DOI:10.16016/j.1000-5404.1989.06.004

手掌部动脉的微型计算机三维重建及其临床意义

张绍祥 何光篪 刘正津 （解剖学教研室）

提 要 成人上肢标本30例，经肱动脉注入遮光色素，作手部动脉造影，然后制成连续的断面标本并摄影。应用微型计算机进行测量并三维重建动脉网。在各断面解剖追踪予以印证。手掌部的动脉由掌浅、掌深和掌背3个层次构成支架。在桡、尺方向上有3条大吻合支，掌、背方向上有3组吻合带，从而形成以掌深弓为中心的在三维空间6个方向都有动脉支连通的立体网络系统。在横断面上的配布型式，按主支的排列位置，在腕掌部可分四型，在掌中部和掌指部可各分为三型。根据动脉支的来源、口径、供区和吻合情况，讨论了腕掌、掌中和掌指3个部位的血供特点以及断掌再植时吻接动脉选择的主与次。

关键词 手；动脉；计算机，微型计算机三维重建；断掌再植

应用中、小型电子计算机三维重建研究形态学已有报道[1~3]。本文应用动脉造影、断面观测和解剖追踪，并尝试运用当前国内较普遍配备的微型计算机作手掌部动脉网络的三维重建。在以往手掌动脉形态研究的基础上[4~8]，探讨手掌部动脉在横断面上的配布规律，为断掌再植选择吻接血管提供动态的形态学基础。

材 料 与 方 法

一、材料及标本制备：成人上肢标本30例，经肱动脉灌注含30%红色氧化铅的乳胶后，常规防腐固定。通过手掌的桡侧和尺侧各画出中间垂直线。由腕远侧皱纹中点至中指掌指皱纹中点画定掌正中线，将掌正中线8等分，通过各等分点作7条正交横线（图1）。每只手共有7个断面，由近及远分为3个区段，即腕掌区段（第1、2断面），掌中区段（第3、4、5断面）和掌指区段（第6、7断面）。在掌正中线和第4断面线上放置坐标标志，拍摄全手动脉造影片（图2），留作血管重建时对照。然后低温冰冻、电锯切割，断面标本按顺序编码。在每一断面上，通过手掌两侧中线切断点的连线作X轴，过掌正中线切点的垂线作Y轴，放置坐

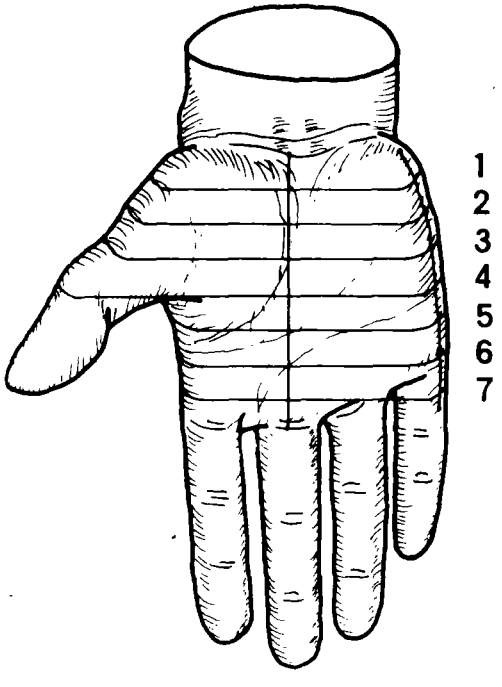


图 1 手掌部画线图

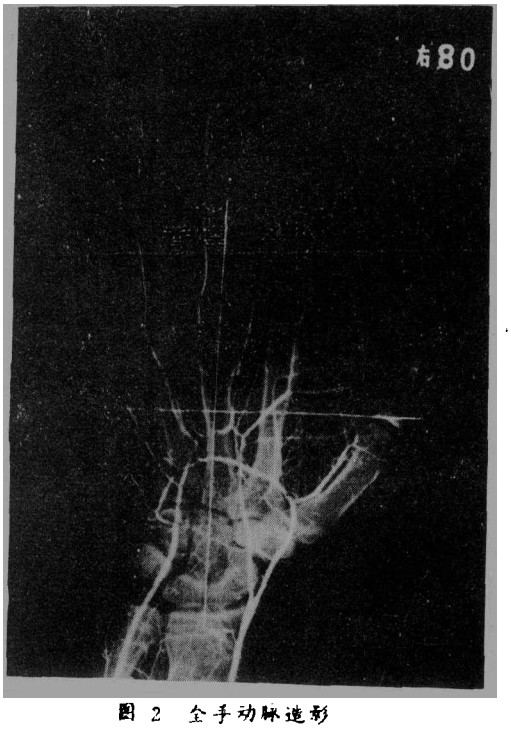


图 2 全手动脉造影

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

标标志及标尺，拍摄彩色照片（图3）和X光片。



图 3 断面照片

二、微型计算机测量和三维重建：IBM-XT微机与HIPAD™图形数字化仪（Digitizer）相联，运行Auto-CAD-2程序，通过模-数转换，测出断面照片上各动脉支的坐标（X，Y）位置及该断面到第4断面的距离（Z），建立三维坐标系，断面上的每一动脉支均有X，Y，Z 3个分量表示其空间位置。为了将三维结构的信息在屏幕的二维平面上表示，运用了投影技术，按投影公式[9]换算物体在空间任意一点的投影坐标。经过换算、对位、重建、伪彩色及平滑处理，可在屏幕上显示出以血管中轴线表示的动脉网络某一侧面。将旋转分解为分别绕X轴、Y轴和Z轴的转动，根据旋转坐标变换公式[9]换算坐标，按新的投影点显示出在三维空间绕任意轴作任意角度旋转后的动脉形态，以便从各个方位进行观察。程序流程见图4。

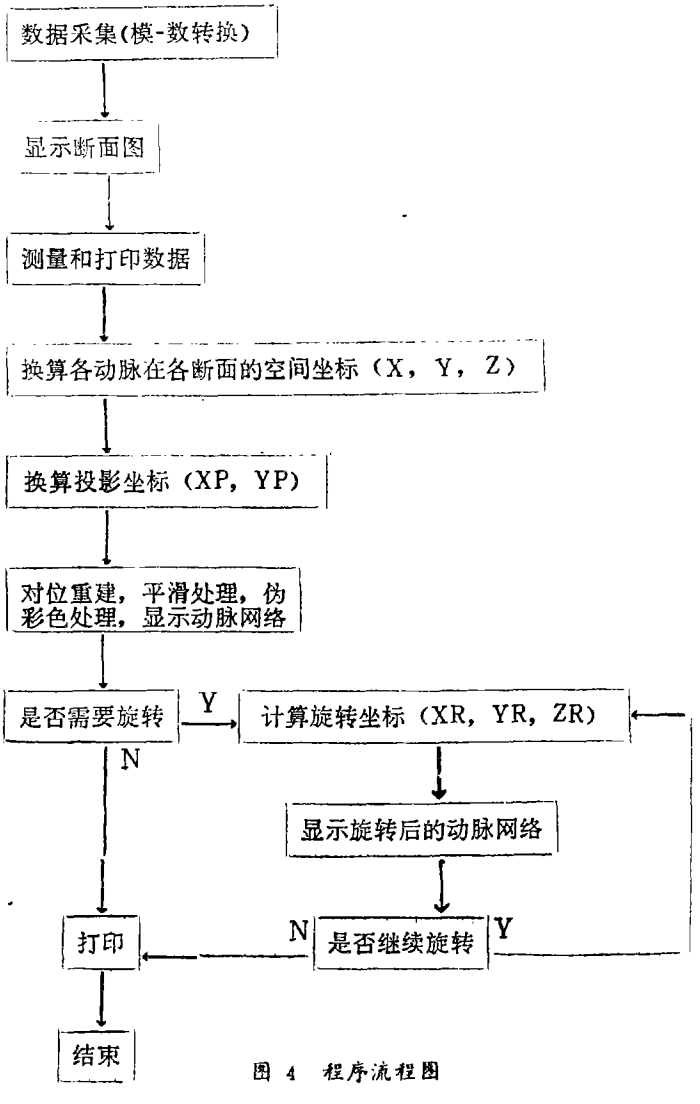


图 4 程序流程图

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

三、在手术显微镜下实测各断面动脉主支内径，并将各断面对合后追踪解剖，印证血管的位置、分布和吻合。

结　果

一、手掌部动脉网络的组成和形态

手掌部的动脉，采用断面观察、追踪解剖、微型计算机测量和三维重建，旋转后从不同方位观察（图5、6、7），表明手掌部的动脉是以纵向走行的掌浅层、掌深层和掌背层动脉网构成基本支架。在桡、尺方向的吻合有3条主要途径：

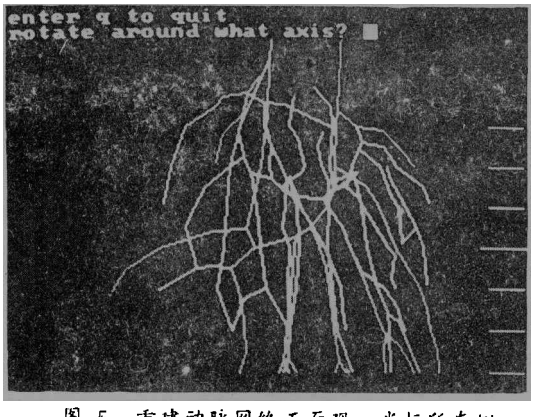


图 5　重建动脉网络正面观。光标所在侧为尺侧（下同），7条短横线为断面标志线。

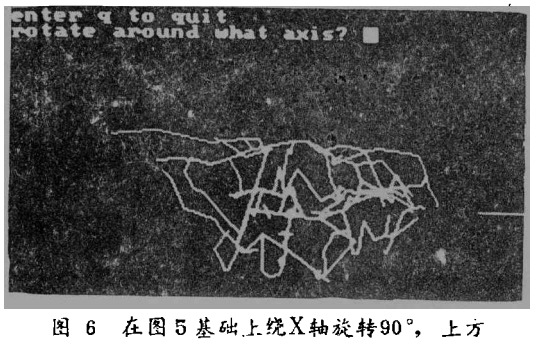


图 6　在图5基础上绕X轴旋转90°，上方为掌侧，下方为背侧。可见到掌浅、掌深和掌背三层动脉及它们之间的吻合支。

（1）以桡动脉主干及尺动脉掌深支吻合形成的掌深弓，位于第2、3断面之间，完全弓型的出现率为96.7%；（2）以尺动脉为主形成的掌浅弓，弓顶位于第3、4断面之间，完全弓型的出现率为53.3%；

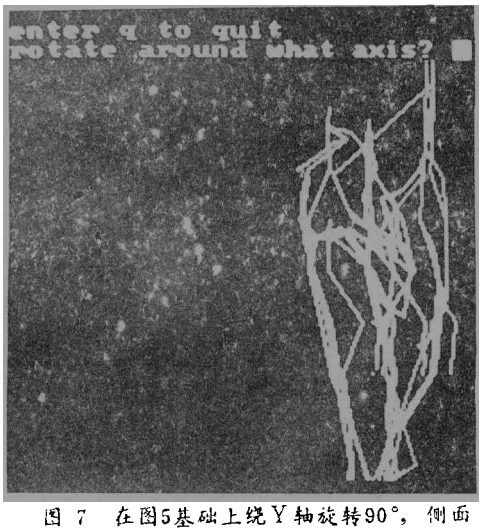


图 7　在图5基础上绕Y轴旋转90°，侧面观。可见到掌背方向的吻合支相对集中于断面3。"·"为断面标志点。

（3）第5断面的第Ⅰ掌骨间隙或第6断面的第Ⅱ掌骨间隙，在96.7%的标本至少有1支尺动脉终支或指总动脉与第1或第2掌心动脉的吻合支。掌、背方向有3个吻合带，吻合支相对集中于第3、5、7断面。平均分别有3.4±1.2支、1.5±0.8支和1.6±0.5支。掌深弓在桡、尺方向上连[illegible]、尺动脉之间，在掌、背方向发出交通支和近侧穿支与掌浅层和掌背侧的动脉交通，向近侧发出返动脉与前臂动脉吻合，向远侧发掌心动脉供养手指。因此，手掌部动脉是以掌深弓为中心，在三维空间、6个方向都有交通支的立体网络系统。

二、手掌3个区段动脉主支的位置、管径和配布型式

以屈指肌腱和掌骨为界，将手掌分成掌浅、掌深和掌背三层，经微机定位、测量，考查了各区段内动脉主支的配布型式。3个区段动脉主支的出现数、管径及坐标位置见表1、2、3。

（一）腕掌区段：动脉主支排列为掌、背两层，有4种配布型式：1．6支型（占63.3%）：掌浅层有尺动脉，尺动脉近侧深支和桡动脉掌浅支，掌背层有桡动脉、第Ⅰ掌背动脉和拇指背动脉。2．5支型（占10.0%）：比1型少近侧深支。3．4支型（占20.0%）：掌浅层为尺动脉和桡动脉掌浅支，掌背侧为桡动脉和拇指背动脉。4．3支型（占6.7%）：仅有桡、尺动脉主干和桡动脉掌浅支。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 腕掌区段动脉主支出现例数、大小及坐标（$\bar{X}\pm SD$）

层次	血管名称	例数	内径(mm)	截面积(mm^2)	X(mm)*	Y(mm)★
掌侧：	桡动脉掌浅支	30	0.9±0.3	0.6±0.2	-11.9±3.7	15.2±2.4
	尺动脉	30	2.2±0.3	3.8±0.4	9.1±3.2	12.6±2.7
	尺动脉近侧深支	19	1.0±0.3	0.8±0.2	13.2±3.4	12.6±2.5
背侧：	拇指背动脉	28	0.6±0.2	0.3±0.1	-35.0±2.9	4.0±2.1
	桡动脉	30	2.3±0.3	4.2±0.6	-25.2±3.7	-8.4±2.8
	第Ⅰ掌背动脉	22	0.8±0.2	0.5±0.1	-14.1±2.7	-17.2±2.7

* “-”示位于Y轴的桡侧。　　★ “-”示位于X轴的背侧。

（二）掌中区段：本区段为手掌部动脉分布最为复杂的区域，内径0.5mm以上的分支，一般有15支以上，排列为掌浅、掌深和掌背三层。尺动脉及其所形成的掌浅弓位居浅层，发出小指尺侧动脉、指总动脉和示指桡侧动脉，分别对应于第Ⅴ掌骨前方、第Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ掌间隙以及第Ⅰ掌骨桡侧；深层为3～5支位于掌间隙的掌心动脉；背侧为居相应掌间隙的3～4支掌背动脉。根据掌浅、深两层动脉的投影位置的重叠情况，将动脉配布分为3种型式：1．指总动脉和掌心动脉均各有5支以上，二者相互重叠，为完全重叠型，占76.7%。2．掌浅、掌深两层均各有4支动脉主支，只有桡侧2支指总动脉和尺侧2支掌心动脉的投影位置相重叠，为部分重叠型，占16.7%。3．掌浅、掌深两层仅各有2～3个主支，以第Ⅰ掌骨为界，浅层和深层分别位于尺侧和桡侧，为桡尺分向型，占6.7%。

表2 掌中区段动脉主支出现例数、大小及坐标（$\bar{X}\pm SD$）

层次	血管名称	例数	内径(mm)	截面积(mm^2)	X(mm)	Y(mm)
掌浅层：	示指桡侧动脉	22	1.1±0.4	1.0±0.3	-15.8±3.7	10.2±2.8
	第1指总动脉*	27	1.2±0.4	1.1±0.3	1.6±3.0	8.9±3.0
	第2指总动脉	28	1.4±0.2	1.5±0.3	5.6±2.7	8.5±2.6
	第3指总动脉	30	1.3±0.2	1.3±0.2	13.8±3.6	7.9±2.5
	小指尺侧动脉	29	1.0±0.3	0.9±0.3	25.4±2.4	8.5±2.1
掌深层：	第1掌心动脉	30	1.6±0.3	2.0±0.3	-35.8±2.3	11.1±3.3
	第2掌心动脉	30	1.4±0.3	1.5±0.3	-16.1±2.6	-3.9±2.9
	第3掌心动脉	29	1.0±0.4	0.9±0.3	-3.7±2.1	-4.4±3.0
掌背层：	第Ⅰ掌背动脉	23	0.9±0.4	0.6±0.2	-28.7±3.7	-12.2±3.7
	第Ⅱ掌背动脉	27	0.7±0.2	0.4±0.1	-9.9±2.2	-15.1±3.0

* 以桡侧向尺侧为序命名。

（三）掌指区段：由于掌心动脉逐渐消失，大多数标本的掌深层不复存在动脉主支，三层动脉转变为掌、背两层。按动脉配布的层次，可分为三型：1．两层型（占73.3%）：掌侧有3支指总动脉、示指桡侧动脉及小指尺侧动脉；背侧为第Ⅰ、Ⅱ掌背动脉。2．三层型（占20.0%）：在掌浅层和背侧之间还有第2、3掌心动脉存在，排列关系与上一区段相似。3．一层型（占6.7%）：动脉主支只出现于掌浅层。各指总动脉在本区段远侧分为两支供应相邻指的相对侧。各指两侧固有动脉管径大小相比较，除中指的大小相等外，其余均为向中侧较粗（$P<0.01$）。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表3 掌指区段动脉主支出现例数、大小及坐标（$\bar{X}\pm SD$）

血管名称	例 数	内径(mm)	截面积(mm^2)	X(mm)	Y(mm)
拇指桡侧动脉	30	0.9±0.2	0.6±0.1	-44.6±2.6	8.8±1.9
拇指尺侧动脉	30	1.2±0.2	1.1±0.2	-36.6±2.3	4.2±1.8
示指桡侧动脉	30	1.0±0.2	0.9±0.2	-27.8±2.6	4.0±1.9
示指尺侧动脉	20	1.4±0.2	1.5±0.3	-13.5±2.0	2.9±1.8
中指桡侧动脉	20	1.4±0.2	1.5±0.3	-9.5±1.7	3.4±1.9
中指尺侧动脉	21	1.3±0.2	1.3±0.2	7.3±2.0	3.4±2.3
环指桡侧动脉	21	1.4±0.3	1.5±0.3	11.2±2.1	3.6±2.2
环指尺侧动脉	30	1.0±0.2	0.9±0.2	23.3±2.0	3.2±2.0
小指桡侧动脉	30	1.1±0.2	1.0±0.2	33.4±3.0	1.7±1.1
小指尺侧动脉	30	0.8±0.2	0.5±0.1	42.3±3.3	2.3±2.4

讨 论

一、微型计算机三维重建在形态学研究中的应用

运用微型计算机，对手掌部血管进行三维重建，可较好地展示动脉的来源、分支、分布和吻合，三维空间的旋转，实现了全方位的观察，在应用微机重建血管方面，似比以往更为方便有效。将自动测量和三维重建相结合，在形态观察的同时进行量化分析，也弥补了过去三维重建中仅限于单纯的形态观察的不足。此外，对屏幕进行剪辑，动脉网络能够分层次、分断面显示，不仅为形态研究创造了条件，也为断肢再植时在不同平面辨认血管提供了借鉴。本文所设计的微机三维重建方法，利用Auto-CAD-2程序，在CRT上显示断面图，能算出断面上动脉支的坐标位置，并可测量管径，计算截面积。根据动脉支的位置，采用投影技术，通过数据换算、对位，完成立体重建。方法比较简单，运行速度较快，精度较高，准确性也比较好。一些项目，例如坐标位置的测量、分层次分断面显示与多方位观察，是手工操作难以完成的。这一方法，在使用连续切面法显示血管或其他器官形态的研究上也能采用。

二、手掌部各区段的血供评价及其临床意义

腕掌区段：粗大的桡动脉干和尺动脉干无疑是手部的主要供血动脉，但两者中以哪一条为主则一直存在不同意见。从血液对局部的灌流量考虑，根据Poiseuille定律，流量与血管半径的4次方成正比。本文在同一断面测量桡、尺动脉内径，并换算成横截面积予以比较，结果是桡动脉大于尺动脉（$P<0.05$），说明桡动脉对手部的供血量大于尺动脉。此外，以桡动脉为主形成的掌深弓，是手掌侧副通道的中心，更具重要性，因此，在此部位的断掌再植，应对桡动脉的修复更加重视。

掌中区段：掌中部离断，常伤及指总动脉和掌心动脉。在掌中区段，尺侧2支指总动脉和第1、2掌心动脉的截面积之和占该平面动脉主支总截面积的56.3%，它们的供区覆盖了远端的全部掌指，如能修复这4支动脉，将可恢复正常供血量的一半以上。如果这些动脉因故不能吻接，则第1指总动脉、示指桡侧动脉和小指尺侧动脉可以作为次选血管，因为它们的截面积之和占动脉主支总截面积的26.8%，承担了远端1/4以上的供血量。

掌指区段：指总动脉已分为指固有动脉，除中指外，各指两侧固有动脉管径差异较大，由截面积推算，拇指尺侧动脉为其桡侧动脉的1.8倍，示指尺侧动脉和环指桡侧

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

动脉均各为其相对支的1.7倍，小指桡侧动脉为其尺侧动脉的2倍，均占主导地位。此部断掌，若伤及指总动脉，只要修复第Ⅱ、Ⅳ指蹼的指总动脉，就相当于各指均有1条指固有动脉被接通；若伤及指固有动脉，则应首先考虑修复供血优势侧的动脉，即拇、示两指的尺侧动脉和环、小两指的桡侧动脉。

参 考 文 献

1. Rakic P. Computer-aided three-dimensional reconstruction and quantitative analysis of cells from serial electron microscopic montages of foetal monkey brain. Nature 1974; 250:31
2. Ameil M, et al. Computerized reconstruction of an anatomical structure based on digitized sections. Anat Clin 1984; 5:261
3. 左焕琛。电子计算机三维重建用于手解剖研究的初步探讨。解剖学杂志 1986; 9(4):237
4. Coleman SS and Anson BJ. Arterial patterns in the hand based upon a study of 650 specimens. Surg Gyne Obst 1961; 113(4):409
5. Libersa Cl, et al. The arterial study to the palm of the hand (arteriae palmae manus). Anat Clin 1982; 4:33
6. Jelicic N, et al. Arcus palmaris superficialis. Acta anat 1988;132:187
7. Ikeda A, et al. Arterial patterns in the hand based on a three-dimensional analysis of 220 cadaver hands J Hand Surg 1988; 13A(4):501
8. 王振维、刘正津。手掌部动脉的构筑。解剖学报 1988; 19(3):232
9. 张福炎，等。微型计算机IBM PC的原理与应用。第1版。南京：南京大学出版社，1984：506～516

（收稿：1989.5；修回1989；8）

Micro-computerized Three-dimensional Reconstruction of the Palmar Arteries and Its Clinical Significance

Zhang Shaoxiang, et al. (Department of Anatomy, Third Military Medical College)

30 adult upper extremity specimens are used to study the arteries of the hand by angiography, cross-sectional dissection and three-dimentional reconstruction with a microcomputer. The arterial skeleton of the palm is composed of superficial, deep and dorsal planes. There are 3 main anastomotic pathways between the radial and ulnar arteries or their branches in the radio-ulnar direction, while in the palmar dorsal direction there are 3 anastomotic zones between the palmar and dorsal arterial planes. The branches of the deep palmar arch radiate distally, proximally, palmarly and dorsally. So the palmar arch acts as the center of the arterial network of the hand. The transverse arterial allocations in the carpo-metacarpal segment of the palm are 4 in types, but in the midpalmar and metacarpo-phalangeal segments are 3 only. According to the sources, cross section area, irrigation territories and anastomoses of the arteries in each segment, the clinical significance in the replantation of the amputated palms is discussed.

Key words: Hand/BS; Arteries/AH; Computers/IS; Micro-computerized three dimensional reconstruction; Replantation of the palm

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net