

►运动人体科学

细胞骨架与运动损伤

董敏辉¹, 田野²

(1. 沈阳体育学院 运动人体科学系, 辽宁 沈阳 110102; 2. 沈阳体育学院 研究生部, 辽宁 沈阳 110102)



摘要:细胞骨架是真核细胞中的蛋白纤维网架体系,包括细胞膜骨架、细胞质骨架、细胞核骨架和细胞外基质,细胞质骨架又分为微管、微丝、中间纤维,它们在结构上相互连接,形成贯穿于细胞的网架体系。细胞骨架蛋白是骨骼肌细胞具有重要功能的结构,与细胞的各种生命活动密切相关,是研究运动性骨骼肌细胞损伤的敏感指标。超过习惯负荷的运动训练或体力劳动能引起骨骼肌延迟性酸痛,伴有肌肉僵硬、收缩和伸展功能下降,这些变化影响了肌肉的工作能力。通过分析细胞骨架与运动性骨骼肌损伤的关系,对细胞骨架蛋白的作用及其在运动损伤后的变化进行综述,为运动训练和大众健身领域提供理论依据。

关键词:细胞骨架;骨骼肌细胞骨架蛋白;运动损伤;恢复手段

中图分类号:G804.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-0560(2008)04-0062-05

Cytoskeleton and Sports Injuries

DONG Minhui¹, TIAN Ye²

(1. Dept. of Sports Human Science, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, Liaoning, China;

2. Dept. of Postgraduates, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, Liaoning, China)

Abstract: The cytoskeleton is the protein fiber grid system in the eukaryotic cells. It includes cell membrane skeleton, cytoplasm skeleton, nucleus skeleton and extracellular matrix. The cytoplasm skeleton includes microfilament, microtubules, intermediate filament which are interconnected and formed in cells throughout the grid system. Cytoskeleton protein is important functional structure of the skeletal muscle cells and is closely related with the various activities of life. It is sensitive hallmark in the study of exercise muscle damage. Excess load of customary sports training or physical labor can cause delayed muscle soreness, accompanying muscle stiffness, contraction and extended decline in function which affect the ability of muscles work. By analyzing the relations between cytoskeleton and exercise muscle damage and summarizing cytoskeleton proteins and their role in sports injury after the changes, the study provides a theoretical basis for sports training and fitness areas of the public.

Key words: cytoskeleton; muscle cytoskeleton protein; sports injuries; restoration means

1 细胞骨架概述

细胞骨架是指真核细胞中的蛋白纤维网架体系,细胞骨架不仅在维持细胞形态、保持细胞内部结构的有序性中起重要作用,而且与细胞运动、能量转换、信息传递、基因表达、细胞分化等重大生命活动密切相关。

细胞骨架的研究随着实验方法和研究仪器的不断创新而深入。早在 1928 年, Koltzoff 曾推测:“原生质中存在着一种具有一定结构的纤维状成分,每个细胞就是一个由液体成分和硬性骨架成分所组成的体系。细胞依靠这些骨架纤维保持一定的外形,可能由于骨架纤维较细或是其折射系数与周围胶体溶液接近而不易被观察。”受当时技术条件所限,人们并没有真正观察到那种硬性骨架成分。然而 Koltzoff 的上述推测正是细胞骨架的原始概念。20 世纪 60 年代前,电镜标本固定剂为四氧化锇和高锰酸钾,而细胞骨架经低温条件处理后大多都被破坏。自 1963 年 Slaughterback 采用戊二醛室温固定方法,首先在水螅刺细胞中发现了微管,以后人们才相继观

察到各类骨架纤维的存在。从 20 世纪 60 年代后期到 80 年代初,免疫荧光显微镜技术,各种专门化和改进的电镜技术和体外装配技术,对骨架的研究起了很大的推动作用,并且至今仍然起着重要作用。此外,显微镜注射、特异性药物的应用技术也提供了可靠的资料。近年来发展的图像增强反差显微镜技术,可以使光学显微镜的分辨率提高一个数量级,可以看到单根的纤维,特别是它可以观察不固定、不染色的活标本。这对于研究以运动为主要功能的细胞骨架来说具有重要意义^[1]。

细胞骨架包括细胞膜骨架、细胞质骨架、细胞核骨架和细胞外基质,形成贯穿于细胞核、细胞质、细胞外的一体化网络结构。

1.1 细胞膜骨架

细胞膜骨架是指细胞膜下与膜蛋白相连的由纤维蛋白组成的网架结构,它参与维持细胞膜的形状并协助质膜完成多种生理功能^[2]。细胞膜骨架主要成分是指细胞膜内具有运

收稿日期:2008-06-09;修回日期:2008-07-10

作者简介:董敏辉(1957-),女,教授,学士,主要研究方向为运动对人体形态结构的影响。

动、支持、保护功能的膜蛋白和膜糖类,其中膜蛋白是其功能的主要执行者。膜蛋白约占细胞总蛋白量的 25%,不同功能的细胞膜蛋白含量存在差异。经生化分析和冷冻蚀刻技术证明,许多细胞的细胞膜中均存在膜蛋白颗粒。膜糖类指细胞膜的糖类,常与膜蛋白结合形成糖蛋白。依据膜蛋白与膜脂结合方式的不同可将膜蛋白分为外在蛋白或称外周蛋白和内在蛋白或称跨膜蛋白、镶嵌蛋白、整合蛋白。

细胞膜骨架的功能性质主要取决于构成细胞膜骨架成分膜蛋白的功能,通常外周蛋白具有肌动蛋白和肌球蛋白的性质,可产生收缩功能,常与细胞的胞吞作用、细胞变形运动和细胞分裂时胞质与胞膜的缢缩作用等有关。

1.2 细胞质骨架

细胞质骨架由微丝(microfilament)、微管(microtubule)和中间纤维(intermediate filament)构成。

微丝是细胞质骨架中较细的一种线形结构,直径约为 6~10nm,呈实心细丝状,长短不等,在细胞质内成束平行排列或疏散成网状^[3]。微丝由三类蛋白组成:肌动蛋白、肌球蛋白和肌动蛋白结合蛋白,其中肌动蛋白在细胞内又有两种形式,即单体形式(F-actin)和聚合体形式(G-actin),两种形式的肌动蛋白根据细胞的状态而相互转化,维持着一种动态平衡。微丝最主要的功能是参与肌肉的形成,肌肉细胞中的微丝即细肌丝。微丝对维持细胞外形、胞质环流、变形运动、支持微绒毛、形成应力纤维、胞质分裂和肌肉收缩等方面也具有重要作用^[4]。

微管在细胞质中呈笔直的管状形,外径约 24nm,内径约 15nm,管壁厚约 6~9nm,长度在几微米至几厘米不等,是胞质骨架中直径最大的纤维。微管蛋白是构成微管的主要蛋白,它具有 α 和 β 两型,两个分子联结在一起形成二聚体,由它螺旋盘绕装配成微管的壁,13 个二聚体构成一周,因此在微管的横面上有 13 个原纤维。微管是真核细胞所独有的普遍存在的结构,是细胞内的主要支架,为细胞内物质运输指引方向。研究发现^[2,5],有些蛋白总是与微管蛋白共存,参与微管组成,故称之为微管结合蛋白(MAP),主要有 MAP1、MAP2、Tau 蛋白等,它们与调节微管聚合范围及速率有关。MAP 参与微管的组装及结构的稳定,当 MAP 被磷酸化后失去结合微管的能力,从而使微管处于不稳定状态。使 MAP 磷酸化的最重要的激酶是 MAP 激酶。Tau 可以被钙调素激酶、蛋白激酶 A 及 P42MAP 激酶磷酸化,对人来说,Tau 被蛋白激酶 A 磷酸化后可以减弱它与微管蛋白的结合,从而使微管聚合减弱。微管与鞭毛、纤毛的运动和胞浆运输有关,也参与染色体的运动和有丝分裂过程,因而与细胞增殖有关。

中间纤维直径介于微管与微丝之间,约为 8~10nm,又称中等纤维或中间丝。中间纤维呈中空纤维状,横断面上表现出管状外形,其管壁是由 4~8 根细丝状结构环绕组成;在纵切面上,细丝状结构相互间呈平行排列。中间纤维的成分主要有角蛋白、波形蛋白、结蛋白和神经纤维蛋白等,是一类形态相似,而化学组成上有明显差异的蛋白质,成分比微丝和微管都复杂。从细胞水平来看,中间纤维在细胞质内形成一个完整的支撑网架系统^[6,7],向外与细胞膜和细胞外基质直接联系,在内部与核表面和核基质直接联系,中间与微管、微丝

及其他细胞器联系,因此在细胞内和细胞间都起着多方面的联系作用^[8]。

1.3 细胞核骨架

细胞核骨架是存在于细胞核内的以蛋白成分为主的纤维网架体系,狭义的核骨架仅指核基质;广义的核骨架包括核基质、核纤层和核孔复合体以及染色体骨架。

核基质是由直径为 3~30nm 粗细不等的纤维状蛋白和颗粒构成,呈三维网络结构分布于细胞核内。细胞核内的核纤层、核孔复合体、核仁等结构与核基质密切相连,核基质还与细胞质中的中间丝形成连接,显示出复杂的纤维状或网络状结构体系。核基质的化学成分较为复杂,90% 以上属蛋白质,目前已测定出的 10 余种多肽的蛋白成分,主要是非组蛋白性的纤维蛋白质。此外,核基质还含少量 RNA 和 DNA。核基质除维持细胞核的形态结构外,还对真核细胞的 DNA 复制、RNA 的转录与加工、染色体 DNA 的有序包装与染色体的构建等具有重要的作用。

核纤层是细胞核内核膜下的纤维蛋白网络,由直径 10nm 左右的核纤层蛋白交织成的网络,厚度为 3~100nm,分布于内层核膜与染色质之间。在哺乳类和鸟类中,存在 3 种核纤层蛋白,即核纤层蛋白 A、核纤层蛋白 B 和核纤层蛋白 C。研究发现,核纤层蛋白的一段氨基酸序列与中间丝蛋白高度保守的 α -螺旋区有很强的同源性,说明核纤层蛋白也属中间纤维蛋白;核孔复合体是真核细胞内、外核膜的融合处由一系列规则排列的颗粒状及丝状物组成的复杂隧道结构,主要由胞质环、核质环、辐和栓四种结构亚单位组成,在核质面与胞质面呈不对称性分布,构成核质交换的双向选择性亲水通道,核质之间就是通过核孔复合体来实现物质交换与信息交流的;染色体骨架是指染色体中由非组蛋白构成的结构支架。有些研究证明,染色体骨架与核骨架中存在相同的蛋白成分^[9,10]。

1.4 细胞外基质

细胞外基质是一种活性包裹物质,是指分布于细胞外空间,由细胞分泌的蛋白和多糖所构成的网络结构。细胞外基质的结构及成分的变化会改变细胞微环境,从而对细胞的形态、生长、分裂、分化和凋亡起重要的调控作用^[11]。

细胞外基质在决定细胞的形态和活动中发挥重要作用。细胞外基质的化学成分就大分子而言可大致归纳为两大类:一类属于多糖,即氨基聚糖,其中大多数可与蛋白质共价连接,以蛋白聚糖形式存在,形成凝胶样基质。蛋白聚糖见于所有结缔组织和细胞外基质及许多细胞表面,其显著特性是多态性,可以含有不同的核心蛋白及长度和成分不同的多糖链,蛋白聚糖可与多种生长因子结合,有利于激素分子进一步与细胞表面受体结合,有效完成信号的传导。透明质酸蛋白聚糖的主要成分,在结缔组织中起强化、弹性和润滑作用,在胞外基质中,透明质酸倾向于向外膨胀,产生压力,使结缔组织具有抗压能力;另一类是纤维状蛋白质,如胶原蛋白、弹性蛋白、纤粘连蛋白和层粘连蛋白等。胶原是细胞外基质最基本的成分之一,其基本结构单位是原胶原,是由三条多肽链盘绕的三股螺旋结构,长约 300nm,直径为 1.5nm。胶原在细胞外基质中含量最高,刚性及抗张力强度最大,构成细胞外的骨架结构,细胞外基质中的其他成分通过与胶原结合形成结构与

功能的复合体。层粘连蛋白是各种动物胚胎及成体组织基膜的主要结构之一,是高分子糖蛋白,在胚胎发育及组织分化中具有重要作用^[12-14]。纤连蛋白是高分子糖蛋白,其主要功能是介导细胞粘着和促进细胞的迁移。弹性蛋白是弹性纤维的主要成分,为高度疏水的非糖基化蛋白。弹性纤维与胶原纤维共同存在,分别赋予组织以弹性和抗张性。

2 骨骼肌细胞骨架蛋白

2.1 骨骼肌细胞骨架蛋白分类

细胞骨架蛋白是骨骼肌细胞具有重要功能的结构,骨骼肌细胞骨架可分为 3 类,即肌细胞膜骨架、肌节内骨架和肌节外骨架^[15-18]。

细胞膜骨架包括膜和与膜相连的蛋白,如抗肌营养不良蛋白(dystrophin)、肌聚糖蛋白(sarcoglycan)、纽蛋白(vinculin)、血影蛋白(spectrin)、整合蛋白(integral)、锚定蛋白(ankyrin)等,这些蛋白间接地将细胞内的基质与细胞外的特殊区域连接到一起,与细胞的胞吞作用、细胞变形运动和细胞分裂时胞质与胞膜的缢缩作用等有关,并具有支持、保护作用,与细胞内物质运输、信号传导等有关^[19,20]。

肌节内细胞骨架的主要成分是伴肌动蛋白(nebulin)和肌联蛋白(titin),它们沿肌原纤维长轴排列在肌节内。nebulin 在细胞中的定位是 1988 年发现的,在肌肉放松的状态下,nebulin 起源于 Z 盘,延伸至 I 带,连接于 Z 盘之间,与 A 带中的肌动蛋白平行排列,主要作用是保持肌动蛋白的正常结构。titin 从 Z 盘伸展到 M 带,1983 年,Lashall 等采用免疫电镜首次发现 titin 的定位,现在认为 titin 是连接 Z 盘和肌球蛋白纤维之间的蛋白丝,从 Z 盘至 M 线,在肌节中具有一定的弹性,并维持肌球蛋白纤维的中间状态。

肌节外细胞骨架主要由中间丝蛋白组成,它位于肌原纤维周围,连 Z 盘、核膜和肌细胞膜之间。骨骼肌细胞中的中间丝蛋白包括结蛋白(desmin)、波形蛋白(vimentin)、巢蛋白(nestin)、联丝蛋白(synemin)、核纤层蛋白(lamins)和角蛋白(keratins)等。中间丝具有参与细胞内物质运输、细胞的分化调控和细胞内信息传递等作用。

2.2 骨骼肌细胞骨架蛋白与运动损伤

2.2.1 细胞膜骨架蛋白与运动损伤 在运动过程中,机械力的作用以及自由基的攻击,使得肌细胞膜完整性遭到破坏。由于细胞膜骨架参与维持细胞膜的形状并协助质膜完成多种生理功能,细胞膜骨架蛋白的破坏必然影响到细胞膜的完整性。近年来研究较多的骨骼肌细胞膜骨架蛋白有 dystrophin 和 sarcoglycan^[1,7]。

dystrophin 是抗肌营养不良蛋白聚糖复合物的主要成分,这种跨膜复合物的丢失和分解使收缩引起的肌纤维损伤增加,使肌细胞膜受到损伤,导致肌纤维坏死^[21-23]。有研究表明,在离心运动引起的损伤后,肌纤维之间有明显的 dystrophin 标记丢失,而其他膜骨架蛋白受影响很小,说明 dystrophin 最易受到攻击。sarcoglycan 是一个广泛分布于膜上的蛋白聚糖复合物,它与抗肌营养不良蛋白聚糖复合物相连。L. Feasson 等研究证明,膜骨架蛋白 dystrophin 和 sarcoglycan 在保持细胞膜完整性方面具有重要作用。

2.2.2 肌节内细胞骨架蛋白与运动损伤 肌节内细胞骨架

主要由 titin 和 nebulin 组成,titin 是连接 Z 线和肌球蛋白(myosin)之间的蛋白丝,Z 线到 M 线具有一定的弹性,维持 myosin 的中间状态;nebulin 起源于 Z 线,延伸至 I 带,连接于 Z 线与 Z 线之间,与 A 带中肌动蛋白(actin)平行排列,主要保持 actin 的正常结构。Clare 等发现,在离心收缩后,在 Z 盘流的邻近,肌球蛋白位置脱离肌节中间,而更接近于某一侧 Z 盘,由于 titin 参与维持肌球蛋白的正常位置,因此,这可能是由于离心运动导致 titin 降解或断裂所致。Trappe 等让 7 名男子进行一次高强度离心膝伸肌抗阻训练,通过肌肉活检发现,训练后 24h 股外侧肌 titin 和 nebulin 的含量与训练前比较有明显下降。

2.2.3 肌节外细胞骨架蛋白与运动损伤 肌节外细胞骨架是由位于相邻肌原纤维之间,肌原纤维外周、肌节以及核膜之间的中间丝组成。desmin 是骨骼肌中连接 Z 线之间的主要中间丝蛋白,同时也连接线粒体、细胞核和细胞膜,其作用主要是限制肌节在肌肉收缩舒张活动中牵扯过度。desmin 的含量在骨骼肌的神经-肌肉接点处、肌肉与肌腱结合部最为丰富。而 vimentin 主要在间质细胞和中胚层来源的细胞中表达。有研究发现,许多组织可同时表达两种或两种以上的中间丝蛋白质,vimentin 通常是其中之一,说明 vimentin 在细胞生长中可能起重要作用。因此,在成人组织中,vimentin 与其他中间丝蛋白质共同表达时,常与细胞的增殖活跃有关^[24-26]。

骨骼肌细胞中 desmin 和 vimentin 同为中等径细胞骨架纤维,又同属于波形蛋白类,在维持肌肉的结构方面具有重要意义。这两种蛋白分布在相邻肌原纤维的 Z 板和 M 区之间架成横桥,以及在肌节周围形成笼状的包络,从而使各个肌原纤维的肌节互相对齐,构成肌细胞上有规则的横纹,并协调众多肌节的收缩方向,赋予细胞机械强度,而且是对各细胞器及某些大分子进行空间结构安排的统一基质,是能量转换的主要场所^[27,28]。

desmin 是肌肉特异性中间纤维蛋白,主要分布在胞浆,是脊椎动物心肌、骨骼肌和平滑肌细胞骨架的主要成分。大量研究表明^[29,30],desmin 丢失是骨骼肌运动性微损伤的一个敏感的形态学指标。1996 年 Lieber 等^[31]发现,离心运动 30min 后,desmin 损失最早在运动后 5min 或 15min 发生,24h 最为显著。1999 年 Lieber 等^[32]报道,肌节的过度扩展引起胞内局部钙离子浓度升高,激活蛋白酶,使 desmin 发生水解,从而肌节结构紊乱。Komulainen 等^[33]观察了雄性大鼠胫前肌被动拉长收缩,在刺激后即刻、6h、2d、4d、7d 分别取胫前肌做生化和形态学分析,发现 desmin 阴性纤维出现在离心运动后 6h、48h 后 desmin 阴性纤维堆积,4 天后 desmin 阴性染色最严重。结果提示,被动拉长收缩诱导的损伤中,肌纤维坏死中的结构连续变化起源于浆膜和中间纤维的损伤,其导致肌原纤维系统的紊乱。李世成等^[34,35]对大鼠离心运动后骨骼肌微细损伤机制做了研究,分别在离心运动后即刻、12h、24h 和 48h 等不同时间处死大鼠,结果发现离心运动后骨骼肌超微形态结构发生了程度不同的改变,这些改变以运动后 12~24h 左右最为严重。他们认为,离心运动后骨骼肌微细结构损伤的原因,可能是骨骼肌离心收缩后细胞内 Ca^{2+} 代谢紊乱,使细胞骨架蛋白发生了变化,从而使维护肌节结构稳定性

的细胞骨架网络遭到破坏,导致骨骼肌超微结构的改变^[36]。也有研究表明,离心运动后 desmin 不变或略微下降,同时 desmin 在运动后恢复期不等的时间内开始增加。Yu J G 等^[37]采用高分辨率的免疫组化方法分析离心运动后典型的延迟性肌肉酸痛中不同恢复时间点的样本,提示在受影响的肌纤维中可见变化的肌原纤维和细胞骨架,未观察到坏死和 desmin 染色的丢失。他认为延迟性肌肉酸痛与 desmin 下降无关。由于不同学者采用的实验方法不同,对离心运动后 desmin 的变化仍有争议。多数研究表明^[38],细胞骨架蛋白 desmin 的丢失发生在过度离心运动的早期。

1994年,Vater等在小鼠的比目鱼肌中注射蛇毒,观察了 vimentin 在小鼠趾长伸肌卫星细胞中的表达。结果发现:在损伤和再生肌纤维中,vimentin 主要出现在增殖期的肌卫星细胞;vimentin 的表达促进肌管细胞的融合,并且它由散在分布逐步向前 Z 板位置聚集;vimentin 表达下降出现在肌管细胞融合以后,这时肌纤维渐成熟,而且 desmin 开始大量表达。因此,他们认为 vimentin 在肌细胞再生早期起到极为重要的作用。Bomemann 等采用向比目鱼肌中注射热的林格氏液,发现肌母细胞和幼稚的肌管细胞都有 desmin 和 vimentin 的表达,随着肌细胞的成熟,这两种蛋白的表达均有降低,而且分布也由散在形式转为固定在 Z 板水平:vimentin 在伤后 2~4 周,在肌纤维中消失,而 desmin 仍然存在。同时他们认为 vimentin 是观察肌肉再生最好的指标。段立公等认为,在正常肌纤维中,desmin 在肌纤维和静息卫星细胞中有分布,而 vimentin 除分布在肌纤维中外,还分布在肌纤维周围的血管壁和缔结组织等部位,但在静息卫星细胞上没有分布;肌肉损伤开始后,desmin 表达下降,48h 后 desmin 表达增加,4 天后达到峰值并持续到 3 周之后。损伤后 12h,vimentin 表达增加,48h 后达到峰值,然后下降,2 周后基本消失。在 vimentin 表达下降的同时,desmin 表达增加;desmin 和 vimentin 在损伤和再生的肌细胞中的分布方式基本一致,都是由早期散在分布,以后逐渐聚集在前 Z 板部位,随着肌纤维的成熟,明确分布在相邻 Z 板周围^[39-41]。

2.3 运动损伤的恢复手段

运动后可以通过按摩、理疗等常规手段减轻所产生的症状,促进恢复的速度。此外,积极性的休息也可加快肌肉的恢复。服用一些药物也可以促进运动后受损伤肌肉的恢复。

章伟文等研究表明^[42],与生理盐水灌注对照组比较,骨骼肌经能量合剂灌注后,缺血 8h 后电镜下观察超微结构变化明显延缓,肌质网结构尤其是线粒体结构保持良好。

中药在降低损伤水平方面有积极的效果。中药如红景天、人参、雄蚕蛾等均有抗脂质过氧化作用,可以降低运动时的自由基损伤。中药清除自由基作用的成分包括维生素、类胡萝卜素、黄酮类、木聚糖、皂苷等。这些成分即可以发挥对超氧化阴离子的直接清除作用,又可通过调节机体内部的氧化-抗氧化系统,增强机体的抗氧化能力,提高在氧化应激状态下保护机体的作用^[43]。

针刺是我国一门古老的医疗技术。研究表明针刺可有效治疗骨骼肌损伤和延迟性肌肉酸痛^[44]。卢鼎厚等人采用针刺阿是穴来治疗运动员训练后出现的肌肉酸痛及肌肉痉挛,

发现针刺可在不同程度上使肌肉酸痛缓解,并能促进肌肉机能的恢复。段昌平、张建国的研究也表明针刺有促进大负荷运动后骨骼肌超微结构变化恢复的作用。

维生素 E 属脂溶性维生素,作为抗氧化剂能清除自由基,稳定细胞膜,保护生物有机体,有抗毒物作用。研究显示维生素 E 能保持免疫细胞结构和功能,以增强免疫力^[45]。维生素 E 能直接或间接保护机体抵抗氧自由基的损伤,通过饮食摄入的抗氧化物质在体内能清除机体内的自由基。

3 小结

细胞骨架系统不仅是细胞的支架结构,决定细胞的形状,赋予强度,而且是对各细胞器乃至某些大分子进行空间组织安排的统一基质,是能量转换的主要场所。细胞骨架遭到破坏可导致运动性骨骼肌损伤,因为细胞骨架蛋白对维持肌节的正常结构起重要作用。肌节内外骨架蛋白的位置决定它们在维持肌节正常结构和功能的重要性,细胞膜骨架蛋白在维持细胞膜的完整性方面有重要作用,这些细胞骨架蛋白的变化是研究运动性骨骼肌损伤的敏感的形态学指标。

参考文献:

- [1] 贾长恩,牛建昭.分子细胞学与疾病[M].北京:人民卫生出版社,2003:311-344.
- [2] 杨建一.医学细胞生物学[M].天津:科学出版社,2000:128-149.
- [3] 徐国恒.细胞骨架—肌动蛋白纤维[J].生物学通报,2005,40(2):43.
- [4] Asgari S,Schmidt O. A coil region of an insect immune suppressor protein is involved in binding and uptake by hemocytes[J]. Insect Biochem Mol Biol,2002,32(5):497-504.
- [5] 韩伯仁,等编译.分子细胞生物学.第二版[M].北京:科学出版社,2001:243-281.
- [6] M. Bishr Omary. Intermediate Filament Proteins and Their Associated Diseases[J]. Review Article Mechanisms of Disease,2004,351:2087-2092.
- [7] 王小虎,卫小春,陈维毅.软骨细胞力学特性的研究进展[J].中华医学杂志,2006,21:1502-1504.
- [8] Blain EJ,Gilbert SJ Duance VC. An intact cytoskeleton is essential to maintain articular cartilage chondrocyte metabolism[J]. Int J Exer-Patho,2005,86:A10-A11.
- [9] 薛军.细胞骨架在临床疾病中的研究进展[J].医学信息,2002,15(3):192-194.
- [10] 陈建国.细胞骨架研究中国科学家谈科学[J].Science Focus,2007(5):20.
- [11] 袁建军.细胞骨架的基本成分与功能[J].生物学教学,2006,31(4):5-8.
- [12] 魏华.细胞骨架对心肌离子通道活动的影响[J].中国心脏起搏与心电生理杂志,2005,19(2):150-152.
- [13] Rosado JA. Effects of reactive oxygen species on actin filament polymerisation and amylase secretion in mouse pancreatic acinar cells[J]. Cell Signal,2002,14(6):547-603.
- [14] Van Minnebruggen G. Temporary disturbance of actin stress fibers in swine kidney cells during pseudorabies virus infection[J]. Vet Microbiol,2002,86(1-2):89-94.
- [15] 李春江,卫小春.软骨细胞骨架研究进展[J].生物骨科材料与临床研究,2007,4(2):24-26.
- [16] 高前进.骨骼肌细胞骨架蛋白研究综述[J].北京体育大学学报,2005,28(10):1382-1384.
- [17] 马涛,李世昌.细胞骨架及运动性骨骼肌微损伤研究进展[J].体育学刊,2006,13(5):48-52.
- [18] 刘娅利.细胞骨架作用剂抗青光眼的研究进展[J].眼科研究,2007,25(3):229-231.
- [19] Ballarin L,Scanferla M,Cila F,et al. Phagocyte spreading and

- phagocytosis in the compound ascidian *Boeryllus schlosseri*: evidence for an integrinlike, RGD-dependent recognition mechanism[J]. *Dev Comp Immunol*, 2002, 26(4): 345-399.
- [20] Lee S, Kolodziej PA. Short Stop provides a essential link between F-actin and microtubules during axon extension[J]. *Development*, 2002, 129(5): 1195-1204.
- [21] Ehmsen J, Poon E, Davies K. The dystrophin associated protein complex[J]. *J Cell Sci*, 2002, 112: 2801-2803.
- [22] Francesca S, Marzia B, et al. Dystroglycan and muscular dystrophies related the dystrophin glycoprotein complex [J]. *Ann Ist Super Sanita*. 2003, 39(2): 173-181.
- [23] Richard M. Lovering and Patrick G. De Deyne Contractile function, sarcolemma integrity, and the loss of dystrophin after skeletal muscle eccentric contraction-induced injury[J]. *Am J Physiol Cell Physiol*, 2004, 286: C230-C238.
- [24] 林昭润. 电击后心肌细胞骨架改变的研究进展[J]. *中山大学学报论丛*, 2007, 27(3): 193-195.
- [25] 段立公, 李国平. 结蛋白和波形蛋白在肌肉损伤和再生过程中的表达及意义[J]. *中国运动医学杂志*, 2001, 20(4): 400-402.
- [26] Melanie L. Styers. Architecture of the vimentin cytoskeleton is modified by perturbation of the GTPase ARF1[J]. *Journal of Cell Science*, 2006, 119: 3643-3654.
- [27] 魏源. 补充活性肽对离心运动后骨骼肌微损伤及修复效果的观察研究[J]. *体育科学*, 2007, 27(3): 59-67.
- [28] Wang N, Stamenovi D. Contribution of intermediate filaments to cell stiffness, stiffening and growth[J]. *Am J Physiol Cell Physiol*, 2000, 279: C188-C194.
- [29] 袁建琴, 王瑞元. 运动对结蛋白的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2006, 25(2): 210-212.
- [30] 陈金星. 高血压大鼠心脏细胞骨架蛋白微管蛋白和结蛋白[J]. *高血压杂志*, 2006, 14(2): 124-128.
- [31] Lieber, R. L. T. Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cycl eccentric contraction[J]. *J Appl. Physiol*, 1996, 77: 1439-1444.
- [32] Lieber, R. L. T. Mechanisms of muscle injury after eccentric contraction[J]. *J. Sci. Sport*, 1999, 2(3): 253-265.
- [33] Komulainen J. Gender differences in skeletal muscle fibre damage after damage after eccentrically biased downhill running in rats[J]. *Aca Physiol Scand*, 1999, 165: 57-63.
- [34] 袁建琴. 低氧、离心运动对结蛋白分布和表达的影响[D]. 北京体育大学博士学位论文, 2004.
- [35] 李世成, 焦海舟. 大鼠离心运动后骨骼肌微损伤机制的研究[J]. *湛江师范学院学报*, 2006, 27(3): 90-95.
- [36] 王翔, 魏源. 力竭运动后大鼠骨骼肌不同肌纤维线粒体钙含量和肌浆网 Ca^{2+} -ATP 酶活性变化[J]. *浙江体育科学*, 2002, 24(2): 50-51.
- [37] Yu J G, Dieter OF, Thomell LE. The mode of myofibril remodeling in human skeletal muscle affected by DOMS induced by eccentric contractions[J]. *Histochem Cell Biol*, 2003, 119(5): 383-393.
- [38] Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2002, 81(11 suppl): S52-S69.
- [39] KAROLINE CHEUNG. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors[J]. *Sports Med*, 2003, 33(2): 145-146.
- [40] Nikawa T, Ikemoto M, Sakai T, et al. Effects of soy protein diet on exercise-induced muscle protein catabolism in rats[J]. *Nutrition*, 2002, 18(6): 490-495.
- [41] Van Hall G, Sail WH, Van de Schoor PA, et al. The effect of free glutamine and peptide ingestion on the rate of muscle glycogen resynthesis in man[J]. *Int J Sport Med*, 2000, 21(1): 25-30.
- [42] 章伟文. 能量合剂灌注对人离体骨骼肌超微结构的影响[J]. *现代实用医学*, 2007, 19(1): 50-51.
- [43] 韦金亮. 不同中药提取物对小鼠抗氧化清除自由基及作用机制的比较研究[D]. 广西师范大学, 2006.
- [44] 王瑞元. 一次力竭离心运动后大鼠骨骼肌 α -actin 代谢、 α -actin 和 MHC 基因表达及针刺对其的影响[D]. 北京体育大学博士研究生学位(毕业)论文, 2003.
- [45] 彭莉. 维生素 E 与运动[J]. *浙江体育科学*, 2001, 23(6): 39-41.

责任编辑:刘红霞

(上接第 58 页)

3.2 完善《学生体质健康标准》的指标体系

加强能够反映学生心理健康素质、社会适应能力、自然适应能力等指标的研究,增加运动能力相关的体质指标。

3.3 重新设置选测项目

做到既能全面地反映学生体质健康状况,又在测试项目的评价意义上不重复。舍弃存在争议较多的测试项目,并加强可替代性项目的研究。

3.4 完善学生体质健康标准管理软件

增加按民族统计的功能,并建议依托校园网络资源,增加与学生的互动,提供有针对性的个性化服务。如学校及时发布学生体质健康测试结果;学生个人可上网查询自己的体质健康测试结果及咨询针对自身的运动处方。

3.5 加强少数民族传统体育项目的健身价值研究

融歌舞娱乐为一体的少数民族传统体育项目不仅能强身健体,还能愉悦心情。将其纳入运动处方,将能丰富运动处方的内容,形成浓郁的中国特色,对我国大量非物质文化遗产的传承也大有裨益。

3.6 暂时取消测试成绩与学生评优和毕业资格审查挂钩的实施办法

鉴于《学生体质健康标准》及学生体质健康测试诸多方面有待于进一步完善,建议暂时取消《学生体质健康标准》测试

成绩与学生评优和毕业资格审查挂钩的实施办法。

参考文献:

- [1] 陈明达,于道中. 实用体质学[M]. 北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1993.
- [2] 学生体质健康标准研究组.《学生体质与健康标准(试行方案)》解读—为了每一位学生的健康[M]. 北京:人民教育出版社, 2002.
- [3] 中国国民体质监测系统课题组.《中国国民体质监测系统的研究》[M]. 北京:北京体育大学出版社, 2000.
- [4] 第二次国民体质监测报告公布[EB/OL]. <http://219.219.191.244:1980/pe/shhbzh/gongju/data/200609/3860.html>.
- [5] 徐坚,刘立清,韩飞. 中美两国体质健康研究现状的比较[J]. *西北师范大学学报*, 2005(4): 86-88.
- [6] 甄志平,邢文华. 中国学生体质测试指标体系演进历程及发展构想[J]. *中国体育科技*, 2005(6): 91-93.
- [7] 傅纪良. 中国与新西兰学生体质健康测试指标的比较研究[J]. *成都体育学院学报*, 2005(6): 102-104.
- [8] 李萍. 体质健康测试中耐力素质测试指标的有效性述评[J]. *体育学刊*, 2005(5): 36-38.
- [9] 孙晔,张来明,徐南强. 实施《体质与健康标准》的启示与探讨[J]. *吉林体育学院学报*, 2005(4): 117-119.
- [10] 黄国龙,郭孝平. 普通高等学校实施《学生体质健康标准》的几点思考[J]. *吉林体育学院学报*, 2005(3): 100-102.
- [11] 阎智力,石井胜. 关于中日学生体质健康标准的比较[J]. *体育学刊*, 2005(6): 106-108.
- [12] 于丽莉. 中美两国体质健康研究现状的比较[J]. *辽宁体育科技*, 2005(4): 66-67.

责任编辑:刘红霞