

## 用近红外脑组织血氧仪评定保健食品抗疲劳效果

吴 剑<sup>1</sup>, 丁海曙<sup>2</sup>, 叶大田<sup>1</sup>

1. 清华大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055

2. 清华大学生物医学工程系, 北京 100084

**摘 要** 疲劳综合症目前已经越来越多地影响着人们的正常生活和工作。可以通过组织血氧饱和度、心率等参数来评价疲劳程度, 并采用某种抗疲劳胶囊和咖啡作为调节疲劳程度的一种手段。基于空间分辨的近红外光谱(NIRS)技术可实现人体组织氧饱和度( $rSO_2$ )的无损、实时检测。针对长时间在办公室工作的脑力劳动者人群, 设计了两组静态实验来分别评价服用与未服用抗疲劳胶囊或咖啡的疲劳程度。通过对实验组和对照组受试者分别进行脑组织氧饱和度、心率等参数进行了测试, 并侧重分析了受试者的脑组织氧饱和度的变化情况。结果表明, 实验组的受试者其脑组织氧饱和度在服用抗疲劳胶囊和咖啡后都有明显的上升趋势, 从而表明抗疲劳胶囊在一定程度上有缓解疲劳的作用。

**关键词** 疲劳综合症; 组织血氧饱和度; 心率; 指端血氧饱和度

**中图分类号**: R318.5 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)09-2357-04

### 引 言

疲劳是健康的大敌, 疲劳综合症是导致疾病产生的重要原因。疲劳综合症又叫慢性疲乏综合症, 是现代工业社会所特有的疾病。它的主要表现是低烧、畏寒、喉痛、淋巴结痛、肌肉无力或疼痛、关节痛、失眠、健忘、极端烦躁、易怒、思绪混乱、精神不集中、情绪抑郁、甚至小量运动即造成 24 h 以上的疲惫及经常性或严重的头痛等等。以上症状中, 只要同时具备六种以上便可确定为疲劳综合征。美国全国疾病控制中心明确指出, 慢性疲劳综合症是一种应激性疾病, 它将成为 21 世纪人类健康面临的主要问题之一; 它与现代社会生活方式复杂多变有密切关系。因此, 预防慢性疲劳综合症的发生是十分重要的<sup>[1, 2]</sup>。

目前, 有多种方法用于缓解疲劳, 比如锻炼身体, 调节饮食等。也可通过中医保健药品来缓解体力疲劳, 比如服用抗疲劳胶囊来达到缓解疲劳的效果。从生理和生化角度看, 疲劳与碳水化合物的代谢有密切关系。人的生存靠能量维持。人体细胞为完成其基本功能, 需要高能量的化合物。如果人体所储存的能量很快消耗掉, 又来不及补充, 人就会感到疲倦。在正常情况下, 人体主要器官所需要的能量, 主要是由蛋白质、糖、脂肪等物质经氧化反应产生的, 因此疲劳的产生跟组织缺氧密切相关。对于抗疲劳的措施来说, 通过

评价其结果能否维持或提高正常的组织氧含量, 可以看作是缓解疲劳是否有效的一种评价手段。本文试图通过组织血氧参数测量仪以及相关人体参数测量仪器对人体在服用抗疲劳胶囊、咖啡前后的脑组织氧饱和度变化以及心率、血压等参数来评价抗疲劳胶囊的抗疲劳效果。

组织氧饱和度的测量有着重要的生理意义, 人体组织中密布着大量的微血管, 包括微动脉、微静脉和毛细血管。人体组织的血氧参量即为上述各种微血管中血液血氧参数的加权平均。由于微静脉血的流速比微动脉血慢, 因此微静脉血的血氧参量在组织血氧参量中就占主要地位<sup>[3]</sup>。以人体脑组织为例(如图 1), 在其血氧参数中, 微静脉血的权重占 60%~80%, 微动脉血占 15%~20%, 其余即为毛细血管中的血液<sup>[4-8]</sup>。

人体组织的血氧参数包括局部组织中的血红蛋白浓度以及局部组织(指用近红外光谱方法检测组织的血氧参数时, 位于光学传感器下方且被其探测到的组织)的氧饱和度两类参数。人体组织的血氧参数既是血液血氧参数概念的推广, 又同血液的血氧参数存在基本区别。

### 1 原理及其实验设计

本文通过组织血氧、心率、指端动脉血氧、血压等参数来反映受试者的疲劳程度。其中对组织氧饱和度的检测采用

收稿日期: 2008-05-06, 修订日期: 2008-08-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(60578004)和国家“十一五”支撑项目(2006BAC07B01)资助

作者简介: 吴 剑, 1976 年生, 清华大学深圳研究生院讲师 e-mail: wuj@sz.tsinghua.edu.cn

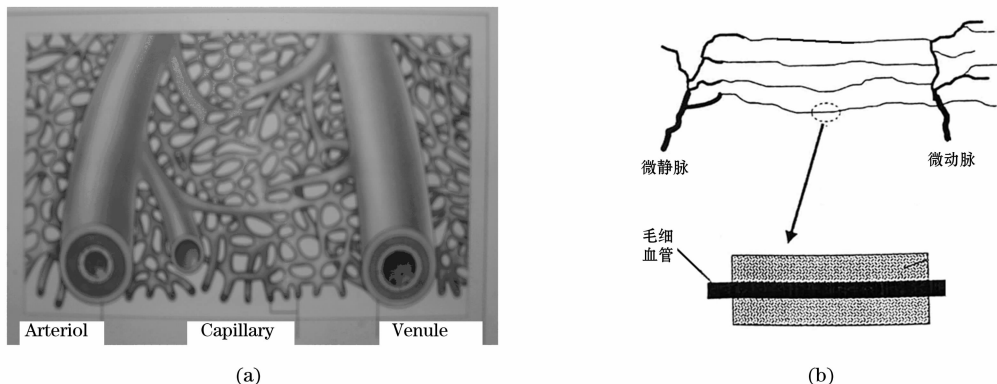


Fig. 1 Meanings of the blood oxygen parameters: (a) venules, arterioles and capillaries in the human tissues; (b) micro circulation in the human tissues

清华大学生物医学工程系研制, 安恒光电公司生产的 TSAH-100 近红外组织血氧参数无损监测仪<sup>[9-11]</sup>。心率、呼吸率、血压的检测采用深圳迈瑞公司的 PM9000 多参数生理测量仪。

### 1.1 NIRS 无损检测组织血氧参数的基本原理

波长 700~900 nm 的近红外光对人体组织具有良好的穿透性, 这一波段在生物医学光子学中常被称作“光谱窗 (Spectral window)”。在近红外波段, 人体组织对光的吸收主要源自血液中的还原血红蛋白(Hb)和氧合血红蛋白(HbO<sub>2</sub>)两种吸收体, 并且两者的吸收谱存在显著差异<sup>[12-14]</sup>。因此如果将近红外光入射到人体组织上并检测某一位置的出射光, 经过一系列解算, 就可得到关于组织血氧参数的信息。组织血氧参数无损测量技术正是采用了近红外光谱测定技术(NIRS), 即利用组织中 Hb 和 HbO<sub>2</sub> 对于红外光的不同吸收率的特点, 将两种不同波长的光射入体内, 检测其漫反射的信号, 利用双波长 Lambert-Beer 定律的基本原理解算出组织氧含量的相对水平, 在充分考虑人体组织光学特性的基础上, 可采用修正的双波长 Lambert-Beer 定律, 如(1)式所示。

$$OD^{\lambda_1} = (\epsilon_{\text{HbO}_2}^{\lambda_1} c_{\text{HbO}_2} + \epsilon_{\text{Hb}}^{\lambda_1} c_{\text{Hb}}) \cdot r \cdot \text{DPF} + G^{\lambda_1} \quad (1)$$

$$OD^{\lambda_2} = (\epsilon_{\text{HbO}_2}^{\lambda_2} c_{\text{HbO}_2} + \epsilon_{\text{Hb}}^{\lambda_2} c_{\text{Hb}}) \cdot r \cdot \text{DPF} + G^{\lambda_2}$$

其中:  $OD^{\lambda_i}$  ( $i = 1, 2$ ) 为在波长  $\lambda_i$  下光密度, 即出射光强相对于入射光强的衰减, 上标  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  表示两个发光波长, DPF 为大于 1 的差分路径因子 (differential pathlength factor, DPF),  $G$  为与波长有关且一般未知的衰减系数,  $r$  为光源与检测器的距离,  $c_{\text{HbO}_2}$  是氧合血红蛋白浓度,  $c_{\text{Hb}}$  是还原血红蛋白浓度,  $\epsilon_{\text{HbO}_2}^{\lambda_i}$  是氧合血红蛋白 (HbO<sub>2</sub>) 在波长  $\lambda_i$  下的消光系数,  $\epsilon_{\text{Hb}}^{\lambda_i}$ ,  $i = 1, 2$  是还原血红蛋白 (Hb) 在波长  $\lambda_i$  下的消光系数。

组织氧饱和度可以通过(2)式表达为

$$r\text{SO}_2 = \frac{c_{\text{HbO}_2}}{c_{\text{HbO}_2} + c_{\text{Hb}}} \quad (2)$$

其中:  $c_{\text{HbO}_2}$  是氧合血红蛋白浓度,  $c_{\text{Hb}}$  是还原血红蛋白浓度。

通过测量光密度  $OD^{\lambda_i}$ , 并引入双检测器的空间分辨光谱技术, 经过解算即得到组织氧饱和度<sup>[3]</sup>。

本课题对组织氧饱和度测试主要针对脑组织氧饱和度测

试。脑组织氧饱和度检测方法是光探头贴在受试者的前额上, 避开脑中线并位于眉骨上方至少 2 cm, 以避免矢状窦和额窦的影响, 传感器底面接触皮肤, 并用医用弹性绷带将其固定好, 防止漏光和避免造成局部缺血。

### 1.2 受试人员及实验设计

本文设计两组实验, 分为静态 1 实验和静态 2 实验两部分, 所有实验都采用双盲检测。静态实验主要针对长时间在办公室工作的脑力劳动者人群, 他们长期在一个相对封闭的环境中活动, 最容易由于局部缺氧导致疲劳, 因此测量其脑组织氧饱和度来反映他们的疲劳程度。静态 1 测试所用的抗疲劳胶囊为中国中医研究院和深圳市月之韵公司研制的保健食品幸福元牌益力健胶囊(国食健字 G20060377), 其主要成分是藏药红景天。静态 2 实验所用的咖啡为速溶咖啡。

参加静态 1 实验受试者共健康青年 6 人, 分为实验组 (TS 组), 3 名, 男性, 年龄 (23.7 ± 1.2) 岁; 对照组 (CS 组), 3 名, 男性, 年龄 (23.7 ± 1.2) 岁, 他们都来自深圳某工厂的办公室人员。TS 组人员服用的是“幸福元”胶囊; CS 组人员服用的是淀粉胶囊。

参加静态 2 实验受试者共健康青年 6 人, 分为实验组 (TS 组), 3 名, 男性, 年龄 (24.3 ± 5.5) 岁; 对照组 (CS 组), 3 名, 男性, 年龄 (21.7 ± 1.5) 岁, TS 组服用的是“幸福元”胶囊; CS 组服用的是速溶咖啡。

静态实验的设计分别如下。

(1) 静态 1 实验: 在静止情况下测量受试者的大脑组织氧饱和度、心率、呼吸率、心电及血压等参数, 每隔 1 分钟采集一次数据, 在服用胶囊前记录 3 次数据, 在服用胶囊后记录 6 次数据。每天上、下午各完成一次测试。每位受试者服完胶囊后, 隔 30 min 后再来现场接受测量。测试持续 6 d。

(2) 静态 2 实验: 静止情况下测量脑组织氧饱和度、心率等参数, 每隔 30 s 采样一次数据, 记录 10 min。第 1 d 不服用胶囊和速溶咖啡, 随后 3 d 服用。测试安排在下午。每个人服完胶囊/速溶咖啡后, 隔 30 min 后再来现场测试。连续测试 3 d。

### 1.3 数据分析

测试数据在 SPSS 15.0 分析软件上进行统计分析。静态

实验分析受试者服用抗疲劳胶囊前后脑组织氧饱和度、心率、呼吸率、血压等方面的变化。动态实验则侧重分析服用胶囊前后,受试者在肌氧饱和度和运动心率方面的变化。由于所有的实验都是在短期内( $\leq 7$  d)完成的,因此分析结果反映的是保健食品在短期内对人体的作用效果。

静态 1 实验分析的数据有:(1)总体测量数据(包括脑组织氧、心率等)变化分析,即将每一个受试者(实验组、对照组)在 6 d 时间内(含上下午)的测试结果做一个平均,看数据的变化趋势。(2)上午测量数据(包括脑组织氧、心率等)变化分析,即将每一个受试者(实验组、对照组)在 6 d 时间内上午的测试结果做一个平均,看数据的变化趋势。(3)下午测量数据(包括脑组织氧、心率等)变化分析,即将每一个受试者(实验组、对照组)在 6 d 时间内下午的测试结果做一个平均,看数据的变化趋势。

静态 2 实验分析的数据有:测量数据(包括脑组织氧、心率等)变化分析,即将每一个受试者(实验组、对照组)在 4 d 时间内下午的测试结果做一个平均,看数据的变化趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 静态 1 实验脑组织饱和度比较结果

通过对数据的分析,发现 TS 组受试者和 CS 组受试者在血压、心率、呼吸率上没有显著的差异,而在脑组织氧合浓度( $rSO_2$ )的改变值上,测试组和对照组之间有显著性差异( $P < 0.05$ ),图 2 中受试者编号 TS1, TS2, TS3 表示的是 TS 组受试者,CS1, CS2, CS3 表示 CS 组受试者。显示的是受试者 6 d 的  $rSO_2$  浓度均值(包括上、下午的测量值)在服用胶囊前后的数值。图 3 表示受试者 6 d 的指端血氧饱和度( $SpO_2$ )浓度均值(包括上、下午的测量值)在服用胶囊前后的数值。

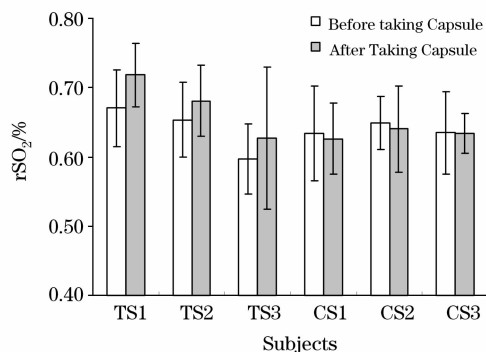


Fig. 2 Mean values of  $rSO_2$  before and after taking capsules in six days (including the a. m. and p. m. data)

图 2 显示受试者脑组织氧合浓度在 6 d 测试中,TS 组受试者在服用胶囊后,其脑组织氧和浓度总体上是有所增加的,而 CS 组受试者则没有一致性表现。比较测试者的指尖血氧浓度变化量,从图 3 中可以看出 TS 和 CS 组受试者中的指端动脉血氧饱和度在 98% 左右,其浮动范围  $< 1\%$ ,没有显著的变化。

### 2.2 静态 2 实验脑组织氧饱和度比较结果

图 4 显示在服用“幸福元”胶囊和速溶咖啡的实验后,受

试者的脑组织氧饱和度都有了显著提高( $P < 0.05$ )。其中 TS 组受试者的脑组织氧含量平均提高了 2.2%,CS 组受试者的脑组织氧含量平均提高了 3.7%。

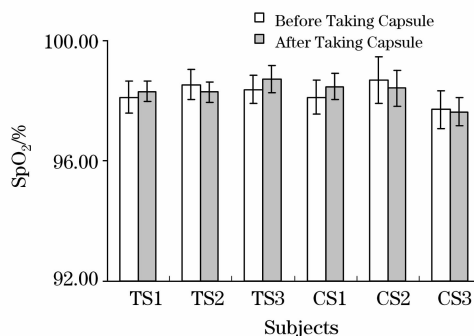


Fig. 3 Mean values of  $SpO_2$  before and after taking capsules in six days

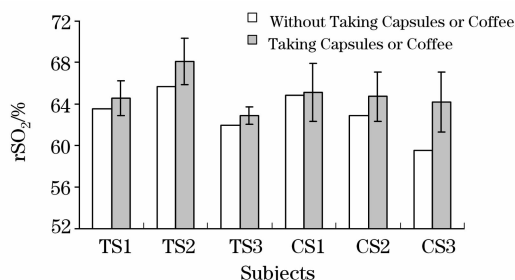


Fig. 4 Change of  $rSO_2$  in the TS group when taking the fatigue resistance capsules and the change of  $rSO_2$  in the CS group when taking the coffee

## 3 结论

本文通过 NIRS 方法来分析抗疲劳胶囊和咖啡是否能够增加人体对组织氧的吸收,并通过办公室文职人员进行了实验设计,由于办公室文职人员主要从事脑力劳动,因此用脑组织氧饱和度来反映人体对于疲劳的情况比较合适。实验结果表明,服用“幸福元”抗疲劳胶囊和咖啡对于从事脑力劳动的受试者,从脑组织氧和浓度可以反映出抗疲劳胶囊和咖啡能起到一定的缓解疲劳作用。

实验表明抗疲劳胶囊和咖啡有利于增强泵血功能。从实验结果看,受试者在服用抗疲劳胶囊和咖啡后,脑组织氧饱和度上升,而此时指尖脉搏血氧饱和度调节余地有限,因为在正常情况下指尖脉搏血氧已达 98% 左右,在服用抗疲劳胶囊或咖啡后改变值  $< 1\%$ 。由于脑组织氧的输送还取决于颈动脉往上升灌注的功能,因此脑组织氧饱和度的上升表明了心脏功能增强的优势的显现,从而反映了抗疲劳胶囊和咖啡有利于血氧的传输和吸收。

此外,由于受试者的人数有限,因此得到的结果只能反映出一个大体的趋势,大批量的受试人群和较长测试时间,则能够反映出统计意义上的结果和胶囊的长期效果。本次实验只能反映出胶囊的短期作用效果。

致谢:感谢深圳维达力实业有限公司给与本次实验的经费资助和参与本次实验的志愿者。

## 参 考 文 献

- [1] WANG Min(王 敏). Chinese Community Doctors(中国社区医师), 2003, 19(17): 13.
- [2] YANG Hui, MOU De-lian, GUAN Yun(杨 辉, 牟德莲, 关 云). Chinese Community Doctors(中国社区医师), 2003, 19(17): 13.
- [3] DING Hai-shu, TENG Yi-chao(丁海曙, 腾轶超). Laser & Optoelectronics Progress(激光与光电子学进展), 2007, 44(9): 14.
- [4] ZHANG Jing-ru(张镜如). Physiology(生理学, 第 4 版). Beijing: People's Medical Publishing House(北京: 人民卫生出版社), 1996.
- [5] Kiening K L, Hartl R, Unterberg A W, et al. Neurol. Res. 1997, 19(3): 233.
- [6] DING Hai-shu, WANG Feng, SU Chang, et al(丁海曙, 王 峰, 苏 畅, 等). J. Tsinghua Univ. (Natural Science)(清华大学学报·自然科学版), 1999, 39: 5.
- [7] Matcher S J, Elwell C E, Cooper C E, et al. Anal. Biochem., 1995, 227: 54.
- [8] Suzuki S, Takasaki S, Ozaki T, et al. SPIE, 1999, 3597: 582.
- [9] HUANG Lan, TIAN Feng-hua, DING Hai-shu, et al(黄 岚, 田丰华, 丁海曙, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2003, 22: 379.
- [10] TENG Yi-chao, YE Da-tian, LI Yue, et al(腾轶超, 叶大田, 李 岳, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(4): 953.
- [11] Huang L, Ding H, Hou X, et al. Physiological Measurement, 2004, 25: 749.
- [12] Wang F, Ding H, Tian F, et al. Physiological Measurement, 2001, 22: 201.
- [13] Kurth C D, Levy W J, McCann J. J. Cerebral Blood Flow and Metabolism, 2002, 22(3): 335.
- [14] Delpy D T, Cope M, Vanderzee P, et al. Physic in Med. Biol., 1988, 33: 1433.

## Evaluating Fatigue Resistance Effect of Health Food by Near-Infrared Tissue Oximeter

WU Jian<sup>1</sup>, DING Hai-shu<sup>2</sup>, YE Da-tian<sup>1</sup>

1. Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China

2. Department of Biomedical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** Currently, chronic fatigue syndrome (CFS) seriously affects people's normal living and work. In the present paper, the physiological parameters, such as tissue oxygenation saturation and heart rate, were used to evaluate the subjects' fatigue degree, and the fatigue resistance capsule and coffee were taken as a measure to adjust the fatigue. Human tissue oxygen saturation ( $rSO_2$ ) can be monitored noninvasively and in real time by near infrared spectroscopy (NIRS) based on spatially-resolved spectroscopy. Aiming at those brainworkers who need to work in an office for a long time; two static experiments were designed to evaluate the fatigue degree of the subjects who either take the fatigue resistance capsules/coffee or not. The  $rSO_2$  and heart rate (HR) of the subjects in the experiment group and contrast group were measured respectively for fatigue evaluation. This work particularly analyzed the changes in  $rSO_2$  in these two groups. The results show that the  $rSO_2$  of subjects in the experiment group evidently increased compared to that in the contrast group when the subjects took the fatigue resistance capsule or coffee, thereby show that the health food can reduce the fatigue to a certain extent.

**Keywords** Chronic fatigue syndrome; Tissue oxygenation saturation; Heart rate; Pulse oxygenation saturation

(Received May 6, 2008; accepted Aug. 9, 2008)