

波動の心理学

－ 脈波測定技術以及该技术在中国实践与应用的展望

胡 毓 瑜

中国では急速な発展・社会変化とともに、様々な問題が顕在化してきたが、中でも一般社会での認識が高い場合ほど、研究者たちはその問題性を重視し、課題解決の方法を模索してきた。しかし、いくつかの問題は、それらの背後に隠されており、置き去りにされることもあり、「心理」の問題も、その一つである。中国における心理学は、複雑な経緯により遅れをとっており、その蓄積や人材育成の面においても、十分な環境を構築することができなかった。こうした基礎研究の遅れも足かせとなり、精神衛生に関する実践での対応には大きな溝ができてしまった。

本研究では、現在、中国社会において心理に関連する種々の問題が露呈している中で、これまで心理学の発展が遅延した背景を押さえつつ、脈波の技術とその分析方法を紹介しながら、それらを導入する意義と展望を検討してゆく。

本報告の主な構成は、まず技術の基礎として、カオス理論を説明し、ここで採用した指標(最大リアプノフ指数と自律神経のバランス)を説明する。そして、これらの技術を用いた具体的な実験事例として、これまでに検討してきた「鬱病の判別」、「作業や学習による作業者の疲労度の測定」、「老人ホームにおける認知症の分析と看護」を取り上げ、本技術の応用性と汎用性について言及する。最後に、この技術を中国に適応させ、普及させるための課題を考察してゆく。

1. 現代中国发展中的心理问题

現代中国社会高速发展的同时，伴随出现了许多问题。当这些问题越来越

为大众所熟悉的时候，自然而然就会被研究者们所重视，并寻求解决之道。但是某些问题往往隐藏在其他问题背后，而容易被大家所忽视，心理问题就是其中之一。

近年来，中国高校大学生自杀人数呈上升趋势。对此，很多人都注意到了与之相关的教育环境的问题，例如应试教育、教育产业化、行政化。也有不少高校女生从事性相关的工作，很多人都认为这个是社会功利化和道德滑坡所致。诚然，在中国由于制度的不完善，引起了很多社会问题，但在这巨大的客观因素下，却掩盖了一部分本该属于主体因素的问题。很显然，在相似的教育环境与社会体制下，并不是所有人都选择了相同的道路。这巨大的个体差异很大程度上与心理素质相关。

然而在中国，对于心理问题的重视和处理显然存有不足。究其原因，其一是中国的心理学在学术方面的发展有限。心理学是一门年轻的学科，从哲学范畴脱离出来，成为一门独立的学科不过百余年，而中国的心理学起步则更晚。中途饱受战乱影响，新中国成立后，更因为政治因素被禁止了二十年。所以中国的心理学无论在体系上还是人才成果上都有很大的不足。其二，一般的中国民众的观念里，对心理疾病相当忌讳。事实上，谁都会有心理状态不安定的时候，可对于绝大部分中国人而言，并没有接受心理咨询，辅导，治疗的习惯。甚至可以说，相当一部分的人以看心理医生为耻。因此，在中国，某种意义上说，与其是患有心理疾病的人少，不如说是就医确诊的人少。

而另一方面，在许多发达国家，心理疾病已经成为了社会的主要问题之一。这里固然有高度发展的物质社会里，紧迫的工作带来额外的心理压力的原因，但不可否认的是，越来越完善的制度下，人们开始试图从内部，也即是人的内心来解释某些社会问题。与之相应的研究也得到了充分的发展。就心理学而言，现在的研究者已经不能满足于传统的内省法，伴随信息技术的发展与计算方法的改进，脑科学为中心的生命技术的发展，许多更具有客观性的方法和技术被开发出来。脉波的测定技术，并通过分析脉波中的信息以了解心理状态的方法即为其中之一。

2. 混沌理论与脉波测定方法

1) 混沌现象与理论

中医中有望闻问切之说，其中的切，某种意义上说，即是通过脉波来判断人的生理状态。可见脉波是一重要的能够反映人的状态的生命信号。而另一方面，西方的科技中，对于脉波的研究中，多着眼于确定性的信息，而把不安定的因素，当作噪音尽可能的去除。然而近年却有研究发现，那些不安定的因素中或许蕴有可以了解人的心理状态的重要的信息。也就是说，那些不安定的部分并非随机发生的，而是属于混沌现象。

混沌现象是指发生在确定性系统中的不规则运动。一个确定性理论描述的系统，其行为却表现为不确定性——不可重复、不可预测，这就是混沌现象。看似没有规律的混沌现象，其背后却存在着确定的规则，这一点正是其与随机现象的区别。明明是遵从一定规则的对象，却被看作无规律的，其原因正是，尽管构成对象的各个要素的运动是单纯的，但是作为一个集合体其运动却是极其复杂的。对于这样的对象我们称之为复杂系。人体正是一复杂系，因此，多数生命信号中都包含了混沌的信息。对于随机现象，我们无法获得有效的信息，而混沌现象则不然。

混沌现象的研究与应用，最早是在气象方面。1963年美国气象学家爱德华·诺顿·洛伦茨提出了混沌理论。之后，混沌理论不断发展，在数学和物理等理论研究领域得到了广泛的认可和关注。如今，其在生物，化工，信息，力学，医疗，工程，计算机等各方面，甚至在经济，教育等社会科学方面都有了实际应用的例子。进一步研究表明，混沌是非线性动力系统的固有特性，是非线性系统普遍存在的现象。牛顿确定性理论能够充分处理的多为线性系统，这也是传统的线性分析的方法难以从混沌现象中获得更多有效的信息的原因。对于这样的非线性系统，一个已经较为成熟的判别方法，即为描绘其吸引子。

2) 吸引子与最大李雅普诺夫指数

吸引子是一个数学概念，用于描绘运动的收敛类型。一般情况下，吸引子有4种类型(图1)，点吸引子，周期吸引子，准周期吸引子和奇异吸引子。

前三种又称为一般吸引子，表示长期运动的简单情况，即静止状态，直线运动以及周期运动。而吸引子若是呈现出奇异的蝶形，则可称之为奇异吸引子，这正是混沌现象的一个重要的特征。它具有非常奇特的拓扑结构和几何形式，是具有无穷多层次自相似结构的、几何维数为非整数的一个集合体。由此可以判断一个信号中是否含有混沌的信息。而在确定一个信号中包含有混沌的信息之后，为了获得更多的信息，有必要作进一步分析。

一个重要的分析方法即为李雅普诺夫指数的测定。李雅普诺夫指数指的是邻轨线间的平均发散(分离)率，是一个统计平均量。其最大值即被称为最大李

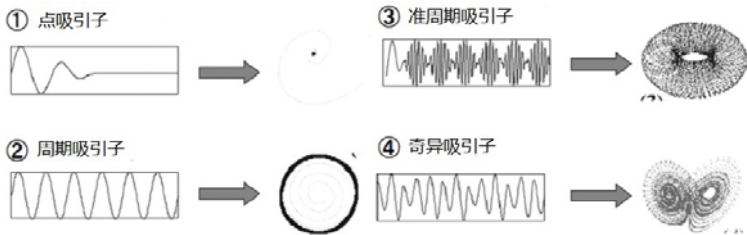


图 1.吸引子的类型

雅普诺夫指数。最大李雅普诺夫指数越大，则吸引子的变动幅度越大，从而说明变化的幅度也越大。反之，最大李雅普诺夫指数越小，则吸引子的变动幅度越小，从而说明变化的

幅度也越小。也即是说，我们能够根据最大李雅普诺夫指数的大小，来判断测定对象是处于什么状态下的。本文中，将计算获得脉波的最大李雅普诺夫指数，并结合其他指标来分析人的心理状态。

3) 脉波的原理与测定方法

一个简单的认知是，指尖脉波是由“指尖毛细血管中流动的血红蛋白的数

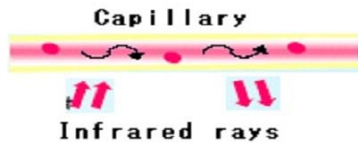


图 2. 血红蛋白的数量变化造成的压力变化

量变化(图 2)”来测定的。

然而，脉波中并不仅仅包含循环系统的信息，经过多种实验，指尖脉波里获得的信号，可以被看作为由血压、心率、呼吸等来自多个不同部位的多种信号共同组成的(图 3)

因此，首先可以从脉波中获得心率的信息。通过波谱分析，可以读取交感神经和副交感神经的活动情况。

交感神经会在身体活动着的时候表现出兴奋的状态，而副交感神经则会在身体疲惫，需要恢复的时候，表现出兴奋的状态。结合这两者情况，可以计算得到自律神经的平衡值，这是用于判断交感神经和副交感神经哪方处于优势地位的指标。

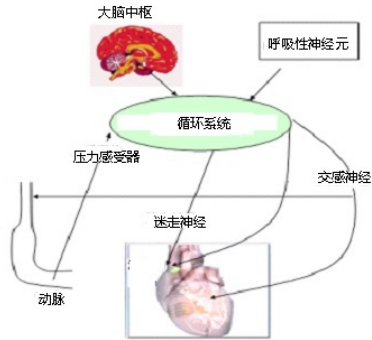


图 3.脉波信号的组成系统

其次，通过麻醉实验已经可以确定，在脉波的最大李雅普诺夫指数中包含有中枢神经的信息。由测定的血红蛋白的数量变化，可以绘制吸引子，利用的方法是依靠时间序列的波形绘制吸引子的 Takens 嵌入法(图 4)，即在波形

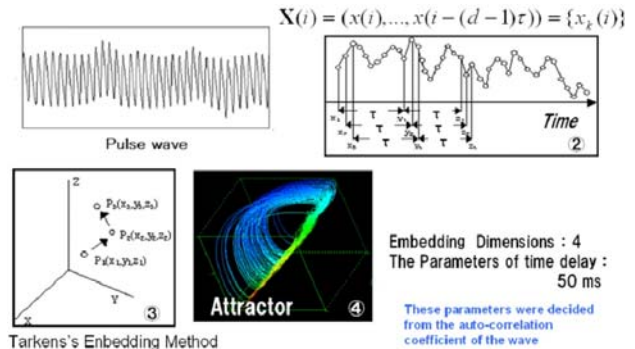


图 4.吸引子的绘制方法

上，依照时间先后，取 n 个点，然后在 x 次元的空间上描绘其吸引子。经过一系列较为复杂的计算之后，采用的是，在 50 毫秒内取 4 点作为一个周期，然

后在 4 次元空间上绘制吸引子。

对于得到的吸引子，根据其轨道在时间上的变化，进一步计算出李雅普诺夫指数，也即是每个周期的轨道间的距离。测量的时间一般默认设定成 3 分钟，故而总共将得到 36

000 个数据。以最初的 3500 个数据里的最大值为第一个最大李雅普诺夫指数，之后每 200 个数据寻找一次，从而获得一系列最大李雅普诺夫指数。如此在第一分钟将得到 43 个最大李雅普诺夫指数的数据。3 分钟总共是 163 个。换言之，需要花 17 秒来计算获得第一个最大李雅普诺夫指数，之后每秒获得一个。

对于脉波测定的系统，主要包括两个方面：测定装置（附有读取指尖脉搏的红外线传感器）与电脑（包括分析软件），如图 5 所示。

测定装置依靠红外线传感器，获取指尖毛细血管中流动着的血红蛋白数量变化的信息，然后该信息将以数码形式保存到电脑中。



图 5. 测定装置与电脑

3. 脉波测定的实际应用

通过脉波的测定，利用上文中提到的最大李雅普诺夫指数与自律神经平衡值，可以在多个领域展开应用。首先是关于抑郁症的研究 [1]。

1) 抑郁症的特征分析

根据日本厚生劳动省的统计，1996 年因抑郁而烦恼的

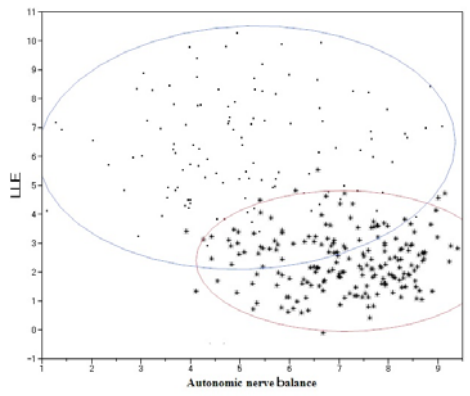


图 6. 精神疾病患者与健康者的分布

日本人有 43 万 3000 人，而到 2008 年，这一数据达到了 104 万 1000 人之多，为 13 年前的 2.4 倍。而且这个数字只反映了在医疗单位接受诊断的患者的人数，并没有包含那些患了抑郁症但不去就医的人。因此，真实的患者总数要多于这个调查数字。所谓抑郁，就是由骤然的忧郁，不安，虚无感而引起的精神混乱。近年在日本每年都有超过 3 万人自杀。这一数字近年一直居高不下。对于那些判明原因的自杀而言，抑郁已被认为是位于健康问题和经济问题之后的第三大要因。抑郁症往往在患者自身毫无察觉的情况下发展，所以早起发现与早期治疗是至关重要的。下文将从指尖脉波获取的信息来区分抑郁症等精神疾病的患者与健康人。

2009 年 8 月到 9 月，在专业咨询师和精神科医生的帮助下，测得了精神疾病患者的指尖脉波的数据。共计 195 次。作为对照组，以关西学院大学的 113 名学生（其中男性 42 名，女性 71 名）为对象，同样测试了指尖脉波，并计算出了最大李雅普诺夫指数和自律神经平衡值，结果如图 6 所示。图中横轴和纵轴分别表示自律神经平衡值和最大李雅普诺夫指数的数值。“※”表示精神疾病患者的数据，“·”表示健康者的数据。两组数据的 95% 分别分布在图中的两个椭圆内。

利用方差分析，可以得出在这

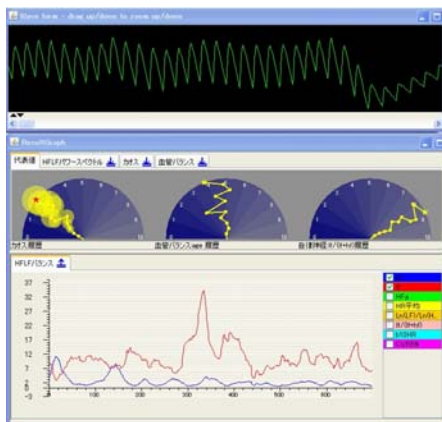
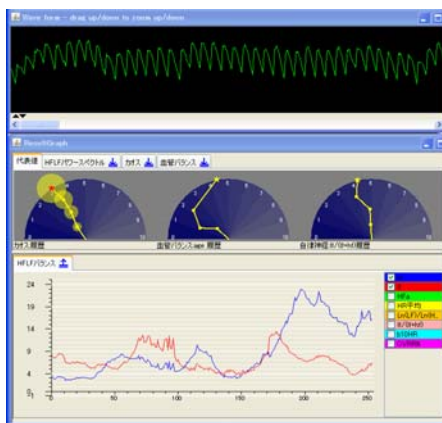


图 7.最大李雅普诺夫指数与自律神经平衡值的可视化

两个指标下，精神疾病患者与健康者有显著差异的结论 ($P<0.01$)。进一步利用判别分析，可以求得判别函数与重心值，以此可以来判断是否患有抑郁症，通过检验该方法判断为抑郁症的正确率为 91.2%，判断为健康者的正确率为 97.4%。

当然，不做如此复杂的统计分析，而是通过对于画面的观察，同样可以了解对象的心理状态。如图 7 所示

左图为健康人群的图形而右图为抑郁症患者的图形。

健康者的数据往往有这样的特征：最大李雅普诺夫指数在相对高的位置随时间推移而波动，而交感神经和副交感神经则保持平衡。但这并不意味着，两者保持恒定，通过画面下部的图，可以清楚地看到，交感神经和副交感神经随时间推移，时高时低。对于健康者来说，这样的波动是在无意识中进行的。

相比之下，患者的最大李雅普诺夫指数都在星座图中持续偏左，即持续偏低。这正是那些拒绝与人交往的抑郁症患者的一大特征之一。此外，自律神经平衡值都偏右，也就是说交感神经占主导。通过画面下部的图，可以清楚地观察到交感神经持续占主导这一趋势。对于精神疾病患者的最大李雅普诺夫指数和自律神经平衡值的特征，可以这样来解释：最大李雅普诺夫指数长时间持续偏低，可以认为到该患者厌恶与人交流而自闭；而意外的交感神经持续占据主导，则说明抑郁症患者其心理状态并非是一种安定或消极的状态，而是经常紧张，感到压力，或是情绪急躁。也就是说精神疾病患者往往表现为自闭而内向，但其内心却是时常处于非常紧张的状态。更有研究发现，一旦最大李雅普诺夫指数，其值突然处于持续偏高且振幅较大的状态，表明该患者易怒而失去自制。在考虑抑郁症的治疗中，这一点是非常重要的。

现在日本社会屡次发生由于人的突发性行动而产生的不可预期的事件。通过考虑由人的指尖脉波而得到的最大李雅普诺夫指数，便能分析出这些行动的一部分原因。在中国，对于心理状态的分析和研究比较少，但从现象上看，

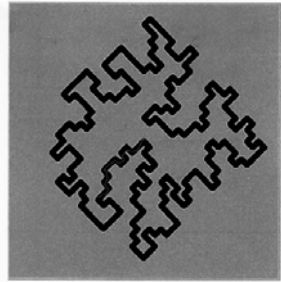


图 8.对镜临摹课题

与之相似的情况却在逐年增加。尤其在一些高校与大型企业中，自杀的人数明显呈上升的趋势。因此，下文中将介绍学习及工作时的压力与最大李雅普诺夫指数的关系。

2) 学习工作环境压力检验

在第一个实验中，给与参加试验的大学生（男女各 18 人）两种精神负荷课题 [2]。其中一个叫做心算课题，另一个叫做镜像临摹课题。首先在暗算课题中，电脑屏幕上显示像“36+69”之类的加减法算术问题。之后显示“EQUALS”，然后是计算的答案“105”。而被测试者是通过鼠标的操作来回答这个答案的正确与否。问题是如此设定的，它含有 5 个阶段的难易程度。如果解答是正确的困难度上升，反之下降。另一方面，在对镜临摹课题中，如图 8 所示的映像监视器里被放映出来。被测试者利用鼠标移动屏幕上的点，并使得点顺着图中所示黑色的路线前进。在前进过程中，速度要尽量快，且不能脱离路线。其中在这个实验中鼠标的移动和画面上的点的移动方向并不一致。当鼠标移动左右时，点将上下移动，而当鼠标上下移动时，点将左右移动。

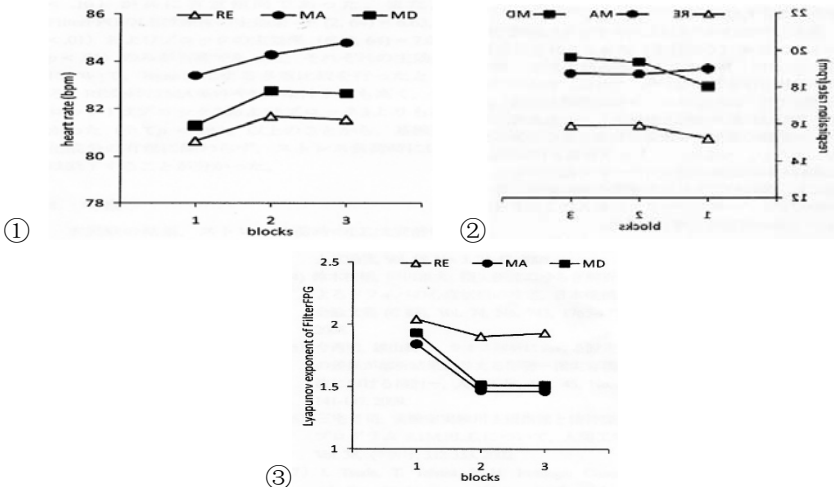


图 9.各课题进行时脉搏数，呼吸数，和最大李雅普诺夫指数的变化

通过以下步骤来进行实验：被测试者先休息 5 分钟，然后两个课题各进行 5 分钟。在这 15 分钟的活动中，测得指尖脉波，并算出最大李雅普诺夫指数。与此同时也进行心电图和呼吸的测试。然而在 36 名被测试者当中，由于 3 人出现了紊乱脉波，被剔除分析对象的名单。

结果如图 9 所示。①为平均心跳次数，②为平均呼吸次数，③为指尖脉波的最大李雅普诺夫指数。横轴的“blocks”表示一个每 100 秒的时间段中的平均值。而 3 个时间段也就是 300 秒，即 5 分钟。图中△，●和■分别表示休息时，心算时和正在对镜临摹时的情况。

首先从①所示的平均的心跳次数来看，与休息时比较，心算时(●)和对镜临摹时(■)的平均心跳次数都明显上升。特别是心算时，心跳的次数变得相当的高。接着从②所示的呼吸次数来看，同样，与休息时比较，无论心算时还是对镜临摹时，呼吸次数都增加。而且与心算时相比，对镜临摹时的呼吸次数也有增加的趋势。从③所示的最大李雅普诺夫的指数上看，比起休息时，心算时和对镜临摹时的最大李雅普诺夫指数的值变得很低。特别是与休息时相比，在第二时间段和第三时间段（即从第 101 秒到第 200，以及从第 201 秒到第 300 秒）的平均最大李雅普诺夫指数明显偏低了。

综上所述，与安静时相比，精神负荷时最大的李雅普诺夫指数较低。也就是说，如果加以较强的精神压力，人的心跳和呼吸次数将上升，而最大李雅普诺夫指数将出现下降的趋势。

接下来的一个实验将探讨最大李雅普诺夫指数降低与错误发生率之间的关系。实验场景被假设为医疗活动中，医生监视多名心脏病患者的情景。电脑的画面上显示病情逐渐恶化的 5 个阶段的心电图。接下来，作为被测试者的监视人监视多个“心脏病患者”的心电数据（事先进行了编号），如果发现心电数据的动态出现异常，就马上用右手的数字键盘输入出现异常的编号。如果没有输入正确的编号，或是忘记输入了的话，该“患者”的表情将恶化，最后导致心跳停止。在实验实施的 40 分钟内，我们测试监视人的指尖脉波，并计算出最大李雅普诺夫指数。在图 10 中，上面显示的是监视器的画面，下面显示的是实验的情况。监视器的画面显示出 9 个心电图的数据，分别编为 1-9 号。



Main Window of the Experimental Psychological System.



Experimental Situation and the Actual Monitoring Task.

图 10.多个心电图的画面以及应答作业

实验的结果如图 11 所示。上图和下图分别表示监视 6 个心电图和监视 9 个心电图的情况。横坐标的单位为“时间段”，这里定义一个时间段为 3 分钟，那么 40 分钟的实验时间便可分为 13 个时间段。图中表示各个时间段内的错误率(条形图/左纵坐标)和平均最大李雅普诺夫指数(折线图/右纵坐标)。

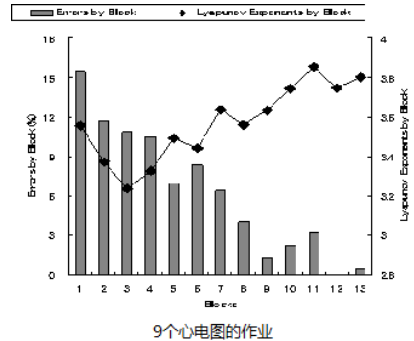
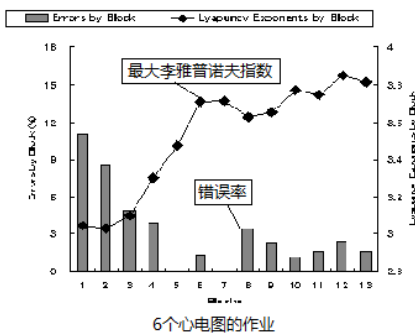


图 11.监视作业中的判断、操作失误和最大李雅普诺夫指数的关系

从图中发现，若最大李雅普诺夫指数降低，则错误率增高。反之，若增高的话，则错误率降低。实验在三种条件下进行：所监视的心电图为 3 个，6 个，和 9 个。而无论哪一种，相关性都是显著的。

在前文中，通过实验，观察了心算课题，镜像临摹课题，监视作业等一系

列活动和最大李雅普诺夫指数之间的关系。可以发现因精神紧张的种类的不同，最大李雅普诺夫指数可能上升，也可能下降。李雅普诺夫指数升高还是降低，取决于精神紧张是需要内部集中，还是需要外部适应。

所谓内部集中，也就是对于外部环境的适应不是那么的重要。前面所提到的实验中，心算课题和镜像临摹课题就属于内部集中而自我完结型的工作。另一方面，所谓外部适应，是指必须适应外部环境的变化，来决定自身的应对。例如前文中的监视作业。在进行心算课题，镜像临摹课题等自我完结型的作业时，可以观测到最大李雅普诺夫指数降低的。而最大李雅普诺夫指数在人在与外部积极联系的时候上升。也就是说，对于伴随着内部集中的自我完结型的作业，由于并不是那么需要适应外界，所以在进行的时候最大李雅普诺夫指数往往降低。与之相反，在进行外部依赖型作业时，最大李雅普诺夫指数存在有上升的倾向。这说明，在进行这样的作业是，由于有必要与外部积极联系，最大李雅普诺夫指数往往上升。

通过以上讨论，可以得出以下结论：当人处于伴随着内部集中的自我完结型精神紧张状态时，最大李雅普诺夫指数降低；反之，在进行伴随着适应外部的外部依赖型作业时，最大李雅普诺夫指数上升。此外需要注意的是，在进行外部依赖型的作业时，如果最大李雅普诺夫指数降低，即外部适应能力降低，往往出现身体不适时，发生失误。也就是说，为了预防不可预测的事故和失误，最大李雅普诺夫指数的值必须保持一定的高度。因此，在环境依赖型的作业中，为了不引起事故和失误，可以测量最大李雅普诺夫指数。如果测得最大李雅普诺夫指数非常低，那么就停止危险的作业。

许多工作的人每天处于精神压力之中。有的职业中，失误将关系到人的生命。对从事这样的职业的人而言，精神压力恐怕更加强烈。所以第三个实验，

对某大型企业的 20 名员工的身心状态进行了调查。时间是 2005 年 8 月。测定了每名员工早上上班、中午、晚上下班三个时间的指尖脉波并计算出最大李雅普诺夫指数。结果如图 12 所示。和前文一样，半圆

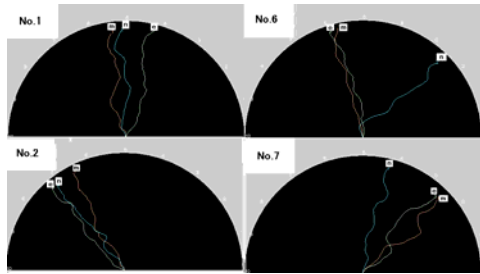


图 12.早中晚疲劳度的变化

通过观察这些图能够一定程度把握住人的身心状态。对于编号 1 的员工，其最大李雅普诺夫指数的值几乎处在中间位置。而 2 号的最大李雅普诺夫指数在三个时间都较高，事实上这是一位年轻而健康的员工。对于编号 6 的员工，虽早晚的最大李雅普诺夫指数的值较高，但中午的值却极其地低，可以说是处于工作积极性消退的状态。而 7 号早中晚的最大李雅普诺夫指数都保持在很低的状态。实际上，这位员工患有心脏病。

表 1. 疲劳指标和白天的最大李雅普诺夫指数之间的关系

疲劳度指标（一部分）	与白天的最大李雅普诺夫指数的相关系数
年龄	0.09
精力减退	-0.64
整体疲劳感	-0.39
劳动积极性低下	-0.51
不安感	-0.73
抑郁状态	-0.70
慢性疲劳征候	-0.51
疲劳积累度	-0.63

进一步调查了这些员工白天工作时的最大李雅普诺夫指数和问卷调查中反馈的疲劳度指标的关系。这里的疲劳度指标，是指 17 个为测定疲劳度的基准项目。以上结果如表 1 所示。可以发现，若白天的最大李雅普诺夫指数的值

偏低，其疲劳指标中的“不安度”和“抑郁倾向”的值也偏高。这两个基准项目与最大李雅普诺夫指数有着高达超过-0.7的负相关的关系。

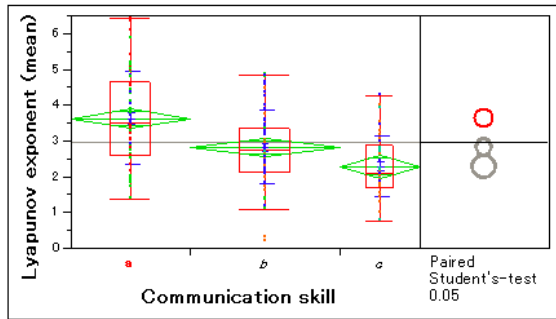
如此可以充分利用指尖脉波所得的最大李雅普诺夫指数，以助于把握住工作者的身心状况。而且，这也可以为合适的处理提供客观的数据。

3) 老年痴呆症的分析及老年人的看护

日本近年人口一直处于负增长，由人群年龄结构看来，已步入老龄化社会。

由此带来的不仅仅是经济上的负担，如何让老年人幸福的享受人生，这或许是一个更为本质的问题。因此，我们进行了与老年痴呆症与老年人看护相关实验与研究 [3]。

2003 年的 8 月 11 日，在滋贺县的 3 家养老院，对 179 名老人(其中男性 40 名，女性 139 名，年龄的跨度在 55 到 100 岁之间，平均年龄为 83.1 岁)进行了脉波测定。另外，在测定之前，老人们先被测量了体温、血压和脉搏。大家都是在进食 1 小时以后，在室温 25 度的房间里，以自然的姿势坐在椅子上，由左手



^ 均值的比较

图 13.最大李雅普诺夫指数与交流能力的关系

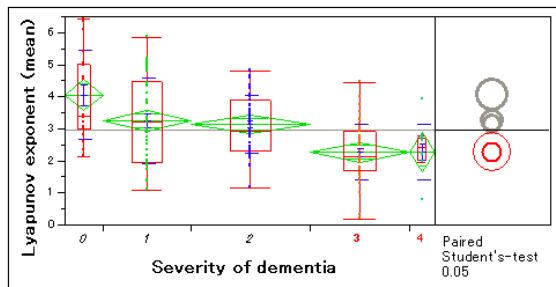


图 14.最大李雅普诺夫指数与认知障碍的关系

的食指上接上装置，在安定的状态下开始测定。测定进行了 3 次，每次 3 分钟，之间有 1 分钟的休息时间。同时还获得了与被测老人相关的其他数据，首先是性别、年龄和卧床程度（卧床、准卧床、生活自立）。

然后是与交流能力相关的指标 ADL。ADL 是日常生活行为（Activities of Daily Living）的简称，指得是包括进食、排泄等生活基本行为，行走等移动行为的，即与日常生活相关的能力。这项数据是由专业护理人员通过 7 个项目，经过了 3 个阶段测定获得的。

最后是认知障碍程度指标，由 0（无认知障碍）到 4（重认知障碍）共 5 个等级。这是由主治医师负责测定的。

通过以上的数据，来分析最大李雅普诺夫指数与交流能力，以及认知障碍之间有无关系，正是本次实验的目的。

实验结果如图 13 所示。图中纵轴表示的是最大李雅普诺夫指数，横轴表示交流能力，由高到低分为 a、b、c 个组。

图中在纵轴数值 3 的位置附近的那条水平线代表了全体的平均值。各组最靠上和最靠下的横线代表了各组的最大值和最小值。长方形的区域则包含了各组 50% 的人群。各组中的菱形的横线则代表了各组的平均值。根据菱形位置的高低简单的来看，随着交流能力的降低，最大李雅普诺夫指数也呈现降低的趋势。也就是说，擅于沟通的人的最大李雅普诺夫指数比较高，而沟通能力较差的人其最大李雅普诺夫指数则比较低。由此可知，交流能力与最大李雅普诺夫指数表现出正相关的关系。

接着分析最大李雅普诺夫指数与认知障碍的关系，如图 14 所示。

该图纵轴依然是最大李雅普诺夫指数，横轴则表示认知障碍的程度，0 代表没有认知障碍，随着数值增加，认知障碍的程度不断加深。图中各种记号的意义与上图相同。由此可知，随着认知障碍程度的加深，最大李雅普诺夫指数呈现下降的趋势。

图 15 为星座图，其刻度落在半圆的圆周上，表示方式就如同量角器一般，由右向左依次增大。

图上的每一条曲线都代表了一个被测者的情况。这里各取了交流能力 3 组，以及认知障碍程度 5 组中在中数附近的 5 个样本，以便于观察和说明问

题。

a、b、c3组基本上被分成了3个部分。从左到右，也即是最大李雅普诺夫指数由高到低，依次为a组、b组和c组。对于最大李雅普诺夫指数与认知障碍程度的关系，这里0到4的5组同样也被区分开来了。最大李雅普诺夫指数由高到低，最左边的是没有认知障碍的0组，然后认知障碍由轻到重，依次排列。

由此可知，最大李雅普诺夫指数与交流能力，以及认知障碍程度之间可能存在一定关系。当交流能力低下的时候，最大李雅普诺夫指数也表现为低下，而当认识障碍程度严重的时候，最大李雅普诺夫指数同样表现为低下。交流能力低下，或者是存在着认知障碍的话，就有可能对人际交往造成影响。也就是说，最大李雅普诺夫指数也可以被看作是交际能力的指标。换言之，最大李雅普诺夫指数可以作为一个有效的指标，用于测定一个人对外的积极性和能动性。

在上述实验完成之后，经过了9个月，对其中的15名被测者再次进行了指尖脉搏的测定。图16为当下与前一年年11月的最大李雅普诺夫指数相比较的结果。

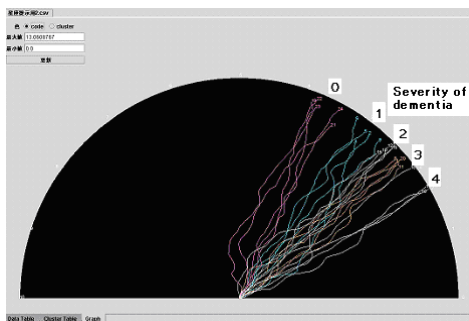


图 15.最大李雅普若夫指数与认知障碍的关系

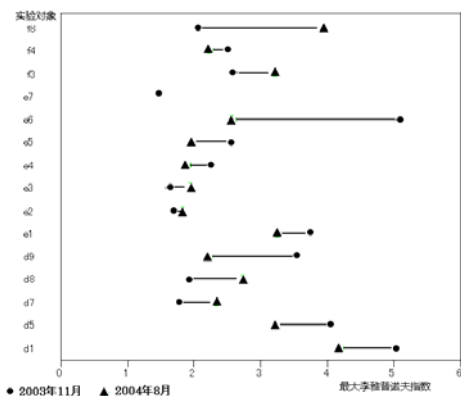


图 16.9 个月后最大李雅普诺夫指数的变化

把第一回的测定（标记为●）与第二回的测定（标记为▲）相比较的话，则能发现，有的人其最大李雅普诺夫指数大幅上升或下降，也有人变化幅度较小，但没有人保持恒定不变。由此可知，最大李雅普诺夫指数本身也是时常变动的。故而若是仅仅通过一次的测定，就把那一数值确定为某人的最大李雅普诺夫指数，这样的认知缺乏科学性。关键是，要了解最大李雅普诺夫指数是否在一定的范围内上下波动着。因此，再次甚至多次测定是非常重要的。

图中，上数下第4号的被测者只有一个数据。事实上，该被测者没能参加2004年8月的脉波测定。他在第一次测定之后不久就离世了。值得注意的是，在2003年11月的测定中，他的最大李雅普诺夫指数是所有人中最低的。

通过面向老年人的实验，能够发现，指尖脉波的最大李雅普诺夫指数能反映出一个人的积极性和能动性。也就是说，最大李雅普诺夫指数较高的话表示其心理状态是积极向前的，最大李雅普诺夫指数偏低的，则可能意味着其心理处于封闭的状态。

这里有个设想，如果让老年人进行一些能使最大李雅普诺夫指数上升的活动，是不是有可能增强老年人的交流能力，降低认知障碍程度呢？例如，看护人员的经常性的问候有利于老人们保持良好的精神状态，这在经验上很容易理解，然而却很难给出科学性的解释。而另一方面，尽管是简单的问候，但若能起到使最大李雅普诺夫指数上升的作用的话，就可以从一个更客观的角度来解释看护人员的经验性的行为及其效果了。

为此进行以下实验。选取22名患有严重认知障碍的老人，作为实验对象，在看护人员进行问候的时候，测定其最大李雅普诺夫指数。更具体的操作步骤是，先在指尖安装上测定装置，在安定状态下开始测量指尖脉波。当经过2分钟后，有护理人员开始问候老人，整个测量过程持续7到10分钟。而且这次实验中，在获得最大李雅普诺夫指数的同时，还测得了表示交感神经和副交感神经状态的数据。

在这 22 位老人中,有 8 位无法测量。原因是安装着测定装置的手指一直抖动着,以至于无法获得正常的的数据。余下 14 位老人中的 7 位,当护理人员问候的时候,最大李雅普诺夫指数和交感神经以及副交感神经并没有什么变化(图 17 中的上两幅图)。进一步观察他们的数据,可以发现测量中他们的副交感神经一直处于较高的状态,也就是说一直处于一种类似睡眠的精神状态。在这样的状态下,很难接受外界的刺激。

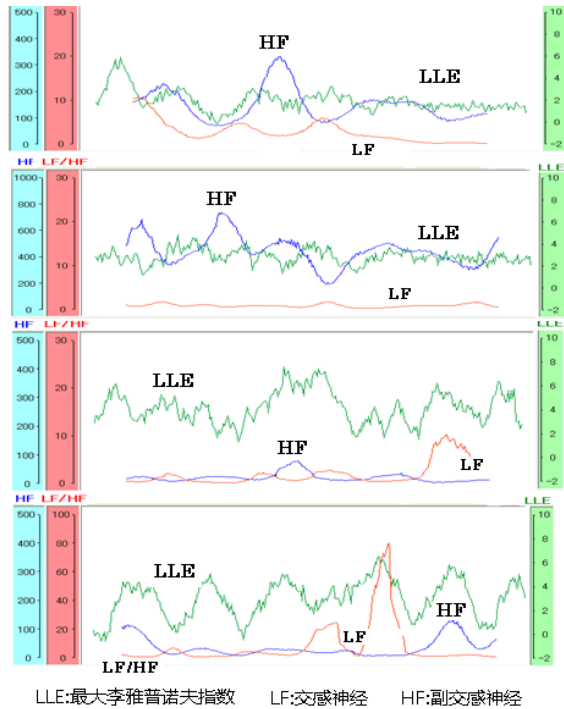


图 17. 问候的效果

而另一方面,最后 7 位老人的最大李雅普诺夫指数则有着较大的变化(图 17 中下两幅图)。并且交感神经和副交感神经也交替变化着。

交流指的可不仅仅是交谈和问候。除了这种即时的交流之外,还存在非即时的交流。其典型的代表就是书信。而在当今更为大众所熟悉则是电子邮件了。下边的实验正是针对非即时的交流。

2010 年 8 月,在滋贺县的一家养老院里,以 15 位老人(73 岁至 89 岁)为对象,进行了脉波测定的实验,以研究各种日常行为对于最大李雅普诺夫指数的影响。

图 18 中所示的是其中 3 位老人分别在给家人写信前后,给孙子发了电子

邮件前后，和家人通电话前后的各自的最大的李雅普诺夫指数的变化。图中 A 点表示的是写完书信的时候最大的李雅普诺夫指数的变化。其数值从前边

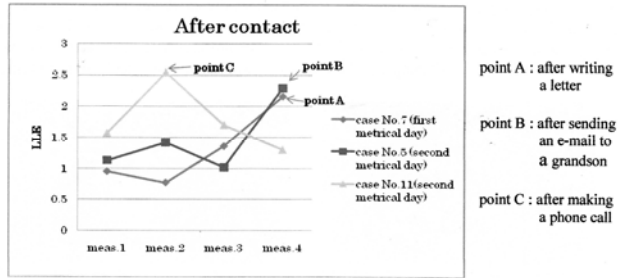


图 18. 书信和电子邮件对最大李雅普诺夫指数的影响

的 1.5 不到上升到超过 2。B 点表示的是给孙子发送电子邮件之后的最大的李雅普诺夫指数的变化。其变化更是由 1 附近升到了大大超过 2 的地方。C 点表示的是通电话之后的最大的李雅普诺夫指数的变化。其数值同样有明显的上升。

电话其实是一种即时的交流，只是对象不在眼前。而书信和电子邮件不仅对象不在眼前，而且是非即时的交流方式。然而通过该实验，证明了即使交流对象不在眼前，即使是非即时的交流，一样能使最大李雅普诺夫指数上升。

4. 理想模式与今后的课题

经过包括上述实验在内的多年的研究，已经能够确定，通过脉波测定能够一定程度的了解人的心理状态。而另一方面，脉波测定的装置，计算方法，分析方法，结果的表现形式都在不断的改进。而对于指尖脉波的检测系统，理想的情况是建立云计算模式的检测系统。

1) 云计算—理想的测定模式

其基本关系如图 19 所示。

指尖脉搏测定装置的终端可以选择手机。指尖的测定装置与手机以无线连接的方式，即时传送信息。而将来的话，也许不需要在指尖接上特定的装置，而是直接当手指接触手机的某个部位或当手指按住屏幕某个地方的时候，就能获取指尖脉

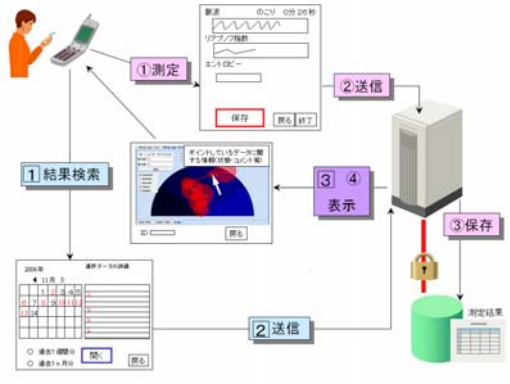


图 19.云计算的检测系统

波的信息。测定得到的脉波，将依靠手机信号，传送到网络上的服务器，并保存到数据库中。在对测得的数据进行分析之后，其最大李雅普诺夫指数以及自律神经平衡值等指标将反馈到用户的手机里。由于服务器里保存了所有过往的数据，用户则可以有效的利用起来。例如，把过去一周，甚至一个月的数据列在一起进行比较。或者表示成日历的形式。更可以把当日的数据与过去的平均值进行比较，以更客观的了解现在的状况。

在自身的最大李雅普诺夫指数较高的时候，去思考或处理一些复杂的事情，则可能避免出错或能突发灵感而有所收获。另一方面，若是能好好利用网络上的数据库，则也可以把自己的数据与同年龄段的，相同性别的人群的数据相比较，进而了解自己在人群中所处的位置。更进一步的，若是能在医疗或看护的现场有效的利用这庞大的数据，想必能够发挥更大的作用。例如对于疑似忧郁症的患者，可以通过这客观的数据来进行判别。又或者通过对老年人的定期的指尖脉波的测定，可以更早的掌握他们认知状况的变化，进而能更早的做出对应措施。

2) 尚待解决的课题

在实现上述理想的模式之前，还是有几个课题尚待解决。其中最大的课题

是测定装置的价格。由于迄今为止是为了实验而进行的小批量的开发和生产，制作成本昂贵,与个人能够轻易消费的价格之间存在着很大的距离。并且一般情况下，是利用 USB 连接线把测量装置连接到电脑上，而若是采用更为方便的无线连接的话，在技术层面上已经没有问题，但所制作的测量装置的价格将会更高。如果再考虑小型化，或设计层面的个性化，则更难控制单价。另一方面，用智能手机代替电脑作为指尖脉波测定系统的终端已经开始研发，并一定程度得以实现。然而这又会产生一个问题，即是测量装置和智能手机间的通信问题。目前有线和无线两方面都在进行尝试。然而可以预见的，即使克服了技术上的困难，也一定会面临价格上的严峻的挑战。

除此之外，利用网络运算的时候，同样有需要注意的问题。最大的挑战来自于对信息的保密工作。由指尖脉波，能够获得各种信息，尤其是一些机密信息，处理的时候需要格外慎重。因此，在提供网络服务的时候，有必要对某些信息实行多重的保密措施。

3) 脉波测定技术在中国应用的展望

在中国应用以及推广脉波测定技术时，前文所述的问题将变得更加严峻。众所周知，中国的收入和消费水平与日本还存在很大的距离，再考虑到贫富差距的话，想要让一般民众能够方便的利用脉波测定技术，恐怕不是短时间里能够实现的。

另一方面，对于个人信息的保密，则可能不仅仅局限于加强正规的利用机构的保密工作。事实上，在中国由于对知识产权的保护意识的不足，各方面的盗版等不法利用的事件时有发生。对于那些非正规的利用组织，更难以指望他们去实现对用户的信息进行保密工作。所以盗版的预防也将是一个重要的课题。

而一个更重要的课题是直接在中国进行脉波测定和获取各种数据。上文选取的实验，无论是判别抑郁症，还是了解工作学习压力，或是老年人的看护，采用的都是日本方面的数据。然而事实上这些都是与中国现实存在的问题息息相关的。在中国，由于都市化进程与产业结构的改变，一般工薪阶层将会面临与发达国家相似的工作压力。此外，社会对于教育的重视与中国的教育环境的不完善，更让中国的学生面临更为巨大的就学压力。另外，尽管与发达国家的

原因不同,由人口结构来看,中国同样步入了老龄化的社会。从现象而言,中国有着和日本相同的社会问题,而且科学的原理更是共通的,但从原因来看,中国又确有其特定的国情。因此,在中国获得第一手的数据,对于得到更为客观的分析结果意义重大。

在中国应用和推广脉波测定技术和分析方法,尽管困难重重,但也应该认识到,同样有许多积极的方面。2013年5月1日起《中华人民共和国精神卫生法》正式实施,说明了政府已经认识到心理问题的重要性并开始采取措施。此外,2013年7月1日起《中华人民共和国老年人权益保障法》正式生效,也说明了政府开始比较正式的应对老龄化问题。在中国,若是得到政府的支持,或是成为方针的一部分,则利于开展更为正式和更大规模的调查与统计,同时也能很大程度上的影响社会的一般认识。另外,学术和技术方面尽管心理学发展比较滞后,但这并不影响理论的普及和技术的引入。事实上,混沌理论与脉波技术在心理方面的应用本就是一个新的领域,某些情况下,没有权威的传统理论体系和方法体系,反而更适合新理论和方法的发展。并且,当今世界的交流方式已不同往日,通过国际间的交流与合作,结合中国的实际情况,快速发展和推广先进且适合的理论与技术,将利国利民。

参考文献

- [1] Yuyu Hu, Wenbiao Wang, Takashi Suzuki, Mayumi Oyama-Higa, Characteristic Extraction of Mental Disease Patients by Nonlinear Analysis of Plethysmograms, 2011CMLS
- [2] Miao, T.and Shimoyama,O., and Oyama-Higa,M,Modelling Plethysmogram Dynamics based on Baroreflex under Higher Cerebral Influences, 2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics Proceedings,(2006), 2868-2873
- [3] Oyama-Higa M, Miao T., and Y. Mizuno-Matsumoto,Analysis of dementia in aged subjects through chaos analysis of fingertip pulse waves,in Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.,(2006), 2863-2867