

· 康复工程与转化医学 ·

Kinect 体感交互技术在运动康复中的应用设计

夏斌 刘开余 何志杰 贾杰

【摘要】目的 设计基于 Kinect 体感交互技术的运动功能康复系统,为实现家庭环境下的运动功能康复训练。**方法** 利用 Kinect 的骨骼实时跟踪技术,设计了三维运动、提手臂和姿势识别三种运动康复范式,系统能指导患者进行康复训练,并且能够对训练效果进行量化评估。选取 5 例健康受试对象采用该康复系统进行了测试。**结果** 5 例受试者的三维运动平均得分为 (79.15 ± 4.89) 分,提手臂运动平均得分为 (98.89 ± 0.67) 分,姿势识别平均准确率为 $(90.37 \pm 5.21)\%$ 。**结论** 基于 Kinect 体感交互技术的康复系统可实现家庭环境下对患者的指导性康复训练及对训练效果的量化评估。

【关键词】 体感交互技术; 康复; 虚拟现实

Development and application of a motor rehabilitation system based on Kinect somatosensory interaction technology Xia Bin*, Liu Kaiyu, He Zhijie, Jia Jie. *Department of Electronic Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China

Corresponding author: Xia Bin, Email: binxia@shmtu.edu.cn

【Abstract】Objective To develop a motor rehabilitation system based on Kinect somatosensory interaction technology to be used in families. **Methods** The Kinect skeleton real-time tracking technique was applied to develop three motor rehabilitation protocols to instruct patients in how to perform rehabilitation training and to evaluate their performance. **Results** Five subjects participated in the experiment. They achieved average scores of 79.15 ± 4.89 and 98.89 ± 0.67 for 3D movement and arm lifting respectively. In the pose recognition experiment, their average recognition rate was $90.37 \pm 5.21\%$. **Conclusion** The proposed rehabilitation system can instruct patients in performing training exercises and evaluate their performance at home.

【Key words】 Somatosensory interactive technology; Rehabilitation; Virtual reality

老年人由于身体机能退化,容易引发高血压、脑卒中等疾病^[1],传统的运动康复训练模式单一,趣味性不强,使得患者很快失去康复的信心,难以完成理疗师制订的康复计划,影响康复进展^[2]。虚拟现实(virtual reality, VR)和增强现实(augmented reality, AR)技术因优势众多而被广泛应用于康复训练^[3-6]。VR 康复系统以重复、反馈和动机三个主要环节为作用机制;VR 技术可以与其它疗法相结合对患者进行康复训练^[7]。VR 和 AR 康复系统主要采用 2 种方法实现,一种是基于可穿戴设备的运动康复系统^[8-9],通过佩戴在肢体上的传感器记录和反馈肢体的运动信息,达到捕获肢体动作的目标,然而运动传感器的重量、体积都会影响患者的康复运动范围和有效性;另一种是基于 Kinect 体感交互技术的运动康复系统^[10-11],患者不需要穿戴任

何设备,处在体传感器的视野范围内即可进行康复训练。本研究即采用 Kinect 体感交互技术捕获肢体动作,设计基于实时关节追踪的康复训练系统,系统包含三维运动、提手臂运动和姿势识别三种康复范式,指导患者进行自我的康复训练,对训练的效果进行实时评估和反馈,以期为患者康复过程提供更多的便捷性和娱乐性。

材料与方 法

一、基于 Kinect 体感交互技术的康复系统

体感交互技术是用户处在深度传感器的视野范围内,使用肢体动作与虚拟环境中的对象进行交互的一种技术。由微软公司提供的 Kinect 设备是应用较为广泛的深度传感器,其外观如图 1 所示。Kinect 设备主要由红外投影机、彩色摄像头、红外摄像头、麦克风阵列和传动马达等部件组成。其中彩色摄像头可以获取视野范围内彩色视频数据,红外投影机和红外摄像头组合完成景深数据的获取,传动马达用于调整传感器的俯仰角。利用 Kinect 软件开发工具包可以实时捕获 20 个身体关节的三维位置信息,如图 2 所示。

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.012.017

基金项目:上海海事大学基金项目(20120067);上海市科委项目(20130004;13441901402);科技部十二五科技支撑计划课题联合资助(2013BAI10B03)

作者单位:201306 上海,上海海事大学信息工程学院电子工程系(夏斌、刘开余);复旦大学附属华山医院康复医学科(何志杰、贾杰)

通信作者:夏斌,Email: binxia@shmtu.edu.cn

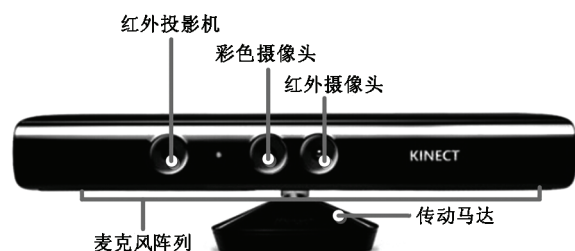


图1 Kinect 设备外观

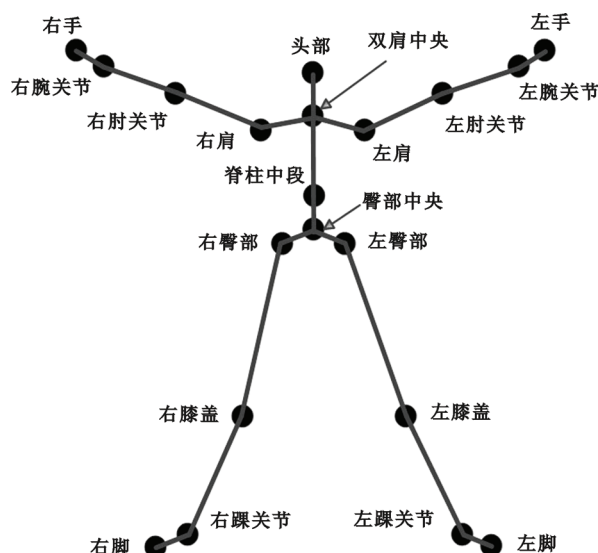


图2 20个身体关节示意图

运动康复系统由软件和硬件两部分组成。硬件包括 Kinect 设备、显示器和主机。软件包括 Kinect 开发工具包和运动康复系统程序。康复场景布置如图 3 所示。Kinect 设备放在屏幕前面,摄像头指向运动康复空间。受试处在运动康复空间中,面向摄像头。

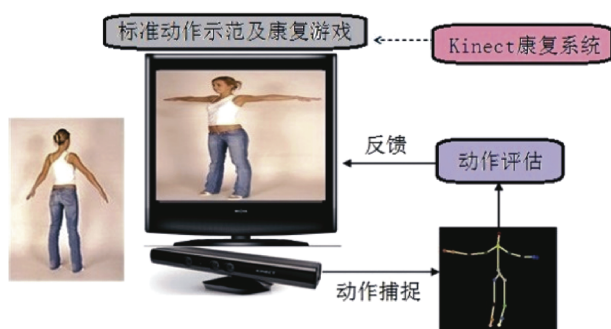


图3 运动康复场景

康复流程如下:首先在屏幕上显示标准动作或康复游戏,引导受试模仿标准动作或完成康复游戏中的任务,接着系统实时捕获受试的肢体动作,对动作进行评估,并反馈评估结果。

二、三维运动康复子系统

构建一个三维虚拟空间,在空间中布置起点和目标点,并在两点之间建立三维虚拟管道,引导受试将手沿着三维管道内侧从起点移到目标点,当受试完成一

次任务时,进行动作评估和结果反馈,如图 4 所示。

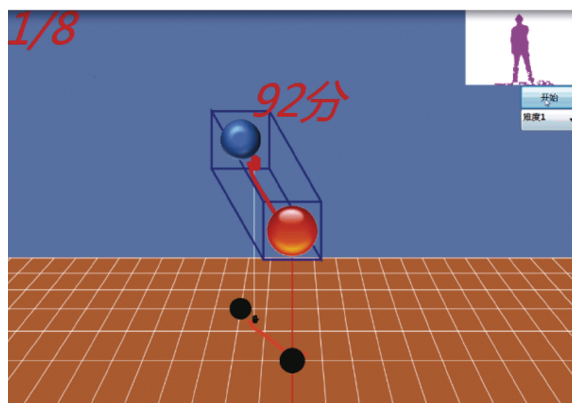


图4 三维运动康复界面

红色小球表示起点,灰色小球表示目标点,黑色小球表示投影点。当手移动到红色小球上时,界面显示目标小球,并在两球之间显示虚拟管道。当受试完成一次任务时,界面显示手的移动轨迹和得分。左上角表示每组有 8 次实验,当前进行第 1 次实验,右上角是捕获到的人体轮廓。目标点的位置可以根据患者手臂的可触及范围进行设定。系统根据目标点的位置设计了 4 种难度的任务。假定起点的坐标为 $(0,0,0)$,单位为 m。难度 1 中的目标点坐标为 $(\pm 0.2, \pm 0.15, 0)$ 和 $(\pm 0.2, \pm 0.15, -0.1)$,难度 2 中的目标点坐标为 $(\pm 0.3, \pm 0.2, -0.1)$ 和 $(\pm 0.3, \pm 0.2, -0.2)$,难度 3 中的目标点坐标为 $(\pm 0.4, \pm 0.25, -0.1)$ 和 $(\pm 0.4, \pm 0.25, -0.2)$,难度 4 中的目标点坐标为 $(\pm 0.5, \pm 0.3, -0.2)$ 和 $(\pm 0.5, \pm 0.3, -0.3)$ 。目标点的位置离起点越远,难度越大。康复流程如图 5 所示。

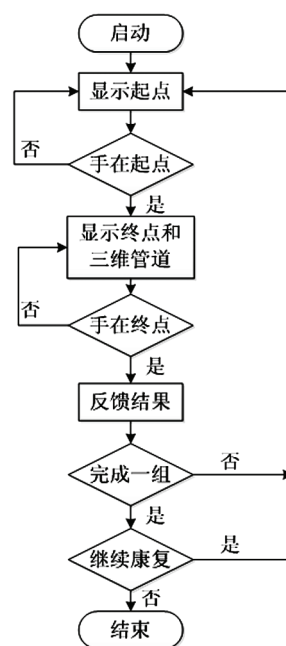


图5 三维运动康复流程

根据手掌移动轨迹和虚拟管道轨迹的吻合程度对动作进行评估。公式如下:假设 m 表示受试轨迹包含三维坐标点数量; d_i 表示第 i 个三维坐标点到标准轨迹的距离;则平均距离 $C = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_i$, 动作得分 $Score = \frac{S-C}{S} \times 100$ 。通过实验, S 取 0.4。平均距离越小, 得分越高。

三、提手臂运动康复子系统

利用增强现实技术, 在真实的画面中增加一个虚拟手臂框, 引导受试将手臂提到框里面。系统对受试的手臂长度和宽度做标定, 并根据标定结果画虚拟手臂框。界面的上部分是提示信息、角度设置按钮和人体轮廓, 下部分是实时的康复训练画面和结果反馈, 如图 6 所示。



图 6 提手臂运动康复界面

左上角表示每组有 14 个不同位置的手臂框, 当前进行第 3 个提手臂任务。下拉菜单用于手动设定左右手臂框的位置(角度)。评估结果以点亮星星的数量表示。康复流程分为受试控制和医生控制。在受试控制状态下, 点击开始按钮, 手臂框的角度默认从 30° 开始, 下一个手臂框的角度增加 10° , 直到 160° 为止。当受试进入 Kinect 体感器视野后对手臂长度和宽度进行标定, 康复流程如图 7 所示。在医生控制状态下, 设定左右手臂框的角度, 点击开始按钮, 引导受试将手臂提到手臂框里面, 康复流程如图 8 所示。为了准确地评估手臂运动的协调性和平衡性, 根据受试手臂和手臂框的重叠度进行动作评估。假设手臂框的面积为 S , 手臂框中被前臂覆盖的面积为 S^* , 则得分 $Score = \frac{S^*}{S} \times 100$ 。被覆盖面积越大, 受试的得分越高。

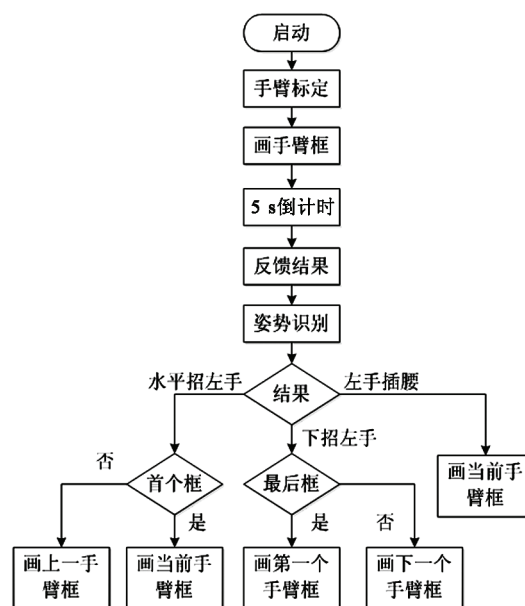


图 7 受试控制康复流程

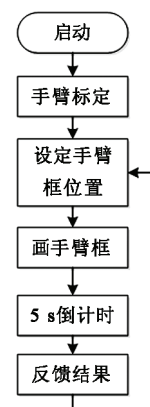


图 8 医生控制康复流程

四、姿势识别运动康复子系统

经常性地保持某种姿势有助于增强肢体的协调性和平衡性。患者姿势准确性评估是需要解决的关键问题。系统根据受试的姿势与标准姿势的相似度进行动作评估。界面如图 9 所示。

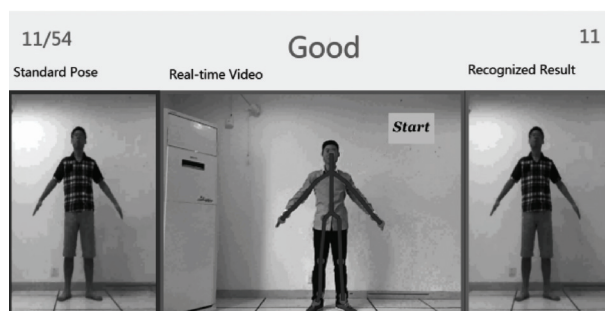


图 9 姿势识别运动康复界面

界面中间是真实的画面及捕获到的人体骨架。左上

角是标准姿势的序号,表示总共 54 个姿势,当前做第 11 个姿势。当受试把手移到开始按钮上时,在界面左侧显示标准姿势,引导受试在 3 s 内模仿标准姿势并保持 2 s。之后界面右侧显示姿势识别的结果。识别正确提示“Good”,否则提示“Error”。康复流程如图 10 所示。

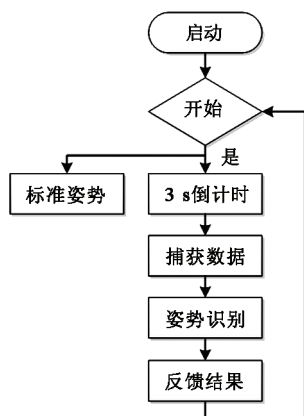


图 10 姿势识别康复流程

临床实验及结果

一、临床实验

本实验招募了 5 例健康受试(男 1 例,女 4 例),其中受试 1(男)对康复动作和姿势比较熟悉,而受试 2~受试 5 刚接触康复系统不久。Kinect 设备水平放置,俯仰角为 8°,距离地面 48 cm。实验中,受试面向体感器,通过前后走动调整与体感器的距离,使得全身在体感器的视野中心。系统自动记录受试所作动作的次数和得分,可以暂停让受试调整好状态后再进行实验。

三维运动实验中,受试距离体感器 2.3 m 左右。每种难度有 8 个动作,每个动作做 3 次,则每例受试需要完成 24 个动作,用时 16 min。

提手臂运动实验中,受试面向体感器,且全身在体感器的视野范围内。在受试控制康复流程下做 3 组实验,每组有 14 种提手臂动作,则每例受试需要完成 42 个提手臂动作,用时 8 min。

姿势识别实验中,受试面向体感器,每例受试做 3 组实验,每组有 54 种姿势,则每例受试需要完成 162 个姿势,用时 15 min。

二、实验结果

在三维运动康复实验中,受试 1 取得了较好的实验效果,另外 4 例受试的效果差异不大。但是每例受试在不同难度任务下的得分差异不大(表 1)。在提手臂运动康复实验中,受试 1~受试 5 的平均得分分别为(99.69±0.95)分,(98.67±2.64)分,(99.50±1.55)分,(98.27±5.41)分和(98.30±2.80)分。5 例健康受试都得到了较高的分数,每次实验的得分相

差不多。在姿势识别运动康复实验中,受试 1 达到了最高的识别率,其中有一次识别率达到 100%。另外 4 例受试的平均识别率也接近 90%(表 2)。

表 1 5 例受试完成三维运动效果评估(分)

难度	受试 1	受试 2	受试 3	受试 4	受试 5
1	88.38	82.38	80.75	76.00	81.63
2	87.67	78.13	75.38	69.25	73.13
3	88.33	79.13	77.00	83.00	77.63
4	86.75	75.63	75.00	85.13	72.88
平均	87.78 ± 0.76	76.31 ± 7.35	77.03 ± 2.63	78.34 ± 7.21	76.31 ± 4.16

表 2 5 例受试完成 54 种姿势的识别准确率(%)

次数	受试 1	受试 2	受试 3	受试 4	受试 5
1	100.00	88.89	85.19	85.19	90.74
2	98.15	90.74	81.48	87.04	90.74
3	98.15	90.74	87.04	92.59	88.89
平均	98.77 ± 1.07	90.12 ± 1.07	84.57 ± 2.83	88.27 ± 3.85	90.12 ± 1.07

讨 论

三维运动康复实验中,系统能有效捕获受试上肢体运动并给出得分,所有受试的平均分数达到 79.15。受试 1 因多次体验三维的动作,得分较高且平稳。受试 2~受试 5 因刚接触训练不久,三维空间感知还没完全建立,得分较受试 1 低。系统实时捕获受试上肢体运动,对动作进行评估和反馈,强化了受试的正确动作。系统设计了立体小球及其在地面网格上的投影,增强了空间立体感,使受试沉浸在三维虚拟空间中。同时,设计三维虚拟管道,引导受试沿着管道内侧移动上肢体,增添了康复的乐趣。

提手臂运动康复实验中,5 例受试的平均得分达到 98.89。系统可以记录提手臂运动并做评估,减少了康复治疗师的工作量,也可替代医疗器械的使用。系统采用 AR 技术,即在真实的画面上添加虚拟手臂框,引导受试将双臂提到框里面,激发受试想象身体附近有手臂框等待着被覆盖,提高受试的想象力,也使受试耳目一新,更加专注地进行康复训练,取得较高分数。对提手臂动作进行评估,并以点亮星星的方式反馈,提高了交互界面的友好度。系统支持受试控制和医生控制两种康复流程。在受试控制下,不需要外部人员的协助,受试单独控制整个康复过程;在医生控制下,需要外部人员手动设定手臂框的位置,适合有特殊需要的患者进行康复训练。

在姿势识别实验中,5 例受试达到了 90.37% 的平均识别率。系统可以根据受试的姿势和标准姿势的相似度进行动作评估并记录评估结果。受试 1 对 54 种姿势比较熟悉,姿势识别的准确率较受试 2~受试 5

高。姿势识别运动康复系统旨在引导受试在规定时间内模仿标准姿势,然后保持一定的时间,适合患者的全身肢体平衡能力康复。姜华强^[12]等应用 Kinect 开发康复训练辅助系统,对患者的姿势进行评估和矫正。

三种康复范式可以根据患者的情况设定动作难度,拓宽了运动康复系统的适用人群。三维运动和提手臂运动分别通过设置目标点、虚拟手臂框的位置来体现不同的难度,而姿势识别是根据患者需求制订训练姿势,预先导入到标准姿势库。设定患者能完成的康复动作有助于提升康复的信心。三种康复范式分别设计了目标点、虚拟手臂框和标准姿势作为引导以维持患者康复训练动机。康复训练可以反复进行,并对动作进行评估和反馈。

基于可穿戴传感器的虚拟现实康复系统需要预先搭建虚拟环境,价格较高。传感器的佩戴工作需要外部人员的协助完成,而且传感器的重量、体积都会在一定程度上影响患者肢体移动的范围和有效性。特别是在全身肢体运动捕获中,佩戴过多的传感器会严重阻碍患者的康复运动。

Kinect 体感交互技术让患者通过肢体动作与虚拟环境中的对象进行交互,增添了运动康复的乐趣,转移患者对自身运动能力损伤的注意。Chang 等^[10]研究发现,基于 Kinect 的运动康复系统通过干预患者的运动康复过程可以提升康复的效果,激发患者的康复动力,表明 Kinect 体感交互技术对运动康复的作用是积极有效的。利用 Kinect 体感交互技术开发的运动康复系统使用简单、携带方便以及价格合理,可广泛应用于医院康复科、社区康复中心及居家康复中。目前, Kinect 技术还没提供手指跟踪的功能,而手关节的康复对患者的生活自理能力提升起到关键作用^[3]。在

今后的研究中,将把 3 个运动康复范式应用到患者的实验当中,并根据患者的真实体验进行改进。

参 考 文 献

- [1] 李园,瞿凤英. 老年人身体活动功能的研究进展[J]. 国外医学(卫生学分册), 2004, 31(2): 115-120.
- [2] Shaughnessy M, Resnick BM, Macko RF. Testing a model of post-stroke exercise behavior [J]. Rehabil Nurs, 2006, 31(1): 15-21.
- [3] 徐丽丽, 吴毅. 虚拟现实技术在脑卒中患者手功能康复中的应用[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2007, 29(2): 136-138.
- [4] 李红玲. 虚拟现实技术及其在康复医学中的应用进展 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2013, 35(5): 414-416.
- [5] 刘佳, 倪冬慧, 陆熊. 增强现实技术在人手功能康复中的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 20(2): 159-163.
- [6] 王坤. 基于增强现实的康复训练系统的研究[D]. 南京: 东南大学仪器科学与工程学院, 2013: 4-5.
- [7] 吴华, 顾旭东, 时美芳, 等. 虚拟现实技术结合运动想象疗法对脑卒中患者上肢功能恢复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(1): 43-46.
- [8] Ustinova KI, Leonard WA, Cassavaugh ND, et al. Development of a 3D immersive videogame to improve arm-postural coordination in patients with TBI [J]. J Neuroeng Rehabil, 2011, 8(61): 1-11.
- [9] Alankus G, Proffitt R, Kelleher C, et al. Stroke therapy through motion-based games: a case study [J]. TACCESS, 2011, 4(1): 1-35.
- [10] Chang Y J, Chen S F, Huang J D. A Kinect-based system for physical rehabilitation: a pilot study for young adults with motor disabilities [J]. Res Dev Disabil, 2011, 32(6): 2566-2570.
- [11] 朱小龙, 王君泽, 瞿畅, 等. 基于 Kinect 的人体下肢关节活动度自动测量方法[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(10): 778-783.
- [12] 姜华强, 项洁. Kinect 康复训练辅助系统研究[J]. 人工智能与机器人研究, 2013, 2(2): 79-82.

(修回日期: 2014-10-23)

(本文编辑: 汪 玲)

· 外刊摘英 ·

Periodontal disease and stroke

BACKGROUND AND OBJECTIVE Periodontal disease affects up to 90% of the world population, and is related to an increase in systemic inflammation markers, implicated in the etiology of atherosclerosis and stroke. This meta-analysis was designed to better understand the association between periodontal disease and the incidence of ischemic and hemorrhagic strokes.

METHODS A literature search was conducted for studies published between January of 1996 and April of 2012. Inclusion criteria were cohort studies, evaluation the incidence of strokes, evaluation of periodontal disease status and calculation of relative risk values with periodontal status as a risk factor. Analysis was conducted for three types of outcomes, including periodontitis, gingivitis and tooth loss. All types of incident stroke were considered.

RESULTS Nine cohort studies were included in the final analysis. The numbers of participants ranged from 1,137 to 51,529, with follow-up periods ranging from 12 to 57 years. For periodontitis, the pooled risk estimate was 1.63 for ischemic and hemorrhagic strokes combined. For gingivitis, the pooled risk was 1.10, while, for tooth loss, the pooled risk was 1.39.

CONCLUSION This meta-analysis supports the link between stroke and periodontal disease. The associations were found to be strongest for periodontitis and tooth loss, as findings for gingivitis did not reach statistical significance.

【摘自: Lafon A, Pereira B, Dufour T, et al. Periodontal disease and stroke: a meta-analysis of cohort studies. Euro J Neurol, 2014, 29(9): 1155-1161.】