

运动生物力学讲义

下

北京体育学院运动生物力学组编印

一九八〇年十月

第四章
 第一节
 (一)
 (二)
 (三)
 (四)
 第二节
 第三节
 第四节
 (一)
 (二)
 第五节
 (一)
 (二)
 第六节
 第七节
 第八节
 第九节
 第十节
 第十一节
 第十二节
 第十三节
 第十四节
 第十五节
 第十六节
 第十七节
 第十八节
 第十九节
 第二十节
 第二十一节
 第二十二节
 第二十三节
 第二十四节
 第二十五节
 第二十六节
 第二十七节
 第二十八节
 第二十九节
 第三十节
 第三十一节
 第三十二节
 第三十三节
 第三十四节
 第三十五节
 第三十六节
 第三十七节
 第三十八节
 第三十九节
 第四十节
 第四十一节
 第四十二节
 第四十三节
 第四十四节
 第四十五节
 第四十六节
 第四十七节
 第四十八节
 第四十九节
 第五十节
 第五十一节
 第五十二节
 第五十三节
 第五十四节
 第五十五节
 第五十六节
 第五十七节
 第五十八节
 第五十九节
 第六十节
 第六十一节
 第六十二节
 第六十三节
 第六十四节
 第六十五节
 第六十六节
 第六十七节
 第六十八节
 第六十九节
 第七十节
 第七十一节
 第七十二节
 第七十三节
 第七十四节
 第七十五节
 第七十六节
 第七十七节
 第七十八节
 第七十九节
 第八十节
 第八十一节
 第八十二节
 第八十三节
 第八十四节
 第八十五节
 第八十六节
 第八十七节
 第八十八节
 第八十九节
 第九十节
 第九十一节
 第九十二节
 第九十三节
 第九十四节
 第九十五节
 第九十六节
 第九十七节
 第九十八节
 第九十九节
 第一百节

| | |
|-------|-----|
| 运动摄影 | 269 |
| 拍摄距离 | 270 |
| 取景范围 | 270 |
| 冲洗和放大 | 271 |
| 冲洗和放大 | 271 |
| 冲洗和放大 | 272 |
| 冲洗和放大 | 273 |
| 冲洗和放大 | 275 |
| 冲洗和放大 | 275 |
| 冲洗和放大 | 277 |
| 冲洗和放大 | 283 |
| 冲洗和放大 | 283 |
| 冲洗和放大 | 284 |
| 冲洗和放大 | 289 |
| 冲洗和放大 | 289 |
| 冲洗和放大 | 292 |
| 冲洗和放大 | 294 |
| 冲洗和放大 | 294 |
| 冲洗和放大 | 296 |
| 冲洗和放大 | 300 |
| 冲洗和放大 | 300 |
| 冲洗和放大 | 301 |
| 冲洗和放大 | 305 |
| 冲洗和放大 | 309 |
| 冲洗和放大 | 309 |
| 冲洗和放大 | 311 |
| 冲洗和放大 | 312 |
| 冲洗和放大 | 314 |
| 冲洗和放大 | 315 |
| 冲洗和放大 | 317 |
| 冲洗和放大 | 317 |
| 冲洗和放大 | 319 |
| 冲洗和放大 | 319 |
| 冲洗和放大 | 324 |
| 冲洗和放大 | 324 |
| 冲洗和放大 | 328 |
| 冲洗和放大 | 328 |

| | | |
|-----|-----|-----|
| 二、 | 第八节 | 335 |
| 一、 | 二、 | 338 |
| 五、 | 第一节 | 343 |
| 一、 | 二、 | 350 |
| 二、 | 三、 | 352 |
| 三、 | 四、 | 352 |
| 四、 | 二节 | 353 |
| 一、 | (一) | 354 |
| (二) | (二) | 360 |
| (三) | (三) | 361 |
| (四) | (四) | 361 |
| 二、 | (一) | 362 |
| (二) | (二) | 364 |
| (三) | (三) | 365 |
| (四) | (四) | 370 |
| 三、 | (一) | 370 |
| (二) | (二) | 372 |
| (三) | (三) | 375 |
| 四、 | (一) | 375 |
| (二) | (二) | 379 |
| 五、 | (一) | 389 |
| (二) | (二) | 389 |
| (三) | (三) | 394 |
| 三节 | | 399 |
| 一、 | | 400 |
| 二、 | | 401 |
| 三、 | | 409 |
| 四、 | | 418 |
| 五、 | | 426 |
| 六、 | | 434 |
| 七、 | | 442 |
| 八、 | | 450 |
| 九、 | | 456 |
| 十、 | | 468 |

| | |
|-----------|-----|
| 投掷标枪的力学分析 | 335 |
| 投掷标枪的力学分析 | 338 |
| 投掷标枪的力学分析 | 343 |
| 投掷标枪的力学分析 | 350 |
| 投掷标枪的力学分析 | 352 |
| 投掷标枪的力学分析 | 352 |
| 投掷标枪的力学分析 | 353 |
| 投掷标枪的力学分析 | 354 |
| 投掷标枪的力学分析 | 360 |
| 投掷标枪的力学分析 | 361 |
| 投掷标枪的力学分析 | 361 |
| 投掷标枪的力学分析 | 362 |
| 投掷标枪的力学分析 | 364 |
| 投掷标枪的力学分析 | 365 |
| 投掷标枪的力学分析 | 370 |
| 投掷标枪的力学分析 | 370 |
| 投掷标枪的力学分析 | 372 |
| 投掷标枪的力学分析 | 375 |
| 投掷标枪的力学分析 | 375 |
| 投掷标枪的力学分析 | 379 |
| 投掷标枪的力学分析 | 389 |
| 投掷标枪的力学分析 | 389 |
| 投掷标枪的力学分析 | 394 |
| 投掷标枪的力学分析 | 399 |
| 投掷标枪的力学分析 | 400 |
| 投掷标枪的力学分析 | 401 |
| 投掷标枪的力学分析 | 409 |
| 投掷标枪的力学分析 | 418 |
| 投掷标枪的力学分析 | 426 |
| 投掷标枪的力学分析 | 434 |
| 投掷标枪的力学分析 | 442 |
| 投掷标枪的力学分析 | 450 |
| 投掷标枪的力学分析 | 456 |
| 投掷标枪的力学分析 | 468 |
| 投掷标枪的力学分析 | 485 |
| 投掷标枪的力学分析 | 507 |
| 投掷标枪的力学分析 | 522 |

附表 / 主要参考文献

第四章

运动生物力学的研究方法

体育教师和教练员在教学和训练工作中，经常要分析研究学员的动作技术，评定练习完成的质量，指出优点、缺点和错误及其产生原因，并选择一些能够消除错误纠正缺点的手段，以及帮助学员改进技术，掌握正确的动作要领，提高运动技术水平。

然而人们进行体育活动的过程非常复杂，它表现出力学、热力学、生理学、生物化学和心理学等多方面的规律性。人体完成每一项技术动作都要和整个有机体的机能状况有密切联系，并与训练水平有关。因此，要科学地分析体育动作技术，光凭经验是远不够的，还必须借助于科学的研究方法，测定一些数据，积累一定的资料，才能客观地、比较准确地从各方面来阐明某一动作的特征及其规律性。但由于人体运动的复杂性，给《运动生物力学》研究方法的创造带来一定困难。有些研究方法效果不错，但由于缺乏仪器设备故暂不介绍。下面仅把我们常用的一些研究方法简单地介绍一下。当然，这些方法有它的局限性，并在某种程度上人为地简化了，但在体育运动技术的研究中仍是起着相当重要的作用。

第一节 拍摄和洗印技术动作照片 应注意的问题

人体的所有动作都是在一定的时间和空间里进行的，时间和位移是各种技术动作的基本特征，因此用照像和拍摄电影的方法来记录动作过程相当准确，且便于分析和保存。

一、拍摄技术动作电影注意事项：

根据运动项目和研究目的的不同，以摄取运动技术的实际部分和拟定研究重点部分为宜，为达到这一要求，应注意以下几点：

(一) 电影机镜头所对的位置：

电影机镜头对的方向，一般要与人体运动的平面垂直，与所要研究的重点部位等高。这样拍摄下的肢体运动幅度和关节变化角度才能比较符合实际情况。例如，长跑时人体的运动面在前后方向上，因此一般应从正侧面拍摄。同样拍摄各类跳跃动作的踏跳技术时，拍摄机应放在踏跳点的正侧面，镜头与运动员髋关节等高。当然，这也不是绝对的，而要依据所究的重点确定，如要研究踏跳过程中身体左右晃动的情况，就必须从正后（前）面拍摄。

(二) 拍摄距离：

拍摄距离主要根据选用的电影摄影镜头和所拍摄的动作特征确定。常用的电影摄影机一般都装有三个镜头，一是标准镜头，一是广角镜头，一是望远镜头。它们的视野镜头和用途各不相同。标准镜头（也称通用镜头）的焦距为50毫米（从镜头中心至胶片的距离），它的视野范围与人眼相近，反映物体的比例也和人眼相似，所以称之为标准镜头。平常多采用这个镜头。广角镜头（称焦距镜头）的焦距为16毫米，它的视角广，在同样距离比标准镜头拍摄的场面宽广得多，拍摄出的画面深度大，透视感强，前景显得特别大，背景显得特别小，缺点是成像变形较大。在场地条件受限制或研究个别技术（如落地时的缓冲动作）时，可用这种镜头。望远镜头（长焦距镜头）的焦距为75~150毫米，它的视角范围小，能放大远处的物体，在被摄体距离较远又不能靠近的条件下——如足球比赛、跳伞等——采用这种镜头。用16毫米电影摄影机，选用标准镜头拍摄一般的单个动作时，拍摄距离约在8~10米，主要是看能否拍摄下所要研究的动作为准。显然拍摄挺举的完全动作和拍摄撑杆跳高的完全动作时，拍摄距离不能一样。

(三) 取景范围：

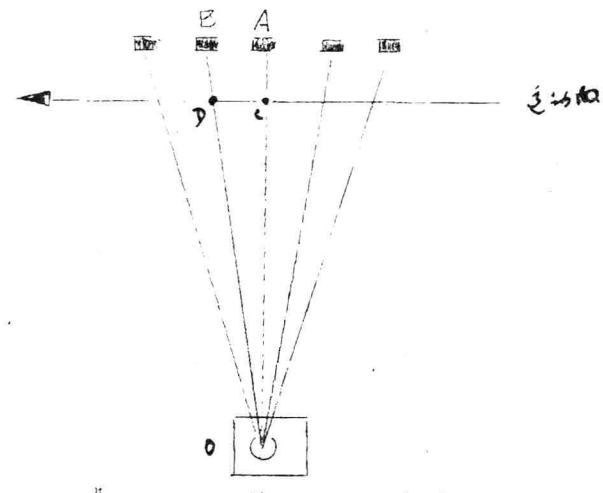
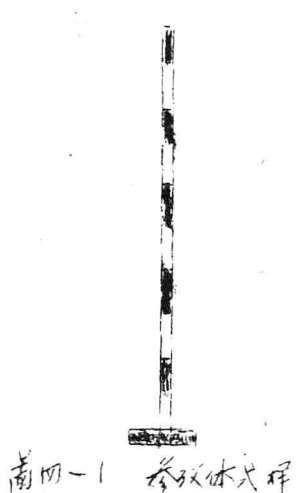
为了缩小测量计数的误差，拍摄电影时最好将摄影机安装

在有垂直转轴的支架上，在拍摄举重、起跑、跳高的过杆动作和体操中的某些单个动作时，摄影机镜头可以固定，这时的取景范围以恰好拍下所要研究的单个动作或某一动作片段为准。在拍摄跳远、跳高、掷标枪、跳马、篮球的运球等单个动作时，摄影机镜头应随着运动员（被摄体）的移动绕支架的垂直轴转动。在这种情况下，取景范围应稍大于运动员身体一瞬间占据范围。如果条件允许，最好是将摄影机安装在有水平轨道的支架上，可随运动员同速平行地移动。将摄影机拿在手里拍摄，机身容易晃动，致使误差增大。

(四) 设置参照体和比例尺：

为了保证能从所摄制的影片上获得较多的有价值的材料，拍摄电镜时应设置参照体和比例尺。

参照体可以用装有固定底座自带有刻度的标杆（图四—1）。摄影之前将标杆放在取景范围之内，同运动员一起拍摄下来。如果要拍摄运动员通过较长一段距离上的动作，就要放置几个顺序编号的参照体。为了不妨碍运动员做动作，参照体与运动员之间要隔开一段距离。例如图四—2，摄影机镜头至运动员通过的运动面的距离为8米，参照体A、B距至运动面的距离为1米，则镜头至参照体A、B距所在平面的距离为



9米。如果运动员上C、D两点间的距离是1米，则参照体A、B之间的距离应为：

$$AB = \frac{AO \cdot CD}{CO} = \frac{9 \times 1}{8} = 1.125(\text{米})$$

比例尺是用来计算物像比实物缩小倍数的。如比例尺长1.8米，它的像长1厘米，则像片的缩小倍数为：

$$180 \text{ 厘米} \div 1 \text{ 厘米} = 180 (\text{倍})$$

当用参照体兼做比例尺时，因为参照体至镜头的距离(AO)大于运动员至镜头的距离(CO)，所以参照体像的缩小倍数也大于运动员像缩小的倍数。在计算中需先求出参照体像的缩小倍数，再乘上两个距离AO与CO之比，才会得到人像的缩小倍数。例如，按图四—2所示放置参照体时，即AO=9米，CO=8米。当参照体高1.8米，它的像高1厘米时，则人像的缩小倍数为：

$$180 \text{ 厘米} \div 1 \text{ 厘米} \times \frac{8}{9} = 160 (\text{倍})$$

此外，关于拍摄频率的选择，要根据研究任务的要求来确定，拍摄频率越高，拍摄下来的动作过程越详细，便于分析动作过程中的细微变化，但用的片子多，洗印时用的像纸多，占用的时间长。拍摄频率越低，同一动作过程记录下的画面越少，动作的细微变化过程就无法分析了。所以拍摄频率应根据研究任务的要求和设备条件确定。

二、洗印和放大技术动作影片注意事项

底片冲洗好后，根据研究任务要求，进行选片，把需要印成像片的底片挑选出来，做上记号，以便印像。根据需要可以隔一张或几张印一张，如果需要也可以全部印像。

一般体育动作摄影多用16毫米的电影负片，如用来直接印像，观察、测量、分析十分费力，且准确度很低，因此，印像

时一般都要放大，为了便于计算，放大倍数 \times 应取整数。为此，需要在放大的像纸上放一个毫米直尺，使胶片上比例尺的某一刻度与像纸上直尺的某一长度 S 重合， S 按下两公式计算：

$$S = \text{比例尺像长} \times \text{放大倍数} \times$$

$$\text{或} \quad S = \frac{\text{比例尺长度}}{\text{比例尺缩小倍数}} \times \text{放大倍数} \times$$

例如，胶片上比例尺像长1厘米，欲使印像放大5倍，则 $S = 1 \text{厘米} \times 5 = 5 \text{厘米}$ 。仍以高40厘米为例，这样放大印出的像片上的比例尺像比实物则缩小 $180 \text{厘米} \div 5 \text{厘米} = 36 \text{倍}$ 。而人的像长比人的实际高度缩小 $36 \text{倍} \times \frac{13}{4} = 117 \text{倍}$ 。

为了节省像纸，或想把像片放得很大，可装一下动作的轮廓，也可用幻灯机投射在大张白纸上，用铅笔描下人像的轮廓、各关节中心点及参汉体，代替照片。

第二节 绘制人体运动简图的方法

通过拍摄中影、冲洗、放大印像，取得技术动作简片后，可根据简片绘制人体动作过程简图，画出各关节点移动轨迹。

一、确定技术动作简片上人体各关节中心点

拿过一张技术动作简片来，第一步工作是确定人体各大关节的中心点，这是做好测量和计算工作的前提。如果误差过大，根据简片测量、计算所得的一切材料都将失去应有的价值，因此做这项工作要特别细心，力求准确。

为了便于在简片上准确地找出各关节的中心点，可在拍摄中影前在运动员各主要关节中心点部位（对着摄影机的一面）贴上圆形或十字形的黑色胶布（见图——三）。

根据人体解剖学部位，多数关节中心点是在相互连结的两骨的纵轴线的交点上，但有的骨不在该环节纵轴中心部位，而偏于一侧，例如小腿的前内侧面无肌肉，后面肌肉很多，骨骼线偏于前侧。肘关节屈伸时其中心点离鹰咀比较近。

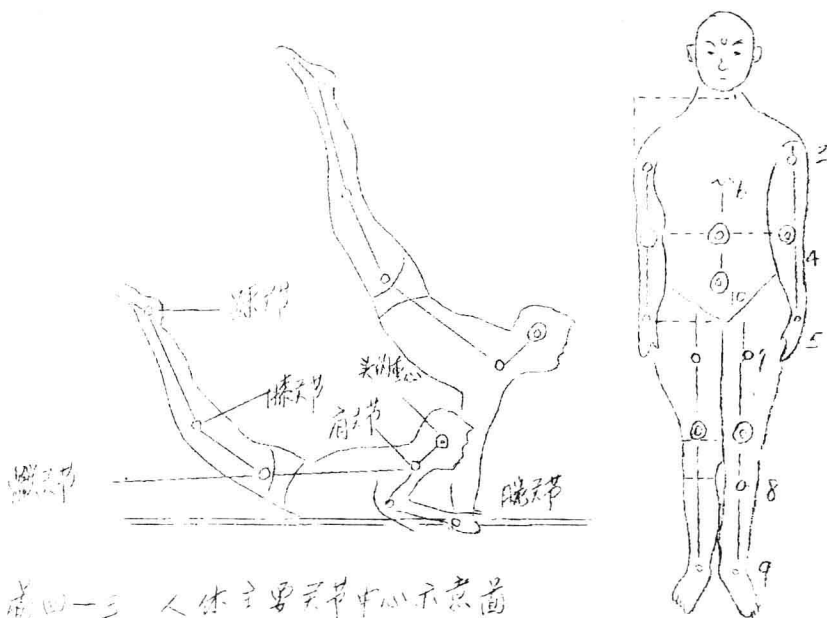


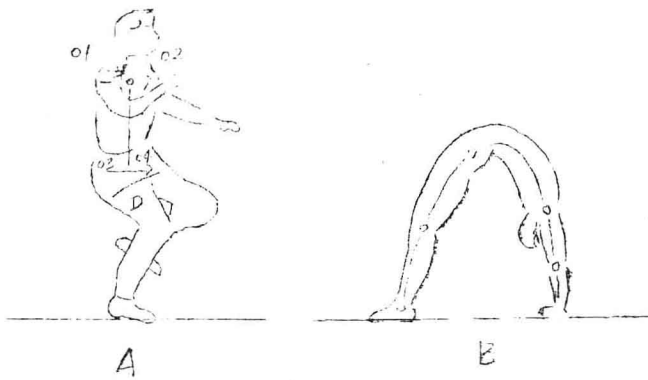
图1-3 人体主要关节中心示意图

人体主要关节中心的位置：

- 肩关节：侧面：肩峰下一横指处，或大结节上方。
前面：锁骨肩峰端下一横指。
后面：肩胛骨^{腋窝}外侧缘。
- 肘关节：外侧：桡骨小头上—横指处。
内侧：肱骨内上髁下一横指处。
前面：肘窝正中尖。
后面：(伸位)鹰咀突背侧最突出处。
- 腕关节：掌侧：绕腕关节掌侧中心点。
背侧：绕腕关节背侧中心点。
外侧：桡骨茎突处。
内侧：尺骨茎突处。
- 髋关节：侧面：大转子头上一横指。
前面：腹股沟韧带中心点。
后面：坐骨结节上外侧三—四横指。
- 膝关节：前面：(伸直位)髌骨中心点。
后面：腓窝中心点。
外侧：腓骨小头上—横指处。
内侧：胫骨内侧踝上一横指处。
- 踝关节：外侧：外踝头上一横指处。
内侧：内踝头处。
前面：内踝与外踝连线中点。
- 足长：足尖至跟结节。0.41处为重心。
- 手的重心位置：第三掌指关节处。
- 头的重心位置：前面：两眉之间。
侧面：耳廓上缘中点。

二、绘制人体运动简图：

在技术动作照片上确定了各主要关节中心点、头和手的重心位置及足长以后，可用细针将各点刺成小孔（能看清楚即可，越细越好），以表示人体各关节的中心点及头和手的重心位置与手足的长度。然后把各环节两端的关节中心点用直线连结起来，以直线作为各环节的纵轴并表示其长度。例如，髋、膝两中心点的连线即表示大腿的纵轴及其长度。肘、腕两关节中心点的连线即表示前臂的纵轴及其长度。躯干的纵轴是两肩关节中心点连线的中心点与两髋关节中心点连线中点的连线，例如简图——4——A中，二肩关节中心点联线 C_1C_2 的中心点是C，二髋关节中心点联线 D_1D_2 的中心点是D，则连线CD即为躯干的纵轴并代表其长度。如果这动作照片是从侧面拍摄的，躯干的扭转又不大，二髋关节中心点及肩关节中心点各自重合，这时，肩、髋两关节中心点的连线便是躯干的纵轴。当躯干呈弯曲状态时，如做体操桥时，二肩关节中心点联线的中点到两髋关节中心点联线的中点的连线，就不应该画成直线了，而应该按躯干纵轴的走向画成曲线（如简图——4——B）。



简图——4 躯干纵轴的表示方法

原书缺页

原书缺页

为了保持运动技术简图的清晰美观，简图上各环节的纵轴线段可画在简图的背面，按人体结构顺序将各环节连接起来，便得到一张人体运动简图。连接时要注意，头与颈与两肩关节中心点、腕与肘的中点、腕与膝、膝与踝、踝与足尖、肩与肘、肘与腕、腕与手相连接。

绘出单个的人体运动简图后，把连续的技术简图绘制成连续的人体运动简图的步骤如下：

1. 测量出各张技术简图上各关节中心点、头和手的重心点及足尖距垂直轴（y轴）和水平轴（x轴）的距离（坐标轴OX、Oy最好选在运动面上），并按简图顺序编号记入表格（表四——1）。点至垂直轴的距离称横坐标（x坐标），记入x坐标栏内；点至水平轴的距离称纵坐标（y坐标），记入y坐标栏内。

表四 1 绘制人体运动简图表（x坐标）

| 像号 | 关节 | 头 | | 肩 | | 肘 | | 腕 | | 手 | | 髋 | | 膝 | | 踝 | | 趾 | | | | | |
|----|----|------|------|------|------|----|------|------|---|------|-----|----|----|----|------|----|---|----|------|----|-----|----|---|
| | | 后 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | | | | |
| | | 65.2 | | 54.8 | | 53 | | 59.6 | | 55.1 | | 31 | | 48 | | 15 | | 30 | | 16 | | 35 | |
| | | | 35.2 | | 34.5 | | 19.7 | | 5 | | 2.5 | | 27 | | 12.8 | | 2 | | 10.2 | | 9.2 | | 1 |

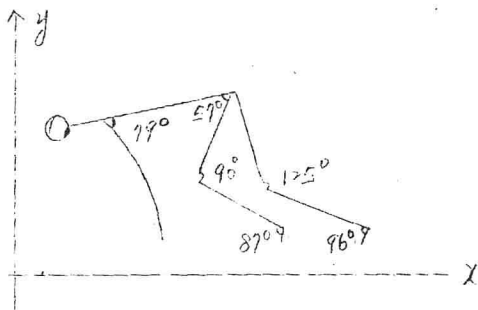
注：1. 一张纸上画这样两个表，一张登记x坐标，另一张登记y坐标，以便对照和画简图。

2. 头和手用其重心点代表。

2、在坐标纸(毫米方格纸)上画一直角坐标系 Ox 轴。
(x 轴正向的选择最好和人体运动方向相同)

3、把照片上的关节中心点及头、手的重心点与中趾尖点搬到坐标纸上。例如,髋关节中心点的 x 坐标是 5 厘米、 y 坐标是 2 厘米,就在坐标纸上距 y 轴 50 毫米,距 x 轴 20 毫米处画一个点。

4、根据各关节中心点画出各个环节的纵轴,方法与盖片上一样。把头的重心点同二肩关节中心点联线的中点用直线连接起来,再把头的重心点外画一小圆圈作为人头,即得人体姿势简图(如图四—5)。用同样方法把各张盖片的人体姿

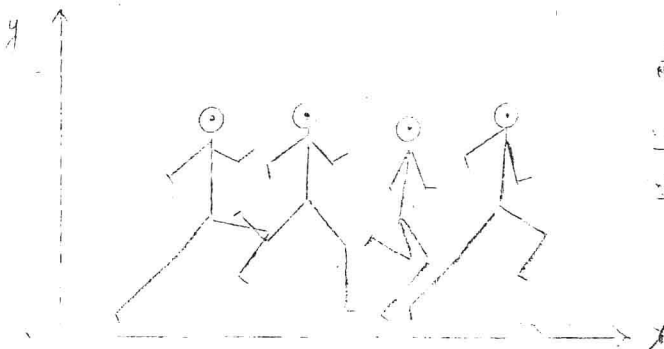


14
0

图四—5 人体运动简图

势简图都画在坐标纸上,就得到连接的人体运动简图(图四—6)。

为了便于观察,可把全部坐标做同时乘一倍,这样,人体运动简图就放大若干倍。



图四—6

连接的人体
运动简图

人体运动简图反映了人体各环节在空间位置的改变情况。可以从简上一目了然地看出人体各关节和各环节的运动路线，运动距离和运动幅度等。此外，由于拍摄频率一定，并且知道简图的缩小倍数，就可以根据各个人体运动简图之间的距离和姿势的变化，看出各个人体和人体各关节和各环节运动的快慢，并可计算出移动的实际距离。