

手功能重建丛书

四肢的 显微外科修复

MICROSURGICAL REPAIR
OF THE LIMBS

顾玉东 著



上海医科大学出版社



顾玉东,男,满族,1937年出生于山东章邱。1961年毕业于上海第一医学院(现名上海医科大学)医疗系。

现任中国工程院院士,上海医科大学教授、博士生导师,卫生部手功能重建重点实验室主任,上海市手外科研究所所长,上海医科大学华山医院手外科主任,中华医学会手外科学会主任委员、显微外科学会常务委员,《中华手外科杂志》总编辑,《中华外科杂志》、《中华骨科杂志》、《中华显微外科杂志》编委。

从事手外科与显微外科工作已37年,除在臂丛损伤及拇、手指再造领域里设计新方法、提出新概念、建立新理论外,在肢体创伤的组织(皮肤、肌肉、骨关节)修复也不断有所探索、有所发现、有所总结、有所贡献,本书着重介绍这方面的资料。

自1978年起,在国内外学术期刊上发表论文140篇。1985年起已获国家级奖5项、部市级奖14项。1986年被国家批准为“国家级有突出贡献的中年科学技术专家”,1989年和1995年两次被授予“全国先进工作者”称号,1989年被评为“上海市科技精英”,1992年被评为“上海市先进标兵”,1994年被评为“上海市科教精英”,1995年被评为“全国教育系统劳动模范”,1996年被授予“白求恩奖章”,1997年被授予“全国优秀科技工作者”称号。

25 年前,我有幸参加世界第 3 例游离皮瓣移植术。该例手术的成功

是显微外科与解剖学的完美结合,
是手外科与颌面外科的默契配合,
是创伤外科与再造外科的重大发展。

25 年中,我参加了数以千计的各类皮瓣手术修复四肢创伤。在这个过程中
逐步形成的本书

是实践中不断积累的经验,
是经验中不断总结的发现,
是发现中不断探索的规律。

在本书问世之际,我依然要感谢

在临床中无私奉献的病友,
在实践中积极支持的同事,
在出版中认真工作的编辑。

顾玉东

1998.3.21

目 录

历史回顾

1 概述.....	3	2 首例游离皮瓣移植术纪实.....	4
1.1 70年代组织移植的开创期	3	2.1 病例介绍	4
1.2 80年代组织移植的发展期	3	2.2 手术方案的探讨	4
1.3 90年代组织移植的提高期	3	2.3 手术前准备.....	4
		2.4 手术过程	5

显微血管外科修复的基本理论

3 微小血管壁的功能与解剖.....	9	6 显微外科手术抗凝解痉药物的应用问题	16
3.1 内膜层	9	6.1 抗凝解痉药物的应用问题	16
3.2 中膜层	10	6.2 显微外科中常用的抗凝药物	18
3.3 外膜层	11		
4 血管缝合后的愈合过程	12	7 显微外科手术的生物力学问题	20
4.1 影响血管缝合后愈合过程的有关因素	12	7.1 血流动力学问题	20
4.2 血管缝合后的愈合过程(吻合口光镜下观察结果).....	12	7.2 移植组织的生物弹性问题	20
4.3 血管壁缝合后的愈合过程(扫描电镜观察结果)	14	7.3 移植组织的生物力学特性及切取后的改变	22
		7.4 常见的生物力学错误	23
5 显微血管外科中的血液凝固机制	15	8 临床常用的四项血循环观察指标	25
5.1 血管收缩期	15	8.1 皮肤温度	25
5.2 血小板吸附期	15	8.2 皮肤颜色	25
5.3 血液凝固期	15		

8.3 肿胀程度	26	11.2 血循环危象的分期	35
8.4 毛细血管回流测定	26	11.3 血循环危象的防治	36
8.5 四项血循环观察指标的可靠性	27		
9 仪器观察方法	28	12 游离皮瓣移植中的几个基本问题	39
9.1 血流的测定	28	12.1 正确掌握手术指征	39
9.2 色泽的测定	28	12.2 正确掌握皮瓣设计与解剖的点、线、面	39
9.3 组织代谢的测定	28	12.3 正确掌握显微外科操作关键	46
9.4 组织 pH 的测定	29	12.4 正确处理与识别血循环危象	46
9.5 荧光素的测定	29		
9.6 放射性核素的测定	29		
9.7 组织间液压的测定	29	13 皮瓣血供的解剖学基础及其分类	48
9.8 肌电图的测定	30	13.1 皮瓣血供的解剖学基础	48
10 血循环危象的表现与鉴别	31	13.2 皮瓣的分类	49
10.1 动脉危象与静脉危象的表现	31	14 皮瓣的静脉危象及其处理	52
10.2 血管痉挛与血栓形成的鉴别	31	14.1 皮瓣失败原因分析	52
11 组织移植血循环危象的实验研究及分期与防治	32	14.2 皮瓣静脉危象的分析	52
11.1 实验研究	32	14.3 “两套静脉回流系统”在大面积皮瓣手术中的作用	53

显微外科修复与再造

15 皮肤缺损的修复	57	移植术	74
15.1 肩胛皮瓣	57	16.5 吻合血管的股薄肌皮瓣移植术	76
15.2 小腿内侧皮瓣	59	16.6 背阔肌皮瓣移植移位术	78
15.3 小腿外侧皮瓣	61	16.7 胸大肌皮瓣移植移位术	80
15.4 足底内侧皮瓣	63	16.8 腹直肌皮瓣移植移位术	82
15.5 皮神经血管蒂岛状皮瓣	64		
15.6 静脉皮瓣	65	17 骨缺损的修复	85
16 肌肉缺损的修复	68	17.1 腓骨移植术	85
16.1 概况	68	17.2 髂骨移植术	86
16.2 足背伸趾肌肉皮瓣移植术	71	17.3 游离肩胛骨皮瓣	89
16.3 腓肠肌内侧头肌皮瓣移植移位术	73	17.4 足背跖骨皮瓣	90
16.4 吻合血管的阔筋膜张肌皮瓣		17.5 吻合血管的肋骨移植术	91
		17.6 骨髓移植术	93

18 复合组织缺损的修复·····	96	移植·····	97
18.1 以肩胛下动脉为蒂的复合组织移植 与移位·····	96	18.3 游离组织组合移植·····	98
18.2 以旋股外侧动脉为蒂的复合组织		18.4 伤段、瘤段切除再植·····	100

病 例 报 告

19 皮瓣部分·····	105	19.11 小隐静脉腓肠神经蒂皮瓣移位·····	125
19.1 游离小腿外侧皮瓣 (长蒂移植)·····	105	19.12 静脉干动脉化皮瓣·····	127
19.2 游离小腿外侧皮瓣 (短蒂移植)·····	107	19.13 静脉干动脉化神经皮瓣·····	128
19.3 带蒂小腿外侧皮瓣 (顺行移位)·····	109	20 肌肉及肌皮瓣部分·····	131
19.4 带蒂小腿外侧皮瓣 (逆行移位)·····	110	20.1 胸大肌移植·····	131
19.5 游离小腿内侧皮瓣·····	113	20.2 背阔肌皮瓣·····	133
19.6 带蒂小腿内侧皮瓣·····	116	21 骨及骨膜皮瓣部分·····	138
19.7 带蒂小腿内侧皮瓣 (交叉移位)·····	117	21.1 游离肩胛骨皮瓣·····	138
19.8 小腿内侧骨膜皮瓣 (交叉移位)·····	119	21.2 游离髂骨皮瓣·····	142
19.9 足底内侧皮瓣·····	121	21.3 带蒂髂骨皮瓣·····	144
19.10 头静脉桡浅神经蒂皮瓣移位·····	123	21.4 游离腓骨移植·····	147
		21.5 游离腓骨皮瓣及骨膜移植·····	148
		21.6 病段切除再植·····	152

基 础 研 究

22 皮瓣实验模型·····	157	23.4 游离皮瓣与肌皮瓣血循环危象 比较·····	177
22.1 大鼠游离皮瓣实验模型·····	157	24 血管与肌肉的缺血性变化 及保护·····	181
22.2 兔腹股沟游离皮瓣移植·····	158	24.1 缺血对骨骼肌亚显微结构 的影响·····	181
22.3 小腿外侧皮瓣的显微外科 解剖学·····	161	24.2 缺血对骨骼肌代谢及生化 的影响·····	185
22.4 腓骨移植的显微外科解剖学·····	164	24.3 缺血对家兔骨骼肌组织学及肌力的 影响·····	187
23 皮瓣血供与危象·····	169		
23.1 带蒂皮瓣最佳断蒂时间·····	169		
23.2 正常皮瓣与静脉皮瓣的比较·····	170		
23.3 皮瓣血供与成活及质量的关系·····	174		

24.4 超氧化物歧化酶对大鼠缺血骨骼肌和血管平滑肌钠泵、钙泵和细胞形态的影响	192	24.5 维拉帕米灌注对断肢骨骼肌及血管平滑肌的保护作用	197
		24.6 离断肢体血管与肌肉保护	201

难题与探索

25 自体 and 异体大关节移植	209	25.3 冻存关节软骨的研究与临床应用	211
25.1 历史回顾	209	25.4 自体软骨细胞培养与种植及自体骨膜或软骨膜移植的应用	212
25.2 同种异体全膝关节移植病例报道	209		

历史回顾

1 概 述

自 1972 年 Harii、1973 年 Daniel 和杨东岳在互不了解的情况下,各自成功地应用显微外科技术进行吻合血管的游离皮瓣移植,从而开创了肢体创伤后组织缺损进行显微外科修复的新时期。在游离皮瓣移植成功的推动下,1974 年 Harii 又设计了吻合血管的股薄肌皮瓣,使组织移植进入复合阶段;1975 年 Taylor 设计的游离腓骨及髂骨皮瓣移植,又使组织移植进入多源化阶段。回顾组织移植的发展历史,大致分为 3 个阶段。

1.1 70 年代组织移植的开创期

此时期中 Daniel 的游离腹股沟皮瓣及杨东岳的游离下腹部皮瓣、陈中伟的胸大肌移植、Taylor 的腓骨移植是修复肢体组织缺损的主要手段。

在肢体创伤中皮瓣缺损是最常见的缺损,良好的皮肤覆盖又是修复其他组织缺损的必备条件。应用腹股沟及下腹部皮瓣固然解决了许多难题,但由于该两处皮瓣的血供变异较多、口径较细,皮瓣移植后成活率在 80%~90%,因此,皮瓣在基层的推广受到较大限制。

1.2 80 年代组织移植的发展期

在此时期中具有代表性的是 1979 年杨果凡首创的前臂皮瓣,由于该皮瓣的动静脉解剖恒定、血管口径粗、切取方便,成为修复皮肤缺损的主要手段,从而广泛地应用于临床,被称为“中国皮瓣”。在前臂皮瓣的推动下,全身各部位的皮瓣,即肌皮瓣、骨瓣、骨皮瓣、复合组织皮瓣不断发现,至 80 年代末皮瓣、肌皮瓣已达 50 余种,在骨瓣中出现了肩胛骨移植(杨立民,1983 年)及骨膜移植(Finly,1978 年)。在组织蒂瓣的应用形式上,又出现了带蒂组织瓣、筋膜蒂组织瓣、静脉蒂(静脉或动脉化)组织瓣,使组织瓣移植处于“百花齐放”的佳境。

1.3 90 年代组织移植的提高期

经历了 80 年代组织瓣应用的大发展,各类组织瓣的优缺点,在实践中不断成熟,在发展中不断完善。各类组织皮瓣的应用最佳指征逐步明确,不同部位、不同组织缺损的最佳治疗方案也变得合理多样,减少了组织瓣供区的损害,提高了组织瓣的成活率及功能效果,简化了组织瓣的操作,使组织瓣微型化、复合化及带血管蒂的组织瓣神经化、多源化,皮瓣应用由此进入提高的新阶段。

2 首例游离皮瓣移植术纪实

2.1 病例介绍

患者 女,46岁,于1973年3月1日因左侧面颊部肿瘤手术后复发入华山医院口腔科。

患者于8年前因左颊部肿块作局部切除,病理报告为乳头状腺癌。手术后8年局部又出现肿块,且增大较快。入院时检查左面颊部皮下有直径约6cm的肿块,肿块中央破溃,直径约0.7cm,有息肉样组织翻出,质脆而易出血,肿块与皮肤粘连,但与颊粘膜不粘连,颈部淋巴结未触及,胸部X线检查未发现异常。

2.2 手术方案的探讨

方案一:额颞部颞浅动脉蒂岛状皮瓣修复肿块切除后面颊部皮肤缺损。但手术缺点一是切取面积有限;二是在前额留下大块皮肤缺损需应用游离皮片移植,手术后影响面容。

方案二:Ⅰ期在腹部作皮管成形术;3周后行Ⅱ期手术:将腹部皮管一端转移至手腕部;Ⅱ期手术3周后行Ⅲ期手术:将腹部皮管另一端断蒂铺开部分皮管,修复面颊部肿块切除后的创面;再3周后行Ⅳ期手术:将腕部皮管连结处断蒂,完成面颊部皮肤缺损的修复。本法的缺点一是手术次数多、疗程长;二是手腕部必须与腹部及头部作固定,体位不适痛苦多。

方案三:游离下腹部皮瓣移植修复面颊部皮肤缺损。本法优点:一是手术1次完成,大大缩短疗程;二是不破坏面容,皮瓣质地、肤色与面部皮肤相仿。缺点:一是临床无先例可供参考;二是手术难度较大,需吻合1mm左右小血管。由于自1966年作者已在临床成功地进行第二趾移植再造拇指,积累了较多的显微外科吻合小血管的经验,故决定采用本方案以提高手术疗效。

2.3 手术前准备

2.3.1 成立手术及护理小组

手术组由杨东岳、顾玉东负责下腹部游离皮瓣的切取,由张孟殷、黄爱玉负责面颊部肿瘤切除及受区血管的显露,由杨东岳与顾玉东负责皮瓣移植于面颊部后的血管吻合,由张孟殷及黄爱玉负责面颊部创面的闭合,由顾玉东负责股动脉缺口的修复及手术后微血循环的观察与处理。

2.3.2 制定手术方案

(1) 麻醉 全身乙醚气管内插管麻醉。

(2) 腹部解剖

1) 在腹股沟韧带下沿股动脉轴线作纵形切口,暴露股动脉及其分支腹壁浅动脉、大隐静脉及其分支腹壁浅静脉。

2) 证实上述血管存在后,在下腹部设计皮瓣,皮瓣面积应大于皮肤缺损2cm。

(3) 面颊部处理

1) 按肿瘤切除原则切除肿块。

2) 显露颈外动脉、颈内静脉及其主要分支,备吻合血管用。

(4) 特殊情况的处理

1) 腹壁浅动脉或旋髂浅动脉缺如应放弃本手术方案,改用第一或第二方案。

2) 腹壁浅动脉或旋髂浅动脉过细, < 1mm 时,应在分支发出部位切取部分股动脉壁,形成盘状,以扩大血管口径,增加血管吻合口通畅率,但同时应修补股动脉。

3) 腹壁浅动脉或旋髂浅动脉口径 > 1mm 时,可直接与手区小血管作端端吻合。

2.4 手术过程

1973 年 3 月 21 日晨 7 时患者进入手术室,8 时半全身麻醉完成后,手术分两组进行,张、黄两位医生在左侧面颊部进行肿块切除,沿肿块周围 2cm 作皮肤、皮下组织、肌肉及部分颊粘膜整块切除,留下 8cm 直径大小的软组织缺损,颊粘膜缺损较小处作直接相对缝合,清除颈部淋巴结组织并显露颈动脉、颈内静脉及其分支。杨、顾两位医生在右侧腹股沟下方作长 8cm 平行股动脉内侧缘切口,在卵圆窝部位下方显露大隐静脉,离大隐静脉汇入股静脉 3.5cm 处找到 1 支腹股沟浅静脉,口径为 1.2mm,2 支入口处相距 0.5cm。在切口远端股动脉处,向心游离股动脉四周,在腹股沟韧带下方 2.5cm 处股动脉前方找到口径 0.8mm 的浅动脉,证实腹壁浅动静脉存在后,根据血管行走方向在下腹部设计 8cm 直径的环形切口(与面颊部大小形态一致),全层切开皮肤、皮下组织直达腹外斜肌筋膜,在筋膜上游离皮瓣及血管蒂组织,证实皮瓣血供良好后,用弯血管夹部分阻断股动脉,在腹壁浅动脉分支处切取 5mm 股动脉盘,在腹壁浅静脉汇入大隐静脉两端切断结扎大隐静脉,将与两分支开口相连的大隐静脉修成 8mm 盘。切取大隐静脉 4cm 一段,其中 0.5cm 修成盘状,修复股动脉缺损,3.5cm 段大隐静脉纵形剖开后包裹股动脉修复处。开放股动脉血管夹后,股动脉修补处搏动良好,无漏血。将切取的游离下腹部皮瓣移植于面颊部缺损处,四周暂作皮肤缝合,在显微镜下(放大 10 倍)用 9“0”尼龙单丝将大隐静脉盘与颈内静脉作盘侧吻合,股动脉盘与颈外动脉作盘侧吻合。血管吻合完毕后,皮瓣切缘可见出血,皮瓣肤色由苍白转红润,毛细血管返流好。闭合全部创面,手术后应用肝素,用量为每次 1mg/kg,并进行血凝检测以防血栓形成。

手术后每小时进行皮瓣血液循环监测(包括皮色、皮温、肿胀程度及毛细血管返流),皮瓣血液循环良好,至次日清晨 5 时颈部伤口渗血明显,并形成血肿,皮瓣发绀、肿胀,立即拆除颈部缝线数针,将血肿引流并停止使用肝素,颈部肿胀消退后皮瓣肿胀也逐渐消退,3h 后皮瓣颜色逐渐转为红润,手术后 7d 拆线,皮瓣全部成活,腹部、股部伤口愈合佳,足背动脉搏动良好。

病理报告:左颊部皮肤腺癌,部分呈乳头状生长,侵及肌膜上层,局部淋巴结未发现异常。

附记:

世界最早 3 例游离皮瓣移植术分别在日本、加拿大、中国 3 个国家在互不了解的情况下各自独立完成。

按时间排列,世界第 1 例皮瓣应属日本 Harii,1972 年 9 月应用胸三角肌皮瓣修复下肢皮肤缺损。他的论文发表在 1973 年 8 月出版的整形再造外科杂志上。在论文发表前我们已于 1973 年 3 月 21 日完成了下腹部皮瓣移植术。

加拿大的 Daniel 于 1973 年 1 月应用旋髂浅动静脉为蒂的髂腹股沟皮瓣修复下肢皮肤缺损,他选用的血管和部位与我们不同。他的论文发表在 1973 年 5 月出版的整形再造外科杂志上,在论文发表前我们已完成皮瓣移植术 45d。在他的论文后编者加了按语,说明中国华山医院也完成了 1 例游离皮瓣移植术。以上资料充分反映上述 3 个皮瓣在设计与应用上有各自独立性。

显微血管外科修复的 基本理论

3 微小血管壁的功能与解剖

100年前, Virchow 就指出血管内血液凝固与3个基本因素有关:①血管壁的损伤;②血液动力学的改变;③血液凝固成分的改变。

从组织学角度看,显微外科吻合的血管口径一般在0.5~3.0mm,这类血管(主要指动脉)中层平滑肌所占比例较多,故又称“肌性血管”,因而临床上极易发生血管痉挛。根据我们的实验研究和临床经验,结合文献复习,就血管壁正常结构及其功能和吻合后的愈合过程综述如下。

3.1 内膜层

为三层中最薄的一层,根据其组织成分又可分三层,一一叙述于下。

3.1.1 内皮细胞层

由单层内皮细胞所组成,覆盖血管壁最内层,与血管腔内血液直接接触。内皮细胞的腔面光滑、透明,细胞大多呈纺锤形,长25 μ m,宽10~15 μ m,厚0.1~0.3 μ m,在细胞核处为2~3 μ m,它们呈纵形排列,与血流方向平行。细胞间的间隙很小,当内皮细胞受到刺激后细胞收缩,则细胞间隙增宽而致内皮下层胶原纤维外露,易致血液凝固。静脉内皮细胞表面有较多绒毛有利于氧的吸收。内皮细胞的主要功能是防止血液在血管内凝固。其机制为:

1) 正常内皮细胞表面呈强负电荷,与血细胞负电荷一致,因而正常时不会与血细胞发生吸附及凝聚。一旦内皮细胞损伤后转变为损伤电荷(正电荷),则血液中血细胞成分很快发生吸附凝聚。

2) 正常内皮细胞内含有前列环素(PGI₂)合成酶,在此酶的作用下,内皮细胞能将血浆中的花生四烯酸代谢产物合成前列环素。前列环素的生理作用有:①扩张血管;②激活腺苷酸环化酶后使血小板聚集功能减弱。

3) 正常内皮细胞能合成与释放纤溶酶原活化素,从而使纤溶酶原转变为纤溶酶,纤溶酶再使纤维蛋白分解,因而可使已形成的血栓液化溶解。

4) 正常的内皮细胞能合成与释放ADP酶,使ADP分解,ADP为血小板聚集诱导剂,从而能抑制血小板聚集,阻断凝血过程。

5) 正常内皮细胞合成及摄取血浆中肝素及肝素聚糖,维持内皮细胞表面强大的负电荷,并能灭活凝血酶。

6) 正常内皮细胞储存AT-III(抗凝血酶第III因子),是体内最主要的抗凝因子,它能与体内凝血酶结合形成无凝血作用的复合物,从而发挥抗凝作用。

7) 正常内皮细胞能摄取及分解血管收缩、挛缩的活性物质,如5-羟色胺、儿茶酚胺、血管紧张素,并能清除血液中的凝血酶、缓激肽以及多种前列腺素。

8) 内皮细胞含血管舒张因子,而乙酰胆碱的舒张血管反应必须在内皮细胞完整条件下完成。

因此,正常内皮细胞对维持血液在管腔内的流动不发生凝固起着相当重要的作用。一旦内皮细胞受到损伤(物理性、化学性、缺氧性)则其抗凝功能必然受到破坏,血液则易在损伤的内皮细胞处发生凝固。因此,显微外科手术中一个极其重要的原则,就是尽可能使内皮细胞

胞的损伤减少到最低程度,以保证内皮细胞的正常抗凝功能充分发挥。

3.1.2 内皮下层

在内皮细胞的外周为一薄层疏松的结缔组织,其主要成分为胶原纤维及成纤维细胞。胶原纤维为一强离子电荷,在其化学结构中含有2个活跃的不饱和氢链。这2个不稳定的氢链极易与血小板膜上的氢链发生结合,因此胶原纤维是血小板凝集的激活物。胶原纤维这种理化特性与内皮细胞相反,有极强的血液凝固功能。因此在显微血管外科手术中,避免内皮下层胶原纤维的外露是预防血栓形成的重要环节。

成纤维细胞是体内生长最活跃的细胞,它本身除不断形成胶原纤维外,有些著者认为当内皮细胞损伤脱落后,该处的成纤维细胞能分化成新的内皮细胞,是损伤处内皮细胞再生的来源之一。

3.1.3 内弹性层

是血管壁内层与中层的交界组织,为一薄层弹性纤维所形成的膜,呈环形,膜上有许多小孔。它的主要功能是维持血管弹性。

3.2 中膜层

中膜层在显微血管的动脉中是最厚的一层。主要含有20~40层平滑肌,这些平滑肌呈环形或螺旋形排列,平滑肌肌束之间夹有弹性纤维、胶原纤维与成纤维细胞。在静脉中此层内平滑肌组织较少。

正常血管平滑肌细胞的收缩与松弛是受神经与体液因素调节,由于各部位血管所含受体的质与量有所不同,交感神经兴奋时,皮肤内的血管收缩(α 受体兴奋),而骨骼肌内的血管舒张(β 及ACh受体兴奋)。不论神经或体液因素使平滑肌细胞收缩或松弛,它的生化过程主要是通过肌细胞内钙离子浓度的变化而完成的。在神经或体液因素的作用下,肌细胞膜上鸟苷酸环化酶激活,使肌细胞外游离钙进入肌细胞内。当胞质内 $\text{Ca}^{2+} > 10^{-5}\text{mol}$ 时,肌纤维肌宁蛋白与肌球蛋白的主体结构发生改变,致使肌球蛋白(粗肌丝)与肌动蛋白(细肌丝)结合,引起肌丝滑动、肌肉收缩。

肌肉收缩时释放的ATP激活了肌细胞膜腺苷酸活化酶,使肌细胞内游离钙排出细胞外,当胞质内 $\text{Ca}^{2+} < 10^{-7}\text{mol}$ 时,肌宁蛋白与肌球蛋白恢复了原来主体结构,从而阻止了肌球蛋白与动物蛋白的结合,肌丝间关系恢复,肌肉松弛。

平滑肌收缩的生化机制指出:

3.2.1 钙离子在肌细胞内的浓度是影响平滑肌细胞收缩与松弛的主要调节因素

微小血管手术中所遇到的血管痉挛,从本质上看可以认为是血管平滑肌细胞质内钙离子浓度维持在高水平。

3.2.2 平滑肌细胞膜上存在着的鸟苷酸环化酶是使细胞外钙离子进入细胞的主要酶系统

凡促进鸟苷酸环化酶活性的物质均有平滑肌收缩作用,如血小板内所含的缩血管物质(肾上腺素、5-羟色胺、前列腺素E等)。凡抑制鸟苷酸环化酶活性的物质,因阻止了钙离子通过细胞膜进入肌细胞,降低了细胞内钙离子浓度,从而使肌细胞松弛。此类物质如普鲁卡因、利多卡因、妥拉唑林等,从而有扩张血管的作用。

3.2.3 平滑肌细胞膜上存在着腺苷酸活化酶