

第二节 太阳辐射的生物学效应

太阳辐射是来自太阳的电磁波辐射。太阳辐射通过大气层时，约有 43% 被云层所反射，14% 为大气中的尘埃、水蒸气、二氧化碳、臭氧吸收。仅有 43% 以直射日光和散射日光形式到达地面。

太阳辐射包括红外线、可视线、紫外线、无线电波、X 射线、 γ 射线、宇宙线等。到达地球表面的主要为前三种，波长在 760 毫微米以上为红外线，760~390 毫微米为可视线，小于 390 毫微米为紫外线。

太阳辐射强度还受到各种因素的影响，例如太阳的高度角、海拔的高度、大气污染的程度等。太阳的高度角越大，海拔越高，大气污染越轻，太阳的辐射强度越大。在大气层的外界，与太阳光线相垂直的平面一分钟内照射在一平方厘米面积上的太阳辐射热量为 1.97 卡/厘米²·分，此值称为太阳常数。到达地面的太阳辐射，一部分被土壤吸收变为热能，一部分被反射回大气。各种不同的地表反射率亦不同，雪的反射率最大可达 80~90%，而且对太阳辐射中短波部分反射能力较强。

一、红外线(infrared ray)

红外线占太阳辐射一半以上，而且大部分集中在 760~2,000 毫微米部分。红外线按波长可分为近红外 700~3,000 毫微米，中红外 3,000~20,000 毫微米，远红外 20,000~1,000,000 毫微米。凡温度高于绝对温度的零度(0° K = -273.2°C) 的物体都是红外线的辐射源。物体的温度越高，其辐射的波长越短。军事上也使用有多种人工红外线辐射源如钨灯、红外线探照灯、弧光灯、红外激光器、电焊等。

红外线对机体的作用与波长有关。红外线照射皮肤时，大部分被吸收。长波红外线被皮肤表层吸收，而短波红外线则被较深层皮肤吸收，使血液及深部组织加热。较强的红外线作用于皮肤，能使皮肤温度升高到 40~49°C，而引起一度烧伤。波长 600~1,000 毫微米的红外线可穿过颅骨，使颅骨和脑髓间的温度达到 40~42°C，因而引起日射病。红外线照射于眼睛，可以引起多种损害，如角膜吸收大剂量红外线可致热损伤，破坏角膜表皮细胞，影响视力；长期接触短波红外线还可引起白内障。人对红外线辐射比较敏感，0.02 卡/厘米²·分即有热感，1.5 卡/厘米²·分有不可耐受的烧灼感，皮温可升高到 40°C 以上。南方地区夏季中午前后，太阳辐射可达 1.3~1.5 卡/厘米²·分，加上气温升高，在军事训练时，应多加注意，防止过热。

人体暴露于太阳辐射下的面积，站立时比坐着时大。站立的人接受太阳辐射可达 34 千卡/1 米²·时，戴草帽则可大大减少曝晒的面积。干热地区穿着衣服对于防止太阳辐射是很重要的。

二、可见光(visible light)

可见光是指波长 390-760 nm 的电磁波,主要来自太阳辐射或人工照明。可见光的生物效应主要包括下面三个方面:

(一) 色光的生物效应

色光的生物效应按颜色而异,主要分红橙光和蓝紫光两类:

1. 红橙光:红光照射于皮肤,只有少量被皮肤吸收,但若辐射剂量很大,也会出

现皮肤效应。动物实验表明,红光可引起血液白细胞总数和嗜酸性白细胞减少,改善生长代谢,降低血糖;对紫外线的维生素 D 活化作用有拮抗作用;红光还可通过垂体促进促性腺激素的分泌。

2. 蓝紫光:蓝光经过皮肤时,被红光吸收的比红光少,因此一般不会产生皮肤效应。

蓝紫光是红橙光生理作用的拮抗物。动物实验表明,蓝光能防止胰岛素低血糖症,抑制促性腺激素的形成。

(二) 可见光的间接作用

可见光的间接作用主要是通过视觉器官的光受体细胞产生神经或神经内分泌信号,如松果体的褪黑激素分泌主要受光照调节,光线→视网膜细胞的光受体(隐色素)→视上核→松果体→褪黑激素,从而使机体的生命活动呈现昼夜周期性的节律变化,使机体的紧张状态、体内的物质代谢、激素分泌、脉搏、体温以及睡眠和觉醒发生节律性的变动。人体及自然界很多生物都具有的这种感知时间或测量时间的能力类似于时钟,因此这种现象称为生物钟。

生物钟最常见的是昼夜节律,如体温的昼夜变动,睡眠-觉醒周期等。体温昼夜节律发生紊乱,常是病变的重要标志,如癌症患者的体温昼夜变动消失。成年人 24 小时只有一次睡眠-觉醒周期,白天睡眠效果不及晚上好。从白班改上夜班,使睡眠-觉醒相位倒转,导致神经、内分泌系统的周期节律被扰乱。如果经常倒班,容易患某些疾病如溃疡、低血压、失眠、头痛等,并认为倒班比常值夜班所造成的节律紊乱更为严重。

另外,尽管昼夜节律的产生归因于光照的昼夜变化,但有的节律在没有光照—黑暗变化的恒定环境中,其周期性仍存在,如体温的昼夜节律,果蝇幼虫的羽化,这类节律称为内源性节律,当光照周期发生改变时,内源性节律必须经过一定时期调整才能与新的环境周期同步。而有的昼夜节律变动完全受光照周期支配,当这种光照周期撤销后,节律立即消失,如松果体及受松果体调节的节律,此类节律称为外源性节律。

三、紫外线(ultraviolet ray, UV)

太阳辐射中能到达地面的紫外线波长大于 290 毫微米。人工紫外线辐射源如电焊、水银石英灯、探照灯产生的紫外线波长多短于 290 毫微米。

(一) 各段紫外线的生物学作用

紫外线按其生物学作用分为三类:

紫外线 A 段 (UV-A), 波长 320~400 毫微米(长波), 其生物学作用较弱, 但可使皮肤中黑色素原通过氧化的作用转变为黑色素, 沉着于皮肤表层。黑色素能吸收多种光线, 而对短波辐射吸收量更大。被色素吸收的光能变成热能, 使汗液分泌增加, 增强了局部散热而保护皮肤不致过热, 同时防止光线深入穿透组织, 避免内部组织过热。

紫外线 B 段 (UV-B), 波长 275~320 毫微米(中波), 有较强的红斑作用和抗佝偻作用。紫外线能使人体皮肤和皮下组织中的麦角固醇和 7-脱氢胆固醇形成维生素 D₂ 和 D₃。许多研究指出, 不论预防或治疗佝偻病, 仅用维生素 D 效果不如照射紫外线好。在紫外线照射下, 由于皮肤毛细血管的扩张和表皮细胞受到破坏, 释出组织胺和类组织胺, 使皮肤出现红斑。

紫外线 C 段 (UV-C), 波长 200~275 毫微米(短波), 它对机体细胞有强烈的作用, 也有较强的杀菌能力。能杀灭一般的细菌和病毒。波长越短, 杀菌作用越好。波长 253.7 毫微米杀菌作用最强。太阳辐射中的紫外线波长大于 290 毫微米, 所以杀菌作用远不如紫外线灯。

各段紫外线具体的生物学效应见表 2-1。

波段	生物学效应	过量时可能的危害
UV-A	晒黑作用	光照性皮炎、眼炎、形成皱纹
UV-B	产生红斑和抗佝偻病	形成皱纹、老年斑、皮肤癌、白内障
UV-C	杀菌作用	正常情况下到达地面的太阳辐射中无 UV-C

太阳辐射中的紫外线 C 段和大部分 B 段为平流层的臭氧层所吸收, 到达地面的紫外线主要是 A 段和少部分 B 段 (>290nm)。其生物学效应以 B 段较强, A 段仅相当于 B 段的 1% 以下。由于紫外线的照射, 人的皮肤从儿童期就开始老化, 20 岁以后容颜开始出现老化征兆, 称为“光老化”。在光老化中引起老年斑和肿瘤的是 B 段所致, 皱纹的形成与 A 段和 B 段都有关系。

（二）紫外线生物学作用的分子机制

1. 诱导基因突变：夏季日晒 30 分钟后，可使皮肤产生红斑。B 段使发红的皮肤上皮细胞中胸腺嘧啶转化为环丁烷型二聚体，这既是紫外线照射使皮肤光损伤的分子基础，也是皮肤癌的始动因子。这种变化既造成了 DNA 损伤，也往往使抑癌基因 p53 发生变异。在皮肤的基底细胞癌或有棘细胞癌中发现有 50%—90% 以上的肿瘤是 p53 突变引起的，这是因为癌症初期上皮细胞中二聚体的变异所致。

2. 产生活性氧：紫外线照射下表皮细胞可产生 O_2^- ， H_2O_2 ，OH， $-OH$ 等活性氧，这些活性氧能使 DNA 的 8-羟基鸟甙等受到损害，从而引起遗传因子变异。

3. 抑制免疫反应：给小白鼠连续 20—30 周每 5 次进行紫外线照射，即可发生皮肤恶性肿瘤，把这种肿瘤在同系小白鼠上移植是不成功的，然而在移植前一天经 B 段紫外线照射后不但移植成功且生长增殖。这说明紫外线照射可诱导免疫抑制。其机理是 B 段紫外线使表皮朗格罕氏细胞受到损害，免疫递呈作用减弱，T 细胞减少，抑制肿瘤排斥反应，促进皮肤癌发生。健康人无论老幼大约 40% 可以受到免疫抑制，在皮肤癌患者中可见到高达 95% 的出现免疫抑制。

（三）人体对紫外线的防御机能

1. 黑色素和角质层：黑色素能吸收多种光线，尤其是短波辐射，从而防止紫外线深入穿透组织，黑人的皮肤癌发病率极低便是例证。

2. DNA 的修复功能：正常人体对损伤的 DNA 有一定修复功能。当紫外线照射剂量不是很大，造成的 DNA 损伤不超过机体修复范围时，机体能对损伤的 DNA 进行修复，这对预防皮肤癌起很大的作用。该功能缺乏者如色素性干皮症患者发生皮肤癌的机会是正常人的 2000 倍。

3. 活性氧的消除机制：适量紫外线照射形成的活性氧可被体内的维生素 C，维生素 E，还原型谷胱甘肽（GSH）等非酶类物质或超氧化物歧化酶（SOD）等氧化酶类消除，但过量的紫外线照射形成过量活性氧超过了身体的清除率，则必然会造成 DNA 的损。

4. 免疫系统：NK 细胞既是细胞免疫监视机构，又是非特异性的对癌细胞起攻击作用的细胞，能清除少量癌细胞。

（四）紫外线的卫生防护

适量紫外线照射能促进人体免疫反应，增强对疾病的抵抗力，增强物质代谢，促进伤口愈合等，对儿童是预防佝偻病的最佳途径，任何补钙方式都不及日光浴。因此儿童、长期在室内、坑道、地下工作的人应适当晒太阳。

过量曝晒会引起皮炎、眼炎、皮肤老化及至皮肤癌、白内障，因此长期在野外、高山、海洋、沙漠工作，易受到过度照射的工作人员和官兵应注意防护。具体防护措施有

1. 中午紫外线最强，夏季中午前后设置掩蔽所，在 10-14 点之间采取掩蔽，可挡去一天中 2/3 的紫外线。在 9 点以前 15 点以后可安排相当多的户外活动。
2. 热天外出戴帽子，穿遮蔽较完整的衣服。妇女喜欢的薄的织品可使 50% 的紫外线到达肩部，男子的白衬衫平均可透过 20% 的紫外线。
3. 在皮肤表面涂一层可靠的紫外线吸收剂。
4. 当必须在太阳中停留时，可以采取改变面部方向、垂头、用手或手帕挡住头部等保护措施。只要有可能，就应当利用影子，如建筑物的影子和自己的影子。
5. 职业防护：如电焊工的护目镜和面罩，不透紫外线的衣服和手套，对紫外线辐射采取特殊的工程设计和围隔屏蔽等。