,所产生的磁场被称为永磁磁场;电磁源由线圈通入的电流构成,所产生的磁场为电磁场。两种方式所产生的磁场性质是一致的,并不会因磁场产生方式的不同而存在差别。与永磁磁场直接由永磁材料充磁后即可产生磁场相比,电磁场需要有电流和线圈,产生和使用相对不便。因此永磁磁源在磁疗中得到更为广泛的应用。

二、静磁场与动磁场

静磁场是指大小和方向不随时间变化的磁场,而动磁场是指大小或方向随时间变化的磁场。电磁源线圈中通入直流电流时产生静磁场,通入有变化的电流时则产生变动磁场即动磁场。电磁源产生的静磁场特性主要涉及磁场的磁感强度,与通电电流强度、导线匝数或线圈的结构和尺寸相关;电流产生的动磁场则不仅涉及磁感强度,还涉及磁场的变化频率(如低频、中频、高频等)和波形(如正弦波、三角波、脉冲波等)等参数。永磁材料本身产生的是静磁场,但把它们安装在旋转或其它运动装置时,也可以产生变动磁场,其磁场变动情况与旋转或其它运动装置的结构以及运动状态等相关。

三、磁疗研究的分类

如前所述,电磁源与永磁磁源均可产生静磁场和动磁场。就磁疗而言,探讨静磁场作用的效果需要考虑磁感强度和作用时间的影响,而探讨动磁场作用的效果除了磁场磁感强度和作用时间,还需考虑频率、波形等影响因素,因此对于磁疗研究应按静磁场和动磁场进行的分类,即静磁场生物效应研究和动磁场生物效应研究。

在静磁场分类中可进一步地分为永磁静磁场和电磁静磁场,在永磁静磁场和电磁静磁场下又可分为均匀静磁场和非均匀静磁场,即永磁均匀静磁场和永磁非均匀静磁场以及电磁均匀静磁场和电磁非均匀静磁场。动磁磁场还可根据运动状态进行进一步分类,如永磁旋转磁场、永磁平动磁场等,以及电磁正弦波、三角波、脉冲波磁场等,并同时标明相关参数。传统磁疗最常

用的贴敷法使用永磁磁源,大类上属于静磁场生物效应研究。

永磁磁源的定量

一、永磁磁源的定量内容

永磁磁源所产生的空间磁场量值大小和分布与磁源的材料、尺寸、形状等因素密切相关^[2]。由于永磁磁源在磁源表面不同位置的磁感强度,以及在磁源空间不同位置的磁感强度均不相同,因此它的定量内容涉及两方面,一是对磁源本身所产生的磁场能力的定量描述,另一方面是对空间磁场不同位置的磁感强度进行定量描述。磁源本身所产生的磁场的能力决定了总体空间磁场的磁感强度强弱,是磁源定量应用的基础,可称为永磁磁源定量磁感强度(简称磁源磁感强度)。磁源在不同空间位置的磁感强度,反映了磁源作用于具体研究对象不同部位的磁感强度量值,可称为永磁磁源空间磁场定量磁感强度(简称磁源空间磁感强度)。

二、磁源磁感强度的定量

对永磁磁源本身所产生的磁场能力的描述通常是以磁源表面某一特定位置的磁感强度为依据。之所以强调是磁源表面特定位置,是因为在永磁磁源表面各点的磁感强度并不一致,不同表面位置的磁感强度还可能有一定的差别,因此用什么位置的磁感强度来对磁源本身所产生的磁场能力进行描述,即确定磁源磁感强度,对于不同形状和充磁方式的磁源来讲是不一样的。

对于在磁疗中经常使用的沿轴向充磁圆片磁源来讲,应使用极面中心磁感强度做为磁源磁感强度定量位置点,在这一点上理论和实际测量均表明,其磁感强度为圆片磁源整个有形极面中心区域的最低值,位置好确定且数值相对稳定。同样沿轴向充磁的方片磁源也是以极面中心为磁源磁感强度定量位置点,此点也是方片磁源有形极面的最低磁感强度值点。球形磁源虽然是以球形极面中心为磁源磁感强度定量位置点,但该点为球形极面磁感强度量值最高位置点。

三、磁源空间磁感强度的定量

在磁疗研究与应用中,作用于研究对象的磁感强度通常并不是磁源表面的磁感强度,而是磁源空间磁场在某一位置的磁感强度。由于大多数生物体的导磁率接近于 1,与空气导磁率(或真空导磁率)接近,这意味着磁源作用于受磁对象的磁感强度通常是以磁场中某一位置的磁感强度,因此在磁源定量后,还需要掌握磁源空间磁场在不同位置的磁感强度量值。永磁磁源空间磁感强度可通过实际测量得出相应位置的磁感强度量值,也可通过对磁源磁场进行计算分析得出。

常用永磁磁源的空间磁场

一、圆片永磁磁源的空间磁场

磁疗常用圆片磁源通常为轴向充磁,即磁源的两个圆面分别为 N、S 极。从理论上讲,其磁源空间磁感强度分布在极面上(径向)中心磁感强度低,越往边缘磁感强度越高,在边缘处也

就是距极面圆心为半径位置理论值为无穷大,然后快速下降;在与极面垂直的轴线上(轴向),磁源空间磁感强度则向单调衰减。如理论计算表明^[3],圆片磁源(材料为钕铁硼,直径12 mm,厚度2 mm,轴向充磁)磁源磁感强度为150.0 mT,其磁源空间磁感强度在极面上距极面中心6 mm(磁源极面圆边)处为635.2 mT,10 mm处为13.3 mT;在轴线上,距极面中心12 mm处的磁源空间磁感强度仅为11.7 mT。圆片永磁磁源的磁源空间磁感强度总体变化趋势是随离磁源距离的增加而快速下降。

二、方片永磁磁源的空间磁场

当方片磁源沿厚度方向充磁时,长和宽相等的两个方形平面成为N、S极面。其磁场在两个极面上的分布和圆片磁源相似,即中心位置磁源空间磁感强度最低,边缘最高,出边缘后快速下降;在与极面垂直的中心线上,磁源空间磁感强度也快速单调衰减。如方片磁源(材料为钕铁硼,边长12 mm,厚度2 mm,轴向充磁)磁源磁感强度为150.0 mT,其理论计算磁源空间磁感强度量值^[4],在极面中线上距极面中心6 mm(磁源极面方边中点)处为455.9 mT,12 mm处为19.4 mT;在极面中心连线上距极面中心12 mm处的磁感强度仅为15.1 mT。方片永磁磁源的磁源空间磁感强度总体变化趋势也是随离磁源距离的增加而快速下降。

三、球形永磁磁源的空间磁场

沿球形磁源轴线充磁后,轴线与球面的2个交点为球形磁源的N、S两极面中心。球形磁源的空间磁场沿任何方向均快速下降,在轴线上的下降相对慢一些。如球形磁源(材料为钕铁硼,直径10 mm)定量磁感强度为100 mT,在轴线上距极面中心5 mm处磁感强度为12.5 mT;在球形中心点垂直于轴线方向上,距磁源表面5 mm处磁感强度为6.2 mT^[5]。球形永磁磁源的磁源空间磁感强度总体变化趋势更是随离磁源距离的增加而快速下降。

永磁磁源的相关物理特性

一、磁性材料对磁源磁感强度的影响

永磁磁性材料主要有铁氧体、铝镍合金、坡莫合金、钕铁硼等,磁疗用磁源多为钕铁硼和铁氧体。钕铁硼永磁材料具有很好的磁性能,在通常磁疗常用磁源尺寸下,磁源磁感强度范围大致在100~300 mT,如圆片磁源直径为12 mm,厚度1 mm时磁源磁感强度约为100 mT,厚度在3 mm时磁源磁感强度约为200 mT。如要在相同直径下产生100 mT以下磁场,需要换磁性能力较低的铁氧体材料,如直径同为12 mm圆片磁源,在铁氧体磁源厚度为5 mm时,磁源磁感强度约在50 mT。

二、磁源的筛选

在磁疗研究中,需要选定所用磁源的磁源磁感强度量值(即磁源磁感强度名义值),以便向生产厂家提出定制要求,但需要注意的是生产厂家现有的工艺条件并不能完全保证所提供的产品与要求的磁源磁感强度一致,实际测量误差可达20%,其中的个别磁源也可低于名义值一半。同样,从理论上讲磁源两极面中心磁感强度(磁源磁感强度)应相等,但实际对磁源进行测量很容易发现每个磁源均不相等,个别相差较大的可达10%以上。因此在磁源使用前必须要进行测量筛选,按照研究要求去掉误差较大磁源。

三、磁源放置时间对磁感强度的影响

由于磁源之间可相互吸引,在一般情况下会把它们叠放在

一起保存。经对比同一批次不同磁感强度组磁源间隔一年时间的两次测量,发现各组磁源极面中心磁感强度变化没有显著差异,量值基本稳定。这表明如果磁源保存得当,短时间内磁源的磁感强度不会发生明显衰减。

磁场的磁感强度

一、磁感强度和单位

磁感强度(磁感应强度的简称)是用于描述磁场强弱和方向的基本物理量,也称为磁通量密度或磁通密度,是既有大小又有方向的矢量,常用符号B表示。对磁感强度的描述存在着两种单位制,即国际单位制和高斯单位制,国际单位制中磁感强度的单位为特斯拉(T),高斯单位制中磁感强度的单位为高斯(Gs)。需要注意的是,在我国1980年公布实施的《中华人民共和国计量法》中规定,国际单位制计量单位为国家法定计量单位,非国家法定计量单位应予废除^[6]。因此在现今的磁疗研究与应用中,对磁源磁感强度的计量单位应使用国际单位制中的计量单位特斯拉(T)和毫特斯拉(mT)。

二、磁感强度的换算

在两种单位制中,磁感强度单位特斯拉和高斯之间的换算关系为:1 T = 104 Gs 或 1 Gs = 10⁻⁴ T。在国际单位制中,也常常使用毫特斯拉(mT)做为磁感强度单位,如:1 T = 103 mT 或 1 mT = 10⁻³ T[即 1 mT = 10 Gs 或 1 Gs = 0.1 mT]。

三、磁感强度和磁场强度的区别

磁感强度和磁场强度都是描述磁场的物理量,是分别从物理学分子电流观点和磁荷观点对磁场的描述,是对同一事物的不同表达。从物理意义上讲,磁感强度叫磁场强度应该更确切一些,不过由于磁场强度在物理学上定义在先,所以不称磁感强度为磁场强度。在国际单位制中,磁场强度的单位为安培/米(A/m),在高斯单位制中磁场强度的单位为奥斯特(Oe)。如在国际单位制中磁场某一点的磁场强度为1安培/米(A/m),则该点的磁感强度为4 $\pi \times 10^{-7}$ T;在高斯单位制中磁场某一点的磁场强度为1 Oe,则该点的磁感强度为1 Gs。磁感强度和磁场强度是很容易混淆的两个概念,需要给予特别注意。

结语

磁源是磁疗用基本工具,分析其相关概念和使用中应注意的问题,对规范磁疗的研究,更好地发挥磁疗作用有重要意义。

参考文献

- [1] 姜小秋,卢轩,陈泽林. 中医磁疗发展考. 湖北中医药大学学报, 2011, 13: 67-68.
- [2] 阎坚强,韩星海,徐美娟,等. 磁疗磁场分布测量及剂量表达方法. 中国临床康复, 2006, 10: 112-114.
- [3] 王益民,张皓楠,孟庆楠,等. 磁疗用圆片永磁磁源空间磁场有限元分析. 中国医学物理学杂志, 2010, 27: 2294-2298.
- [4] 王益民,张伯礼,靳世久. 磁疗用方片磁源空间磁场定量分析. 电子测量与仪器学报, 2005, 19: 12-16.
- [5] 王益民,张皓楠,王蕴华,等. 磁疗用球形永磁磁源空间磁场有限元数值计算方法. 中国医学物理学杂志, 2012, 29: 3177-3180.
- [6] 赵凯华,陈熙谋. 电磁学(下册). 北京:高等教育出版社, 1991: 201. (修回日期: 2013-05-17)

(本文编辑:阮仕衡)