

动物舌温与血液灌注率的关系特性研究

诸凯¹, 邹瑾², 李艳¹, 魏□¹, 高秀梅³, 王怡³, 李玉红³, 康立源³

(1. 天津大学热能工程系, 天津 300072; 2. 天津工业大学建筑环境与设备工程系, 天津 300160;

3. 天津中医学院中医工程研究所, 天津 300193)

摘要: 结合中医舌诊机理而进行的生物传热研究具有重要的意义。采用多种先进仪器和手段, 在大量动物实验的基础上, 通过对动物造模改变猪舌的血液灌注率, 测试相应条件下的舌面温度, 得到舌表面不同位置处的温度与血液灌注率之间的关系。结果表明, 舌表面温度随血液灌注率的增加而升高, 但血液灌注率增大到一定值后, 舌面温度将维持不变, 血液灌注率值也不再增长。通过实验得到的温度与血液灌注率间的变化规律, 将为建立适合于舌体传热特性的生物传热模型提供客观依据。

关键词: 舌; 血液灌注率; 舌面温度; 生物传热

中图分类号: Q65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6737(2002)04-0409-04

目前对生命科学的研究日渐深入并受到高度重视, 已认识到物理学和生物学科彼此交叉和渗透的重要作用和必要性。舌诊研究做为中医现代基础研究中的重要内容之一, 众多专家学者为此做了大量研究^[1-4]。实践证明欲使中医舌诊研究取得较大的发展, 不仅在方法和手段上要更先进, 而且需要多学科知识的融入。舌的传热问题浓缩了人体脏器许多较为复杂的生理机制^[5]。舌面温度与中医所注重的“舌质”有着密切的联系^[6], 舌温的变化受哪些因素制约, 是值得通过大量实验和理论探讨的问题。

本文用工程热物理的方法重点研究舌血液灌注率对舌面温度的影响, 由此探讨临床不同“舌质”与舌面温度分布和血液灌注率的演变规律。“舌色”(淡红舌、紫舌、淡白舌等)反映了舌质的主要特征, 用生物传热学的观点认为, 舌质主要受舌的血液灌注率、血氧含量及血液流变学等参数的影响, 使舌体温度受到影响而反映于“舌色”^[7]。因为猪舌与人舌的生理结构极为相似, 所以本文以猪舌为研究对象, 进行了大量猪舌血液灌注率与舌面温度特征关系的实验研究, 以期得到二者之间的变化规律, 从而探明血液灌注率与舌内部横、纵断面温度场之间的变化关系, 更重要的意义在于为建立适合于舌体传热特性的数学模型提供客观依据。本文得到的结论对中医舌诊机理研究和临床应用都具有参考价值。

1 材料与方法

1.1 材料

为取得多参数确切的数据, 对动物进行有创与无创实验, 本文选择以猪舌为研究对象。实验中将 15 kg 左右的小猪随机分为 3 组, 分别为舌正常血流、血流增加和血流减少组。血流增加组: 采用静脉点滴硝酸甘油法, 使血管扩张, 血流加速; 血流减少组: 采用结扎一侧颈总动脉的方法, 使舌血流直接减少。

活体组织中的血液灌注率是指在毛细血管网、小动脉及小静脉(直径小于 100 μm)之间的单位体积血流量, 其大小对组织内氧气、营养物质、药物的传输及传热具有重要的意义。

血液灌注率的测量采用 CBI-8000 生理研究系统(Physiologic Research System US)中的流量模块和多道生理仪(MP100 BIOPAC System)。工作原理是: 选择一个与血管直径大致相同的晶体传感器套在血管表面, 该传感器发射的脉冲可以穿透血管壁, 横贯血管内径, 再反射回传感器晶体。返回的脉冲信号的频率显示为一个多谱勒改变, 可认为

收稿日期: 2002-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(59976026)和天津市自然科学基金(003607711)资助项目

作者简介: 诸凯, 1954年生, 硕士, 副教授,

电话: (022)27890051, E-mail: zhukai210@eyou.com.

测到的是单位体积血流速度的变化，即瞬态流量值，将测量得到的灌注率数据除以舌体的体积，再乘以血液密度，通过单位变化得到标准血液灌注率。其测量精度虽然较高，但血流速度随多种因素而随时变化，所以一般取其相对稳定值，这样会带来一定的误差。采集数据的时间、频率及输出形式均由多道生理仪控制。舌面温度的跟踪测量采用热电偶探针。将直径分别为 0.1 mm 的铜康铜热电偶穿入一外径为 0.7 mm 的注射针头内，将针头浅浅刺入舌表面起固定作用，使热电偶刚好与舌表面接触进行测温。热电偶测温精度为±0.2℃。

1.2 方法

(1) 将猪麻醉后，在颈下部做切口剥离出舌总动脉血管，将晶体传感器嵌套在血管表面。
 (2) 根据要求对动物进行造模。用计算机显示和监测 CBI-8000 输出的流量信号，每 15 min 读取一次数据。
 (3) 将探针式热电偶分别置于舌面上的舌尖、舌中和舌根三个位置处（图 1）。待稳定后每读取一次灌注率值，立即读取相应条件下热电偶温度值，直到温度或血液灌注率值稳定在某一点不变。由实验得知舌面位置不同其温度也不同^①，尤其是对人舌而言，舌面的不同区域可反映不同的脏腑情况，所以本研究选择了具有代表性的舌面三个位置。

为在实验中监测动物所处的生理状态，多道生理仪同时测取血压、心室压、心电图和心率等。考

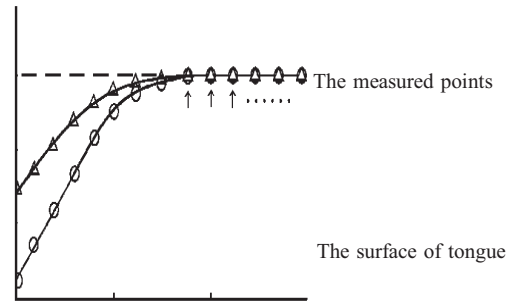


Fig.1 Sketch map of measurements for temperatures on the surface of tongue

虑到血液粘度、切变速度等对舌温的影响，每头猪均进行血液流变学参数检查。

2 结 果

通过造模使猪舌血液流量在正常状态基础上升高或降低，分别对正常血流组、升血流组和降血流组进行实验。血液灌注率的变化造成了猪舌舌体内部动脉、静脉血管的张合状态不同，因而血液与组织的换热量也不同，由此使舌面温度在不同血液灌注率时发生变化。

表 1 列出了猪舌舌面三位置（舌尖、舌中、舌根）处，在不同血液灌注率时的温度值。表中的各血液灌注率值即为通过实验得到的测量值。

对表 1 中所列出的舌面不同位置处实验数据点进行拟合，得到了舌面三位置温度与血液灌注率之

Table 1 The relationship between temperatures and blood perfusions of three positions on the surface of tongue

W_b (kg/m ³ ·s)	t_{tip} (°C)	t_{middle} (°C)	t_{root} (°C)
2.51	38.54	38.81	39.43
2.74	38.88	39.04	39.64
3.53	38.83	39.18	39.77
4.41	39.09	39.36	39.93
5.25	39.21	39.52	40.07
5.66	39.31	39.76	40.31
6.06	39.59	40	40.48
6.22	39.45	40.1	40.55
6.53	39.57	40.1	40.49
7.51	39.46	40	40.4
8.08	39.65	40.2	40.61
8.48	39.62	40.1	40.5

W_b : Blood perfusion rate; t_{tip} : Temperature in the tip of tongue; t_{middle} : Temperature in the middle of tongue; t_{root} : Temperature in the root of tongue

间变化的特征关系曲线 (图 2,3,4)。本研究采用高斯函数进行数据拟合, 得到的函数关系式如下。

$$y = \gamma_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-\frac{(x-x_c)^2}{w^2}} \quad (1)$$

Table 2 Fit constants

Position	R-Square	A	Xc	W	γ ₀
The tip of tongue	0.91784	56.539	7.9197	12.648	36.036
The middle of tongue	0.95879	20.118	7.8187	7.5019	38.006
The root of tongue	0.95502	30.866	7.7457	9.6682	37.997

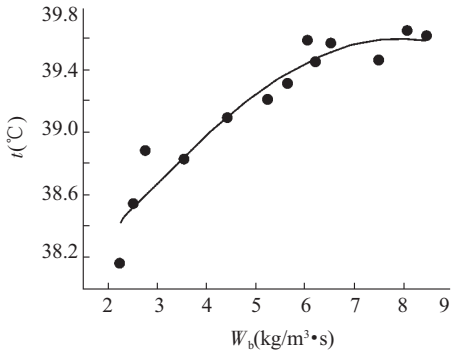


Fig.2 Curve of changes between blood perfusions and temperatures for the tip of tongue

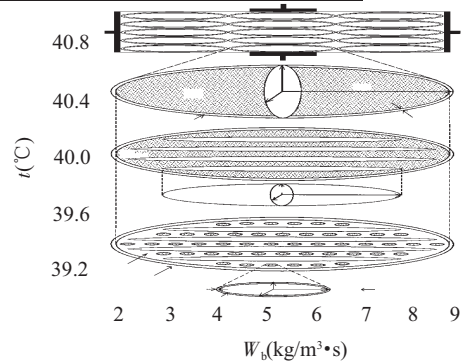


Fig.3 Curve of changes between blood perfusions and temperatures for the middle of tongue

与血液灌注率的关系, 可以看出实验点虽有上下波动, 但具有相同的分布规律, 客观反映了舌温与血液灌注率间的变化趋势。拟合曲线使其特征关系更清楚直观和规范化。即舌面温度随血液灌注率的增大而升高, 尤其在低灌注率时曲线的斜率很大, 说明温度梯度在此阶段随灌注率的变化较明显。当血液灌注率增大到高于 7 kg/m³·s 时曲线持平, 即舌面温度不再升高, 只维持在某一最高值。实验说明舌体内部血液灌注率的增大有一定的范围, 而且相应的温度也将保持某一固定值(图 3), 当血液灌注

率在 6-8.5 kg/m³·s 范围内, 温度基本稳定在 40.1°C 左右。需要说明的是, 在临床中一般情况下舌温不会达到此温度, 相应的血液灌注率也不会如此大。由于实验中猪的基础体温较高而且本研究的目的是探明血液灌注率和舌面温度的特征关系, 所以对舌温的终始点没做特殊的要求。实验点中个别点产生跳跃, 是由于热偶测量误差或者是血液速度不太稳定时测温造成的。图 5 所示为舌面三个位置温度的比较, 从图中可以看出三条曲线的变化趋势相似, 不同的是各自的平均温度不一, 舌根处最

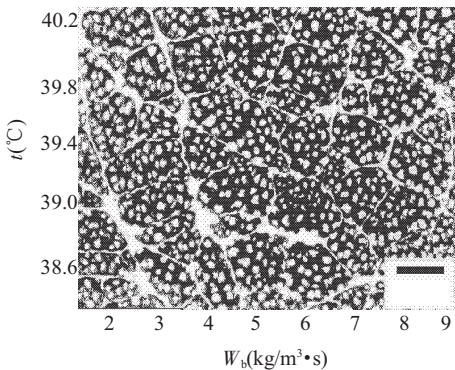


Fig.4 Curve of changes between blood perfusions and temperatures for the root of tongue

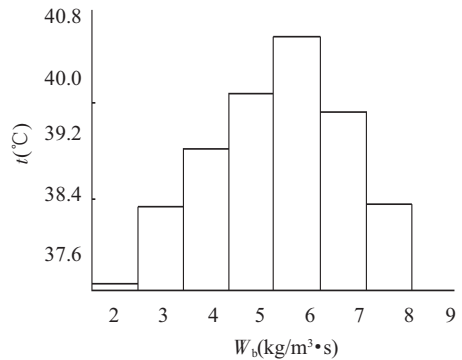


Fig.5 Comparisons between blood confusions and temperatures for the three positions on the surface of tongue. - - - - The tip of tongue ; - · - · - The middle of tongue ; — The root of tongue

高, 舌尖最低, 这是由舌体的组织结构所造成。舌根为舌动脉入口处, 此处分布的血管为整个舌体血管网的干流部分, 数量少, 排列规则, 血管直径大, 因此在这段范围内动脉血液与舌体组织之间的换热较弱, 并且舌根位于口腔深处, 空气自然对流要受到一定程度的屏蔽, 因此在舌根处温度最高。而舌尖处分布末梢毛细血管网, 血管稀疏, 动脉血流动沿途散热, 温度下降很快, 虽然此时血管网和组织换热很充分, 但由于动脉血液温度降低, 舌尖与周围空气对流散热显著, 所以舌尖的温度最低。

3 结 论

本文采用 CBI-8000 生理研究系统对猪舌进行有创血液灌注率实验, 实验数据点规律性明显, 具有较高的可信性。

实验测得的猪舌表面温度与舌体的血液灌注率特征关系曲线, 可以量化说明血液灌注率的增大使舌面温度升高。通过对实验数据拟合, 得到了动物舌体血液灌注率与温度之间的关系函数, 这对于研究人舌与血液灌注率的关系和建立适合于人舌传热

特征的生物传热模型提供了基础数据。

舌温的升高有一个极限, 即血液灌注率高于 $6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s}$ 时, 舌面温度变化非常缓慢, 当血液灌注率达 $8.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s}$ 时, 血液灌注率不再有明显的升高。

参考文献:

- [1] 张伯礼. 中医舌诊客观化系列研究[J]. 天津中医学院学报, 1992,11:35-38.
- [2] 翁维良, 黄世敬. 中医舌诊客观化研究[J]. 中国工程科学, 2001,3:78-82.
- [3] 石行让, 尚瑞梅. 舌体的量化研究[J]. 系统工程理论与实践, 1997,17:109-112.
- [4] 张伯礼, 张丽蓉, 仇士怡, 等. 6708 例健康人舌象调查分析(四) [J]. 天津中医, 1993,2:35-38.
- [5] 张沁芳. 现代红外热图技术在中医舌诊中应用的研究[D]. 天津大学, 1988. 18-22.
- [6] 章熙民, 诸凯, 李惟毅, 等. 应用红外热象技术测试舌面温度的研究[J]. 天津大学学报, 1991,24:20-24.
- [7] 张伯礼, 张金英, 刘华一, 等. 舌红外检测技术与临床研究报告[J]. 天津中医学院学报, 1989,8:48-49.

THE STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE TEMPERATURE AND THE BLOOD PERFUSION OF ANIMAL TONGUE

ZHU Kai¹, ZOU Jin², LI Yan¹, WEI Fan¹, GAO Xiu-mei³, WANG Yi³, LI Yu-hong³, KANG Li-yuan³

(1. Department of Thermal Engineering, Electrical Automation and Energy Engineering College, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Department of Environment Science and Engineering, Tianjin Industry University, Tianjin 300160, China; 3. Research Institute of TCM, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193, China)

Abstract: The study on the mechanism of the tongue inspection of traditional Chinese medicine combining with bio-heat transfer is greatly important. By using many advanced apparatus and techniques, the authors carried out series of animal experiments. Animal modeling was carried out to change the blood perfusion of the pig tongue, and the temperatures on the surface of the tongue at the corresponding blood perfusions were measured to study the relation between the blood perfusions and the temperatures on varied positions of the tongue surface. The results show that the temperatures on the surface of the tongue rise with increasing of the blood perfusions. But when the latter reaches a definite value, the temperatures will not change anymore and at the same time the blood perfusion will keep invariable. The relation between the temperatures and the blood perfusions obtained from the animal experiments could be used as a basis for the establishment of the bio-heat transfer equation for the tongue.

Key Words: Tongue; Blood perfusion; Temperatures on the surface of the tongue; Bio-heat transfer