

# 极静环境对睡眠质量影响的实验探究

燕 翔<sup>1</sup>, 王江华<sup>2</sup>, 李 卉<sup>2</sup>, 陈雨潇<sup>1</sup>

(1. 清华大学 建筑学院, 北京 100084; 2. 北京德尚静洁科技发展有限公司, 北京 100083)

**摘 要:** 该实验通过对比受试者在背景噪声接近 0 dB(A) 的极静环境和普通住宅环境(背景噪声 22~48 dB(A)) 的睡眠质量来探究噪声对睡眠的影响。35 位不同性别、年龄的受试者佩戴睡眠头环监测仪, 分别在极静房间和自己住宅作睡眠测试。结果发现: 在极静房间与在普通住宅相比, 受试者睡眠质量整体平均有所提升, 睡眠总时长整体平均增加了 11.4%, 深度睡眠时长整体平均增加了 9.3%, 快速眼动睡眠(REM) 时长整体平均增加了 12.2%; 在住宅背景噪声为 30 dB(A) 以上时, 深度睡眠时长提升量随住宅背景噪声增大而增加。

**关键词:** 静音室; 噪声; 睡眠质量; 深度睡眠; 快速眼动睡眠

中图分类号: TU112.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-0054(2018)12-1115-06

DOI: 10.16511/j.cnki.qhdxxb.2018.22.030

## Experimental study of the influence of a silent environment on human sleep quality

YAN Xiang<sup>1</sup>, WANG Jianghua<sup>2</sup>, LI Hui<sup>2</sup>, CHEN Yuxiao<sup>1</sup>

(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Beijing Deshangjingjie Technology Limited Company, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The influence of noise on human sleep was studied by comparing people's sleeping quality in a quiet room with close to 0 dB(A) background noise to that in common bedrooms with background noise levels of 22 - 48 dB(A). 35 subjects of different genders and ages wore sleep evaluation head bands when sleeping in the silent room and in their bedrooms. The results show improved sleeping quality in the silent room compared with the common bedrooms with the total sleep time averagely increased by 11.4%, the deep sleep time averagely increased by 9.3%, and the rapid eye movement (REM) sleep time averagely increased by 12.2%. The improved deep sleep time positively correlates with the background noise for noise levels above 30 dB(A).

**Key words:** silent room; noise; sleep quality; deep sleep; rapid eye movement (REM) sleep

康至关重要。根据人睡眠时的生理反应变化, 睡眠可以分成 3 个阶段: 觉醒、快速眼动睡眠(REM) 和非快速眼动睡眠(NREM)。其中的非快速眼动睡眠还可以从浅至深分为一、二、三、四这 4 个阶段, 其中第三、四阶段睡眠为慢波睡眠, 也叫深度睡眠, 在此期间人脑的活动相对较为静态<sup>[1]</sup>。有关睡眠对人体的作用存在多种理论。较为普遍的看法是, 深度睡眠能够使身体处于极度休眠, 使大脑皮层休息, 促进生长发育, 增强免疫力, 提高脑功能; REM 睡眠对记忆组织巩固和情绪稳定调节有重要作用<sup>[2-3]</sup>。

睡眠时如有外界噪声干扰, 不同特性(如声压级、变化速率、持续时间、频率等) 的噪声可能会对人造成觉醒次数增加、睡眠长度减少、睡眠周期碎片化、深度睡眠减少、REM 睡眠减少等不同影响<sup>[4-5]</sup>。在已有的大多数实验中, 研究者皆通过对受试者的普通睡眠环境增加特定的噪声, 来探究噪声对受试者睡眠的干扰情况, 以及不同特性的噪声对睡眠质量的不同影响。因为日常生活中, 背景噪声几乎无处不在, 所以在此类实验中, 普通卧室的背景噪声被当作可忽略的常量。普通住宅中的背景噪声主要由室外噪声、邻里噪声、家庭成员噪声及室内电气设备噪声组成, 其 A 计权声级大多在 30~40 dB(A) 左右。目前尚无实验探究睡眠在更安静的环境下是否会有所变化。本文即试图探究在极静环境下人的睡眠情况。

本文实验的目的为探究受试者在接近 0 dB(A) 的极静环境下相对在普通卧室环境下的睡眠质量的变化。

收稿日期: 2018-01-09

作者简介: 燕翔(1972—), 男, 副教授。E-mail: yx@abcd.edu.cn

睡眠对人类是必不可少的, 对人的生理、心理健

## 1 研究方法

### 1.1 极静房间

普通人很少有机会进入背景噪声达到 10 dB(A) 以下的环境, 通常只有专业用于科学研究的消声室、隔声室才会具有这种安静程度, 但是这些实验室多密不透风, 且室内的吸声材料容易给人造成心理上的压抑感, 无法让人舒适地久留。

清华大学建筑物理实验室于 2012 年建造了一间提供极静环境的静音室, 背景噪声可达 0 dB(A) 以下, 温度湿度可以调控, 空调新风开启时室内噪声不超过 5 dB(A)。有玻璃窗采光及观景, 灯光电器、陈设装修、床铺衣柜同于常规卧室, 并配有浴室卫生间<sup>[6-7]</sup>。静音室平面、剖面图见图 1。

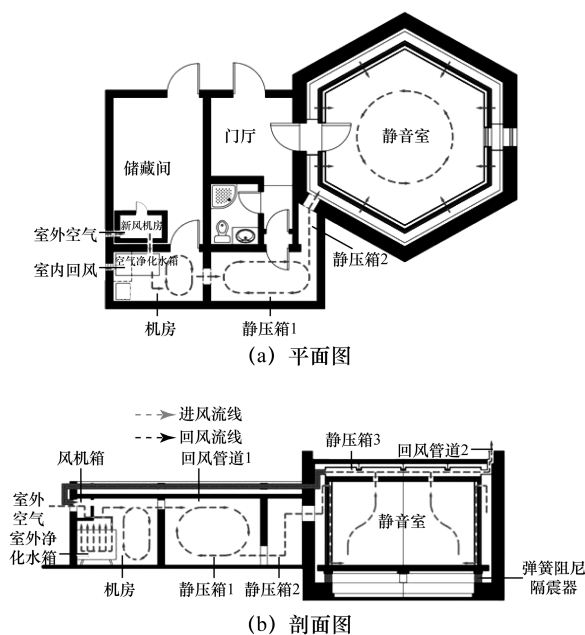


图 1 静音室平面、剖面图

本文作者的前序实验<sup>—[6]</sup>表明, 当受试者在寂静环境中驻留 8 h, 多数人有听力改善、身心放松、抗压能力改善等良好影响, 且未出现所担忧的胸闷、烦躁等负面感受, 受试者健康也未发现受到不良影响。前序实验二<sup>[7]</sup>安排受试者在静音室午睡, 得到 REM 睡眠、深度睡眠比例有所增加, 入睡时间、觉醒时间有所减少的结果, 且被试主观感受均有正向提升。因此, 可以安全地在此静音室中进行睡眠实验。

### 1.2 睡眠监测

实验采用了美国 GRC 公司开发的 Zeo 睡眠监测仪。Zeo 睡眠监测仪通过监测脑动电流图 (EEG) 判断各睡眠阶段及其时长<sup>[8]</sup>。经与医用多导睡眠记

录仪 (PSG) 对比实验, Zeo 睡眠监测仪被证明可以对快速眼动睡眠、浅度睡眠和深度睡眠进行较为准确的判断与记录, 可以用于科学研究和临床实验<sup>[7, 9]</sup>。Zeo 睡眠监测仪为头环形式, 佩戴舒适, 与传统多导睡眠仪相比, 对受试者的干扰更小。

由于仪器与头部直接接触, 可能会对受试者睡眠产生少量影响。每位受试者正式实验前, 要先佩戴头环进行一晚睡眠预实验, 若受试者认为干扰较大, 则不继续进行实验。若受试者受其影响很小, 可正常睡眠, 则继续实验。

### 1.3 实验设置

实验随机选取了 35 位受试者。其中: 16 位女性, 19 位男性。受试者年龄在 20~60 岁之间, 年龄分布如图 2a 所示, 其中每一点代表一位受试者。

每位受试者头戴睡眠监测仪在静音室中睡第 1 夜, 在自己住宅睡第 2 夜。要求受试者按自己日常作息就寝和起床, 不人为唤醒。

受试者住宅卧室背景噪声实测极小值为 22.2 dB(A), 极大值为 48.0 dB(A), 噪声平均值为 35.1 dB(A), 分布情况如图 2b 所示。

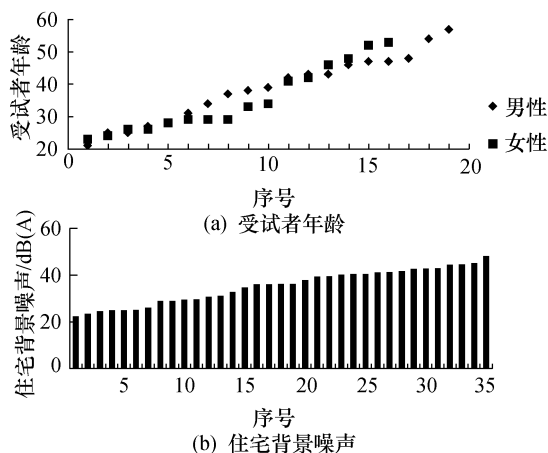


图 2 受试者年龄及住宅背景噪声声压级分布

睡眠记录数据包括睡眠总时长、深度睡眠时长、REM 睡眠时长等。其中睡眠总时长记录的为实际睡眠状态时长, 仅包括非快速眼动睡眠与快速眼动睡眠, 不包含入睡所需时长和觉醒时长。

由于睡眠实验通常难度较大, 因而大都样本量较小, 一些奠基性的实验研究<sup>[10-11]</sup>受试者数目也不超过 20 人, 因此在此睡眠实验中, 35 人的样本量已足以达到相当的准确性和指示性, 若变量有单方向的影响即可以显现出来。

### 1.4 结果计算

影响睡眠状态(睡眠阶段与睡眠时长)的主要因素有生理与环境因素。生理因素不仅包括血压、性

格、体重、饮食、习惯等变化较缓慢的长期因素,同时还包括情绪波动、日间运动量等变化较即时的短期因素。环境因素包括房间的温度、湿度、光照、噪声等。在常规睡眠中生理因素的影响可能占主导地位<sup>[12]</sup>。在本实验中,可认为影响每位受试者的长期因素在2天中基本无变化,处理数据时,将每位受试者前一天与后一天的睡眠数据的比对,即将其数值相除,可近似将长期因素带来的影响扣除。影响每位受试者的短期因素实际上既不可预知,又难于控制。短期因素在35位受试者的实验中属于随机参量,根据大数定律,随机参量的均值应保持相对稳定<sup>[13]</sup>。倘若在同样的环境连续做2晚实验,其平均值应基本相同。

在本实验中,环境因素主要是噪声,实验数据整体平均后,生理因素因其随机性而被基本抵消,环境的噪声因素若具有单方向的影响就会显现出来。

因此,为了比较受试者在噪声消除前后的睡眠情况,在结果分析计算中使用比值平均。对于每项睡眠指标,计算每个受试者在静音室中的睡眠数据( $X_i$ )与住宅的睡眠数据( $Y_i$ )的比值 $X_i/Y_i$ ( $i=1, 2, \dots, 35$ ),以排除长期因素的影响及每人睡眠指标绝对值大小的影响。之后计算全部 $\frac{X_i}{Y_i}$ 的几何平均值,即 $\sqrt[35]{\frac{X_1}{Y_1} \cdot \frac{X_2}{Y_2} \cdot \dots \cdot \frac{X_{35}}{Y_{35}}}$ 。将得到的计算结果与1相比,若比1大则表明整体结果在静音室比住宅有所增加,若比1小则整体结果有所减少,若约等于1则在静音室与住宅几乎无变化。

### 1.5 首夜效应

根据研究<sup>[14]</sup>,普通人在更换睡眠环境时,会在第1夜睡眠中出现觉醒次数增加、快速眼动睡眠减少、深度睡眠和REM睡眠周期出现时间推迟、睡眠状态更不稳定的情况,此变化被称为“首夜效应”。由于对环境的熟悉与适应,此情况会在第2夜大幅好转。然而,由于实验条件限制,受试者在静音室作睡眠测试的夜晚即在新睡眠环境中的第1夜,因此如不考虑其他条件的影响,由于“首夜效应”的影响,受试者出现上述现象为合理表现。

据此可以提出假设,若受试者在静音室中连续进行多晚的睡眠实验,相比本次实验结果,受试者深度睡眠、REM睡眠可能会有所增加,觉醒次数可能会有所减少。但具体数据还需后续实验进行探究。

另外,受试者佩戴头环也有适应问题。在静音室睡眠为佩戴头环第2夜,住宅睡眠为佩戴头环第3夜,可能也存在一定影响,此影响与睡眠环境的

首夜效应有同方向叠加作用。

## 2 结果和分析

### 2.1 实验结果统计

实验中统计了受试者在静音室中及在自己住宅中的睡眠总时长、深度睡眠时长及REM睡眠时长,并计算其标准差及平均值,详见表1。

表1 受试者在家中及静音室中睡眠的数据结果统计

| 居室背景噪声/dB(A) | 深度睡眠时长/min |     | 睡眠总时长/min |     | REM睡眠时长/min |     |
|--------------|------------|-----|-----------|-----|-------------|-----|
|              | 静音室        | 住宅  | 静音室       | 住宅  | 静音室         | 住宅  |
| 22.2         | 52         | 24  | 309       | 216 | 48          | 21  |
| 23.3         | 68         | 73  | 435       | 339 | 126         | 92  |
| 24.4         | 47         | 57  | 398       | 420 | 91          | 96  |
| 24.6         | 41         | 27  | 506       | 401 | 167         | 183 |
| 24.7         | 36         | 24  | 476       | 273 | 128         | 49  |
| 24.9         | 20         | 23  | 452       | 456 | 100         | 105 |
| 25.8         | 22         | 19  | 561       | 542 | 163         | 186 |
| 28.7         | 35         | 52  | 273       | 500 | 91          | 187 |
| 28.8         | 70         | 39  | 554       | 554 | 256         | 199 |
| 29.3         | 122        | 127 | 414       | 331 | 67          | 71  |
| 29.5         | 78         | 68  | 457       | 362 | 197         | 122 |
| 30.6         | 43         | 38  | 390       | 432 | 108         | 148 |
| 30.9         | 27         | 62  | 312       | 280 | 76          | 70  |
| 32.5         | 49         | 41  | 433       | 384 | 79          | 82  |
| 34.5         | 28         | 32  | 476       | 401 | 129         | 91  |
| 35.8         | 52         | 69  | 399       | 369 | 107         | 69  |
| 35.9         | 62         | 65  | 494       | 273 | 151         | 83  |
| 36.0         | 59         | 54  | 214       | 218 | 9           | 12  |
| 36.0         | 62         | 91  | 406       | 411 | 127         | 174 |
| 37.6         | 35         | 56  | 368       | 330 | 123         | 106 |
| 39.2         | 51         | 55  | 495       | 466 | 159         | 171 |
| 39.3         | 75         | 29  | 240       | 304 | 22          | 56  |
| 40.1         | 101        | 91  | 335       | 353 | 99          | 136 |
| 40.2         | 61         | 63  | 357       | 374 | 95          | 108 |
| 40.2         | 69         | 50  | 399       | 375 | 98          | 85  |
| 40.9         | 38         | 23  | 476       | 277 | 147         | 143 |
| 41.2         | 49         | 35  | 490       | 435 | 180         | 120 |
| 41.5         | 40         | 36  | 410       | 339 | 149         | 68  |
| 42.5         | 21         | 45  | 397       | 451 | 85          | 100 |
| 42.7         | 69         | 55  | 425       | 467 | 101         | 110 |
| 42.8         | 70         | 57  | 385       | 400 | 105         | 134 |
| 44.2         | 43         | 26  | 561       | 365 | 88          | 24  |
| 44.4         | 65         | 45  | 591       | 405 | 178         | 76  |
| 45.0         | 52         | 55  | 321       | 284 | 103         | 92  |
| 48.0         | 42         | 24  | 377       | 312 | 107         | 111 |
| 标准差          | 21         | 23  | 88        | 81  | 48          | 47  |
| 平均值          | 53         | 49  | 417       | 374 | 116         | 105 |

## 2.2 深度睡眠结果分析

深度睡眠通常发生在刚开始睡眠时较早的睡眠周期中,受睡眠长度的影响较小<sup>[15-16]</sup>。深度睡眠时长对睡眠质量有重要指示性意义。

### 2.2.1 静音室与住宅深度睡眠时长

所有受试者在静音室的深度睡眠时长  $a$ 、在自家住宅的深度睡眠时长  $b$  以及二者的差值  $(a-b)$  结果如图 3 所示。图 3 中,35 位受试者的数据根据住宅深度睡眠时长按升序排列。

从图 3 可以看出,不同受试者在静音室中的深度睡眠时长与在自己住宅相比有增有减,但总体看来,在静音室与住宅深度睡眠时长的差值随住宅深度睡眠时长的绝对值的增加而减小。全部 35 位受试者深度睡眠时长在静音室平均比住宅增加了 3.5 min。

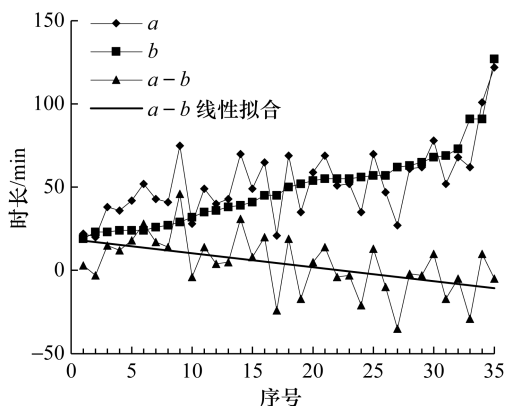


图 3 深睡时长实验结果(住宅深睡时长升序)

### 2.2.2 静音室与住宅深度睡眠时长差值、比值

将所有受试者在静音室与在自己住宅的深度睡眠时长的差值和比值分别按升序排列,得到的结果见图 4。由图 4 可见,在静音室与自己住宅相比,15 位受试者深度睡眠时长减少,20 位受试者深度睡眠时长增加;减少的人平均减少 23.0%,增加的人平均增加了 42.2%。深度睡眠时长比值的几何平均数为 1.093,也就是说,去除深度睡眠时长绝对长度的影响,35 位受试者平均深度睡眠时长在静音室中相对在自己住宅增加了 9.3%。

将深度睡眠时长的比值与正常情况下的正态分布进行比较,结果如图 5 所示。在静音室中曲线整体向左偏移,即体现了深度睡眠时长整体增加的趋势。

### 2.2.3 深度睡眠时长与背景噪声

将每位受试者深度睡眠时长及其在静音室与住宅中的差值的结果按住宅背景噪声声级绘图,见图

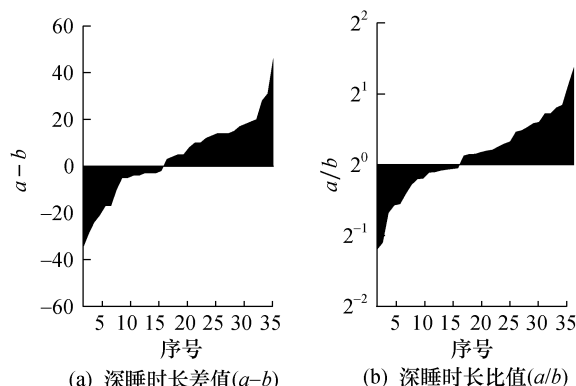


图 4 深度睡眠时长差值  $(a-b)$  与比值  $(a/b)$

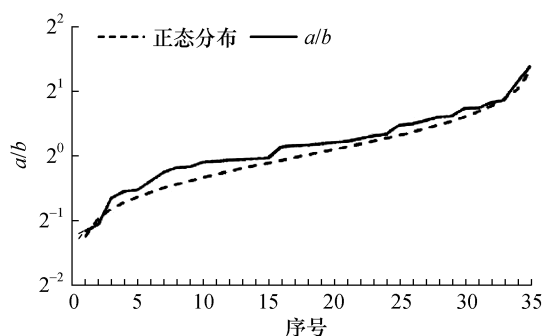


图 5 深度睡眠时长比值  $(a/b)$  与正态分布的比较

6。可以看到,当受试者住宅背景噪声增大时,受试者在自己住宅中的深度睡眠时长总体有先增大后减少的趋势,在 30~35 dB(A)之间出现峰值,而在静音室中这种趋势被减弱。

从图 6 可以发现,背景噪声在 30 dB(A)以下时数据更为分散,这可能是由于当背景噪声较小时,人体本身产生噪声(如呼吸、心跳等)及其他未知因素可能会对人产生影响,导致在更加安静的环境下反而睡眠质量下降。因此,选取 30 dB(A)以上的数据重新绘图(见图 7),去除背景噪声较低的、方差较

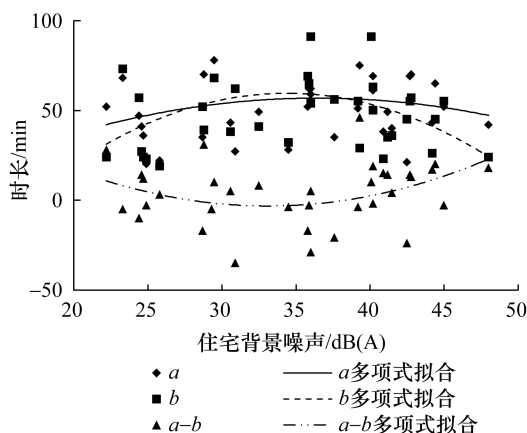


图 6 深度睡眠时长及其差值与背景噪声的关系

大的数据。可以看到,背景噪声在 30 dB(A)以上的数据更为集中,变化趋势更为明显,当住宅背景噪声在 30 dB(A)以上时,受试者住宅背景噪声越高,其在静音室中的睡眠质量提高得越明显。

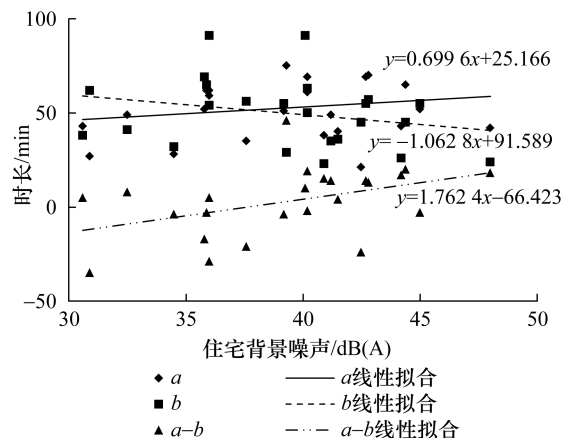


图7 深度睡眠时长及其差值与 30 dB(A)以上住宅背景噪声的关系

整体看来,受试者在静音室中比在自己住宅中的深度睡眠时长有所增加,且此增量随住宅噪声的提高而增加。

### 2.3 快速眼动睡眠结果分析

通常情况下,快速眼动(REM)睡眠在每个睡眠周期中重复出现,在整夜睡眠中 REM 睡眠时长与睡眠总时长成比例<sup>[17]</sup>。REM 睡眠通过 REM 的时长及其与睡眠总时长的比值进行研究。研究方法同节 2.2。

快速眼动睡眠的数据有着与深度睡眠相似的趋势,即静音室中数据在住宅数据上下波动,静音室与住宅数据的差值总体呈下降趋势。受试者在静音室比在住宅的 REM 睡眠时长整体有所提升,平均增加 10.8 min,REM 睡眠所占比例差别不明显。

在静音室比在自己住宅 REM 睡眠时长增加的有 17 人,约为全部受试者的一半,但 REM 睡眠时长增加的平均数值比减少的更大,REM 睡眠时长减少的 18 人平均减少了 20.1%,而增加的 17 人平均增加了 60.8%。35 位受试者整体平均增加 12.2%。

REM 睡眠占睡眠总时长比例增加的有 16 人,与时长增加人数相近。REM 睡眠所占比例减少的 19 人平均减少了 19.3%,增加的 16 人平均增加 31.1%。35 位受试者整体平均增加 0.8%。

在受试者 REM 睡眠时长与其差值的结果和住

宅背景噪声声级的关系中,受试者在自己住宅中的 REM 睡眠时长在背景噪声变化时略有下降,而在静音室中这种下降变得更为平缓,且整体比在住宅 REM 睡眠时长增加。因此,与深度睡眠时长同样随着受试者住宅背景噪声的增大,在静音室中 REM 睡眠时长提高得更为明显。

整体看来,35 位受试者在静音室中比在自己住宅中的 REM 睡眠时长有所提高,且此时长增量随住宅噪声的提高而增加。REM 睡眠占睡眠总时长比例无明显变化。

### 2.4 睡眠总时长结果分析

睡眠总时长结果为受试者实际睡眠时长,不含入睡及觉醒时间。研究方法同节 2.2。35 位受试者在静音室中睡眠总时长的平均值为 417 min,在住宅睡眠总时长的平均值为 374 min。按静音室中与住宅中睡眠时长的比值的几何平均值计算,静音室中时长平均比住宅中增加 11.4%,与 REM 睡眠时长增加的 12.2% 数值相近,结合 REM 睡眠时长总是与睡眠总时长成比例的结论<sup>[16]</sup>,进一步证明了本研究结果的可靠性。

## 3 结 论

根据对 35 位受试者在静音室与自己住宅分别睡眠一夜的睡眠情况的比较与分析,可以得到以下结论:

1) 大部分受试者在静音室深度睡眠时长比在住宅有所增加,平均增加时长为 3.5 min,整体平均增加 9.3%,此增量在住宅噪声 30 dB(A)以上情况下,随住宅噪声声级的提高而增加。

2) 受试者在静音室 REM 睡眠时长比在住宅增加的人数与减少的相近,时长平均增加 10.8 min,整体增加 12.2%,此增量随住宅噪声声级的提高而增加。REM 睡眠所占睡眠时长的比例整体变化很小,增加 0.8%。

3) 受试者在静音室中睡眠总时长整体有所增加,平均增加 11.4%。

根据实验结果,深度睡眠时长、REM 睡眠时长、睡眠总时长均有整体平均增加,且当背景噪声在 30 dB(A)以上时,此增量随对比住宅的背景噪声的增大而增加,若排除首夜效应的负面影响,结果应更加明显。由此可以初步判断,受试者在极静环境比在普通住宅睡眠质量总体有所提升,这进一步证明了睡眠环境的安静对睡眠质量的重要性。

## 致谢

感谢清华大学建筑声学实验室, 清华大学接待服务中心, 北京 301 医院耳鼻喉研究所, 北京大学影像中心睡眠研究中心, 及王旭光、陈旭永、石鹤、孙伊伟、郭静、徐小霞、李红云、王熙伟、花云飞、潘宁、苏京、宋刚、杨万方、刘忠庆、薛小艳、陈晓文、陈忠杰、王鹏、梁艳等人对实验进行的重要帮助和支持。

## 参考文献 (References)

- [1] CARSKADON M A, DEMENT W C. Normal human sleep: An overview [M]//KRYGER M H, ROTH T, DEMENT W C. Principles and practice of sleep medicine. 4th ed. Philadelphia, USA: Elsevier Saunders, 2005: 13–23.
- [2] SIEGEL J M. Clues to the functions of mammalian sleep [J]. Nature, 2005, 437(7063): 1264–1271.
- [3] NISHIDA M, PEARSALL J, BUCKNER R L, et al. REM sleep, prefrontal theta, and the consolidation of human emotional memory [J]. Cerebral Cortex, 2009, 19(5): 1158–1166.
- [4] MUZET A. Environmental noise, sleep and health [J]. Sleep Medicine Reviews, 2007, 11(2): 135–142.
- [5] HALPERIN D. Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health? [J]. Sleep Science, 2014, 7(4): 209–212.
- [6] 李卉, 燕翔, 王江华, 等. 极静环境驻留八小时人体反应实验研究 [C]//2012 年全国声学设计与噪声振动控制工程技术交流会. 海口, 2012.  
LI H, YAN X, WANG J H, et al. Experimental study of human reaction under silent environment for 8 hours [C]//2012 National Conference on Acoustics Design and Noise and Vibration Control Engineering. Haikou, China, 2012. (in Chinese)
- [7] 李权, 王江华, 燕翔. 安静环境对睡眠影响的初步实验研究 [C]//第六届健康住宅理论与实践国际论坛. 北京, 2013.  
LI Q, WANG J H, YAN X. Experimental exploration of the effect of quiet environment on sleep [C]//The Sixth International Forum on the Theory and Practice of Health Housing. Beijing, 2013. (in Chinese)
- [8] Gibson Research Corporation. Zeo sleep manager pro: Usage tips [EB/OL]. (2016-05-10) [2017-12-03]. <https://www.grc.com/zeo.htm>.
- [9] GRIESSENBERGER H, HEIB D P J, KUNZ A B, et al. Assessment of a wireless headband for automatic sleep scoring [J]. Sleep and Breathing, 2013, 17(2): 747–752.
- [10] ASERINSKY E, KLEITMAN N. Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep [J]. Science, 1953, 118(3062): 273–274.
- [11] DEMENT W, KLEITMAN N. The relation of eye movements during sleep to dream activity: An objective method for the study of dreaming [J]. Journal of Experimental Psychology, 1957, 53(5): 339–346.
- [12] MARKS A, GRIEFAHN B, BASNER M. Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise [J]. Noise Control Engineering Journal, 2008, 56(1): 52–62.
- [13] PAPOULIS A, PILLAI S U. Probability, random variables, and stochastic processes [M]. New York, USA: Tata McGraw-Hill Education, 2002.
- [14] AGNEW H W, WEBB W B, WILLIAMS R L. The first night effect: An EEG study of sleep [J]. Psychophysiology, 1966, 2(3): 263–266.
- [15] WEBB W B, AGNEW H W. Stage 4 sleep: Influence of time course variables [J]. Science, 1971, 174(4016): 1354–1356.
- [16] BRUNNER D P, DIJK D J, TOBLER I, et al. Effect of partial sleep deprivation on sleep stages and EEG power spectra: Evidence for non-REM and REM sleep homeostasis [J]. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1990, 75(6): 492–499.
- [17] WEBB W B, AGNEW H W. Sleep stage characteristics of long and short sleepers [J]. Science, 1970, 168(3927): 146–147.

(责任编辑 李丽)