

文章编号:1004-7220(2017)03-0284-04

拇指腕掌关节韧带的解剖力学分析及临床意义

李建峰¹, 肖焕波², 李海雷¹, 刘井达¹, 赵亮¹, 李大村¹

(1. 北京市顺义区医院 上肢外科, 北京 101300; 2. 首都医科大学 燕京医学院, 卫生统计学教研室, 北京 101300)

摘要: **目的** 研究拇指腕掌关节背桡韧带及前斜韧带的解剖学及生物力学特点, 测量其弹性模量及延伸率, 为伤病时韧带修复提供参考。 **方法** 解剖成人男性尸体 40 例新鲜手标本, 制做成大多角骨-韧带-第 1 掌骨标本, 20 例保留背桡韧带, 20 例保留前斜韧带, 在生物力学机上测试, 测量和计算背桡韧带及前斜韧带的长、宽、厚、最大载荷、弹性模量、延伸率。 **结果** 背桡韧带、前斜韧带的最大载荷分别为 (213.5 ± 72.4) 、 (168.7 ± 35.2) N, 弹性模量分别为 (17.2 ± 6.7) 、 (9.3 ± 2.5) MPa, 延伸率分别为 $(116.2 \pm 21.3)\%$ 、 $(92.7 \pm 22.4)\%$ 。背桡韧带的最大载荷、弹性模量及延伸率均大于前斜韧带。 **结论** 拇指腕掌关节囊内韧带中, 背桡韧带刚度较大, 韧性较强, 对维持关节稳定性起重要作用。前斜韧带刚度较小, 韧性较差, 韧带退变时容易损伤。拇指腕掌关节炎应该首选重建前斜韧带, 且应选用弹性模量及延伸率接近背桡韧带的材料为佳。

关键词: 拇指; 腕掌关节; 韧带; 解剖; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2017.03.013

Analysis on anatomy and biomechanics of ligaments in carpometacarpal joints of the thumb and its clinical significance

LI Jian-feng¹, XIAO Huan-bo², LI Hai-lei¹, LIU Jing-da¹, ZHAO Liang¹, LI Da-cun¹

(1. Department of Upper Extremity Surgery, Beijing Shunyi District Hospital, Beijing 101300, China;

2. Department of Health Statistics, Yanjing Medical School, Capital Medical University, Beijing 101300, China)

Abstract: Objective To study the anatomic and biomechanical characteristics of the dorsal radial ligament and anterior oblique ligament in carpometacarpal (CPC) joints of the thumb, so as to provide references for ligament repair. **Methods** Forty fresh hand specimens of adult male cadavers were dissected to make specimen of trapezium bone-ligament-the first metacarpal bone, of which 20 cases retained the dorsal radial ligament and 20 cases retained the anterior oblique ligament, respectively. The ligaments were tested on biomechanical testing machine, and their length, width, thickness, the maximum load, elastic modulus and elongation rate were measured and calculated. **Results** For the dorsal radial ligament and anterior oblique ligament, their maximum load was (213.5 ± 72.4) and (168.7 ± 35.2) N, their elastic modulus was (17.2 ± 6.7) and (9.3 ± 2.5) MPa, their elongation rate was $(116.2 \pm 21.3)\%$ and $(92.7 \pm 22.4)\%$, respectively. The maximum load, elastic modulus and elongation of the dorsal radial ligament were larger than those of the anterior oblique ligament. **Conclusions** For the capsular ligament in CPC joints of the thumb, the dorsal radial ligament has a higher stiffness and stronger toughness, which plays an important role in maintaining stability of the joint. The anterior oblique ligament is easy to be damaged due to its smaller stiffness and poor toughness. The anterior oblique ligament is suggested to be reconstructed firstly to treat arthritis of CMC joints, and materials whose elastic modulus and elongation rate are similar with the dorsal radial ligament should be selected.

Key words: Thumb; Carpometacarpal (CMC) joint; Ligament; Anatomy; Biomechanics

收稿日期:2016-06-01; 修回日期:2016-07-18

基金项目:北京市科委 2015 年首都临床特色应用研究 (Z151100004015053)。

通信作者:李建峰,副主任医师, E-mail:lj1975@163.com。

拇指腕掌(carpometacarpal, CMC)关节是骨关节炎的好发部位,多见于中老年人。CMC 关节囊薄而松弛,周围有韧带加强。现有研究表明,背桡韧带和前斜韧带是关节囊韧带中较为重要的韧带。从形态学上看,背桡韧带较厚,但较前斜韧带为窄;而前斜韧带虽然较宽,但较背桡韧带为薄,两者对 CMC 关节的稳定作用,尚无统一认识^[1-2]。本文对 CMC 关节前斜韧带和背桡韧带进行体外力学测试,比较两种韧带的最大载荷、弹性模量、延伸率,并进一步分析两种韧带的刚度与塑性。

1 材料与方法

1.1 实验材料

40 例新鲜冷冻成人男性尸体手标本,随机分成两组,每组 20 例,每例标本均不存在解剖变异,不考虑性别、年龄及优势手的差别。

1.2 实验方法

1.2.1 解剖标本 实验前 8 h,将尸体手标本从冰箱中取出,于室温下解冻复温。解剖各手标本,做成大多角骨-韧带-第 1 掌骨标本。第 1 组(20 例)保留前斜韧带,第 2 组(20 例)保留背桡韧带。

1.2.2 计算韧带横截面积 用游标卡尺(精确度:20 μm)测量 CMC 关节中立位时前斜韧带、背桡韧带的长度、宽度及韧带中点的厚度,宽 \times 厚即为韧带标本的横截面积。

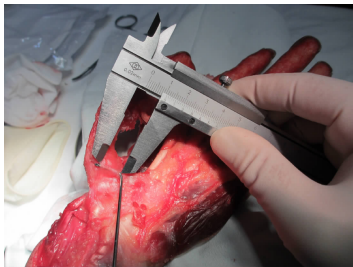


图 1 前斜韧带测量
Fig.1 Measurement of the anterior oblique ligament

1.2.3 生物力学测试 电子拉伸试验机(AGS-X5KN 型,日本岛津公司)由北京积水潭医院手外科实验室提供(见图 2)。生物力学机两夹具分别夹持大多角骨及第 1 掌骨,每个标本进行测试前先给予 3 次加载速度 1 mm/min 的 0~80 N 的加、卸载预处理,每次间隔 3 min,以消除标本模型的松弛效

应、肌肉黏弹性影响,从而提高数据的可靠性和可重复性^[3]。预处理后生物力学机清零,自 -5 N 开始拉伸试验,加载速度为 2 mm/min,直到韧带断裂。

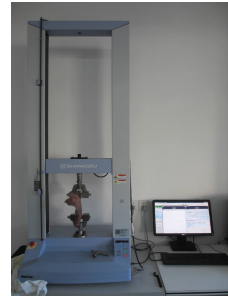


图 2 生物力学机及标本
Fig.2 Biomechanics machine and hand specimen

1.2.4 数据采集 最大载荷,即断裂点载荷,由生物力学机自动记录;韧带弹性阶段的弹性模量,由生物力学机自动分析计算结果;韧带延伸率,0~断裂点的行程,由生物力学机自动记录,(行程/中立位长度) $\times 100\%$ 即为延伸率(见图 3)。

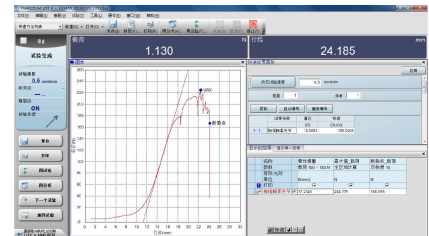


图 3 测量数据截图
Fig.3 Screenshots of the measured data

1.3 统计学处理

采用 SPSS 17.0 统计软件进行数据处理。韧带的最大载荷(N)、弹性模量(MPa)、延伸率(%)均采用均数 \pm 标准差表示。两组韧带数据的比较采用 *t* 检验, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

背桡韧带、前斜韧带的最大载荷分别为(213.5 \pm 72.4)、(168.7 \pm 35.2) N,弹性模量分别为(17.2 \pm 6.7)、(9.3 \pm 2.5) MPa,延伸率分别为(116.2 \pm 21.3)%、(92.7 \pm 22.4)%。两组韧带比较,背桡韧带的最大载荷、弹性模量及延伸率均大于前斜韧带(见表 1)。

表1 韧带测量数据及统计学分析($n=20$)

Tab. 1 Measurement data and statistical analysis of the ligament

韧带	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm	截面积/mm ²	最大载荷/N	弹性模量/MPa	延伸率/%
前斜	11.27 ± 1.69	9.33 ± 1.09	1.14 ± 0.17	11.05 ± 2.43	168.7 ± 35.2	9.3 ± 2.5	92.7 ± 22.4
背桡	10.65 ± 1.30	8.35 ± 0.92	2.08 ± 0.27	20.63 ± 2.86	213.5 ± 72.4	17.2 ± 6.7	116.2 ± 21.3
<i>t</i>	—	—	—	6.247	4.611	5.552	4.632
<i>P</i>	—	—	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

3 讨论

CMC 关节炎多发与其鞍状关节的特殊形态、应力集中及松弛的韧带连接有关^[4]。CMC 关节周围的韧带既要维持关节的稳定性又要维持其灵活性,各韧带在关节稳定中的作用在文献报道中尚不一致^[5-7],临床上也有不同的韧带重建方式^[8-10]。但总体来说,韧带的稳定性与韧带的刚度及延伸率有关。

3.1 CMC 关节囊内韧带弹性模量及其意义

刚度指材料或结构在受力时抵抗弹性变形的能力,通常用弹性模量来衡量^[11]。在拉伸试验中,背桡韧带及前斜韧带载荷-位移表现为曲线,在拉伸进入弹性阶段后基本表现为直线。在弹性阶段,直线的斜率即为韧带的弹性模量。在拉伸试验的弹性阶段,背桡韧带的斜率明显比前斜韧带大,相同载荷条件下前斜韧带的拉伸距离较大,前斜韧带更容易断裂。

从微观角度来说,材料弹性模量大小与组成物质的原子或分子间键合强度有关。而对于韧带的弹性模量,主要取决于韧带的基本物质比例和纤维束的排列方式。韧带的基本物质是胶原纤维、弹性纤维和基质。韧带内弹性纤维含量较多,纤维成束排列,纤维束的方向与韧带的受力方向有一定角度,在松弛状态下,纤维束成波浪状;受到牵拉时,与受力方向一致的纤维束首先被完全拉直,与受力方向不一致的纤维束则不被拉直^[12]。背桡韧带中弹力纤维含量高,且纤维束排列紧密,故背桡韧带被牵拉时抗变形能力强,不容易断裂。在 CMC 关节炎韧带重建时,对于重建材料的选择,应选用弹性模量接近或大于背桡韧带的材料,弹性模量较小的材料容易引起腕掌关节的再次脱位。

3.2 CMC 关节囊内韧带延伸率及其意义

韧带的延伸率指韧带拉伸断裂后标距段总变形与韧带原长的比率,是描述韧带塑性性能的指

标^[12]。延伸率越大,韧带的弹性越好,越不容易断裂。延伸率越小,脆性越大,受到外力后越容易断裂。背桡韧带的延伸率与前斜韧带相比,差异性明显,说明背桡韧带塑性较好,同样的载荷下不容易断裂。因此,背桡韧带对于稳定关节起主要作用。另一方面,前斜韧带和背桡韧带延伸率均较大,说明 CMC 关节韧带总体来说较为松弛,受到外力或劳损积累后容易引起变形,尤其是前斜韧带更容易损伤,导致第 1 掌骨基底关节面向背侧移位,产生异常剪力,导致骨关节炎的发生。文献[13]报道了 CMC 关节疼痛性关节炎标本中,前斜韧带首先松弛萎缩,病变后期才出现背桡韧带松弛,该研究结果与本文研究结果相一致。因此,在韧带重建时,应首先考虑重建较为薄弱的前斜韧带。

3.3 韧带松弛与骨关节炎

大多角骨位于舟骨和第 1 掌骨之间,桡侧缺少骨性支持,不断承受轴向负荷和背桡侧移位的张力负荷,韧带容易疲劳损伤。在拇指拿、捏、持物用力过程中,拇指处于屈曲 1 内收位,关节面的接触区域首先是掌侧份,而掌侧的前斜韧带薄而松弛、且延伸率比较小,这种应力集中首先造成前斜韧带松弛断裂^[13],进而关节面的接触区域后移,剪力增大引起关节软骨磨损、萎缩。在临床手术中也发现,CMC 关节炎患者软骨萎缩首先出现在关节面掌侧份靠近掌侧韧带的区域,病变进一步发展,软骨萎缩向关节面的背侧方向扩大,从而导致骨关节炎的发生。因此,前斜韧带松弛是引起 CMC 关节炎的主要原因。

综上所述,背桡韧带弹性模量及延伸率均较前斜韧带大,说明背桡韧带强度及韧性均较前斜韧带好,在拇指腕掌关节稳定中起主要作用。相比之下,前斜韧带在外伤及劳损后容易损伤,拇指腕掌关节炎应首选重建较为松弛的前斜韧带,且应选用弹性模量及延伸率接近背桡韧带的材料为佳。

参考文献:

- [1] EATON RG, LITTLER JM. Ligament reconstruction for the painful thumb carpometacarpal joint [J]. *Clin Orthop Related Res*, 1987, 220: 52.
- [2] NANNO M, BUFORD WL JR, PATTERSON RM, *et al.* Three-dimensional analysis of the ligamentous attachments of the first carpometacarpal joint [J]. *J Hand Surg Am*, 2006, 31(7): 1160-1170.
- [3] 朴成东, 李鹏, 马洪顺. 膝关节前交叉韧带与内侧副韧带粘滞性试验研究[J]. *医用生物力学*, 2007, 22(1): 64-67.
- PIAO CD, LI P, MA HS. Experiment study on viscoelasticity of anterior cruciate ligament and medial collateral ligament of knee joint [J]. *J Med Biomech*, 2007, 22(1): 64-67.
- [4] 史其林, 桥诘博行, 井上一, 等. 利用有限元素法研究拇指腕掌关节变形性关节炎病的发病原因[J]. *中华手外科杂志*, 1996, 12(3): 167-169.
- [5] BAR H, EROL B, TETIK C. Ligament reconstruction and tendon interposition arthroplasty of the trapeziometacarpal joint with the use of the full thickness of the flexor carpi radialis tendon [J]. *Chirurgie de la Main*, 2012, 31(6): 331-336.
- [6] 沈其孝, 陈振兵, 翁雨雄, 等. 大多角骨切除加桡侧腕屈肌悬吊治疗退行性第一腕掌关节炎[J]. *中华手外科杂志*, 2010, 26(2): 71-73.
- [7] IMAEDA T, KAI NA, COONEY WP, *et al.* Anatomy of trapeziometacarpal ligaments [J]. *J Hand Surg*, 1993, 18(2): 226-231.
- [8] 潘承波, 郝光东. 改良三韧带重建治疗第一腕掌关节习惯性半脱位[J]. *中华手外科杂志*, 2015, 31(5): 387-389.
- [9] 杨勇, 田惠元, 陈山林, 等. 大多角骨切除对腕关节稳定性影响的研究[J]. *中华手外科杂志*, 2014, 30(4): 256-258.
- [10] ELFA JC, BURTON RI. Ligament reconstruction and tendon interposition for thumb basal arthritis [J]. *Hand Clin*, 2013, 29(1): 15-25.
- [11] 毛锋, 郭海洋, 程倩, 等. 材料匹配与人工髋关节接触性能分析[J]. *医用生物力学*, 2014, 29(1): 38-45.
- MAO F, GUO HY, CHENG Q, *et al.* Contact mechanics performance of hip joint replacements with different material combinations [J]. *J Med Biomech*, 2014, 29(1): 38-45.
- [12] 汤亭亭, 裴国献, 李旭. 骨科生物力学暨力学生物学[M]. 3版. 济南: 山东科学技术出版社, 2009: 162.
- [13] 田青业, 刘正津, 周军海. 拇指腕掌关节韧带的力学特性及其意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2002, 20(1): 68-70.
- [8] SOLTZ MA, ATESHIAN GA. Experimental verification and theoretical prediction of cartilage interstitial fluid pressurization at an impermeable contact interface in confined compression [J]. *J Biomech*, 1998, 31(10): 927-934.
- [9] DISILVESTRO MR, ZHU Q, WONG M, *et al.* Biphasic poroviscoelastic simulation of the unconfined compression of articular cartilage. I. Simultaneous prediction of reaction force and lateral displacement [J]. *J Biomech Eng*, 2001, 123(2): 191-197.
- [10] DISILVESTRO MR, SUH JK. A cross-validation of the biphasic poroviscoelastic model of articular cartilage in unconfined compression, indentation, and confined compression [J]. *J Biomech*, 2001, 34(4): 519-525.
- [11] CAI LX, LUO HF, GAO Q, *et al.* Uniaxial ratcheting-evoluted model based on unitary stress for T225NG titanium alloy [J]. *Nucl Power Eng*, 2002, 23(4): 12-16.
- [12] ZHANG Z, CHEN X, WANG T. A simple constitutive model for cyclic compressive ratcheting deformation of polytetrafluoroethylene (PTFE) with stress rate effects [J]. *Polym Eng Sci*, 2008, 48(1): 29-36.
- [13] HASSAN T, KYRIAKIDES S. Ratcheting in cyclic plasticity, part: Uniaxial behavior [J]. *Int J Plasticity*, 1992, 8(1): 91-116.
- [14] YAGUCHI M, TAKAHASHI Y. Ratcheting of viscoplastic material with cyclic softening, part I: Experiments on modified 9Cr1Mo steel [J]. *Int J Plasticity*, 2005, 21(1): 43-65.
- [15] LIN YC, CHEN XM, CHEN G. Uniaxial ratcheting and low-cycle fatigue failure behaviors of AZ91D magnesium alloy under cyclic tension deformation [J]. *J. Alloys Compd*, 2011, 509(24): 6838-6843.
- [16] 杨显杰, 高庆, 蔡力勋, 等. 316L 不锈钢的单轴棘轮效应[J]. *航空学报*, 1997, 18(4): 395-400.
- [17] ZHANG Z, CHEN X, WANG Y. Uniaxial ratcheting behavior of polytetrafluoroethylene at elevated temperature [J]. *Polym Test*, 2010, 29(3): 352-357.
- [18] GAO LL, QIN XY, ZHANG CQ, *et al.* Ratcheting behavior of articular cartilage under cyclic unconfined compression [J]. *Mater Sci and Eng C*, 2015, 57: 371-7.

(上接第 279 页)