

Rhythms of Life

内在节律和自然时间的协调 · 生物钟与生命规律的探索

生命的节奏

[英] 拉塞尔·福斯特 (Russell Foster)

利昂·克赖茨曼 (Leon Kreitzman) 著



当代中国出版社

Rhythms of Life

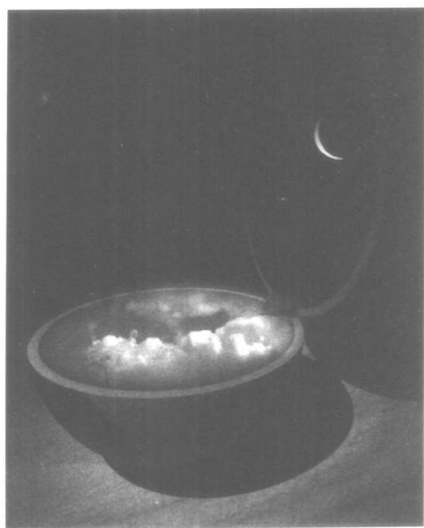
内在节律和自然时间的协调 · 生物钟与生命规律的探索

生命的节奏

[英] 拉塞尔·福斯特 (Russell Foster)

利昂·克赖茨曼 (Leon Kreitzman) 著

郑磊/译



当代中国出版社

图书在版编目(CIP)数据

生命的节奏/(英)福斯特,(英)克赖茨曼著;郑磊译.—北京:当代中国出版社,2004.10

ISBN 7-80170-350-2

I.生... II.①福...②克...③郑... III.生物钟—普及读物 IV.Q73-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第109118号

Rhythms of Life: The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing

By Russell G. Foster & Loen Kreitzman

Copyright © Russell G. Foster & Loen Kreitzman, 2004

First published in Great Britain in 2004 by Profile Books Ltd

Simplified Chinese Translation Copyright © 2004 by Contemporary China Publishing House

(Huawen Books Company)

ALL RIGHTS RESERVED

中文简体版由 Profile Books Ltd 授权当代中国出版社独家出版发行

北京市版权局著作权合同登记号: 图字 01-2004-5287

生命的节奏

出版发行: 当代中国出版社(北京地安门西大街旌勇里8号 邮编 100009)

印刷: 北京京都六环印刷厂

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 16

字数: 230千字 书号: ISBN 7-80170-350-2

版次: 2004年11月第1版 印次: 2004年11月第1次印刷

责任编辑: 王树清 策划编辑: 黄维益

定价: 26.00元

版权所有 侵权必究

献给我的母亲、我的妻子伊丽莎白，以及我的孩子夏洛特、威廉姆和维多利亚，并以此怀念我的祖父母乔治和罗斯·狄克逊。

拉塞尔·福斯特

献给妻子琳达和我的孩子索菲、利亚。

利昂·克赖茨曼

前 言

时间，在我们的基因里留下了深深的烙印。细胞是进化过程中的奇迹，因为它们是构成生命的基本物质。在其众多的神奇功能中，最令人称奇的就是它们可以感知时间。从简单的细菌到蠕虫、鸟类，当然也包括我们人类，万物生灵都具有生物钟。之所以会这样，原因很简单：一切生物都在一个自转周期为一天的星球上进化、生活，寒来暑往，斗转星移，自古皆然。我们人类一生大约有 $1/3$ 的时间处于睡眠之中，对一般人来说，这就意味着一辈子有超过 20 年的时间是与大地平行的。除了睡眠，再也没有任何其他活动会如此占据我们的生命。

但是，睡眠并不是唯一受生物钟支配的活动。我们体内的大部分活动，我们的生理、生化状态都是有节律的，表现出一种明显的昼夜差异。心跳和血压，肝脏功能（包括很重要的解酒能力），新细胞的形成，体温以及荷尔蒙的分泌，这些都表现出一种昼夜变化。然而，仅仅当我们过着一种“现代”生活时才会注意到这点——当我们乘飞机进行跨国旅行时，我们会遭受时差的折磨；当我们不得不倒班工作的时候也同样。对此我们越来越司空见惯，以致忽略了严重的后果。许多人类历史上的大灾难，比如说切尔诺贝利核电站泄露事故、海难以及火车相撞，都发生在午夜时分，这难道都是巧合吗？

生物钟的存在对于医学具有深远的意义。如果我们的生理状态存在昼夜变化的话，那么药效随服用时间而改变也就不足为奇了。这是一个崭新的医疗领域，但是还有许多未解之谜。通过优化治疗时间，在癌症治疗的成功率上做一些细微的改变，便可拯救数千人于死神之手。而这甚至无需发明新药——仅仅是更好地利用了现有的药物而已。这对治疗心脏病、糖尿病等也同样适用。甚至某些情绪低落也与生物钟有关，因为冬天天短、光线不足，容易导致生物钟的紊乱。

想要了解生物钟在人身上的作用机理并不简单，但是我们可以从其他



生物身上获取线索。通过对苍蝇、老鼠、鱼及其他许多生物的研究，人类已经逐渐知晓，上苍是如何给生灵设计了这样一架精巧无比的时钟，而且还与所处的环境严丝合缝。

在时间生物学这一领域，《生命的节奏》为读者提供了最新研究成果的极具价值的纵览。从人类生物钟的故事到最新发现的其他动物的事例，我们可以看到，基因是如何引导我们的器官、机体来感知时间的。遗传学和分子生物学的最新进展给我们开辟了一个广阔的研究前景，我们对生物钟的分子机理也将会更加明了。

——英国皇家学会会员、胚胎学家刘易斯·沃尔珀特 (Lewis Wolpert)

致 谢

关于时间的书总是特别“难产”，本书也不例外。我们越是想尽可能阐明各种概念、缩短篇幅，结果花的时间就越长。最终能顺利地完成任务，应该归功于许多人的宽容和帮助。

很多人都以不同的方式影响着本书的内容。这其中包括：迈克尔·梅纳克 (Michael Menaker) 和雪莉·梅纳克 (Shirley Menaker)，布赖恩·福利特 (Brian Follett)，伊格纳西奥·普罗文西奥 (Ignacio Provencio)，罗伯特·卢卡斯 (Robert Lucas)，马克·汉金斯 (Mark Hankins)，蒂尔·伦内伯格 (Till Roenneberg)，马莎·梅罗 (Martha Merrow)，约瑟芬·阿伦特 (Josephine Arendt)，威廉姆·德格里普 (Willem DeGrip)，德克-简·迪克 (Derk-Jan Dijk)，戴维·惠特莫尔 (David Whitmore)，卡尔·希尔希·约翰逊 (Carl Hirschle Johnson)，罗恩·道格拉斯 (Ron Douglas)，弗雷德·图雷克 (Fred Turek)，伍迪·黑斯廷斯 (Woody Hastings)，安德鲁·劳恩登 (Andrew Loundon) 以及帝国学院 (Imperial College) 的许多同仁。

威廉姆·赫鲁希斯基 (William Hrushesky) 对第十三章的时间治疗学提供了宝贵建议。在撰写体内平衡的内容和查找生物钟资料时，我们使用了康涅狄格大学 (Connecticut University) 关于生物节律的一个网站 (<http://predator.pnb.uconn.edu/beta/titles/courseref/html>)。因为网址经常变换，所以我们通常不注明网络资源出处，但这次却是个例外。

本·洛布利 (Ben Lobley) 阅读了全书，并且提供了许多宝贵的建议。加雷思·威廉斯 (Gareth Williams) 和伊丽莎白·福斯特 (Elizabeth Foster) 在编辑工作上给予了协助。斯图尔特·皮尔逊 (Stuart Peirson) 帮助我们绘制了某些插图。

尽管我们的出版商，安德鲁·富兰克林 (Andrew Franklin) 和 Profile 出版社 (Profile Books) 的同事们为本书的出版做出了巨大贡献，但是谬误在所难免。所有文责由我们承担。



我们的家庭和朋友给予了我们巨大的宽容。在此，福斯特感谢伊丽莎白、夏洛特、威廉姆和维多利亚，谢谢他们能忍耐写作带来的不便。而琳达、索菲和莉亚尽管此前也经历过类似的不便，但克赖茨曼仍然再次感谢他们的支持。

绪 论

饥饿的时候就要吃饭，口渴的时候就要喝水，疲惫之时则睡觉，这些，我们早已习以为常。然而，这不过是文明和闹钟制造的假象，给了我们机会进行伪装。如果听凭自然反应，我们就会根据生理机能，在体内的生物钟控制下吃喝拉撒，而不是由我们自己来决定该怎么做。

这个专横的“计时员”不仅控制我们的身体行为，而且还使心情和情绪都形成日常节律，甚至连我们的床第之欢都受它的控制——做爱的最佳时间是22点。

人类已经打破了许多自然链。吃的、喝的事先都经过加工，治病用各种药品，而不像以前那样用自然植物；电灯让我们的黑夜亮如白昼，中央空调模糊了四季的界限。但是，如果不带手表在漆黑的洞穴呆上几天，之后再重返阳光之下，我们就会回复原始的模式。在剥夺了时间这一航标之后，我们的生物节律之船便会慢慢偏离航道。

自然界存在着各种各样的生物节律，从昼夜节律（daily circadian rhythm）、月节律（circalunar rhythm）到年节律（annual rhythm）不一而足。鸟儿一早起来捕捉虫子，睡鼠靠冬眠度过冬天；同种花朵在每天同一时刻绽放、凋零；蜜蜂如同事先安排好似的奔向最富足的蜜源；矾沙蚕按照月运周期每年聚集一次；银汉鱼永远按照潮汐的规律来产卵。就像我们人类依靠钟表、日历来掌握时间一样，其他有机体也是受时间支配的生命，它们自有它们的一套计时方式。

然而，人类和其他生物之间存在一个重要的差别，那就是人类会有意识地忽略这种自古皆然的生物节律。比如说，身体告诉我们该睡觉了，可是我们仍然会再喝一杯咖啡，打开收音机，出去兜一圈，自以为可以摆脱几十亿年来进化而成的节律的束缚。

然而，我们根本做不到。早在30多亿年前，上苍就在这个星球上的所有生命体内放置了一架精密的生物钟。

气候变化，沧海桑田。但是，在持续变化的环境之中，地球和月亮依然在固定的轨道上运转。地球每 24 小时便自转一圈，顶多误差一两分钟；每隔 365.25 天，天狼星就会伴随太阳在天际升起；每隔 29.5 天，月亮便会盈亏一次；每一天，潮水会两次冲刷海滩。因此，我们丝毫不该奇怪，万物生灵身上会存在这些基本的生物节律，并在进化过程具备了一种优势——能够预测并适应变化的能力。这些节律就是时间标志，是为了适应这个旋转的星球而必须形成的。通过这些内在的定时功能，有机体才能以不变应万变，在变换纷繁的环境中尽可能扩大其繁衍生息的机会。

这些生物节律是“内生”的，这些定时功能控制着生物体的许多行为。超日节律（*infradian rhythm*）（周期超过一天的生物节律）以月或者年为周期控制行为，比如说迁徙、繁殖和冬眠等。有些超日节律甚至更长，比如说蝉，每隔 13~17 年才会有一次为期两周的发情期。

昼夜节律则是由一架“中央时钟”协调的，这样我们的身体系统才能和谐运转。当它遭到破坏时，我们便会产生一系列症状，轻则时差反应，重至有可能危及生命，诸如情绪低沉、睡眠紊乱等。

就像乐队指挥一样，这架时钟协调着身体各部分的运转，使其整齐如一，不允许出现任何的不和谐音符，以确保身体的生化功能准时有序地运行。生物钟让白昼性或夜行性，以及清晨和黄昏活动的有机体的作息频率保持一致，这样就能确保其活动的高峰期和食物、阳光的供应期同步。这种功能使人类和其他生命能够预知光线、温度、湿度或紫外线辐射等环境的节奏性变化。

生物钟“迫使”有机体按照天、月或年来改变其行为的优先性。就像我们根据电视、广播的信号来调整自己的手表，使它和频率不变的原子钟保持一致一样，有机体也会根据日升日落调整自己的时钟，使体内的时间和天文时间保持一致。

有很多原因值得我们好好研究生物节律，作为一种生物机制，它们本身就很有趣。它们引起了野外生物学家的好奇心，使他们致力于研究动植物是如何适应环境变化的。而生理学家和分子生物学家也正在探究生物钟的内部运行机理。对于行为遗传学家来说，生物钟给他们带来了希望。我们所刻画的最好的行为模型正是受制于昼夜节律的，基因、蛋白质和神经递素，这些引起复杂生理行为的物质已经通过临床解剖被识别出来了。临床医生对此也抱有浓厚的兴趣。大量证据表明，假如我们

可以更加了解疾病在每天不同时段特征,从而依此正确用药、治疗的话,那么治疗癌症和其他病症的成功率便可得到提高。

和任何关于科学主题的书籍一样,关于生物节律的书也总会挂一漏万。由于这一领域的研究开展得如火如荼,因此书籍总是落后于研究的进展。面对如潮水般涌现的研究成果,我们不得不面临着材料如何取舍的问题。此外,我们还得明确本书的重点,应该是介绍科学还是科学家,抑或是生物学原理。

为了叙述的连贯,我们适当采用了按年代顺序组织材料的方式。尽管这不是什么硬性规定,但我们觉得,现代生物学大厦是建立在前人的一砖一瓦之上的。比如进化论是生物学中一个普遍适用的原理,但它的解释作用要远胜过它的预言作用。生物学仍然是一门建立在实验和观察之上的学科,有着微不足道且看似迥异的见解。

阅读本书不需要具备生物学家的知识,但是略懂一点儿当然更好,我们努力以一个没有受过生物学训练,但是对科学充满兴趣的读者作为写作对象。有时候,我们不得不使用一些令人望而生畏的陌生术语,不过我们会事先做出解释。由于在可读性和准确性之间一直存在着矛盾,因此有些内容显得比较困难。压缩内容是真理的大敌,更不幸的是,有时候我们不得不简单从事。对于某些难懂的部分,如果你无法静心阅读的话,那么不妨跳过它们。

同时,我们也得兼顾那些专家、学生,以及具备其他学科背景的专业人士。但是篇幅有限,不可能包罗万象,因此我们舍弃了许多生物节律——比如潮汐节律、月亮节律(lunar)、亚日节律(ultradian rhythm,周期短于一天的生物节律),以及仅有一次的生死节律。但是,在目前的知识范围内,我们还是尽量做到叙述严谨准确。

假如读者认为昼夜节律的主要研究对象是哺乳动物、鸟类和昆虫的话,那么未免片面了点儿。许多重要的成果都是在细菌、植物、藻类、甲壳纲动物、鱼类,以及爬行动物身上取得的,我们舍弃这些仅仅是因为时间和篇幅的局限,而并非因为偏见。

我们希望,无论是有志于此道还是仅仅为了消遣,读者都能读完本书,对生物钟的基本知识和生物研究的本质有所了解。吉奥阿基诺·罗西尼(Gioacchino Rossini)(著名的意大利歌剧作曲家——编者注)曾这样评价理查德·瓦格纳(Richard Wagner)(德国著名的作曲家、指挥家——编

者注)的歌剧:“瓦格纳先生的歌剧大部分时间显得冗长乏味,可是也会有迷人的瞬间。”生物学研究也有些类似,成年累月的乏味研究中,间或出现的新发现却足以令人激动得颤抖。尽管这么说并不足以描述这种精神状态,不过,正是这种“迷人的瞬间”,驱使着研究者甘坐冷板凳。

书中提及了许多从事生物钟研究的学者,但是遗漏在所难免。如今,大约有1000多位科学家正在从事生物时间(biological time)的基础研究,而致力于将理论成果应用于医学、农业、园艺、载人航天飞行,以及军事领域的科学家更是十倍于此。

如今在所有行业中,全天候运行已经成了标准。无论是从事公用事业、加工、交通、制造、金融、娱乐、零售、应急服务、媒体还是教育工作,你都得按照“人造节律”(artificial rhythm)来工作。如今,每个人都生活在一个“24/7时制”的社会里,这种强制的节律与基本生物规律相冲突,因此,我们不得不努力平衡工作压力,避免给身心健康带来过大的危害。从这点我们已经意识到,理想的生活方式和现实之间的差距会造成巨大的压力,我们希望,借着对基础生物学的逐步了解,这一两难困境能够得到解决。

几千年来,生物节律一直是作家和诗人们乐衷的一个主题。第一章就在这一背景下勾画了这些节律,特别是昼夜节律。我们不仅介绍了它们之间的差别,还引出了本书的一个关键人物——果蝇,行为的遗传学基础知识大部分都来源于对它的研究。其中有个人对这个小东西特别痴迷,他就是科林·皮登卓伊(Colin Pittendrigh),一位终身研究生物节律的专家。皮登卓伊说,外部环境的日升日落,周而复始,这是“外部时间”(Day Outside);而在有机体体内存在着一个生物钟,来控制着“内部时间”(Day Inside)。本书的一个主题就是解释这两种时间是如何匪夷所思地联系起来的。

如果我问你,哪种动物既勤劳又喜欢群居,那么大多数人都会说到蜜蜂。在第二章,我们就来研究一下所谓的“蜜蜂的时间感”。根据太阳在天空的运转,蜜蜂就能确定蜜源的方向和位置,并把结果告诉同伴。换言之,如果蜜蜂能够做到,那么鸟类和其他许多动物也应该具备这种神奇能力,读取内部时钟进行定位。就好比利用其他传感器获取空间意识一样,它们也可以在时间维上行动自如。

第三章是关于一些定义的。我们说到的时钟是什么?我们又怎么识别

它？所有的钟表都必须通过一个振荡器来产生有节奏的摆动，那么振荡器又是什么？振荡又是如何产生的？所谓的“指针”是指内部节拍的规律性，或者说生理节律，但是要转化成能够产生时间的时钟，还必须把它和可预测的昼夜循环联系起来。对大多数人来说，把外部时间和内部时间联系在一起的，是广播的报时声或其他手段，但是其他生物可做不到这点，它们必须得使用更直接的方式，比如说依靠晨昏的变化。此外，要想成为一个合格的“计时员”，时钟还得不受温度的影响，这是早期研究者的一个思考话题。

与可预测的外界节奏的融洽关系，与日常生活的相互协调，体现了生理节律法和自我平衡法在平衡方式上的主要差别。第四章研究了在根据当地环境来调节生理节律的过程中，有机体是如何适应并和外部世界协调的。

自从柯蒂斯·里克特 (Curtis Richter) 观察到老鼠的生物节律之后，人类花了 70 多年才弄清哺乳动物主生物钟——视交叉上核 (SCN) 的位置所在。它是一串位于大脑下丘脑前方的细胞簇，大约由 2 万个细胞组成。第五章就是讲述了它的发现过程，作为生物学研究的一个范例，我们可以从中领略到科学探索的艰辛与乐趣。最近 20 年来，“昼夜节律系统” (circadian systems) 逐渐取代了“生物钟”这个名词，因为研究清楚地表明，尽管某些物种体内存在着一个“主钟” (central clock)，但在绝大多数物种体内，完成类似功能的部件在整个有机体内是四散分布的。

光线是一种协调内部时钟机制和外部太阳、天体周期的主导因素，它是怎么做到这点的呢？这是第六章要集中探讨的问题。过去我们一直认为，视杆细胞和视锥细胞是眼睛的光线传感器，大部分生物学家也持此观点。因此，当我们在哺乳动物身上发现还存在第三种神秘的光感受器时，这种震惊可想而知。这种光感受器有自己专用的神经回路，能将视交叉上核和外部世界相连。现在，人们已经将对它的理论成果运用于实践了，比如治疗患有某些眼疾的病人。

从很多方面看，第七章都是全书的重点，同时也是最难的一部分，对有些读者是一种挑战。但是，我们建议大多数读者还是略翻一下。这一章从本质上描述了某些特定行为的节律控制，比如说如何从分子水平刻画果蝇的运动行为。本章的开篇是西摩·本泽 (Seymour Benzer) 和罗纳德·科诺普卡 (Ronald Konopka) 的一项意义深远的研究，他们发现单基因不仅

可以影响身体特征，还可以影响行为。尽管这一领域还有待我们进一步研究，但是从根本上讲，我们已可以命名分子，探测其在空间的位置，并且运用基因和蛋白质的交互作用，来解释果蝇为何在一天中的某些特定时段活动强度较大。这一成果引导人类发现了第一个可以影响特定行为的单基因，对此我们将在第十一章继续论述。

本书主要讨论的是哺乳动物，但在第八章，我们也将鸟类、昆虫、真菌类及细菌的昼夜节律系统与之做了比较。生物的昼夜节律千差万别，但其机理却很类似。不过，这并不是一眼就能看出来的，比如说鸟类的生物钟在眼睛里，鲑的光感受器在尾部，尽管形式各异，但它们却有着共同的模式。

除了日常生活的节律以外，星球上的生物还有诸如迁徙、冬眠、繁殖等每半年或一年发生的活动。昼夜长短的变化可以用作光周期（*photoperiodic*）的信号，这样可以确保在食物充足的“良辰吉日”进行繁殖等头等大事。第九章讨论了光周期现象（*photoperiodism*）是如何作用的，介绍了另一种不仅可以报时、还能记“日记”的功能——年节律生物钟（*circannual clock*）。

尽管在 30 多亿年前，生命体的这种节律已普遍存在，但我们还是在第十章大致叙述了其进化的过程，昼夜节律系统在历史上至少经历了四次独立的发展过程。从本质上说，进化论研究主要是一种推理的方法，但是生物学必须严格建立在进化论的基础上，而且，对于“已经成为什么”的思考将是对“可能成为什么”的有力指引。

在第十一章，我们再次把注意力从果蝇、啮齿类动物、麻雀等转向人类。我们肆意挑战自然环境，创造一个自认为更适合自己的世界。在这一过程中，历经数百万年进化的生物模式，经常被我们强加上一种新的生活方式。目前已经发现，人类具有一种可以真正影响昼夜节律行为的生物钟基因。也许，昼夜节律影响最大的人类行为就是睡眠，在这一章里，我们将说明为何睡眠并非一种“默认”状态，而是一种可控制的行为，以及精神上的警觉和身体上的表现为何也是昼夜节律控制系统的一部分。

第十二章详细讨论了生物钟出现故障的后果。季节性情感障碍（*SAD*）或冬天的情绪低落影响着成千上万的人，使冬天成了一个糟糕的季节。研究逐步表明，其他的情绪低落疾病也和昼夜节律失调有关。精

精神分裂和双相型障碍患者（也叫“两极性情绪紊乱”，周期性的躁狂和抑郁交替出现的精神症状——译者注）很难完成一些与时间有关的活动，这主要是因为昼夜节律出了问题，而非官能障碍行为。倒班的人处在一种昼夜节律颠倒的环境中，这种“倒班时差”的长期危害比飞行时差更严重。

在第十三章中，我们讨论了时间治疗学——一种将昼夜节律原理应用于临床医疗的学科。大量证据表明，如果根据病人的生物节律来控制用药治疗的时间，那么对癌症的疗效将会提高，因为生物节律不仅影响疾病本身的特点，也会影响药物的效果。其他一些疾病和医疗条件也适用时间治疗学，但尚非证明它普遍适用。

对人类的研究是从三方面展开的：生物学、心理学和社会学，而时间则横跨三个领域。作为最基本的一个层面，生物学决定了做某事的最佳时间，作为独立的个体，我们对时间有着不同的感知和态度。

早在20世纪30年代，勒孔特·迪努伊（Le comte du Nouy）就相信女人和男人对时间有着根本不同的感觉。他说：

在西方，男人把钟表做得越来越精细，直到可以测量出百万分之一秒。他们认为，能够测量出比一秒还短的时间，代表着对严格客观世界的一种把握能力。而女人对时间的感觉则不同，她们容许时间上存在冲突，而男人是容不得半点混乱的。女人在意的不是细枝末节和长度，而是时间的事件感。

他认为，这是由于女人的一生中有一些特殊的周期，比如月经期、孕期、生育期等等。和男人以分钟或小时来划分一生不同，女人是用一种长期且不很精确的周期来划分的，这就是“自然时间”和“钟表时间”之间古老的两分法。

迪努伊还写到（迪努伊，1937年）：

这两种不同的时间概念非常不协调。比如说，当一个女人面对着焦急等待去戏院的丈夫时，她会说：“亲爱的，我马上就来。”不过她的真实意思并不能根据字面来理解，她仅仅是表示，接下来该做的是和丈夫一起去看戏。但是，丈夫的理解是妻子马上就会出来，并且估计顶多等45秒钟。因此在10分钟后，依然在客厅焦急踱步的他自然会气急败坏……双



方都无法接受对方的时间观念。孩子和大人之间也存在类似的问题。

这是生物学还是性别差异，抑或是文化上的原因？你自己想吧。迪努伊并没有用严格的数据来支持他的分析，不过撇开性别沙文主义不谈，毫无疑问，每个人对如何掌握和使用时间都有自己的看法，而这很大程度上又取决于个人的性格。

但是，时间是具有社会性的。我们自小便被教导，时间无价，拖延时间就是谋财害命。在这个社会里，几乎无人会坐等光阴白了少年头，每个人不仅得为自己奔忙，还得奔忙给别人看。自此皆然。

我们必须做出选择。我们是“夜伏昼出”型的生物，可是我们又活在一个24小时制的世界里。在必要的时候，为了应付它，我们可以采用药物干预或者基于光线的治疗方法，以抵消夜间工作所出现的生理低谷。要不然我们就干脆抛弃这种连续运转的生活趋势，重新恢复被颠覆的传统时间结构。这是个十分棘手却又不得不面临的选择，过去如此，现在如故，将来也依然。

Content 目 录

前 言.....	IX
致 谢.....	XI
绪 论.....	XIII
 第一章 身体内外的时间.....	 I
一种昼夜节拍给一切行为安排好了时间，让它们像钟表一样运转……在日晷发明之前，人类依靠自然时间来生活，太阳、月亮、星星决定了我们的生活模式……当第一架机械钟表诞生后，人类便受到了时间的控制……	
 第二章 知晓时间.....	 13
蜜蜂是怎么知道自己已经飞了多远的？数自己翅膀扇动的次数，还是依靠“光流”……蜜蜂的记忆力“就像一个约会记录本，每一行都分门别类地写着约会的时间、地点和对象”……似乎很多有机体对太阳周期都有内在的表示……	
 第三章 振荡器、时钟和沙漏.....	 23
时钟是什么？振荡器又是什么？它们是如何产生的……当没有人问我时，我是理解时间的；而当我试图解释它时，我又不理解时间了……生物钟具有温度补偿机制吗？这仍是一个悬而未决的问题……	
 第四章 日常变化的挑战.....	 39
生物有着极其令人惊奇的计算时间间隔的能力……有机体的生物系统由生物钟预设好，以此适应可测的、有节律的日常变化……动态平衡机制是一种应对外界环境变化的微调机制……	