

人工智能脊柱退变影像学测量位点与标注专家共识 (2025)

中国医师协会骨科医师分会智能骨科学组,中华预防医学会脊柱疾病预防
与控制专业委员会脊柱脊髓损伤疾病预防与控制学组

摘要:影像学检查是评估脊柱退变程度的主要手段之一,然而由于不同医疗机构成像设备、影像扫描方式存在差异,加之测量数据繁杂、影像学结果描述和分型存在较多争议,限制了疾病诊疗的规范性。将人工智能应用于脊柱退行性疾病影像学分析,可以提高疾病诊断标准的一致性,同时提升医师诊断效率,使医患受益。为了规范脊柱退行性疾病影像学标注与测量,促进人工智能更好地应用于临床,参考国内外最新文献、临床研究数据及相关行业要求,在脊柱退行性疾病影像标注数据采集规范、定义、影像学表现及测量方案等方面,专家达成统一意见并制定本共识,有助于提高数据标注与测量的一致性,进而建立准确性高、通用性好、泛化能力强的人工智能算法模型,为脊柱退行性疾病的规范化诊疗提供坚实的影像学依据。

关键词: 脊柱退行性疾病;影像学标注;人工智能;诊断;专家共识

中图分类号:R681.5

文献标志码:A

Expert consensus on measurement sites and annotation of artificial intelligence-based spinal degenerative imaging (2025)

Intelligent Orthopedics Subgroup of Chinese Association of Orthopedic, Subgroup for Prevention
and Control of Spinal and Spinal Cord Injury Diseases of Professional Committee for Prevention
and Control of Spinal Diseases of Chinese Preventive Medicine Association

Abstract: Imaging examination is one of the main methods to assess the degree of spinal degeneration, but the standardization of disease diagnosis and treatment is limited due to differences in imaging equipment and imaging scanning modalities in different medical institutions, complicated measurement data, and controversial description and grading of imaging results. The application of artificial intelligence (AI) to spinal degenerative disease imaging analysis can improve the consistency of disease diagnostic criteria, as well as enhance the diagnostic efficiency of physicians, benefiting both doctors and patients. In order to standardize the annotation and measurement of spinal degenerative disease image and to promote the better application of AI in clinical practice, with reference to the latest domestic and international literature, clinical research data and relevant industry requirements, experts have formulated a unified opinion on spinal degenerative disease imaging annotation data acquisition specifications, definitions, imaging performances, and measurement protocols and formulated this consensus, which can help improve the consistency of data annotation and measurement, and then establish an AI algorithm model with high accuracy, good versatility and strong generalization ability, providing a solid imaging basis for the standardized diagnosis and treatment of spinal degenerative diseases.

Key words: Spinal degenerative diseases; Imaging annotation; Artificial intelligence; Diagnosis; Expert consensus

脊柱退行性疾病是骨科常见的疾病,也是导致颈、腰背部疼痛及相关神经功能异常的主要原因^[1]。影像学检查是诊断和评估脊柱退行性疾病的主要手段之一,由于测量与计算的繁杂,限制了影像学诊断、分级以及治疗建议提供的效率^[2]。在医学大数据背景下,越来越多的医生希望利用人工智能技术来分析影像检查结果^[3]。然而,根据《中国医学影像人工智能发展报告(2021—2022)》的描述,目前国内尚缺乏针对骨科相关疾病的人工智能影像学评估系统^[4]。

近期研究表明,脊柱影像学诊断的人工智能研究主要集中在深度学习神经网络分割模型和分类模型^[5]。分割模型在组织边界和范围的识别方面具有优势,能准确定位新生结节、肿瘤和出血区域,并分析其大小和空间位置关系^[6-7]。分类模型的研究在病变的确定或者分级中,衍生出二分类与四分类的方法,然而,分类方法不具备对疾病严重程度量化数据的记录,限制通过具体的临床数据反馈与分析^[8-10]。在没有人工智能手段的年代,通过大量的数据来确定等级范围。脊柱退行性疾病的影像学诊断更关注特定空间两点之间的关系^[11-12],例如在腰椎不稳的情况下,关键的数据采集位点是上位椎体后下缘与下位椎体上缘位置关系^[13]。因此,设计标注方法时,除定位和分类研究,都应该围绕脊柱影像学诊断中的需求进行。

综上所述,在设计和应用人工智能模型时,应聚焦于关键的影像学层面和解剖学位置,并需特别注意摆位不当或患者脊柱畸形等因素,可能会导致观测到的解剖结构和层面与实际存在不一致的情况。为统一脊柱退行性疾病影像学资料的测量和标注方法,本共识总结了截至2024年12月的临床研究报道,未来需要更多学者在此基础上进一步完善相关内容。

1 脊柱退行性疾病影像标注数据采集规范

本共识聚焦于常见脊柱退行性疾病的影像学检查,旨在标准化标注与测量位点的选择。需要强调的是,对于涉及邻近椎体侵犯的肿瘤、先天性脊柱异常、术后改变或外伤性脊柱病变等复杂情况,则不在本共识的直接讨论范畴之内。为构建此共识,本研究广泛检索了包括 Web of Science、PubMed、EMBASE、CVPR、ICCV、ICML 等国际数据库,以及中国知网、万方等国内数据库中的中英文文献,筛选

并纳入了荟萃分析、高质量前瞻性随机对照研究等高质量证据,同时也考虑了前瞻性非随机对照研究、回顾性队列研究、病例对照研究以及临床经验和专家委员会的意见等。

在影像质量方面,需要根据临床实际情况及不影响患者权益的前提下,参照《“互联网+”医学影像诊断中国专家共识(2019版)》^[14]标准,图像质量的评估应由具备专业资质的医师进行鉴别。

影像学图像标注与测量的准确性不可避免地受到多种因素影响,导致误差的产生。当前,医生之间、医生与机器之间在测量误差上缺乏统一标准,尚未有综述类研究明确指出这些误差值的标准范围,只有少数研究报道了测量误差相关数据。Suri 等^[15]腰椎椎体相关研究中指出,研究助理与经验丰富的放射科医生之间的标注误差为 MRI 1.24 mm、CT 0.88 mm、X 线 0.91 mm;《人工智能医疗器械质量要求和评价第2部分:数据集通用要求》^[16]规定,医学影像标注时病灶尺寸的测量精度达到 1 mm 以下;Hu 等^[17]报道,3 名骨科医师关键点标注、Cobb 角测量、椎体滑移距离测量的平均误差分别为:(3.034 ± 2.612) mm、(3.580 ± 2.338)°、(1.884 ± 1.612) mm。模型预测与医生间的测量误差:Pang 等^[18]报道,其腰椎 MRI 模型测量椎间盘高度、椎体高度误差分别为($1.249 6 \pm 1.062 4$) mm、($1.288 7 \pm 1.099 2$) mm。Fujimori 等^[19]颈椎侧位 X 线前凸角的研究中,AI、医生 1、医生 2 与高年资专家标注的数据误差分别为(3.1 ± 3.4)°、(3.9 ± 3.4)°、(3.8 ± 4.7)°;Cho 等^[20]报道的腰椎侧位 X 线前凸角测量模型,与外科医生的误差为 8.055°;Roberts 等^[21]对腰椎 X 线椎骨、椎弓根轮廓分别标注 60 个点和 8 个点,其模型预测这些点的平均误差为:正常椎体 0.82 mm,1、2 级骨折的椎体 1.19 mm,3 级骨折的椎体 2.12 mm;Ha 等^[22]报道的正位脊柱侧弯 X 线 Cobb 角模型测量的结果与临床报告的平均差异为 7.34°;Forsberg 等^[23]报道的模型对颈、腰椎 MRI 矢状位图像中,椎体中心定位的误差分别为 1.18~1.24 mm 和 2.38~2.60 mm。

目前研究现状显示,测量过程中会存在误差,由于缺乏统一的标注与测量位点指导建议,难以更准确地量化病变程度,导致人工智能的研究难以在临床实践中应用。为解决这一问题,需要更多的临床研究提供数据支持。而要让这些数据能够为临床提供有力证据,统一标注与测量方法是至关重要的基础。

2 脊柱退行性疾病:影像学观察与测量要点

2.1 椎管狭窄

椎体及其附件退变主要是指骨质增生、椎间盘纤维化膨隆、韧带增厚、骨化等原因导致的椎管内部空间狭窄、椎体间结构不稳,从而导致脊髓和神经根受压^[24-25]。几乎所有的退变最终都以椎管狭窄来体现,通过影像学检查,可以明确椎管狭窄的具体部位并评估其严重程度。

2.1.1 颈椎管狭窄

颈椎管狭窄是指颈椎管因骨性或者纤维性增生等原因引起一个或多个平面管腔空间变窄^[26]。其中后纵韧带及黄韧带增厚、骨化也是造成狭窄的原因之一。后纵韧带骨化根据形态的不同分为分节型、连续型、混合型 and 局灶型^[27];黄韧带骨化根据其椎间孔的关系分为 A、B、C 三型^[28],根据轴位影像分为单侧、双侧和桥型^[29]。CT 可获得较准确的骨性椎管矢状径,Epstein 等^[30]认为颈椎管矢状径 $<10\text{ mm}$,即可诊断为颈椎管狭窄,或椎管与椎体矢状径比值 <0.75 ,可诊断为颈椎管狭窄^[31]。另有学者认为,在 MRI 影像上超过 50%的前或后蛛网膜下腔闭塞则存在颈椎中央管狭窄,椎间孔最窄宽度比椎间孔外神经根窄,则存在颈椎间孔狭窄^[32]。CT 表现^[33-34]:① 椎间盘骨赘复合物突入椎管;② 钩椎关节增生及关节突肥大;③ 椎间孔狭窄。MRI 表现^[33-35]:① 颈椎后纵韧带、黄韧带、椎间盘、骨质等组织增生与骨化退变导致的突出;② 椎管、椎间孔狭窄;③ 椎管内脊髓、神经根受压。

不同的影像学检查对不同的组织敏感性不一致,为了在影像学检查结果中获得准确的测量结果,需在影像学检查中识别准确的解剖测量位点,具体如下。

2.1.1.1 轴位影像

CT:① 测量齿状突前、后侧与寰椎间隙(图 1A、B);② 齿状突为中心,测量齿状突与左、右侧寰椎间隙,评价是否脱位(图 1C);③ 测量横突孔内径(图 1D);④ 测量寰齿关节外剩余间隙(图 1E);⑤ 椎体后缘与椎板前缘间隙,测量椎管前后径^[36](图 2A);⑥ 测量钩椎关节与关节突间隙。MRI:① 测量左、右侧椎间孔间隙(图 2B);② 测量硬膜囊前、后间隙^[32](图 2C);③ 测量椎板前方黄韧带增厚或骨化程度^[37](图 2D);④ 测量椎间盘突出及椎体后缘增生、骨化的区域(图 2E);⑤ 测量脊髓前后径(图 2F)。

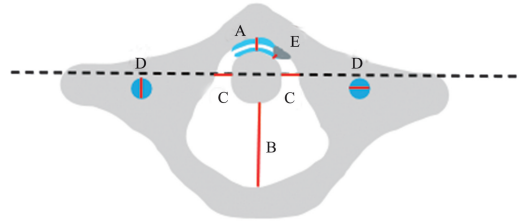


图 1 寰枢椎轴位的测量

A: 枢椎齿状突前缘到寰椎前弓后缘的距离; B: 枢椎齿状突后缘到寰椎后弓前缘的距离; C: 枢椎齿状突左右缘中点到寰椎的距离; D: 横突孔最短连线; E: 齿状突到寰椎突出物的剩余距离(最短距离)。

Figure 1 Measurement of atlantoaxial axis

A: Distance from the anterior edge of the odontoid of the axis to the posterior edge of the anterior arch of the atlas; B: The distance from the posterior margin of the odontoid of the axis to the anterior margin of the posterior arch of the atlas; C: The distance from the midpoint of the left or right edge of the odontoid of the axis to the atlas; D: The shortest connection line of transverse process holes; E: The remaining distance from the odontoid to the protrusion of the atlas (minimum distance).

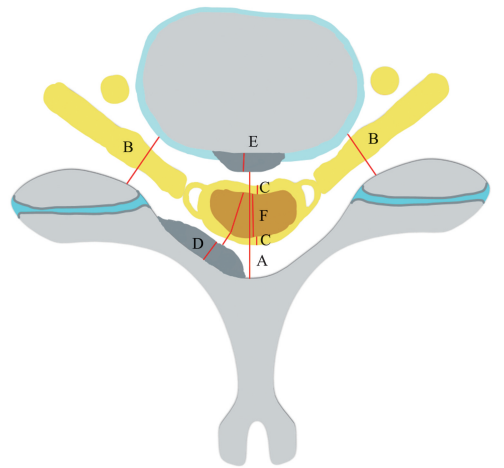


图 2 颈椎轴位的测量

A: 椎管前后径; B: 神经根外膜间隙; C: 脊髓前、后间隙; D: 黄韧带厚度; E: 突出或骨化物宽度; F: 脊髓前后径。

Figure 2 Measurement of cervical spine axial imaging

A: Diameter of the spinal canal; B: Nerve root epineural space; C: Anterior and posterior interspaces of the spinal cord; D: Thickness of ligamentum flavum; E: Width of protrusions or ossifications; F: Diameter of spinal cord.

2.1.1.2 矢状位影像

侧位 DR: Ranawat 法测量齿状突上移位(图 3)。CT:① 测量齿状突骨性增生区域及寰椎前弓上缘增生区域;② 测量枕骨大孔开口前后缘之间连线与齿状突顶端垂线段距离,判断颅底凹陷(图 4A);③ 测量齿状突与寰椎后弓前缘的距离

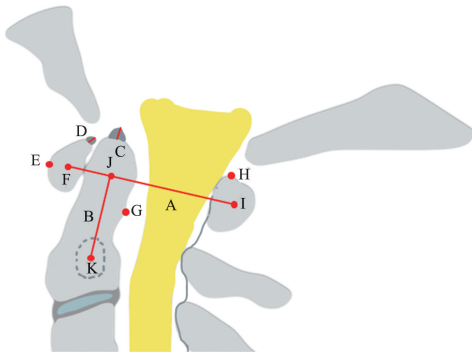


图3 Ranawat法测量齿状突上移位

A:沿寰椎前后弓中点画寰椎前后弓连线; B:自颈2椎弓根投影中点沿齿状突中轴走行的线至寰椎前后弓连线; C:齿状突增生长度; D:寰椎前弓上缘增生长度; E:寰椎前结节前缘; F:寰椎前结节中心; G:寰椎后弓与颈2椎体(枢椎椎体)的交界; H:寰椎椎体后结节与后弓交界处; I:寰椎后结节中心; J:齿状突中心; K:枢椎椎体中心位置。

Figure 3 Measurement of superior migration of the odontoid using the Ranawat method

A: The line connecting the midpoints of the anterior arch and posterior arch of the atlas; B: The line that starts from the midpoint of the pedicle of the second cervical vertebra, runs along the central axis of the odontoid, and reaches line A; C: Length of odontoid hyperplasia; D: Length of hyperplasia on the superior edge of the anterior arch of the atlas; E: Anterior margin of the anterior tubercle of the atlas; F: Center of the anterior tubercle of the atlas; G: The intersection between the posterior arch of the atlas and the second cervical vertebra; H: The intersection between the posterior tubercle and the posterior arch of the atlas; I: Center of the posterior tubercle of the atlas; J: Center of the odontoid; K: Center of the axis body.

(图4B);④通过颈2-颈7椎体前后缘与上下缘的交界处,测量椎体间的夹角(图4C);⑤根据椎体上下缘的形态改变确定楔变、双凹或压缩,并计算相应指数(楔形变指数:椎体前缘高度与后缘高度的差值与椎体前缘高度的比值;双凹指数:椎体最短高度与椎体后缘高度的差值与椎体最短高度的比值,其中椎体最短高度为椎体上缘最低点和椎体下缘最高点到椎体中矢径的距离和或差;高度压缩指数:椎体平均高度与上下椎体平均高度的均值差与椎体平均高度的比值,其中椎体平均高度为椎体前缘高度、椎体后缘高度、椎体最短高度的均值);⑥测量椎体间前方与后方的突出物长度(图4D);⑦测量椎体后缘与棘突前缘之间最短距离,确定椎管当前层面前后间隙(图4E);⑧测量寰齿前间距(寰椎前弓后缘与齿状突前缘之间的距离);⑨测量各椎体滑脱位移及滑脱指数^[38](上位椎体相对下位椎体的相对滑移距离与下位椎体上缘长度的比值,上位椎体后缘所在延长线经下位椎体上缘则为向前滑脱,否则为向后滑脱);⑩测量各节段前后缘增生及骨化区域,

测量椎间隙高度指数(椎间隙平均高度与椎间隙长度的比值)。MRI:①除寰枢椎,对椎体、椎间盘及椎管狭窄的关注与CT矢状位一致;②测量各层面脊髓前方及后方间隙^[32](图4F);③通过测量椎体及椎间盘后方的脊髓前后径判断脊髓受压,计算脊髓前后径指数(脊髓的宽度与相邻节段脊髓平均宽度的比值),比较受压程度(图4G);④观察椎间盘形态及突出情况,并计算椎间隙高度指数(椎间隙平均高度与椎间隙长度的比值);⑤测量椎体前线(图4H)、椎体后线(图4I)和棘突椎板线(图4J)。

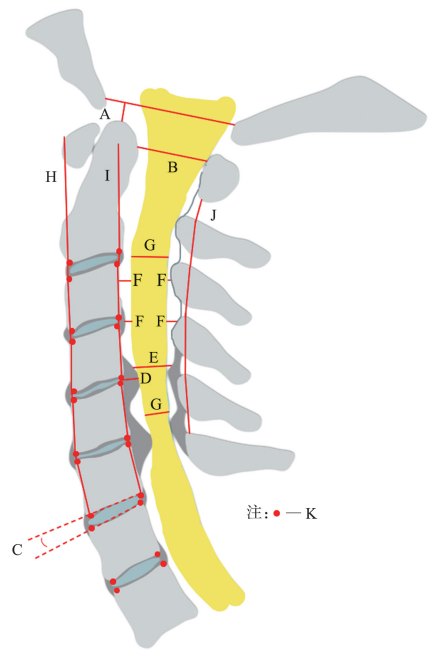


图4 颈椎矢状位的标注与测量

A:齿状突顶端至枕骨大孔开口前缘到枕骨大孔开口后缘连线的距离; B:寰椎后弓与齿状突之间的最短距离; C:椎间隙成角; D:增生物最大长度; E:椎体后缘与棘突前缘之间最短距离; F:各节段脊髓至周围组织距离; G:各节段脊髓前后径; H:椎体前缘连线; I:椎体后缘连线; J:棘突椎板连线; K:颈椎椎体关键点。

Figure 4 Annotation and measurement of cervical spine sagittal images

A: The distance from the apex of the odontoid to the line connecting the anterior and posterior margins of the foramen magnum; B: The shortest distance between the posterior arch of the atlas and the odontoid; C: The angle of the intervertebral space; D: The maximum length of the hyperplasia; E: The shortest distance between the posterior margin of the vertebral body and the anterior margin of the spinous process; F: The distance from the spinal cord at each segment to the surrounding tissues; G: The anteroposterior diameter of spinal cord; H: The line connecting the anterior margins of the vertebral bodies; I: The line connecting the posterior margins of the vertebral bodies; J: The line connecting the spinous processes and vertebral laminae; K: Key points of cervical vertebral bodies.

2.1.2 胸、腰椎管狭窄

胸椎管狭窄是指胸椎管周围结构病理性改变引

起胸椎管有效脊髓空间减小,导致脊髓和(或)神经根受到压迫^[24]。有研究认为,应根据脑脊液间隙闭塞的程度划分中央管狭窄,椎间孔狭窄则根据神经周围脂肪闭塞和神经根形态学改变划分^[32]。X线常用来排除骨折、脱位和畸形等病变,并结合CT或MRI,明确病灶所在节段^[39]。对于胸椎黄韧带骨化(thoracic ossification of ligament flavum, TOLF),较常用的分型是Sato分型(Sato's classification),将TOLF分为5型,分别为外侧型、延伸型、扩大型、融合型和结节型^[40]。MRI可以显示椎管内神经的形态以及椎管外压迫物的形态和位置,常见的占位是韧带骨化,椎管内占位可根据硬膜囊的受压程度分为4级^[39]。Seo等^[32]提出根据神经根形态将椎间孔狭窄分为4级。Sanghvi等^[41]提出胸椎管矢状径残余率的概念,主要针对TOLF,通过MRI影像计算存在压迫的脊髓节段的椎管前后径与正常胸椎管前后径的比值。

退行性腰椎管狭窄常继发于多种因素导致的退行性病变,是一个进行性过程^[25]。根据腰椎管狭窄位置可分为中央椎管狭窄、侧隐窝狭窄、神经根管狭窄、椎间孔狭窄及混合性椎管狭窄。CT检查示椎管正中矢状径 >13 mm为正常, $10\sim 13$ mm为相对狭窄, <10 mm为狭窄;侧隐窝前后径 >5 mm为正常, $3\sim 5$ mm为相对狭窄, <3 mm为狭窄^[42]。黄韧带一般不超过4 mm,其增厚可导致椎管狭窄^[43]。椎间盘突出导致的压迫也是椎管狭窄的重要原因之一,根据突出的程度分为I度(起型)、II度(破裂型)和III度(游离型)^[44];根据信号强度划分Pfirrmann分级^[45];也有根据突出物位置关系评价的密歇根州立大学(Michigan State University, MSU)分型^[46]。MRI是临床推荐的主要检查方法,将椎管前后径 <10 mm或硬膜囊面积 <100 mm²作为中央椎管狭窄的诊断依据;将神经根管直径 <4 mm作为神经根管狭窄的诊断依据^[36,47-48]。Weishaupt等^[49]于1999年提出的4分级法广泛用于评估脊柱关节突关节退变。使用Goutallier分级通过肌肉中脂肪的面积比例来评估腰椎椎旁肌脂肪变性的等级^[50-51](椎旁肌变性虽不直接导致椎管内狭窄,但是导致下腰椎疼痛、不稳的原因之一)。

胸椎与腰椎在形态解剖结构上类似,标注与测量方法基本一致,故不重复展示,不同影像学检查中的解剖测量位点具体如下。

2.1.2.1 轴位影像

CT:①测量左、右关节突前水平连线与椎间盘间隙,或黄韧带与椎间盘间隙,以评估狭窄程度^[37](图5A);②测量椎体后缘中心向椎管突出物的距离,确定骨化或增生程度^[36](图5B);③测量增生或突出物压迫后的硬膜囊间隙,确定狭窄程度^[32](图5C);④测量黄韧带厚度确定增厚程度^[37](图5D);⑤执笔团队在临床中发现将侧隐窝区域分为3个区域更有利于评判狭窄,根据侧隐窝骨性层面神经根出口位置,椎弓根上缘层面的上关节突内缘之间进行均分,分别测量内、中、外侧间隙(图5E~G)。临床实际阅片中,可根据神经根在内、中、外侧间隙具体导致狭窄卡压的位置进行测量选取^[52-54];⑥测量椎体后缘至腰椎椎弓根内缘中线的距离(图5H)。

MRI^[34,55-57]:①观察椎间盘与关节突的位置、黄韧带厚度、椎体终板产生骨赘、小关节肥大等,与CT基本一致(图5I~L);②测量腰大肌、椎旁肌等肌肉的面积,甚至肌肉纤维化或脂肪变的面积(图5M、N),计算出肌肉与脂肪的面积比例进行分期,0期:没有任何脂肪条纹;1期:肌肉中含有一些脂肪条纹;2期:脂肪浸润明显,但肌肉仍多于脂肪;3期:脂肪与肌肉含量相当;4期:脂肪多于肌肉;③观察腰椎管退变狭窄程度。

2.1.2.2 矢状位影像

CT:①测量腰椎椎管前后径^[36];②观察椎间盘内积气^[58];③测量椎间孔间隙;④测量腰椎间盘层面突出(椎间盘最外缘至上下椎体外缘连线的距离);⑤观察椎间盘、小关节增生及韧带增厚^[55];⑥根据椎体上下缘的形态改变确定楔变、双凹或压缩,并计算相应指数;⑦测量椎体间前方与后方的突出物长度;⑧测量椎体后缘与棘突前缘之间最短距离;⑨测量各椎体滑脱位移及滑脱指数;⑩测量各节段前后缘增生及骨化区域,测量椎间盘高度指数。

MRI:①观察椎间孔狭窄程度^[32];②腰椎各层面椎间盘,在出现滑脱、突出等变化前,通过信号强度观察其退变程度^[59],并计算椎间隙高度指数、滑脱位移和滑脱指数(与颈椎CT一致);③对椎体、椎间盘及突出物的关注与颈椎MRI一致,不再重复讨论(图6)。

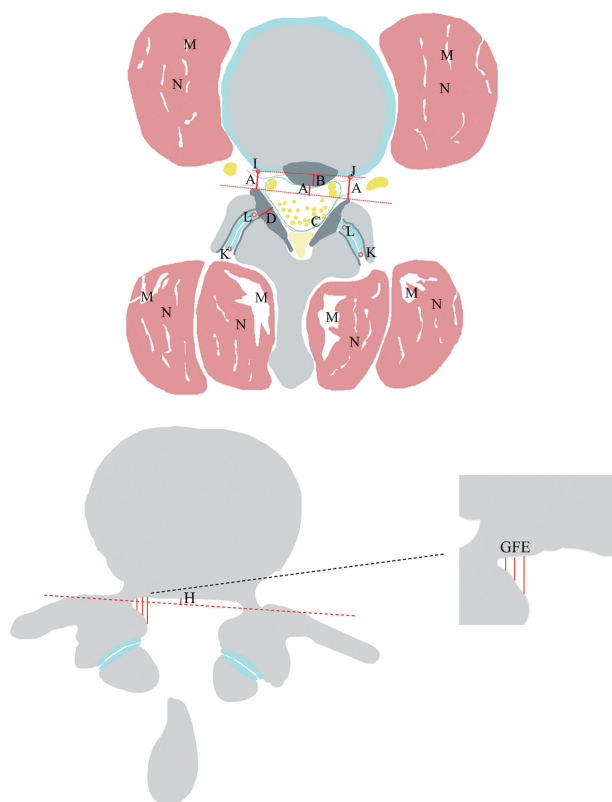


图5 腰椎轴位的测量

A: 椎间孔宽度; B: 突出或骨化最长距离; C: 硬膜囊间隙; D: 黄韧带最大厚度; E、F、G: 根据侧隐窝结构, 划三条线将其分成内侧、中间和外侧区域; H: 椎体后缘至腰椎椎弓根内缘中线的距离; I: 右侧神经根最狭窄区域的下缘; J: 左侧神经根最狭窄区域的下缘; K、L: 小关节关键点, 过 K、L 做延长线与 I、J 所在直线相交获得夹角; M: 根据信号强度区分肌肉区域内的脂肪; N: 根据信号强度区分肌肉区域内的肌肉。

Figure 5 Measurement of lumbar axial imaging

A: Width of the intervertebral foramen; B: Maximum distance of protrusion or ossification; C: Dural sac space; D: Maximum thickness of the ligamentum flavum; E, F, G: Based on the structure of the lumbar lateral recess, three lines are drawn to divide it into medial, middle, and lateral zones; H: The distance H is measured from the posterior margin of the vertebral body to the midline of the inner edge of the lumbar pedicle; I: The lower edge of the narrowest region of the right nerve root; J: The lower edge of the narrowest region of the left nerve root; K and L: Key points of small joints, extend lines through K and L to intersect with the straight line where I and J are located to obtain the angle; M: Distinguish fat within muscle areas based on signal intensity; N: Distinguish muscle within muscle areas based on signal intensity.

2.2 椎体不稳

通过动力位影像检查可以观测到椎体位移或相对角度的改变是否超出正常范围^[60]。动力位 X 线中, 约 90% 的正常人也会出现 1~3 mm 的位移, 颈椎相对位移 >3.5 mm 视为异常^[61]; >4 mm 在腰椎视为异常, 滑脱 >10% 时与患者症状强相关^[62]。脊柱不稳可进一步发展为滑脱, 退变导致的滑脱目前被

认为是假性滑脱, 而 Meyerding 的四等分法是评价椎体滑脱程度常见的方法^[63]。

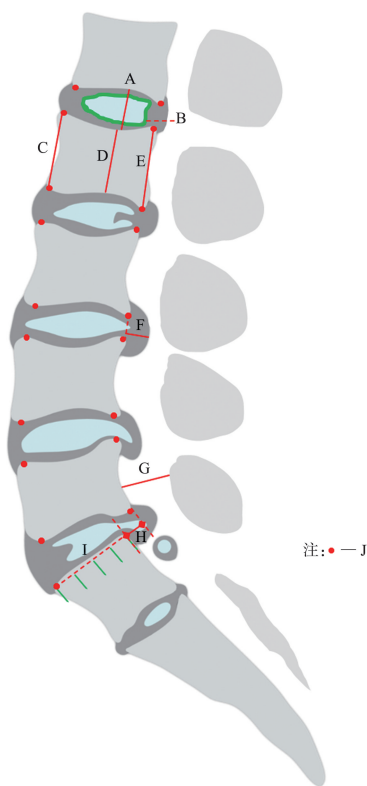


图6 腰椎矢状位的标注与测量

A: 椎间盘高度; B: 髓核; C: 椎体前缘高度; D: 椎体中间高度; E: 椎体后缘高度; F: 椎间盘突出最长距离; G: 椎管骨质部分管径; H: 上下椎体位移距离; I: 椎体上缘长度; J: 腰椎椎体关键点。

Figure 6 Annotation and measurement of lumbar sagittal imaging

A: Intervertebral disc height; B: Nucleus pulposus; C: The height of the anterior margin of the vertebral body; D: The height of the middle part of the vertebral body; E: The height of the posterior margin of the vertebral body; F: The maximum protrusion distance of the intervertebral disc; G: The diameter of the bony part of the vertebral canal; H: The displacement distance between the superior and inferior vertebral bodies; I: The length of the superior edge of the vertebral body; J: Key points of lumbar vertebrae.

需测量的主要夹角包括: ① Cobb C1~7: 寰椎前后结节连线所在直线与颈 7 下终板夹角, 一般在 $31^\circ \sim 40^\circ$ ^[64-65]; ② Cobb C2~7: 颈 2 椎体下缘与颈 7 椎体下缘的夹角^[65]; ③ 胸椎后凸角: 胸 1 椎体上终板和胸 12 椎体下终板的夹角, 一般在 $30^\circ \sim 50^\circ$ ^[66]; ④ 腰椎前凸角: 腰 1 椎体上终板与骶 1 椎体上终板或腰 5 椎体下终板的夹角, 一般在 $14^\circ \sim 69^\circ$ ^[67]; ⑤ 测量椎间角度(各椎体上缘与上位椎体下缘的夹角)。

X 线标注重点: ① 寰椎前结节前缘、中心以及

后弓与椎体的交界,图像模糊时置于后结节下缘和椎体相交处(图 3E~G);②寰椎椎体后结节与后弓交界处、后结节中心(图 3H、I);③齿状突中心(图 3J);④枢椎椎体中心位置(图 3K);⑤颈、腰椎其他椎体应以上/下位椎体下/上缘与上/下位椎体前/后缘的交界处为标注关键(图 4K、6J),若椎体边缘出现退行性变或其他疾病,点的位置应遵循原影像解剖位置标注。

X 线测量重点:①颈腰段椎体滑脱位移及滑脱指数的测量(推荐取椎体下缘与后缘交界点到下位椎体上缘与后缘交界点之于下位椎体上缘两关键点连线的相对位移距离作为滑脱位移(图 6H),滑脱位移与下位椎体上缘两点距离(图 6I)的比值作为滑脱指数);②测量椎间隙高度指数(椎体前间隙和后间隙高度之和与上下位椎体宽度之和的比值)及腰椎指数(椎体后缘与椎体前缘高度的比值);③测量 Harrison 后切线(测量方法与 CT、MRI 一致,不同的是可以获得动力位差值)。

3 小 结

结合目前相关研究,基于影像学手段和人工智能技术的应用已逐步成熟^[68]。虽然既往有许多关于医学影像测量的临床研究^[69],但都没有全面地与人工智能相结合。本次专家团队针对脊柱退行性疾病影像学数据,初步达成建立 X 线、CT 和 MRI 影像标注与测量共识,促进人工智能的优化、验证及推广,为建设该病的影像学数据库提供保障。同时,根据临床、科研工作中遇到的新问题不断完善共识内容,规范标注工作流程。

本共识专家组成员(按姓氏汉语拼音排序):

曹 凯 南昌大学附属康复医院骨科
 凡 进 江苏省人民医院骨科
 丰千钧 四川大学华西医院骨科
 冯皓宇 山西白求恩医院骨科
 冯世庆 山东大学齐鲁第二医院脊柱外科
 黄大耿 西安交通大学附属红会医院脊柱外科
 黄 霖 中山大学孙逸仙纪念医院骨外科
 林海滨 莆田学院附属医院骨科
 刘 斌 中山大学附属第三医院脊柱外科
 刘朝旭 华中科技大学同济医学院附属同济医院骨科
 刘文革 福建医科大学附属协和医院骨一科
 刘欣春 中国医科大学附属第一医院骨科

刘新宇 山东大学齐鲁医院骨科
 宁广智 天津医科大学总医院骨外科
 倪海键 上海市第十人民医院脊柱外科
 秦晓东 南京鼓楼医院骨科
 苏志海 中山大学附属第五医院脊柱外科
 孙宇庆 北京积水潭医院脊柱外科
 尚 军 徐州仁慈医院脊柱外科
 王炳武 潍坊市人民医院脊柱外科
 王达义 湖北省十堰市湖北医药学院附属太和医院脊柱外科
 王方永 中国康复研究中心北京博爱医院脊柱脊髓外科
 王连雷 山东大学齐鲁医院脊柱外科
 吴东进 山东大学齐鲁第二医院脊柱外科
 王苏宁 山东大学骨科医学研究中心
 吴占勇 华北医疗健康集团邢台总医院骨科
 肖宇翔 浙江大学医学院附属第二医院骨科
 徐 辰 中国人民解放军海军军医大学第二附属医院骨科
 杨 浩 西安交通大学附属红会医院转化医学中心
 杨 磊 哈尔滨医科大学附属第一医院骨科
 杨小玉 吉林大学第二医院骨科
 伊力扎提·伊力哈木 山东大学骨科医学研究中心
 袁 峰 徐州医科大学附属医院骨科
 曾至立 同济大学附属同济医院脊柱外科
 张 蒂 天津医科大学总医院骨科
 张 宁 浙江大学医学院附属第二医院骨科
 赵 坤 山东大学齐鲁第二医院脊柱外科
 仲 海 山东大学齐鲁第二医院医学影像科
 钟招明 南方医科大学南方医院脊柱骨科

通信助理:伊力扎提·伊力哈木,张蒂,赵坤

利益冲突:所有编者声明不存在利益冲突

免责声明:本专家共识基于专家经验和现有研究报道的总结,为人工智能相关技术在脊柱退行性疾病的相关数据测量、诊断等临床应用提供参考,非医疗决策唯一准则,不保证适用于所有情况,不承担因依据本共识所作决策产生的损失赔偿责任,也不赋予处理医患法律纠纷的法律地位。

参考文献:

[1] Endean A, Palmer KT, Coggon D. Potential of magnetic

- resonance imaging findings to refine case definition for mechanical low back pain in epidemiological studies: a systematic review[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(2): 160-169.
- [2] Bono CM, Ghiselli G, Gilbert TJ, et al. An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of cervical radiculopathy from degenerative disorders [J]. *Spine J*, 2011, 11(1): 64-72.
- [3] Jiang Y, Yang M, Wang S, et al. Emerging role of deep learning-based artificial intelligence in tumor pathology [J]. *Cancer Commun (Lond)*, 2020, 40(4): 154-166.
- [4] 刘士远, 陈敏. 医学影像学导论[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022.
- [5] 黄霖, 车圳, 李明, 等. 人工智能在骨科疾病诊治中的研究进展[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2023, 61(3): 37-45.
HUANG Lin, CHE Zhen, LI Ming, et al. Research advances of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of orthopaedic diseases[J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2023, 61(3): 37-45.
- [6] 刘琨, 吴强, 于璐跃, 等. 基于深度学习的脑肿瘤图像分割[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2020, 58(8): 42-49.
LIU Ju, WU Qiang, YU Luyue, et al. Brain tumor image segmentation based on deep learning techniques[J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2020, 58(8): 42-49.
- [7] Balkenende L, Teuwen J, Mann RM. Application of deep learning in breast cancer imaging[J]. *Semin Nucl Med*, 2022, 52(5): 584-596.
- [8] Hayashi D. Deep learning for lumbar spine MRI reporting: a welcome tool for radiologists [J]. *Radiology*, 2021, 300(1): 139-140.
- [9] Lim DSW, Makmur A, Zhu L, et al. Improved productivity using deep learning-assisted reporting for lumbar spine MRI[J]. *Radiology*, 2022, 305(1): 160-166.
- [10] Hallinan JTPD, Zhu L, Yang K, et al. Deep learning model for automated detection and classification of central canal, lateral recess, and neural foraminal stenosis at lumbar spine MRI[J]. *Radiology*, 2021, 300(1): 130-138.
- [11] 中华医学会放射学分会医学影像大数据与人工智能工作委员会, 中国研究型医院学会医学影像与人工智能专业委员会, 中国医师协会临床精准医疗专业委员会, 等. 影像组学多模态 MRI 量化分析用于直肠癌新辅助治疗后疗效及预后评估的方法学专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56(6): 608-615.
- [12] 冯世庆. 计算机视觉与腰椎退行性疾病[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2023, 61(3): 1-6.
FENG Shiqing. Computer vision and lumbar degenerative disease[J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2023, 61(3): 1-6.
- [13] Alukaev D, Kiselev S, Mustafae T, et al. A deep learning framework for vertebral morphometry and Cobb angle measurement with external validation [J]. *Eur Spine J*, 2022, 31(8): 2115-2124.
- [14] 中国医师协会放射学分会“互联网+”影像学组. “互联网+”医学影像诊断中国专家共识(2019版)[J]. *中华医学杂志*, 2019, 99(43): 3398-3402.
- [15] Suri A, Jones BC, Ng G, et al. Vertebral deformity measurements at MRI, CT, and radiography using deep learning[J]. *Radiol Artif Intell*, 2022, 4(1): e210015. doi: 10.1148/ryai.2021210015
- [16] 国家药品监督管理局. 人工智能医疗器械 质量要求和评价 第 2 部分: 数据集通用要求: YY/T 1833.2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022: 7.
- [17] Hu H, Wang X, Yang H, et al. Development and validation of an automatic diagnostic tool for lumbar stability based on deep learning[J]. *Chin J Repar Reconstr Surg*, 2023, 37(1): 81-90.
- [18] Pang SM, Su ZH, Leung S, et al. Direct automated quantitative measurement of spine by cascade amplifier regression network with manifold regularization[J]. *Med Image Anal*, 2019, 55: 103-115. doi: 10.1016/j.media.2019.04.012
- [19] Fujimori T, Suzuki Y, Takenaka S, et al. Development of artificial intelligence for automated measurement of cervical lordosis on lateral radiographs [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 15732. doi: 10.1038/s41598-022-19914-x
- [20] Cho BH, Kaji D, Cheung ZB, et al. Automated measurement of lumbar lordosis on radiographs using machine learning and computer vision[J]. *Global Spine J*, 2020, 10(5): 611-618.
- [21] Roberts MG, Oh T, Pacheco EMB, et al. Semi-automatic determination of detailed vertebral shape from lumbar radiographs using active appearance models[J]. *Osteoporos Int*, 2012, 23(2): 655-664.
- [22] Ha AY, Do BH, Bartret AL, et al. Automating scoliosis measurements in radiographic studies with machine learning: comparing artificial intelligence and clinical reports [J]. *J Digit Imag*, 2022, 35(3): 524-533.
- [23] Forsberg D, Sj blom E, Sunshine JL. Detection and labeling of vertebrae in MR images using deep learning with clinical annotations as training data [J]. *J Digit Imag*, 2017, 30(4): 406-412.
- [24] Dützmänn S, Fernandez R, Rosenthal D. Thoracic spinal stenosis: etiology, pathogenesis, and treatment [J]. *Orthopade*, 2019, 48(10): 844-848.
- [25] Melancia JL, Francisco AF, Antunes JL. Spinal stenosis

- [J]. *Handb Clin Neurol*, 2014, 119: 541-549. doi: 10.1016/B978-0-7020-4086-3.00035-7
- [26] Gupta SK, Roy RC, Srivastava A. Sagittal diameter of the cervical canal in normal Indian adults[J]. *Clin Radiol*, 1982, 33(6): 681-685.
- [27] Matsunaga S, Sakou T. Ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine: etiology and natural history[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(5): 309-314.
- [28] Chau AMT, Pelzer NR, Hampton J, et al. Lateral extent and ventral laminar attachments of the lumbar ligamentum flavum: cadaveric study [J]. *Spine J*, 2014, 14(10): 2467-2471.
- [29] Zhang B, Chen G, Chen X, et al. Cervical ossification of ligamentum flavum: elaborating an underappreciated but occasional contributor to myeloradiculopathy in aging population based on synthesis of individual participant data[J]. *Clin Interv Aging*, 2021, 16: 897-908. doi: 10.2147/CIA.S313357
- [30] Epstein NE, Epstein JA, Carras R, et al. Coexisting cervical and lumbar spinal stenosis: diagnosis and management[J]. *Neurosurgery*, 1984, 15(4): 489-496.
- [31] 党耕町, 王超, 陈仲强, 等. 颈椎侧位 X 线片椎管与椎体矢状径比值的测量及统计分析 [J]. *中华骨科杂志*, 1993, 13(4): 264-267.
- [32] Seo J, Lee JW. Magnetic resonance imaging grading systems for central canal and neural foraminal stenoses of the lumbar and cervical spines with a focus on the lee grading system [J]. *Korean J Radiol*, 2023, 24(3): 224-234.
- [33] Baron EM, Young WF. Cervical spondylotic myelopathy: a brief review of its pathophysiology, clinical course, and diagnosis[J]. *Neurosurgery*, 2007, 60(Suppl 1): 35-41.
- [34] Bazzocchi A, Guglielmi G. Spine imaging [J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2022, 26(4): 385-386.
- [35] Medow JE, Trost G, Sandin J. Surgical management of cervical myelopathy: indications and techniques for surgical corpectomy[J]. *Spine J*, 2006, 6(6): 233-241.
- [36] Cowley P. Neuroimaging of spinal canal stenosis[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2016, 24(3): 523-539.
- [37] Byvaltsev VA, Kalinin AA, Hernandez PA, et al. Molecular and genetic mechanisms of spinal stenosis formation: systematic review [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(21): 13479.
- [38] Di Stasio GD, Mansi L. Simone waldt and klaus woertler (eds): measurements and classifications in musculoskeletal radiology[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imag*, 2014, 41(10): 1991.
- [39] 马赛, 何达, 田伟. 胸椎管狭窄症的诊断与治疗进展 [J]. *骨科临床与研究杂志*, 2018, 3(5): 276-281.
- [40] Aizawa T, Sato T, Sasaki H, et al. Thoracic myelopathy caused by ossification of the ligamentum flavum: clinical features and surgical results in the Japanese population [J]. *J Neurosurg Spine*, 2006, 5(6): 514-519.
- [41] Sanghvi AV, Chhabra HS, Mascarenhas AA, et al. Thoracic myelopathy due to ossification of ligamentum flavum: a retrospective analysis of predictors of surgical outcome and factors affecting preoperative neurological status[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(2): 205-215.
- [42] 中国康复医学会骨质疏松预防与康复专业委员会, 中国老年保健协会骨科微创分会. 退行性腰椎管狭窄症诊疗专家共识 [J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2023, 16(2): 97-103.
- [43] Botwin KP, Gruber RD. Lumbar spinal stenosis: anatomy and pathogenesis [J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2003, 14(1): 1-15.
- [44] 中华人民共和国司法部. 法医临床影像学检验实施规范: SF/T 0112—2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 11.
- [45] Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26(17): 1873-1878.
- [46] Ren X, Liu H, Hui S, et al. Forecast of pain degree of lumbar disc herniation based on back propagation neural network [J]. *Open Life Sci*, 2023, 18(1): 20220673. doi: 10.1515/biol-2022-0673
- [47] Kreiner DS, Shaffer WO, Baisden JL, et al. An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spinal stenosis (update) [J]. *Spine J*, 2013, 13(7): 734-743.
- [48] Wassenaar M, van Rijn RM, van Tulder MW, et al. Magnetic resonance imaging for diagnosing lumbar spinal pathology in adult patients with low back pain or sciatica: a diagnostic systematic review [J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(2): 220-227.
- [49] Weishaupt D, Zanetti M, Boos N, et al. MR imaging and CT in osteoarthritis of the lumbar facet joints [J]. *Skeletal Radiol*, 1999, 28(4): 215-219.
- [50] Battaglia PJ, Maeda Y, Welk A, et al. Reliability of the goutallier classification in quantifying muscle fatty degeneration in the lumbar multifidus using magnetic resonance imaging [J]. *J Manip Physiol Ther*, 2014, 37(3): 190-197.
- [51] Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, et al. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1994(304): 78-83.

- [52] Mikhael MA, Ciric I, Tarkington JA, et al. Neuroradiological evaluation of lateral recess syndrome[J]. Radiology, 1981, 140(1): 97-107.
- [53] Varol T, Iyem C, Cezayirli E, et al. Comparative morphometry of the lower lumbar vertebrae: osteometry in dry bones and computed tomography images of patients with and without low back pain[J]. J Int Med Res, 2006, 34(3): 316-330.
- [54] Wu AM, Zou F, Cao Y, et al. Lumbar spinal stenosis: an update on the epidemiology, diagnosis and treatment [J]. AME Medical Journal, 2017, 2(5): 63. doi:10.21037/amj.2017.04.13
- [55] Englund J. Lumbar spinal stenosis[J]. Curr Sports Med Rep, 2007, 6(1): 50-55.
- [56] Alsaleh K, Ho D, Rosas-Arellano MP, et al. Radiographic assessment of degenerative lumbar spinal stenosis: is MRI superior to CT? [J]. Eur Spine J, 2017, 26(2): 362-367.
- [57] 汪洋, 查云飞, 邢栋. 腰椎旁肌肉脂肪含量与椎间盘退变关系的定量 MRI 研究[J]. 磁共振成像, 2018, 9(11): 819-824.
WANG Yang, ZHA Yunfei, XING Dong. Quantitative MRI study of the relationship between fat content in lumbar paravertebral muscles and disc degeneration [J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2018, 9(11): 819-824.
- [58] Balkissoon AR. Radiologic interpretation of vacuum phenomena[J]. Crit Rev Diagn Imaging, 1996, 37(5): 435-460.
- [59] Zhang C, Lin Y, Han Z, et al. Feasibility of T2 mapping and magnetic transfer ratio for diagnosis of intervertebral disc degeneration at the cervicothoracic junction: a pilot study[J]. Biomed Res Int, 2019, 2019: 6396073. doi: 10.1155/2019/6396073
- [60] Lu K, Gao X, Tong T, et al. Clinical predictors of surgical outcomes and imaging features in single segmental cervical spondylotic myelopathy with lower cervical instability[J]. Med Sci Monit, 2017, 23: 3697-3705. doi: 10.12659/msm.906046
- [61] White AA, Johnson RM, Panjabi MM, et al. Biomechanical analysis of clinical stability in the cervical spine [J]. Clin Orthop Relat Res, 1975(109): 85-96.
- [62] Wang Y, Huang K. Research progress of diagnosing methodology for lumbar segmental instability: a narrative review [J]. Medicine (Baltimore), 2022, 101(1): e28534. doi: 10.1097/MD.00000000000028534
- [63] Burke CJ, Shah D, Saha S, et al. Spondylolisthesis: a pictorial review[J]. Br J Hosp Med (Lond), 2012, 73(12): 691-695.
- [64] McAviney J, Schulz D, Bock R, et al. Determining the relationship between cervical lordosis and neck complaints[J]. J Manipulative Physiol Ther, 2005, 28(3): 187-193.
- [65] Harrison DE, Harrison DD, Cailliet R, et al. Cobb method or Harrison posterior tangent method; which to choose for lateral cervical radiographic analysis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(16): 2072-2078.
- [66] Kado DM, Prenovost K, Crandall C. Narrative review: hyperkyphosis in older persons [J]. Ann Intern Med, 2007, 147(5): 330-338.
- [67] Been E, Kalichman L. Lumbar lordosis [J]. Spine J, 2014, 14(1): 87-97.
- [68] 刘全金, 嵇文, 胡浪涛, 等. 基于双解码器的医学图像分割模型[J]. 山东大学学报(工学版), 2024, 54(6): 8-18.
LIU Quanjin, JI Wen, HU Langtao, et al. Medical image segmentation model based on double decoder [J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2024, 54(6): 8-18.
- [69] 赵杰, 张凯, 陈辰. 腰椎矢状位力线分型及临床意义 [J]. 山东大学学报(医学版), 2019, 57(5): 13-17.
ZHAO Jie, ZHANG Kai, CHEN Chen. Classification of the sagittal alignment of lumbar spine and its clinical significance [J]. Journal of Shandong University (Health Sciences), 2019, 57(5): 13-17.

(编辑:徐苗蓁)