



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200310115396.6

[43] 公开日 2004 年 11 月 10 日

[11] 公开号 CN 1544947A

[22] 申请日 2003.11.21

[21] 申请号 200310115396.6

[71] 申请人 清华大学

地址 100084 北京市 100084 - 82 信箱

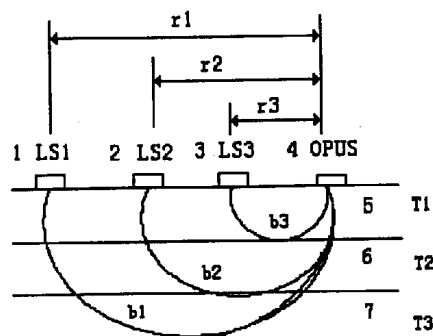
[72] 发明人 丁海曙 王广志 黄 岚 腾轶超  
赵 军 李 岳

权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 2 页

[54] 发明名称 骨骼肌代谢功能血运参数近红外组织无损检测方法

[57] 摘要

骨骼肌代谢功能血运参数近红外组织无损检测方法属于生物医学工程领域，其特征在于：针对不同测试对象（运动员和非运动员）和不同的肌肉组织的氧合血红蛋白变化量（ $\Delta HbO_2$ ）与还原血红蛋白变化量（ $\Delta Hb$ ）的检测选择合适的检测距离，并给出可以评定肌肉组织氧代谢能力的参数的检测步骤，算法及系统设计。传感器可以由 3 个发光二极管和一个光电接收器构成。整个测试系统含有传感器以及由前置放大电路、A/D 转换器、嵌入式微控制器、电源及液晶和触摸屏。它具有检测灵敏度高、检测系统结构简单的优点。



1、骨骼肌代谢功能血运参数近红外组织无损检测方法，包括用近红外双波长光谱方法检测生物组织中的合氧及还原的血红蛋白的变化量，其特征在于：它使用三个各自能分别发射波长为  $\lambda_1$  的红光和波长为  $\lambda_2$  的红外光的发光管与位于一侧的光电接收管组成传感器，三个发光管与光电接收器的中心距  $d$  至少为 30mm, 40 mm 和 50mm，检测时根据外层组织的类型从中选取具有相应的中心距的发光二极管，并只命令此发光二极管发光，根据检测到的波长分别为  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  的光密度  $OD^{\lambda_i}$ ， $i=1,2$ ，来分别计算两个相邻采样时刻的合氧血红蛋白浓度的和还原血红蛋白浓度的改变量  $\Delta CHbO_2$ 、 $\Delta CHb$ ，及血量变化  $\Delta BV = \Delta CHbO_2 + \Delta CHb$ ；在负荷递增运动实验条件下，同步记录心率值，把每级负荷下所计算得到的  $\Delta BV$  的变化量除以每级负荷下心率变化值，便可得到用于评定运动中组织血氧代谢能力的参数；以上所述的方法依次有以下步骤：

(1) 根据测试的对象和测试的部位，用超声方法测定外层组织厚度根据外层组织的厚度择定一个与光电接收管的距离  $d$  的发光二极管；

(2) 测试对象在功率自行车上静止 1 分钟，用通用的心率计测试心率 HR 并记录并记录  $\Delta BV$  的基线值，经以下以下步骤检测并计算出  $\Delta BV$ 。

(2.1) 检测在已选定的发光管与光电接收管的中心距离下光密度值

$$OD^{\lambda_i}$$

$$i=1,2;$$

$$OD^{\lambda_i} = \log \frac{I_{\lambda}^{\lambda_i}}{I_{出}^{\lambda_i}}$$

其中， $I_{\lambda}$  为光源功率， $I_{出}$  是入射光经过生物组织散射之后，光电接收管收到的光功率；

(2.2) 检测血氧状态随时间变化过程中，两个相邻采样间隔的光密度  $OD^{\lambda_i}$  之差  $OD_k^{\lambda_i}$

$$\Delta OD_k^{\lambda_i} = OD_{t+1}^{\lambda_i} - OD_t^{\lambda_i}$$

其中， $OD_t^{\lambda_i}$  和  $OD_{t+1}^{\lambda_i}$  分别为波长为  $\lambda_i$  时，在  $t$  时刻及其后的  $t+1$  时刻的光密度之差；

(2.3) 血氧状态随时间变化过程中，两个相邻采样时刻下，合氧血红蛋白的浓度变化是  $\Delta CHbO_2$ 、还原血红蛋白浓度变化是  $\Delta CHb$  和血量变化  $\Delta BV$ ，可用以下公式算出：

$$\Delta CHbO_2 = \alpha_1 \Delta OD_k^{\lambda_1} - \alpha_2 \Delta OD_k^{\lambda_2}$$

$$\Delta\text{CHb} = \alpha_3\Delta\text{OD}_k^{\lambda_1} - \alpha_4\Delta\text{OD}_k^{\lambda_2}$$

$$\Delta\text{BV} = \Delta\text{CHbO}_2 + \Delta\text{CHb}$$

其中  $\alpha_1$ - $\alpha_4$  为常数但与波长有关的,

波长为  $\lambda_1$  下

$\alpha_1$  为 -1.6~-2.5,

$\alpha_3$  为 2.6~3.85

波长为  $\lambda_2$  下

$\alpha_2$  为 -2.5~-3.6,

$\alpha_4$  为 0.6~1.6

(3)为了得到评定肌肉血氧代谢的动态参数,受试者按每级 50W 做负荷递增运动,用步骤(2)所述的方法记录每级负荷下运动过程的  $\Delta\text{BV}$  的值,同步记录每级负荷下心率 HR。

(4)计算出每级负荷  $\Delta\text{BV}$  的改变量  $\Delta\text{BV}_j$ , 计算出每级负荷  $\Delta\text{HR}$  的改变量  $\Delta\text{HR}_j$ , 计算出代表组织血氧代谢能力的参数 oxy。

$$\text{oxy} = \frac{\Delta\text{BV}_j}{\Delta\text{HR}_j}$$

j 表示运动负荷的级数

2、根据权利要求 1 所述的近红外组织血氧代谢评定参数的检测方法,其特征在于:当外层组织为肌肉的脂肪层的情况下,在检测肌肉血氧参数而脂肪厚度大于 15mm 时,d 值至少为 50mm, 否则至少为 40mm。

3、根据权利要求 1 所述的近红外组织血氧代谢评定参数的检测方法其特征在于:在运动递增负荷下,得到组织血氧代谢能力的参数 oxy。

## 骨骼肌代谢功能血运参数近红外组织无损检测方法

### 技术领域

骨骼肌代谢功能血运参数近红外组织无损检测方法属于光谱技术应用和生物医学工程领域。

### 背景技术

用近红外双波长光谱方法检测生物组织中的合氧（及还原）血红蛋白的变化量，这本身是国内外成熟的技术。但用于评定运动血氧代谢能力的参数只有局部组织合氧的及还原的血红蛋白的变化量，由于运动血氧代谢能力除了与局部组织相关、同时与循环系统也密切相关，目前还没有一个统一的有效参数综合反映运动血氧代谢能力；存在外层组织的影响（外层组织是指覆盖在待测组织之外的组织），如脂肪对肌肉的覆盖，因此极大地影响了检测的精度，针对不同的外层组织厚度就应选择合适的检测距离。对这个问题，国外没有相关专利的文献，国内已公开的三个相关专利（其公开号分别为 CN1333001A，CN1331953A，CN1365649A）都是采用在一条直线上排列的与光源不等距离的多个光敏二极管的方法，认为离光源近处的信号仅与外层组织有关，而与光源远距离的信号中同时包括外层组织和深层待测组织的信息，并用两个检测器接收的光强相减的方法以消除外层组织的影响，如图 1 所示，其中 a 为一个光源，b 为检测器，c 为探头，d 为检测器，e 为深层待测组织，f 为外层组织。这种做法使系统结构复杂、信号弱灵敏度降低。本发明则采取另外一条思路。即以外层组织的厚度为参数，合理的选择出光源与检测器的距离，以减少外层组织的影响；并导出一个综合反映运动中血氧代谢能力的参数，这个参数既与局部组织合氧的及还原的血红蛋白的变化量有关，又能反映心脏供血能力、供血的分配能力。

### 发明内容

本发明的目的在于提供一种近红外组织血氧代谢评定参数的检测方法而且检测系统的结构简单，检测精度也较高。

本发明的特征在于：它使用三个各自能分别发射波长为  $\lambda_1$  的红光和波长为  $\lambda_2$  的红外光的发光管与位于一侧的光电接收管组成传感器，三个发光管与光电接收器的中心距 d 至少为 30mm, 40 mm 和 50mm，检测时根据外层组织的厚度从中选取具有相应的中心距的发光二极管，并只命令此发光二极管发光，根据检测到的波长分别为  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  的光密度  $OD^i$ ， $i=1,2$ ,

来分别计算两个相邻采样时刻的合氧血红蛋白浓度的和还原血红蛋白浓度的改变量  $\Delta \text{CHbO}_2$ 、 $\Delta \text{CHb}$ ；在运动负荷递增时，每级运动负荷在功率自行车上设置，把所计算得到的每级负荷下的  $\Delta \text{CHbO}_2$ 、 $\Delta \text{CHb}$  的值相加得到血量变化值  $\Delta \text{BV}$ ，用现有技术提供的心率计记录每级运动中的心率  $\text{HR}$ ， $\text{HR}$  可以反映心脏供血能力；计算出每级负荷  $\Delta \text{BV}$  的改变量  $\Delta \text{BV}_j$ ，计算出每级负荷  $\Delta \text{HR}$  的改变量  $\Delta \text{HR}_j$ ，计算出代表组织血氧代谢能力的参数  $\text{oxy}$  值；以上所述的方法依次有以下步骤：

- (1) 根据测试的对象和测试的部位，用超声方法测定外层组织厚度根据外层组织的厚度选择一个与光电接收管的距离  $d$  的发光二极管；
- (2) 测试对象在功率自行车上静止 1 分钟，用通用的心率计测试心率  $\text{HR}$  并记录并记录  $\Delta \text{BV}$  的基线值，经以下步骤检测并计算出  $\Delta \text{BV}$ ：

(2.1) 检测在已选定的发光管与光电接收管的中心距离下光密度值  $OD^{\lambda_i}$   $i=1,2$ ；

$$OD^{\lambda_i} = \log \frac{I_{\lambda}^{\lambda_i}}{I_{\text{出}}^{\lambda_i}}$$

其中， $I_{\lambda}$  为光源功率， $I_{\text{出}}$  是入射光经过生物组织散射之后，光电接收管收到的光功率；

(2.2) 检测血氧状态随时间变化过程中，两个相邻采样间隔的光密度  $OD^{\lambda_i}$  之差  $OD_k^{\lambda_i}$

$$\Delta OD_k^{\lambda_i} = OD_{t+1}^{\lambda_i} - OD_t^{\lambda_i}$$

其中， $OD_t^{\lambda_i}$  和  $OD_{t+1}^{\lambda_i}$  分别为波长为  $\lambda_i$  时，在  $t$  时刻及其后的  $t+1$  时刻的光密度之差；

(2.3) 血氧状态随时间变化过程中，两个相邻采样时刻下，合氧血红蛋白的浓度变化是  $\Delta \text{CHbO}_2$ 、还原血红蛋白浓度变化是  $\Delta \text{CHb}$  和血量变化  $\Delta \text{BV}$ ，可用以下公式算出：

$$\Delta \text{CHbO}_2 = \alpha_1 \Delta OD_k^{\lambda_1} - \alpha_2 \Delta OD_k^{\lambda_2}$$

$$\Delta \text{CHb} = \alpha_3 \Delta OD_k^{\lambda_1} - \alpha_4 \Delta OD_k^{\lambda_2}$$

$$\Delta \text{BV} = \Delta \text{CHbO}_2 + \Delta \text{CHb}$$

其中  $\alpha_1$ - $\alpha_4$  为常数但与波长有关的，

波长为  $\lambda_1$  下

$\alpha_1$  为 -1.6~-2.5,

$\alpha_3$  为 2.6~3.85

波长为  $\lambda_2$  下

$\alpha_2$  为 -2.5~-3.6,

$\alpha_4$  为 0.6~1.6

(3) 为了得到评定肌肉血氧代谢的动态参数, 受试者按每级 50W 做负荷递增运动, 记录每级负荷下运动过程的  $\Delta BV$  的值, 同步记录每级负荷下心率 HR。

(4) 计算出每级负荷  $\Delta BV$  的改变量  $\Delta BV_j$ , 计算出每级负荷  $\Delta HR$  的改变量  $\Delta HR_j$ , 计算出代表组织血氧代谢能力的参数 oxy。

$$\text{oxy} = \frac{\Delta BV_j}{\Delta HR_j}$$

j 表示运动负荷的级数。

当外层组织为肌肉的脂肪层厚度的情况下, 在检测肌肉血氧参数而脂肪厚度大于 15mm 时, d 值至少为 50mm, 否则至少为 40mm。

在运动递增负荷下, 得到组织血氧代谢能力的参数 oxy, 这个参数即与局部组织合氧的及还原的血红蛋白的变化量有关, 又能反映心脏供血能力和供血的分配能力。

实验证明: 本发明提出的方法根据外层组织厚度选择合适的检测距离, 同时还提高了光信号的强度, 有利于提高检测精度, 而且检测系统的电路也得到简化; 利用本发明提出的方法计算出的代表组织血氧代谢能力的参数 oxy 可以评定运动代谢能力, 运动员与非运动员差异显著, 结果如图 6 所示。

附图说明:

图 1 现有检测方法示意图。

图 2 本发明检测方法示意图。

图 3 传感器外观布置图。

图 4 本发明提出的近红外组织血氧代谢评定参数的检测方法流程图。

图 5 硬件装置结构图。

图 6 负荷递增运动中组织血氧参数的曲线图。

具体实施方式:

本发明首先要求根据待测对象外层组织的厚度适当地确定传感器上的光源到检测器距离 d。外层组织的厚度可由常规的超声技术获得。当外层组织愈厚, 则距离应取较大的值, 以保证光子能深入到待测的组织, 根据经验和实验结果, 当测肌肉而脂肪厚度大于 15mm 时, d 取 50mm, 否则取 40mm 为宜。多层组织结构的检测方法如图 2 所示。在图 2 中 1 是与光学传感器 OPSU 相距距离为 r1 的光源 LS1, 2 是与光学传感器 OPUS 相距距离为 r2 的光源 LS2,

3 是与光学传感器 OPUS 相距距离为  $r_3$  的光源 LS3, 4 是光学传感器 OPSU, 5 为第 1 层组织并用 T1 表示, 6 为第 2 层组织并用 T2 表示, 7 为第 3 层组织并用 T3 表示, 在人体肌肉组织血氧测定的组织模型中, T1 为皮肤, T2 为肌肉皮下组织, T3 为肌肉组织。b1、b2、b3 为光子迁移的轨迹。要检测不同深度的组织, 将 LS 放在与光传感器 OPUS 的不同距离上, LS3 发光由 OPUS 检测的主要是 T1 层的信息, LS2 发光由 OPUS 检测的是 T1 和 T2 层的信息, LS1 发光由 OPUS 检测的主要是 T1、T2 层和 T3 层的信息。光源 LS1、LS2、LS3 到 OPUS 的距离为  $r_1, r_2, r_3$ 。

如图 3 所示, 传感器上的三个发光管 1LED1、2LED2、3LED3 与 4 光电接收管 OPUS 的中心距分别为 50mm, 40mm 和 30mm。在使用时根据肌肉的脂肪层厚度择定这三个距离中的一个距离并令此发光二极管发光, 其余两个发光二极管则不发光。每个发光管应能分别发射两种波长的光。波长分别为红光及近红外光, 下边以  $\lambda_1, \lambda_2$  表示不同波长。通过两波长对应的光密度 OD 的改变量计算出氧合血红蛋白变化量  $\Delta\text{HbO}_2$  与还原血红蛋白变化量  $\Delta\text{Hb}$ 。

本发明实施之后带来的效果可归纳为: (1) 在不同组织和相应的外层组织厚度下择定合适的检测距离。(2) 并导出一个综合反映运动中血氧代谢能力的参数, 这个参数即与局部组织合氧的及还原的血红蛋白的变化量有关, 又能反映心脏供血能力和供血分配能力。

本发明所述的程序流程框图见图 4。

应用本发明所述方法构成的检测系统电路原理框图见图 5。

依据漫射光原理设计出的典型硬件装置如图 5 所示。在使用时, 首先利用超声方法测出外层组织厚度并将厚度值输入仪器, 并始终用心率计测量心率。系统从三个发光二极管 LED 1LS、2LS、3LS 中选择其中的一个, 选择的原则为: 测肌肉当脂肪原大于 15mm 时, 选 LS1, 小于 15mm 取 LS2。由光电检测器 4OPUS 检测光强变化, OPUS 选择 2CU30S, 4OPUS 连至前置放大器 TLC27L2 将信号放大, 在微控制器 AT89C52 控制下信号进入采样保持器 LF398 通过模拟数字转换器 ADC TLC2543 进行转换, 转换结果存入存储器。由方法中给出的算法和步骤, 计算出氧合血红蛋白变化量 ( $\Delta\text{HbO}_2$ ) 与还原血红蛋白变化量 ( $\Delta\text{Hb}$ )。

检测了递增负荷运动下的血氧参数, 获得综合血氧参数 oxy。所施加负荷通过功率自行车的设定装置设置, 采用 0-50 W-100W 的递增负荷, 结果如图 6 所示。

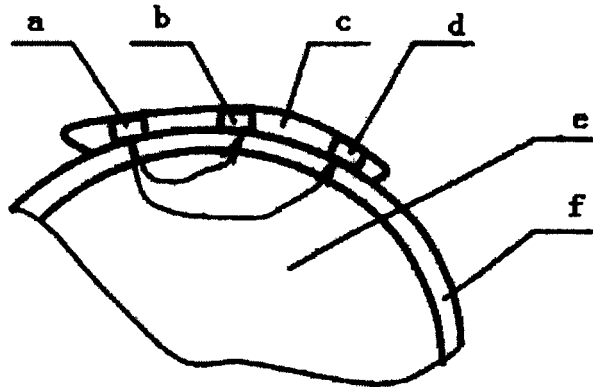


图 1

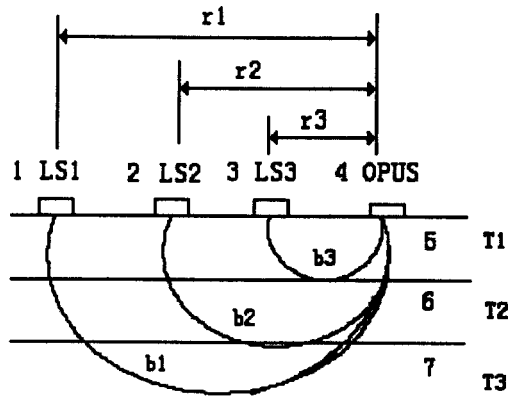


图 2

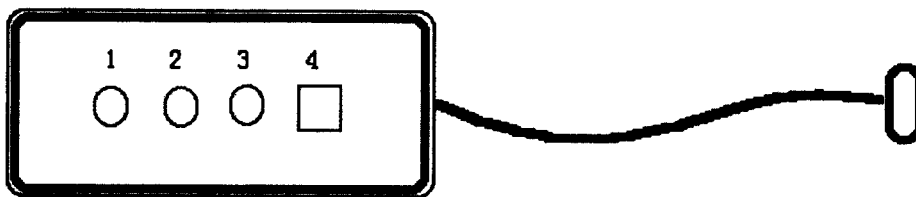


图 3

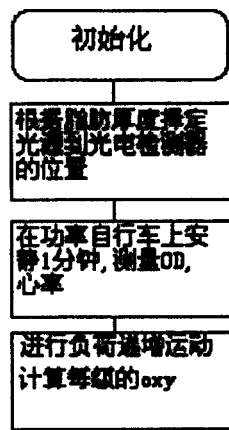


图 4

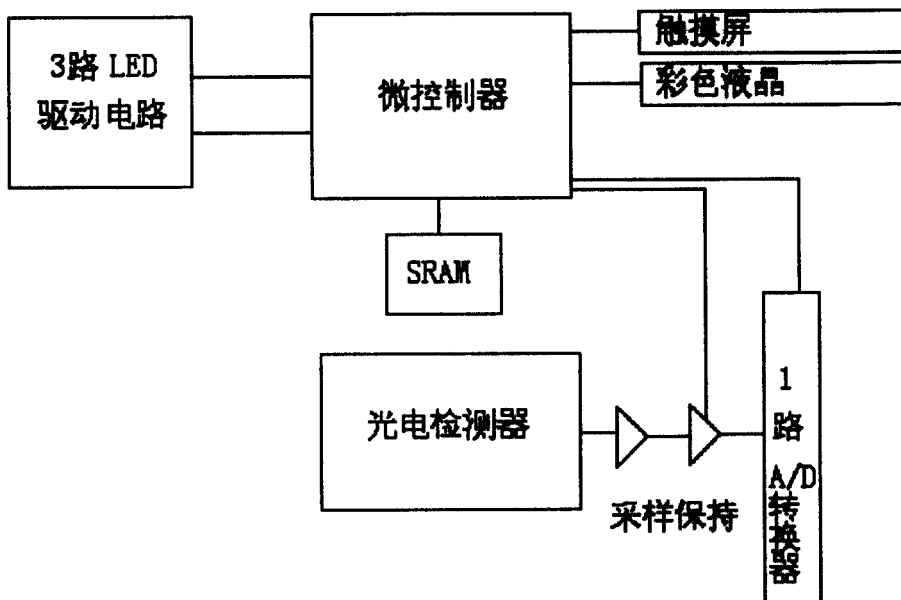


图 5

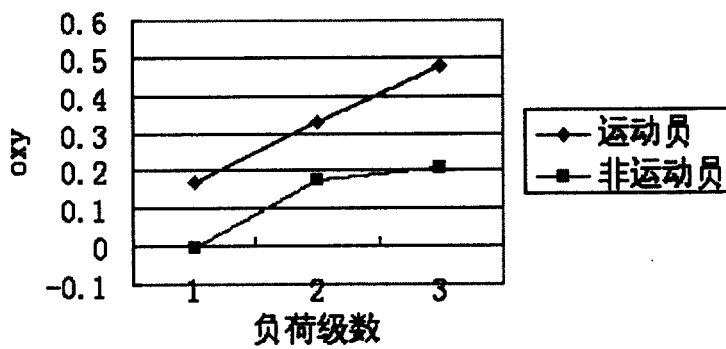


图 6

专利名称(译)	骨骼肌代谢功能血运参数近红外组织无损检测方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN1544947A</a>	公开(公告)日	2004-11-10
申请号	CN200310115396.6	申请日	2003-11-21
[标]申请(专利权)人(译)	清华大学		
申请(专利权)人(译)	清华大学		
当前申请(专利权)人(译)	清华大学		
[标]发明人	丁海曙 王广志 黄岚 腾轶超 赵军 李岳		
发明人	丁海曙 王广志 黄岚 腾轶超 赵军 李岳		
IPC分类号	A61B5/00 G01N21/27 G01N33/72		
其他公开文献	CN1223858C		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

骨骼肌代谢功能血运参数近红外组织无损检测方法属于生物医学工程领域，其特征在于：针对不同测试对象(运动员和非运动员)和不同的肌肉组织的氧合血红蛋白变化量( $\Delta\text{HbO}_2$ )与还原血红蛋白变化量( $\Delta\text{Hb}$ )的检测选择合适的检测距离，并给出可以评定肌肉组织氧代谢能力的参数的检测步骤，算法及系统设计。传感器可以由3个发光二极管和一个光电接收器构成。整个测试系统含有传感器以及由前置放大电路、A/D转换器、嵌入式微控制器、电源及液晶和触摸屏。它具有检测灵敏度高、检测系统结构简单等优点。

