

· 论著 ·



全文二维码

婴幼儿股骨头微循环的超微血管成像特征及临床意义

林立军¹ 伍兴² 夏敬冬² 王思² 王腾² 胡平波¹ 沈先涛²¹ 江汉大学医学部, 武汉 430056; ² 武汉儿童医院骨科, 武汉 430014

通信作者: 沈先涛, Email: xiantaoshen9815@aliyun.com

【摘要】 目的 探索超微血管成像评估婴幼儿股骨头血运的可行性及其图像特征。 **方法** 本研究为回顾性研究, 选取 2023 年 4 月在武汉儿童医院骨科行健康筛查的 18 例婴儿(男 11 例、女 7 例)作为研究对象, 日龄(51.1 ± 38.7)d, 均在安静状态下行髋关节超声检查。从髋关节外侧横切面与纵切面两个方向上进行检查, 先使用灰度超声观察股骨头的解剖特点, 然后采用超微血管成像显示股骨头内血流情况, 测量血管收缩期峰值血流速度。 **结果** 18 例婴儿股骨头横切面灰度超声图像均可见明显交替低回声与条纹回声, 条纹向股骨头中心汇聚, 纵切面灰度超声图像上可见股骨头与大转子中的点状或条纹回声。在股骨头的超微血管成像图中, 均可显示股骨头内血流, 横切面上观察到血流向骨化中心汇聚; 在纵切面上观察到股骨头血供主要有两个来源: 一处来自股骨干骺端, 穿越骺板, 垂直于骺板走行在股骨头内; 另一处来自旋股内侧动脉后上支, 其分支略平行于骺板走行在股骨头内。除 1 例婴儿检查时受到杂波干扰外, 余 17 例婴儿均可测得旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度, 为(10.9 ± 4.3)cm/s。比较男性、女性之间旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度, 差异无统计学意义[(10.63 ± 4.56)cm/s 比 (11.21 ± 4.17)cm/s, $P=0.791$]。旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度与体重呈显著正相关($r=0.531, P=0.028$)、与日龄呈显著正相关($r=0.775, P<0.001$)。进行线性回归分析, 旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度与日龄、体重的线性拟合程度均较高[旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度(cm/s) = $6.279 + 0.100 \times \text{日龄(d)}$, $R^2=0.600, P<0.01$]; 旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度(cm/s) = $5.215 + 1.704 \times \text{体重(kg)}$, $R^2=0.282, P<0.05$]。 **结论** 本研究初步证明了超微血管成像技术可用于评估婴幼儿股骨头的血运。

【关键词】 股骨头血运; 超微血管成像; 外科手术; 儿童**【基金项目】** 湖北省重点研发计划项目(2021BCA140); 湖北省自然科学基金项目(2022CFB460)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202403008-009

Superb microvascular imaging characteristics and clinical significance of femoral head microcirculation in infants

Lin Lijun¹, Wu Xing², Xia Jingdong², Wang Si², Wang Teng², Hu Pingbo¹, Shen Xiantao²¹ School of Medicine, Jianghan University, Wuhan 430056, China; ² Department of Orthopedics, Municipal Children's Hospital, Wuhan 430014, China

Corresponding author: Shen Xiantao, Email: xiantaoshen9815@aliyun.com

【Abstract】 Objective To explore the feasibility and image characteristics of superb microvascular imaging (SMI) for assessing femoral head blood flow in infants and toddlers. **Methods** There were 11 boys and 7 girls with an age range of (51.1 ± 38.7) day. In April 2023, anatomical characteristics of femoral head were observed by gray-scale ultrasonography in a quiet state. And SMI was utilized for measuring peak systolic blood flow velocity of vessels. **Results** Alternating hypoechogenicity and striated echogenicity appeared on gray-scale ultrasonic images of transverse section of femoral head. There was converging to the center of femoral head. Punctate or striated echoes in femoral head and greater trochanter were noted on longitudinal scans. Blood flow in femoral head converged to ossification center on transverse scan. Blood supply to femoral head on longitudinal scan came from two major sources: one from femoral metaphysis, crossing physeal plate, running perpendicular to physeal plate in femoral head; and the other from posterosuperior branch of pinning medial femoral artery with branches slightly

parallel to physal plate in femoral head. Peak systolic velocity of posterosuperior branch of medial femoral artery was (10.9 ± 4.3) cm/s in 17 infants except one case was disturbed by clutter during examination. No significant difference existed in peak systolic blood flow velocity between males and females in posterosuperior branch of medial circumflex femoral (MCF) artery ($P=0.791$). Peak systolic velocity of posterosuperior branch of MCF artery was significantly correlated positively with body weight ($r=0.531, P=0.028$) and age ($r=0.775, P<0.001$). Linear regression analysis was performed, and peak systolic blood flow velocity of posterior superior branch of MCF artery was linearly fitted with age and body weight [peak systolic blood flow velocity of posterior superior branch of MCF artery (cm/s) = $6.279 + 0.100 \times \text{age (days)}$, $R^2=0.600, P<0.01$]; peak systolic blood flow velocity of posterior superior branch of MCF artery (cm/s) = $5.215 + 1.704 \times \text{body weight (kg)}$, $R^2=0.282, P<0.05$].

Conclusions SMI may be employed for assessing blood supply to femoral head in infants and toddlers.

【Key words】 Femoral Head Haemodynamics; Superb Microvascular Imaging; Surgical Procedures, Operative; Child

【Fund program】 Hubei Provincial Key Research & Development Project (2021BCA140); Hubei Provincial Natural Science Foundation Project (2022CFB460)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202403008-009

股骨头缺血性坏死 (avascular necrosis, AVN) 是发育性髋关节发育不良 (developmental dysplasia of the hip, DDH) 治疗过程中的严重并发症, 文献报道其发病率为 5%~48%^[1]。AVN 治疗时间长、难度大, 会对患儿及其家属造成极大的心理和经济负担。且 AVN 会影响股骨头的生长和发育, 从而遗留各种畸形, 导致骨关节炎引起髋关节疼痛和功能障碍, 最终可能需要全髋关节置换^[2-4]。因此在临床中, 能够在髋关节复位后早期发现 AVN 并指导治疗具有重要意义。目前临床上有学者使用增强 MRI 来评估股骨头血运, 预测 AVN 的发生^[5-8]。但是增强 MRI 在婴幼儿中应用需要镇静, 花费较大, 且不能实时指导骨科医师进行支具调整。因此, 临床上需要一种简便、能够在术中应用以及实时观察婴幼儿股骨头血运的检查方法。超微血管成像 (superb microvascular imaging, SMI) 是一种新型的多普勒超声成像技术, 近年来国内外有学者开始将其应用到儿童泌尿系统、消化系统疾病的检查中^[9-13]。国内尚无学者使用 SMI 评估婴儿的股骨头血运情况, 本研究旨在初步探索超微血管成像评估婴幼儿股骨头血运的可行性及其图像特征。

资料与方法

一、一般资料

本研究为回顾性研究, 选取 2023 年 4 月在武汉儿童医院骨科接受健康筛查的 18 例婴儿作为研究对象, 男 11 例、女 7 例, 日龄 (51.1 ± 38.7) d。病例纳入标准: 6 月龄以内的婴儿。排除标准: ①髋关

节局部炎症、创伤; ②血流动力学不稳定; ③神经肌肉系统疾病。超声检查在婴儿安静状态下进行, 不进行镇静或麻醉。本研究获得武汉儿童医院伦理委员会的批准 (2023R002-F02), 婴儿家属均对本研究知情并签署知情同意书。

二、仪器与方法

采用 GE 超声仪 (Logiq Fortis R3, GE Healthcare, 中国无锡), 3~12 MHz 超声探头 (L3-12-D, GE Healthcare, 中国无锡) 进行超声检查, 2~9 MHz 超声探头 (L2-9-D, GE Healthcare, 中国无锡)。检查期间保持婴儿侧卧位, 屈膝、髋关节屈曲 30°~60°, 从髋关节外侧进行检查, 在超声图像上取与髌板平行的平面作为横切面, 与髌板垂直的平面作为纵切面, 选取直径最大的横切面作为横切面参考平面; 从髋关节后外侧寻找旋股内侧动脉后上支, 选取能完整显示旋股内侧动脉后上支及其在股骨头内分支的纵切面作为纵切面的参考平面。具体步骤: ①常规使用灰度超声检查髋关节, 在髋关节外侧, 从横切面和纵切面观察股骨头的灰度超声图像特征; ②使用 SMI, 在髋关节外侧检查, 在横切面和纵切面观察股骨头的血流特征; ③从髋关节外侧, 在纵切面使用 SMI 寻找旋股内侧动脉 (medial circumflex artery, MCA) 后上支 (posterosuperior, PS) 及其在股骨头内的分支, 计数分支血管的条数, 测量 MCA 的 PS 进入股骨头后主干的收缩期峰值血流速度。

三、统计学处理

使用 SPSS 26.0 进行统计学处理。服从正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 采用两独立样本 t 检验比较

MCA PS 收缩期峰值血流速度在不同性别受试者之间的差异性,采用 *Pearson* 相关分析旋股内侧动脉收缩期峰值血流速度与日龄、体重的相关性,采用线性回归对呈显著相关的资料进行回归分析。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

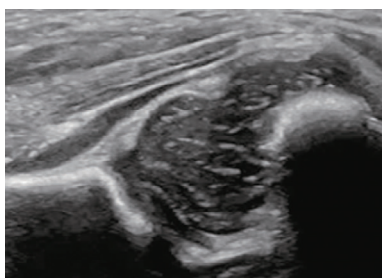
股骨头的横切面灰度超声图像上可见明显交替低回声与条纹回声,条纹向股骨头中心汇聚(图1);纵切面灰度超声图像上可见股骨头与大转子中的点状或条纹回声(图2)。



注 男,1 日龄,股骨头横切面的灰度超声图像可见条纹状回声向股骨头中心汇聚,点状回声散在分布

图1 婴儿股骨头横切面的灰度超声图像

Fig.1 Gray-scale ultrasonic images of transverse and longitudinal scan of infantile femoral head



注 男,24 日龄,股骨头纵切面灰度超声图像可见股骨头与大转子中存在点状和条形状回声

图2 婴儿股骨头纵切面的灰度超声图像

Fig.2 Gray-scale ultrasonic image of longitudinal scan of infantile femoral head

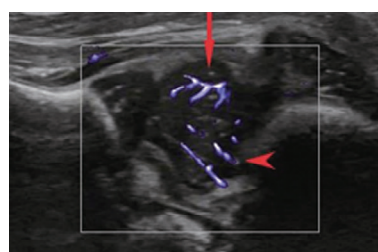
所有婴儿在超微血管成像下可观察到股骨头内的血流。在横切面上,18 例均观察到股骨头内的血流向骨化中心汇聚(图3)。纵切面上,18 例均观察到股骨头的血供主要有两处来源:一处来自 MCA PS,自外侧在股骨头与大转子交界处进入股骨头,其在股骨头内的分支略平行于髌板走行在股骨头内;另一处自干髌端,穿越髌板进入股骨头,垂直于髌板走行在股骨头内(图4)。



注 女,22 日龄,股骨头横切面的超微血管图像,血流向骨化中心(红色箭头)汇聚

图3 婴儿股骨头横切面的超微血管成像图像

Fig.3 Superb microvascular imaging images of transverse scan of infantile femoral head

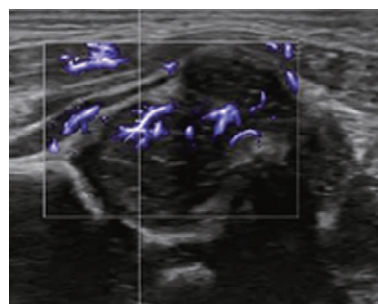


注 女,22 日龄,股骨头纵切面超微血管成像图像。旋股内侧动脉后上支(长箭头)自外侧进入股骨头,有3条分支;穿越髌板进入股骨头的血管(短箭头)

图4 婴儿股骨头纵切面的超微血管成像图像

Fig.4 SMI images of longitudinal scan of infantile femoral head

超微血管成像模式下观察到 MCA PS 自股骨头外侧进入股骨头,在股骨头内的分支为 3~5 条,6 例有 3 条分支、6 例 4 条分支、3 例 5 条分支,3 例婴儿因为杂波的影响未能获得清晰计数。共测得 17 例婴儿的 MCA PS 收缩期峰值血流速度,1 例测量时存在较多杂波干扰,未能测得 MCA PS 收缩期峰值血流速度。测量 MCA PS 在股骨头内主干的收缩期峰值血流速度(图5),该血管收缩期峰值血流速度为 $(10.9 \pm 4.3) \text{ cm/s}$ 。



注 男,24 日龄,测量旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度为 11.5 cm/s

图5 婴儿旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度的超微血管成像测量示意图

Fig.5 Schematic diagram for measuring peak systolic velocity of posterior superior branch of MCA artery in infants

旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度在男性 $[(10.63 \pm 4.56) \text{ cm/s}]$ 、女性 $[(11.21 \pm 4.17) \text{ cm/s}]$ 之间的差异不具有统计学意义($P > 0.05$)。Pearson 相关性分析结果显示,旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度与日龄呈显著正相关($r = 0.775, P < 0.05$)、与体重呈显著正相关($r = 0.531, P < 0.05$)。对日龄与旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度进行线性回归分析,线性回归方程为:MCA PS 收缩期峰值血流速度(cm/s) $= 6.279 + 0.100 \times \text{日龄}(\text{d})$ ($R^2 = 0.600, P < 0.01$),见图 6。对体重与旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度进行线性回归分析,线性回归方程为:MCA PS 收缩期峰值血流速度(cm/s) $= 5.215 + 1.704 \times \text{体重}(\text{kg})$ ($R^2 = 0.282, P < 0.05$),见图 7。

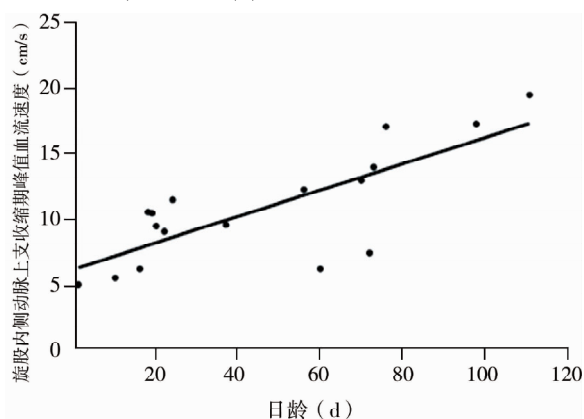


图 6 17 例婴儿旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度与日龄的线性回归分析图

Fig. 6 Linear regression analysis of MCA peak systolic blood flow velocity versus day age in 17 infants

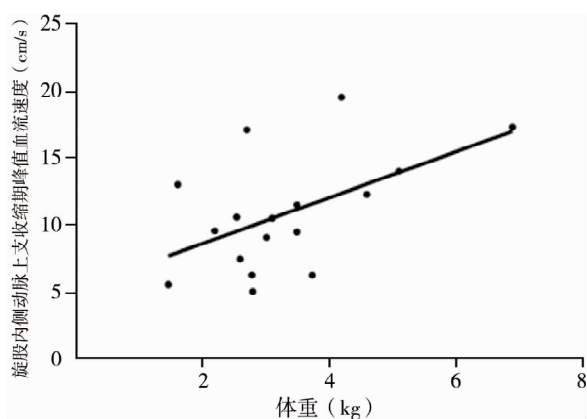


图 7 17 例婴儿旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度与体重的线性回归分析图

Fig. 7 Linear regression analysis of MCA peak systolic blood flow velocity versus body weight in 17 infants

讨 论

超声作为一种简单、无创、无辐射的检查手段,

在儿科中得到了广泛应用。自 20 世纪 80 年代开始,就有学者推荐将超声用于儿童髋关节的检查中,尤其是 DDH 的诊断、治疗及评估^[14-16]。随着超声技术的发展, Schwartz 等^[17]和 Barnecroft 等^[18]的研究证实了多普勒超声可用于评估婴儿股骨头低流速血管。随后又有学者将婴儿股骨头的多普勒超声成像与冰冻切片、血管造影结果进行比较,证明多普勒超声评估股骨头血运的可靠性^[19]。超微血管成像与彩色多普勒、能量多普勒相比,采用独特的自适应算法识别,并消除组织运动带来的杂波,具有高分辨率和高帧率的优点,可用于显示小血管^[20-22]。

本研究中,在灰度超声图像上股骨头与大转子内的软骨管呈现点状与条纹回声,这与 Yousefzadeh 等^[19]观察到的股骨头冰冻切片结果相同。对比股骨头的灰阶图像与超微血管成像图像发现,血管走行与软骨管走行一致,说明股骨头内的动脉位于软骨管中,这与刘永轶等^[23]的组织学研究结果相符。Trueta^[24]发现在出生后至 4 月龄,股骨头的血供主要来源于旋股内侧动脉的后上支与穿越髌板而来的血管,我们在纵切面观察到的股骨头超微血管成像特点也说明了这一点。随着生长发育,在 4 岁左右时,穿越髌板而来的血管会逐渐减少,旋股内侧动脉后上支对于股骨头的血供逐渐起到主要作用^[24]。本研究主要观察的是旋股内侧动脉后上支,我们将在后续研究中继续观察穿越髌板至股骨头的血管特征。Yousefzadeh 等^[25]使用多普勒超声观察到在胎儿 11 周龄以前,旋股内侧动脉后上支收缩期峰值血流速度随日龄的增长而增加,与本研究结果一致。

最新的文献报道认为,增强 MRI 是用来评估股骨头血运的最佳方法。有学者通过对仔猪模型、婴幼儿和儿童进行研究指出,增强 MRI 可显示骨髓血管,并可以区分髌板和骨髓软骨之间的增强^[18,26]。后有学者使用 DDH 闭合复位术后 24 h 内的增强 MRI 来评估 DDH 复位后的股骨头血运,早期预测 AVN^[5-8]。Nguyen 等^[27]发现在 DDH 闭合复位术后 24 h 内增强 MRI 上显示缺血的股骨头,再次复查时股骨头的血运较前好转,提出术后 24 h 内的股骨头缺血可能是一过性的。因此,使用 DDH 闭合复位术后 24 h 内增强 MRI 预测 AVN 的准确性仍存在争议。

本研究初步证明了 SMI 可用于评估正常婴儿股骨头血运,通过正常股骨头超微血管成像的特

征、规律,有助于在股骨头病理状态下早期评估疾病对股骨头血运的影响,如 DDH 治疗后的股骨头坏死、化脓性髋关节炎、髋关节滑膜炎等。与增强 MRI 相比,SMI 具有成本低、操作简单、易于复查的优点,可以尝试将其应用到低龄 DDH 患儿治疗后的随访中,评估股骨头血运,早期发现股骨头缺血。

对于控制检查过程中产生的干扰,我们的经验是:①在婴儿安静或睡眠状态下进行检查;②根据日龄及体重选择不同频率的探头,在满足穿透的同时选择尽可能高的频率,本研究使用的是 3~12 MHz、2~9 MHz 的超声探头;③股骨头内的血液流速较慢,在超声检查过程中可个体化降低速度标尺、调整增益,达到降噪的目的,便于更清晰地显示股骨头血管。

虽然在本研究中 SMI 可以较好地评估婴儿股骨头血运,但也存在一定的局限性:①SMI 模式对超声设备的要求较高;②检查者需要对股骨头及其供血血管的解剖足够熟悉;③因本研究中病例数有限,仅对旋股内侧动脉后上支进行血流速度评估,并不能全面地评估股骨头的血运;④本研究未纳入病理状态下股骨头的 SMI 特征。在后续的研究中,需要进行如下方面的改进:第一,对操作者进行专业培训,扩大样本量,积累更多的婴儿股骨头 SMI 特征;第二,增加对病理状态下股骨头的研究,总结正常婴儿的股骨头与病理状态的股骨头在 SMI 中存在的差异。

总之,本研究初步证明了 SMI 技术评估婴儿股骨头血运的可行性。SMI 技术具有无创、无辐射、操作简单的特点,在评估婴儿股骨头血运方面应用前景广阔。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 沈先涛、林立军负责起草文章、研究设计与实施、数据的收集与分析;伍兴、夏敬冬对文章的内容进行审阅;王思、王腾、胡平波参与数据的收集与分析

参 考 文 献

- [1] 刘万林,孙亮,赵振群,等. 骨化核与发育性髋关节发育不良闭合复位后股骨头缺血坏死相关性的研究进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2023, 22(6): 584-587. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202010041-017.
- [2] Liu WL, Sun L, Zhao ZQ, et al. Research advances on the relationship of ossification nucleus with avascular necrosis of developmental hip dysplasia after closed reduction[J]. J Clin Ped Sur, 2023, 22(6): 584-587. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202010041-017.
- [3] Malvitz TA, Weinstein SL. Closed reduction for congenital dysplasia of the hip. Functional and radiographic results after an average of thirty years[J]. J Bone Joint Surg Am, 1994, 76(12): 1777-1792. DOI: 10. 2106/00004623-199412000-00004.
- [4] Brougham DI, Broughton NS, Cole WG, et al. Avascular necrosis following closed reduction of congenital dislocation of the hip. Review of influencing factors and long-term follow-up[J]. J Bone Joint Surg Br, 1990, 72(4): 557-562. DOI: 10. 1302/0301-620X. 72B4. 2380203.
- [5] 郝政, 蒋青. 发育性髋关节脱位治疗后并发股骨头坏死的研究现状及进展[J]. 中华小儿外科杂志, 2013, 34(4): 304-307. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2013. 04. 017.
- [6] Hao Z, Jiang Q. Current research status and advances of femoral head necrosis after a treatment of developmental hip dislocation[J]. Chin J Pediatr Surg, 2013, 34(4): 304-307. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2013. 04. 017.
- [7] Wu JP, Yuan Z, Li JC, et al. Does the vascular development of the femoral head correlate with the incidence of avascular necrosis of the proximal femoral epiphysis in children with developmental dysplasia of the hip treated by closed reduction? [J]. J Child Orthop, 2021, 15(4): 395-401. DOI: 10. 1302/1863-2548. 15. 210059.
- [8] Haruno LS, Kan JH, Rivlin MJ, et al. Spica MRI predictors for epiphyseal osteonecrosis after closed reduction treatment of dysplasia of the hip[J]. J Pediatr Orthop B, 2019, 28(5): 424-429. DOI: 10. 1097/BPB. 0000000000000606.
- [9] Tiderius C, Jaramillo D, Connolly S, et al. Post-closed reduction perfusion magnetic resonance imaging as a predictor of avascular necrosis in developmental hip dysplasia: a preliminary report[J]. J Pediatr Orthop, 2009, 29(1): 14-20. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e3181926c40.
- [10] Jaramillo D, Villegas-Medina O, Laor T, et al. Gadolinium-enhanced MR imaging of pediatric patients after reduction of dysplastic hips: assessment of femoral head position, factors impeding reduction, and femoral head ischemia[J]. AJR Am J Roentgenol, 1998, 170(6): 1633-1637. DOI: 10. 2214/ajr. 170. 6. 9609187.
- [11] 刘波, 沈鑫, 张雪梅, 等. 超微血管成像技术在儿童睾丸血流检测中的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2019, 29(9): 1539-1542.
- [12] Liu B, Shen X, Zhang XM, et al. Application value of superb microvascular imaging in evaluating testicular blood flow in children[J]. J Med Imaging, 2019, 29(9): 1539-1542.
- [13] Canning DA. Re: feasibility of superb microvascular imaging to detect high-grade vesicoureteral reflux in children with urinary tract infection[J]. J Urol, 2019, 201(2): 217. DOI: 10. 1097/01. JU. 0000553029. 35477. 3d.
- [14] Kim HK, O'Hara S, Je BK, et al. Feasibility of superb microvascular imaging to detect high-grade vesicoureteral reflux in children with urinary tract infection[J]. Eur Radiol, 2018, 28(1): 66-73. DOI: 10. 1007/s00330-017-4974-x.
- [15] Lee YS, Kim MJ, Han SW, et al. Superb microvascular imaging for the detection of parenchymal perfusion in normal and undescended testes in young children[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(3): 649-656. DOI: 10. 1016/j. ejrad. 2015. 12. 023.
- [16] Ohno Y, Fujimoto T, Shibata Y. A new era in diagnostic ultrasound, superb microvascular imaging: preliminary results in pediatric hepato-gastrointestinal disorders[J]. Eur J Pediatr Surg, 2017, 27(1): 20-25. DOI: 10. 1055/s-0036-1593381.
- [17] Youssefzadeh DK, Ramilo JL. Normal hip in children: correlation of US with anatomic and cryomicrotome sections[J]. Radiology, 1987, 165(3): 647-655. DOI: 10. 1148/radiology. 165. 3. 3317

- 497.
- [15] Graf R. The diagnosis of congenital hip-joint dislocation by the ultrasonic Comboud treatment [J]. Arch Orthop Trauma Surg (1978), 1980, 97(2): 117-133. DOI: 10. 1007/BF00450934.
- [16] 侯佩伺, 刘万林, 赵振群, 等. 髋关节超声筛查及筛查体系在婴幼儿发育性髋关节发育不良早期诊断中的应用进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2023, 22(5): 480-484. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202211058-015.
- Hou PS, Liu WL, Zhao ZQ, et al. Application of ultrasonic screening of hip joint and screening system in an early diagnosis of infantile developmental hip dysplasia[J]. J Clin Ped Sur, 2023, 22(5): 480-484. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202211058-015.
- [17] Schwartz DS, Keller MS, Fields JM, et al. Arterial waveforms in the femoral heads of healthy neonates[J]. AJR Am J Roentgenol, 1998, 170(2): 465-466. DOI: 10. 2214/ajr. 170. 2. 9456965.
- [18] Barnewolt CE, Shapiro F, Jaramillo D. Normal gadolinium-enhanced MR images of the developing appendicular skeleton: Part I. Cartilaginous epiphysis and physis[J]. AJR Am J Roentgenol, 1997, 169(1): 183-189. DOI: 10. 2214/ajr. 169. 1. 9207522.
- [19] Yousefzadeh DK, Doerger K, Sullivan C. The blood supply of early, late and nonossifying cartilage: preliminary gray-scale and Doppler assessment and their implications [J]. Pediatr Radiol, 2008, 38(2): 146-158. DOI: 10. 1007/s00247-007-0655-2.
- [20] Goeral K, Hojreh A, Kasprian G, et al. Microvessel ultrasound of neonatal brain parenchyma: feasibility, reproducibility, and normal imaging features by superb microvascular imaging (SMI) [J]. Eur Radiol, 2019, 29(4): 2127-2136. DOI: 10. 1007/s00330-018-5743-1.
- [21] Hasegawa J, Suzuki N. SMI for imaging of placental infarction [J]. Placenta, 2016, 47: 96-98. DOI: 10. 1016/j. placenta. 2016. 08. 092.
- [22] 杨凡, 程文. 超声微血管成像技术的研究进展[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30(8): 1524-1527. DOI: 10. 3969/j. issn. 1672-4992. 2022. 08. 039.
- Yang F, Cheng W. Research advances of ultrasonic micro-vascular imaging[J]. J Mod Oncol, 2022, 30(8): 1524-1527. DOI: 10. 3969/j. issn. 1672-4992. 2022. 08. 039.
- [23] 刘永轶, 胡俊清, 钟震亚, 等. 股骨头颈骨内、外静脉回流的解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2002, 20(6): 431-434. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-165X. 2002. 06. 010.
- Liu YY, Hu JQ, Zhong ZY, et al. Anatomy of intra/extra-osteal venous reflux in femoral head and neck [J]. Chin J Clin Anat, 2002, 20(6): 431-434. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-165X. 2002. 06. 010.
- [24] Trueta J. The normal vascular anatomy of the human femoral head during growth[J]. J Bone Joint Surg Br, 1957, 39-b(2): 358-394. DOI: 10. 1302/0301-620X. 39B2. 358.
- [25] Yousefzadeh DK, Jaramillo D, Johnson N, et al. Biphasic threat to femoral head perfusion in abduction: arterial hypoperfusion and venous congestion[J]. Pediatr Radiol, 2010, 40(9): 1517-1525. DOI: 10. 1007/s00247-010-1602-1.
- [26] Jaramillo D, Villegas-Medina OL, Doty DK, et al. Gadolinium-enhanced MR imaging demonstrates abduction-caused hip ischemia and its reversal in piglets[J]. AJR Am J Roentgenol, 1996, 166(4): 879-887. DOI: 10. 2214/ajr. 166. 4. 8610567.
- [27] Nguyen JC, Back SJ, Barrera CA, et al. Developmental dysplasia of the hip: can contrast-enhanced MRI predict the development of avascular necrosis following surgery? [J]. Skeletal Radiol, 2021, 50(2): 389-397. DOI: 10. 1007/s00256-020-03572-z.
- (收稿日期: 2024-03-07)

本文引用格式: 林立军, 伍兴, 夏敬冬, 等. 婴幼儿股骨头微循环的超微血管成像特征及临床意义[J]. 临床小儿外科杂志, 2024, 23(7): 653-658. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202403008-009.

Citing this article as: Lin LJ, Wu X, Xia JD, et al. Superb micro-vascular imaging characteristics and clinical significance of femoral head microcirculation in infants[J]. J Clin Ped Sur, 2024, 23(7): 653-658. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202403008-009.