

基于“层次分析法-BP神经网络”模型的老年人肢体运动能力评估方法*

张阿真¹ 杨光晨² 韩雪晶¹ 杨 鹏^{1,3,4}

摘要

目的:针对当今社会人口老龄化程度不断加深、国内养老体系不够完善的问题,研究一种老年人肢体运动能力评估方法,为科学养老服务提供客观依据。

方法:首先,依据人体运动学相关知识提出了老年人肢体运动能力评估指标体系;其次,通过分析ICF核心分类组合中与老年人肢体运动能力相关的条目,得出评估指标对老年人肢体运动能力的影响程度排序,经层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)得出各评估指标的初始权值;最后,利用误差反向传播(back propagation, BP)神经网络对数据样本进行训练。

结果:BP神经网络成功修正了AHP得出的初始权值大小,建立了网络评估模型,得到了综合评估值。

结论:理论分析和数据样本的仿真结果表明,AHP-BP老年人肢体运动能力评估模型能克服评估过程中主观因素的作用,得出科学的综合评估值,为评估提供可靠依据。

关键词 老年人;能力;评估;层次分析法;神经网络

中图分类号:R496 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-1242(2017)-01-0067-05

当今社会老龄化程度不断加深,急需发展科学、健全的养老评估体系。国内外在养老评估技术上都有着不同程度的研究进展。其中,应用最广泛的评估工具是由世界卫生组织颁布的国际功能、残疾和健康分类(international classification of functioning, disability and health, ICF),它是一种全球性通用工具,提供了一种可以对有关健康的信息进行编码的框架,并运用标准化的通用语言使世界不同学科和领域能够对有关健康和保健情况进行交流^[1]。美国联邦政府制定的评估工具interRAI/MDS(Minimum Data Set)在世界范围内也得到了广泛应用,其评估内容以ICF为主要依据,包括基本信息、疾病诊断、用药情况、身体状况、所需的康复服务、日常生活活动能力、感觉/知觉/沟通、行为状态、约束/安全设备、健康状况及问题、治疗性干预措施等方面。另外,日本在MDS的基础上对评估内容进行了改编,编制了老年人能力评估调查表;英国使用“Easy Care”作为评估工具,评估结果作为国家医疗保险体系支付费用的依据。我国在老年人能力评估方面的研究重点参照美国interRAI/MDS的设计思想,确定了老年人能力评估的内容和等级划分标准^[2],香港地

区开发了“长者健康及家居护理评估”系统作为老年人能力的评估工具。虽然目前国内外在老年人能力评估方面都有了相关的研究,但其提出的标准及量表均为主观评估指标,并没有客观、量化、完善的评估方法,因此,研究简便、客观、量化的老年人能力评估方法至关重要。由于老年人完成日常活动的最基本能力是肢体运动能力,于是本文将以此为出发点建立科学的老年人肢体运动能力评估体系。将层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)与BP神经网络相结合的思想应用于老年人肢体运动能力评估方法中,可以消除评估过程中的主观性,旨在提高老年人肢体运动能力评估的泛化能力。

1 老年人肢体运动能力评估指标体系的建立

在人体肢体运动评估中,关节的运动起到决定性的作用,其发生在构成关节的两骨关节面之间,是关节在不同的运动平面内围绕着不同的运动轴发生的运动^[3]。因此,在研究肢体运动机制时,主要侧重对人体活动影响较大的关节运动进行分析。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.01.015

*基金项目:国家科技支撑计划课题(2015BAI06B03)

1 河北工业大学控制科学与工程学院,天津,300130; 2 天津医科大学总医院; 3 智能康复装置与检测技术教育部工程研究中心; 4 通讯作者

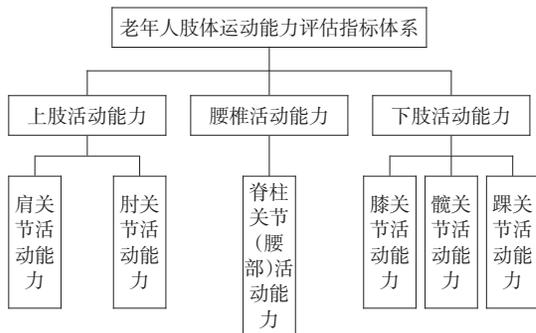
作者简介:张阿真,女,硕士研究生; 收稿日期:2015-09-10

人体上肢一般从事各种比较复杂、精细的活动和工作,其运动功能直接影响人们的日常生活活动能力。为了评估人体上肢的运动能力,首先要研究上肢各主要关节的运动特征。肩关节由肱骨头与肩胛骨的关节盂构成,是典型的球窝关节,能作多轴性灵活运动,如屈、伸、收、展、旋转及环转运动,加以关节头与关节窝的面积差度大、关节囊薄而松弛等结构特征,反映了它具有灵活性运动的机能。肘关节由肱骨下端和尺骨、桡骨上端构成,包括三个关节,即肱尺关节、桡腕关节和桡尺近侧关节,可做前屈、后伸运动,也参与前臂的旋前和旋后运动。脊柱关节的腰椎部位对老年人活动的影响十分明显。脊柱是身体的支柱,由脊椎骨及椎间盘构成,是相当柔软又能活动的结构,其活动取决于椎间盘的完整以及相关脊椎骨关节突间的和谐。当人体承受纵向负载时,腰椎部位有缓冲压力的作用,可在行走、弹跳、跑步时防止震荡颅脑。人体的下肢结构在整个身体结构中起到支撑作用,是肢体运动的关键因素,主要包括髋关节、膝关节和踝关节。髋关节由髋臼和股骨头构成,是全身最典型、最完善的杵臼关节。股骨头在人体中起着重要的负重和运动作用,承受整个躯干的重量。因此,髋关节是人体最大的负重关节,其不但能够将躯体的重量传达至下肢,也能完成相当范围内的屈曲、后伸、内收、外展和旋转运动。膝关节由股骨远端、胫骨近端和髌骨共同组成,是下肢活动的枢纽,承受的负重多,而且运动量大,人类日常生活中的站、走、跑、跳等多项活动都离不开膝关节的运动。踝关节由胫骨下端、腓骨下端和距骨构成,在下肢中的主要作用是承担负重的功能。踝关节是躯体与地面接触的重要部分,在人体下肢活动中占有相当重要的位置。

通过以上对肢体运动机制的分析可知,对人体活动影响较大的主要关节有:肩关节、肘关节、脊柱关节(腰部)、膝关节、髋关节和踝关节,于是可得到老年人肢体运动能力评估体系,如图1所示。

老年人肢体运动能力评估指标的选取标准可考虑肢体关节参数指标,即关节活动度。表1给出了老年人肢体运动能力评估体系中各指标的参数测量方法及其量化标准值^[4]。

图1 老年人肢体运动能力评估指标体系



本文将在后续依据此评估指标来对每个主要关节的动作进行量化,并对实验数据分级处理。

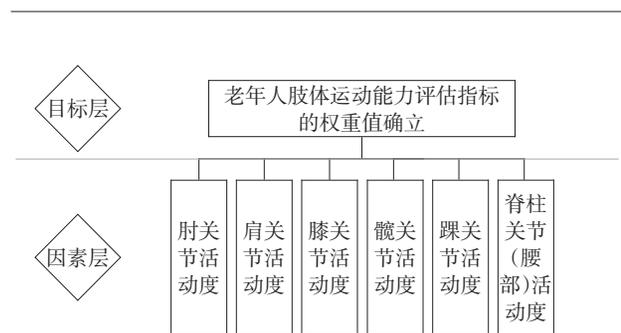
2 AHP初步评估体系

AHP是一种定性定量相结合的、系统的、层次化的分析方法,通过专家判断、比较、评价等手段将多个变量的重要程度数量化^[5]。本文利用该方法对老年人肢体运动能力的6项评估指标进行权重排序,并得出各个指标的定量权值,为后续建立肢体运动评估模型奠定基础。建立AHP体系的前提是构建层次结构模型,本文只选取两层结构——高层和低层。高层为目标层,即老年人肢体运动能力评估指标的权重值确立;低层为因素层,即各具体评估指标。该层次结构模型如图2所示。

在确定各因素之间的权重时,如果只是定性给出结果,不易被人接受。于是,本文采取“一致矩阵法”来定量地确立各指标的权重值。首先,构造成对比较矩阵,如公式(1)所示。其中,矩阵中元素 α_{ij} 的确定依据表2给出的标度方法, α_{ij} 表示因素*i*比因素*j*重要程度的大小。而两两因素的影响程度比较,本文由专家依据ICF核心分类组合中与老年人能力相关的条目^[6],通过分析老年人肢体运动能力各评估指标对老年人的生活能力影响程度的大小来判断。各因素 $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ 分别代表肘关节活动度、肩关节活动度、膝关节活动度、髋关节活动度、踝关节活动度以及脊柱关节(腰部)活动度。通过对两两指标的比较,得出评估指标的成对比较矩阵,如公式(2)所示。其次,计算出矩阵*A*的最大特征值 λ 以及 λ 所对应的归一化特征向量 ω , ω 的值则为各指标的权值。得出, $c=6.2102; \omega=[0.3852 \ 0.2552 \ 0.1664 \ 0.1099 \ 0.0540 \ 0.0292]$ 。

$$A = (\alpha_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

图2 层次结构模型



$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 8 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 4 & 6 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 3 & 5 \\ 1/6 & 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/8 & 1/7 & 1/6 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

最后,进行矩阵的一致性检验,即对矩阵的质量进行检验。一致性指标的选取如公式(3)所示,其中 λ 为矩阵的最大特征值, n 为矩阵阶数^[7]。当CI等于0时,矩阵有完全的一致性;当CI接近于0时,矩阵有满意的一致性;CI越大,矩阵的不一致性越严重。一致性比率的选取如公式(4)所示,随机一致性指标RI如表3所示^[8]。本文 $\lambda=6.2102$, $n=6$, $CI=0.04204$, $CR=0.0339<0.1$,所以矩阵A的不一致程度在允许的范围,有满意的一致性。

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

通过以上矩阵一致性的检验可知,特征向量 ω 可作为指标的初始权向量。因此,肘关节、肩关节、膝关节、髋关节、踝关节以及脊柱关节(腰部)在老年人肢体运动能力评估中所占的初始权值大小分别为:0.3852, 0.2552, 0.1664, 0.1099, 0.0540, 0.0292。该初始值可用于得到后续BP神经网络模型的期望值样本。

3 BP神经网络评估模型

由于AHP具有层次之间关系确定难、专家主观判断不足等缺点,而BP神经网络具有大规模并行、自适应、自组织

表1 老年人肢体运动能力参数测量方法及标准值

一级指标	二级指标	参数选取	量化标准
上肢活动能力	肩关节活动能力	中立位:	屈曲 150°—170°
		上臂下垂,	后伸 40°—45°
		肘关节屈曲	外展 80°—90°
			内收 20°—40°
肘关节活动能力	肘关节活动能力	中立位:	屈曲 135°—150°
		前臂伸直	伸展 0°
腰椎活动能力	脊柱关节(腰部)活动能力	中立位:	前屈 80°—90°
		身体直立	后伸 20°—30°
			左侧屈 20°—30°
			右侧屈 20°—30°
下肢活动能力	膝关节活动能力	中立位:	屈曲 120°—150°
		膝关节伸直	伸展 0°
	髋关节活动能力	中立位:	屈曲 130°—150°
		身体直立,	后伸 10°—15°
	膝关节屈曲		外展 30°—45°
			内收 20°—30°
踝关节活动能力	踝关节活动能力	中立位:	背伸 20°—30°
		坐位,脚自然离地	跖屈 40°—50°

表2 标度方法

标度	含义
1	第i与j个因素的影响程度相同
3	第i比j个因素的影响程度稍强
5	第i比j个因素的影响程度强
7	第i比j个因素的影响程度明显强
9	第i比j个因素的影响程度绝对强
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值

表3 随机一致性指标RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

和自学习的功能,它可将目标与评价指标之间的链接关系看做一个黑箱,不断积累知识和经验,不断修正所学知识^[9]。因此,本文利用层次分析法所得出的权值作为BP神经网络训练的初始权值,来构建BP神经网络评估模型,从而克服老年人肢体运动能力评估过程中的人为因素,使评估更准确客观。其中,输入层各因素之间没有任何联系,本评估模型的输入层为以上提出的老年人肢体运动能力评估指标,包括肘关节活动度、肩关节活动度、脊柱关节(腰部)活动度、膝关节活动度、髋关节活动度以及踝关节活动度,节点数为6;输出层为老年人肢体运动能力综合评估值,节点数为1;隐含层节点数则需根据经验公式(5)计算, n 为输入层节点数, m 为输出层节点数,带入得出隐含层节点数 $s=9$ 。

$$S = \begin{cases} m - 0.618(m - n), & n < m \\ n + 0.618(n - m), & n \geq m \end{cases} \quad (5)$$

通过以上分析,可得出老年人肢体运动能力评估模型如图3所示,将此模型用于老年人肢体运动能力评估,仿真实验可依据此评估模型来进行网络训练与预测。

4 仿真实验

根据以上确立的评估指标,按照表1采集老年人肢体运动能力的数据库。该数据的采集利用VICON三维运动捕捉及步态分析系统,通过对具有不同程度肢体运动能力的老年人进行实验,每人每个动作分别做3次实验,取3次的最大值填入表中,并对左肢和右肢各动作的数据取均值,得到各评估指标的精确数值。对于上肢活动能力综合值的选取,由于右肢相对于左肢在人体上肢活动中的作用大一些,所以肩关节活动能力与肘关节活动能力两项评估指标的综合值按右肢:左肢=3:2的比例进行测算;而下肢膝关节、髋关节、踝关节及腰椎活动能力的综合值计算直接取左肢和右肢的平均值。共采集50组样本数据,并将各指标的综合值按照公式(6)的比例进行处理,得到目标值为[0,1]之间的数据。其中,指标最大值为利用表1采集的所有样本中每项实验数据

最大值的均值。

$$\frac{\text{指标综合值}}{\text{指标最大值}} = \frac{\text{目标值}}{1} \quad (6)$$

利用所采集的50组经处理的数据作为训练样本进行权值训练与综合评估值的预测,表4列出了用于BP预测的10组数据,其中,期望值即根据AHP得到的初始权值进行加权得出。其余40组数据分别作为输入矩阵P和输出向量T,构成学习样本训练网络,调用MATLAB神经网络工具箱函数,构建BP网络对样本进行训练^[10]。训练结束后,可利用预测值及误差值对此评估模型的可行性进行验证。

本文运用训练函数trainlm对神经网络进行训练,训练到达设定的目标精度时,训练停止。训练结果如图4、图5所示,网络的预测输出与设定的期望输出基本拟合,误差在0.5%内。因此,该BP神经网络评估模型既能对AHP的主观性稍加修正,却又不失去AHP的原始意义,该预测值作为最终的综合评估值可在实际评估中应用。

由此可见,BP神经网络算法把一组样本的输入输出问题变成了一个非线性优化问题^[11],通过对已知样本的学习,神经网络可以获得科学、合理并且切合实际的知识,具有对老年人肢体运动能力评估过程中各指标权重的协调能力,从而保证了指标权重的有效性及实用性。因此,采用该AHP-BP老年人肢体运动能力评估模型可得到综合评估值的预测

图3 老年人肢体运动能力评估模型

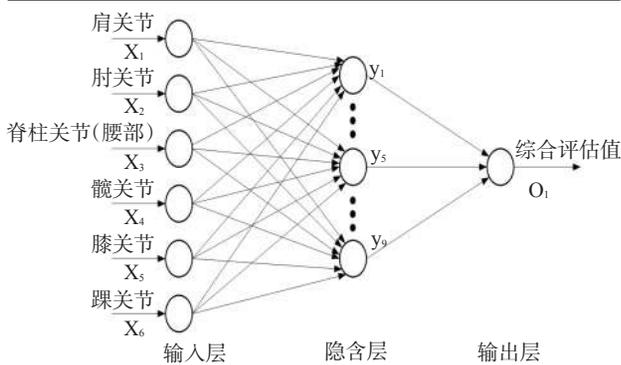


图4 BP网络预测输出

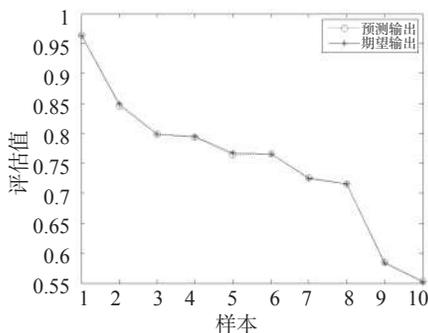
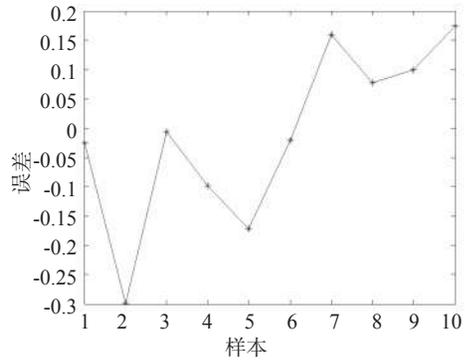


图5 BP网络预测误差



数据,根据加权的方法能初步确立老年人肢体运动能力评估值,加权处理后的综合评估值按照[0,1]范围内四分位数取CUT-OFF值,见表5。

表4 BP神经网络训练样本数据

评估指标	肘关节	肩关节	膝关节	髋关节	踝关节	脊柱 关节	期望值
样本1	0.9844	0.9604	0.9427	0.9893	0.8869	0.8928	0.9638
样本2	0.8815	0.9624	0.7001	0.7500	0.8098	0.7336	0.8492
样本3	0.9116	0.9526	0.4833	0.6402	0.6425	0.6700	0.7993
样本4	0.9459	0.9213	0.4653	0.6226	0.5769	0.6200	0.7946
样本5	0.9249	0.9274	0.4960	0.4011	0.5850	0.5322	0.7667
样本6	0.7921	0.8013	0.7430	0.7207	0.6813	0.5528	0.7654
样本7	0.6980	0.5636	0.8587	0.9054	0.8819	0.7672	0.7251
样本8	0.6784	0.5051	0.9187	0.9559	0.8313	0.7600	0.7152
样本9	0.5952	0.5314	0.6377	0.6665	0.4856	0.4739	0.5843
样本10	0.5368	0.2054	0.8257	0.8865	0.8631	0.3678	0.5514
...

表5 综合评估值

能力分级	标准值x的范围
无障碍	0.75 ≤ x ≤ 1.00
轻度障碍	0.50 ≤ x < 0.75
中度障碍	0.25 ≤ x < 0.50
重度障碍	0.00 ≤ x < 0.25

5 结论

本文利用AHP与BP神经网络相结合的方法确立了老年人肢体运动能力评估体系,首先根据层次分析法给出初始权值,再利用神经网络训练数据样本,经过网络权值的不断调整,建立BP神经网络评估模型,最后实现综合评估值的预测,其仿真实验的预测值与期望值之间误差在可接受范围内,证明了此评估方法可行。这种方法既克服了AHP评估过程中的主观不确定因素,又弥补了BP神经网络评判结果的可解释性差的缺点,通过样本数据的训练,找出了不同变量之间的内在联系,实现优势互补,从而使老年人肢体运动

(下转第96页)