

Originalarbeit

Z Gerontol Geriat 2009 · 43:245–248
 DOI 10.1007/s00391-009-0052-6
 Eingegangen: 5. Mai 2009
 Angenommen: 5. Juni 2009
 Online publiziert: 30. Juli 2009
 © Springer-Verlag 2009

C.M. Bauer^{1,4} · I. Gröger¹ · R. Rupprecht² · C.O. Tibesku³ · K.G. Gaßmann¹

¹ Klinik für Geriatrie und geriatrische Rehabilitation,
 Waldkrankenhaus St. Marien, Erlangen

² Institut für Psychogerontologie, Friedrich-Alexander-Universität
 Erlangen-Nürnberg, Erlangen

³ sporthopaedicum, Straubing

⁴ Institut für Physiotherapie, Departement Gesundheit, Zürcher Hochschule
 für Angewandte Wissenschaften, Winterthur

Reliabilität der statischen Posturografie bei älteren Personen

Zur Kontrolle des aufrechten Standes gehört die Fähigkeit, den Körperdruckpunkt innerhalb der Unterstütsungsfläche zu halten. Dieser Vorgang ist nicht statisch, sondern dynamisch, da sich der Körperdruckpunkt konstant innerhalb der Unterstütsungsfläche bewegt. Die Posturografie beschreibt eine Messmethode für die Bewegungen des Körperdruckpunktes. Bewegungen werden dabei mithilfe von Dehnungsmessstreifen oder piezoelektrischen Widerständen aufgezeichnet. Dies geschieht über die auf die Kraftmessplatte einwirkenden vertikalen Kräfte. Die Posturografie ist seit über 20 Jahren als Messmethode bekannt [14, 16]. Einige Untersuchungen haben gezeigt, dass Körperschwankungen mit dem Alter zunehmen [19] und dass dies mit einer erhöhten Sturzfrequenz einhergeht [8, 14]. Der Wert der statischen Posturografie bei der Erkennung von sturzgefährdeten Patienten ist aber umstritten [16]. In mehreren prospektiven Untersuchungen wurde festgestellt, dass mit ausgesuchten Messparametern der statischen Posturografie, beispielsweise der Schwankungsfläche in mm², vorhergesagt werden kann, welche Personen im darauf folgenden Jahr stürzen [4, 5, 6]. Andere Studien von vergleichbarer Qualität und vergleichbarem Studiendesign bestreiten dies [1, 7]. Obwohl die statische Posturografie seit langem angewandt wird, existieren nur wenige quali-

tativ hochwertige Studien zur Zuverlässigkeit (Reliabilität) [2]. Die Ergebnisse der betreffenden Untersuchungen sind konträr, was erneut Zweifel an der Güte dieser Messmethode aufkommen lässt [2]. Außerdem stimmen die Messprotokolle aus den Reliabilitätsstudien häufig nicht mit den Studien zur Validität überein [2]. Für die meisten Untersuchungen zur Reliabilität der statischen Posturografie wurden junge gesunde Probanden herangezogen [11, 12, 15]. Da sich die Balancefähigkeit im Alter verändert [19], ist es sinnvoll, die bei jungen Testpersonen verwendeten Parameter bei einer älteren Probandengruppe erneut zu testen. Über einige Parameter der statischen Posturografie wie Neigungswinkel, Spektralanalyse mit Fourier-Transformationen und Oszillationsachse sind bisher keine Studien bekannt. In Studien zur Reliabilität wurde als Testposition meist nur der Normalstand verwendet [11, 12]. Im Hinblick auf sturzgefährdete Personen ist dieser Test möglicherweise zu einfach [16]. Vier vergleichbare Untersuchungen gebrauchten den Nahstand, drei davon allerdings bei jüngeren, gesunden Probanden [9, 17, 18]. Nur Benvenuti et al. [3] führten ihre Untersuchungen im Nahstand bei älteren Personen durch, ihr Messprotokoll beschränkte sich aber auf die Durchschnittsgeschwindigkeit des Körperdruckpunktes und die Schwankungsfläche.

Material und Methode

Probanden

Für die vorliegende Arbeit wurden 30 selbstständig lebende ältere Personen (22 weiblich, 8 männlich, Alter 68–91 Jahre) untersucht. Eingeschlossen wurden Personen, die mindestens 60 Jahre alt waren. Die Altersgrenze wurde festgelegt, da sich ab dem 60. Lebensjahr bei ausgewählten posturografischen Parametern, wie Länge der Druckpunktbewegung und Durchschnittsgeschwindigkeit, signifikante Veränderungen gegenüber jüngeren beim Stand mit geschlossenen Augen zeigen [13]. Die Probanden mussten fähig sein, verbale Instruktionen zu befolgen. Ausgeschlossen wurden Personen mit schwerer Demenz (Reisberg-Stadium >4), Personen, die mit oder ohne Gehhilfsmittel nicht selbstständig 50 Meter zurücklegen konnten, und Personen, die nicht in Lage waren, länger als 30 Sekunden frei zu stehen. Kognitive Einschränkungen wurden mit dem Mini-Mental-Status-Test (MMS) erfasst.

Ethik

Die vorliegende Studie wurde nach den Richtlinien der Deklaration des Weltärztebundes von Helsinki und der revidierten Fassung von Tokio, Hongkong und Ve-

Tab. 1 Demografie des Probandenkollektivs

	Fälle	weiblich	männlich
Fallzahl	30	22	8
Alter in Jahren			
Mittelwert (SD)	77,23 (6,81)	76,01 (7,06)	81,2 (4,43)
Median	77	73,5	82
Spannbreite	68–91	68–91	74–86

Tab. 2 ICC-Werte der Reliabilitätsanalyse

Test	AO	AG	NAO	NAG
Fallzahl	30	30	30	30
Mittlere Geschwindigkeit	0,860	0,873	0,962	0,961
Amplitude Frontalebene	0,612	0,861	0,816	0,870
Amplitude Sagittalebene	0,732	0,779	0,799	0,851
Fläche	0,831	0,820	0,883	0,918
Länge	0,908	0,875	0,964	0,969
Länge frontal	0,918	0,868	0,940	0,957
Länge sagittal	0,904	0,871	0,970	0,973
Oszillationsachse	-0,453	0,306	0,292	0,388
Neigung global	0,879	0,898	0,868	0,827
Neigung frontal	0,798	0,854	0,729	0,758
Neigung sagittal	0,925	0,946	0,934	0,939

ICC Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient, AO Normalstand mit offenen Augen, AG Normalstand mit geschlossenen Augen, NAO Nahstand mit offenen Augen, NAG Normalstand mit geschlossenen Augen.

nedig durchgeführt. Die Aufnahme eines Probanden erfolgte nur nach Aufklärung und schriftlichem Einverständnis. Das Projekt wurde von der Ethikkommission der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg genehmigt.

Messprotokoll

Die Untersuchung fand unter standardisierten Bedingungen statt. Das Testprotokoll beinhaltete vier Tests mit je zwei Messwiederholungen (insgesamt drei Messdurchgänge) pro Test. Zwischen den Messwiederholungen pausierten die Probanden zwei Minuten im Sitzen. Alle Tests wurden ohne Schuhe durchgeführt. Für die ersten zwei Tests nahmen die Probanden eine standardisierte Position ein (Normalstand), zunächst mit offenen (AO), später mit geschlossenen Augen (AG). Die Fußposition wurde durch einen Fersenabstand von 2 cm und einem Winkel von 30° zwischen den Füßen definiert. Die Standardposition wurde vor jedem Test durch eine Plastikmarkierung, die vor Beginn der Datenaufzeichnung entfernt wurde, festgelegt. Der dritte und vierte Test erfolgten im Nahstand (Großzehengrundgelenke und Fersen berühren

sich) zunächst mit offenen Augen (NAO), dann mit geschlossenen Augen (NAG). Die Position wurde durch eine senkrechte Linie in der Mitte der Kraftmessplatte determiniert. Die Probanden wurden angewiesen, ruhig, mit den Armen am Körper anliegend zu stehen und die Augen auf eine Markierung in 0,9 m Abstand zu richten.

Messinstrument

In der verwendeten Plattform (Fa. Satel, Blagnac, Frankreich) sind drei Dehnungsmessstreifen eingesetzt. Aus der jeweiligen Widerstandsänderung errechnet der Computer die augenblickliche Position des Körperdruckpunktes. In einem definierten Zeitraum entsteht so eine Abbildung des Gleichgewichtes (Statokinesiogramm). Die Reproduzierbarkeit der Messungen variiert zwischen der frontalen und sagittalen Ebene, da die zugrunde liegenden Kontrollmechanismen aus neurologischer und biomechanischer Sicht unterschiedlich sind [12]. Bei den Parametern Länge der Druckpunkt-bewegung, Amplituden der Druckpunkt-bewegung und Neigungswinkel des Probanden

wurde daher zwischen beiden Ebenen unterschieden.

Parameter

Insgesamt wurden 22 Parameter in jeder der vier Testbedingungen überprüft: die Durchschnittsgeschwindigkeit der Bewegung des Körperdruckpunktes in mm/s, die Amplituden der Bewegung des Körperdruckpunktes (in beiden Ebenen), die Schwankungsfläche in mm², die Länge der Druckpunkt-bewegung in mm (gesamt und in beiden Ebenen), die bevorzugte Oszillationsachse in Grad und der Neigungswinkel des Probanden in Grad (gesamt und in beiden Ebenen).

Statistik

Zur Beantwortung der Fragestellung wurden ICC (Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten) verwendet. Sie dienen zur Bestimmung der Übereinstimmung der drei aufeinanderfolgenden Messdurchgänge, basierend auf einer Zwei-Wege-ANOVA. Als Grundlage für die richtige Wahl des statistischen Modells diente die Arbeit von Shrout u. Fleiss [20]. Das ICC „Zwei-Wege-Gemischt-Modell (Definition ‚absolute agreement‘)“ wurde gewählt, da die Beurteilten (Probanden) zufällig, die Beurteiler (Untersucher) aber bewusst ausgewählt wurden. Die Kalkulation ist in **Abb. 1** dargestellt.

Ergebnisse

Kein Proband musste aufgrund der Ausschlusskriterien von der Untersuchung ausgeschlossen werden. Es gab keinen Testabbruch. Die Charakteristika der Probanden sind in **Tab. 1** dargestellt. Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse zeigt **Tab. 2**. Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist im Nahstand sehr gut und im Normalstand gut reliabel. Die Länge der Druckpunkt-bewegung ist im Nahstand sehr gut und im Normalstand gut bis sehr gut reliabel. Die Fläche der Druckpunkt-bewegung ist gut bis sehr gut reliabel. Die Reliabilität der Neigungswinkel ist in der Sagittalebene sehr gut und in der Frontalebene nicht ausreichend bis gut. Die Oszillationsachse ist nicht reproduzierbar; das verwendete Verfahren ist für ihre Darstel-

$$ICC = \frac{MQ_{bp} - MQ_r}{MQ_{bp} + (MQ_{bm} - MQ_r) / n}$$

Abb. 1 ▲ ICC-Formel. MQ_{bp} , MQ_r und MQ_{bm} mittlere Quadrate der Zwei-Wege-ANOVA. n Anzahl der Testpersonen. Als Schwelle für Signifikanz wurde F mit $p < 0,05$ festgelegt

lung nicht geeignet. Auffällig ist, dass viele Parameter im Nahstand besser reproduzierbar sind als im Normalstand. Am besten geeignet scheint der Test Nahstand mit geschlossenen Augen zu sein, da dort die meisten Parameter die höchste Reliabilität zeigen. Tests im Normalstand sind nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit weniger gut geeignet, da die Messwerte weniger reliabel sind. Eine Ausnahme bilden dabei die Neigungswinkel und die Amplituden der Druckpunktbewegung. Am wenigsten zweckmäßig ist der Test Normalstand mit offenen Augen.

Diskussion

Es gibt widersprüchliche Aussagen darüber, ob die statische Posturografie geeignet ist, sturzgefährdete ältere Personen zu identifizieren [16]. Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu klären, ob einige etablierte und andere noch nicht verwendete Messparameter der statischen Posturografie reliabel sind, da mangelnde Reliabilität die Ursache für die widersprüchlichen Aussagen zur Validität sein könnte. Diese Studie kommt zu dem Ergebnis, dass sechs der getesteten Parameter sehr gut reliabel ($r > 0,9$) sind. Der verwendete Versuchsaufbau ist in der Lage, im Sinne der intraindividuellen Reliabilität reliable Messwerte zu liefern. Die Arbeit zeigt deutlich, dass die Fußposition einen großen Einfluss auf die Reliabilität der Messungen hat. Überraschenderweise scheinen viele Parameter im Nahstand besser reproduzierbar zu sein. Vergleichbare Untersuchungen [10, 11] gehen davon aus, dass die Reproduzierbarkeit von Druckpunktmessungen bei natürlichen oder fast natürlichen Standpositionen besser ist, da die Testpersonen daran gewöhnt sind und keine neuen Balancestrategien suchen müssen. Dieser Vermutung wird aufgrund der vorliegenden Daten widersprochen. Die Balancestra-

Zusammenfassung · Abstract

Z Gerontol Geriat 2009 · 43:245–248 DOI 10.1007/s00391-009-0052-6
© Springer-Verlag 2009

C.M. Bauer · I. Gröger · R. Rupprecht · C.O. Tibesku · K.G. Gaßmann

Reliabilität der statischen Posturografie bei älteren Personen

Zusammenfassung

Hintergrund und Zielsetzung. Die statische Posturografie ist eine Messmethode für die Bewegungen des Körperdruckpunktes. Mit ihr werden beispielsweise ältere sturzgefährdete Patienten untersucht. Ob die statische Posturografie ein reliables Messinstrument bei älteren Menschen ist, konnte bisher nicht endgültig geklärt werden. Mit der vorliegenden Arbeit sollte die intraindividuelle Reliabilität der statischen Posturografie bei älteren Senioren geprüft werden.

Probanden und Methode. Die intraindividuelle Reliabilität von 11 Messparametern der statischen Posturografie wurde bei 30 älteren Senioren untersucht. Messparameter waren: die Durchschnittsgeschwindigkeit der Druckpunktbewegung in mm/s, die Länge der Druckpunktbewegung in mm, die Schwankungsfläche in mm², die Amplituden der Druckpunktbewegung, die Oszillationsachse in Grad und die Neigungswinkel der Patienten in Grad. Die drei Messungen fanden am selben Tag im Abstand von zwei Minuten statt. Sie wurden in vier verschiedenen Testpositionen durchgeführt: normaler Stand und Nahstand, jeweils mit offenen und geschlossenen Augen. Die statistische Analyse erfolgte mit Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten.

Ergebnisse. Sechs der getesteten Parameter sind sehr gut reliabel, mit einem Korrelationskoeffizienten von jeweils $>0,9$. Diese sechs Parameter sind: die Durchschnittsgeschwindigkeit der Bewegung des Körperdruckpunktes in mm/s im Nahstand, die Schwankungsfläche in mm² (im Nahstand mit geschlossenen Augen), die Länge der Druckpunktbewegung in mm (gesamt und in beiden Ebenen) im Normalstand und im Nahstand sowie der Neigungswinkel des Patienten in Grad in der Sagittalebene, im Normalstand und im Nahstand. Von den vier Testpositionen ist die Position „Nahstand mit geschlossenen Augen“ am besten geeignet, um reliable Werte zu erhalten.

Schlussfolgerung. Sechs der getesteten Parameter können zur Verwendung in Folgestudien empfohlen werden. Als Testposition eignet sich die Position „Nahstand mit geschlossenen Augen“. Das vorhandene Messprotokoll liefert reliable Messergebnisse. Ob die verwendeten Parameter zur Diagnostik von Gang- und Balancestörungen geeignet sind, muss in einer Folgestudie geklärt werden.

Schlüsselwörter

Posturografie · Reliabilität · Balance · Stürze · Geriatrie

Reliability of static posturography in elderly persons

Abstract

Background and objective. Static posturography is used to quantify body sway. It is used to assess the balance of elderly persons who are prone to falls. There is still no general opinion concerning the reliability of force platform measurements. The aim of this study was to test the reliability of force platform parameters when measuring elderly persons.

Probands and methods. The reliability of 11 force platform parameters was tested measuring 30 elderly persons. The following parameters were calculated: mean speed of center of pressure displacement in mm/s, length of sway in mm, sway area in mm², amplitudes of center of pressure movement, the axis of oscillation in degrees and the person's angles of inclination in degrees. Three measurements were taken on the same day, with a resting period of 2 min. Four different test conditions were used: normal standing and narrow stand with eyes open and eyes closed, respectively. Reliability was determined by using intraclass correlation coefficients.

Results. Six parameters had excellent reliability with a correlation coefficient of $>0,9$: mean speed of center of pressure movement during narrow stand, area of sway during narrow stand, length of sway during normal and narrow stand, and the angle of inclination in the sagittal plane during normal stand and narrow stand. The condition "narrow stand eyes closed" proved to be the most reliable test position.

Conclusion. Six parameters proved to have excellent reliability and are recommended to be used in further investigations. Narrow stand with eyes closed should be used as the test position. The tested protocol proved to be reliable. Whether these parameters can be used to predict falls in elderly persons remains to be investigated.

Keywords

Posturography · Reliability · Balance · Falls · Geriatrics

tegien sind im Nahstand möglicherweise weniger variabel, Entsprechendes könnte durch Videoanalysen bestätigt werden. Der Normalstand wird von mehreren Autoren bevorzugt [10, 11]; in dieser Situation haben die Testpersonen einen größeren willkürlichen Spielraum bei der Verlagerung des Körperdruckpunktes. Dies scheint allerdings die Reliabilität einzuschränken und könnte eine Erklärung für die widersprüchlichen Aussagen bezüglich Reliabilität und Validität der statischen Posturografie sein.

Die Reliabilität eines Tests ist abhängig von Alter, Geschlecht, Aktivitätslevel und vorhandenen Pathologien der Probanden. Daher sind die hier präsentierten Werte nur für die Gruppe der selbstständig lebenden älteren Personen gültig und nicht auf andere übertragbar. Ob die gewählten Tests in der Lage sind, sturzgefährdete Personen zu identifizieren, muss in einer Folgestudie untersucht werden. Die verwendeten Tests sind für ältere Personen mit einer hohen Leistungskapazität möglicherweise zu einfach. Um diese Personengruppe zu fordern, wurden die Tests im Nahstand ins Testprotokoll aufgenommen. Als nächster Schritt sollte geklärt werden, ob dieses Messprotokoll prädiktiv für Stürze ist. Es wäre dann eines der wenigen Messprotokolle, für die Reliabilität und Validität belegt wären.

Fazit

- Für reliable Messergebnisse empfiehlt sich eine Messdauer von 25 Sekunden.
- Bei Messwiederholungen sollten drei Messdurchgänge (zwei Messwiederholungen) durchgeführt werden, mit je zwei Minuten Pause zwischen den Messdurchgängen.
- Als Testposition empfiehlt sich der Nahstand, mit offenen und geschlossenen Augen. Ein Vorteil des Nahstandes ist, dass diese Testposition schwieriger ist und deshalb möglicherweise besser zwischen sturzgefährdeten Personen und gesunden Personen unterscheiden kann.
- Als Messparameter empfehlen sich: die Durchschnittsgeschwindigkeit des Körperdruckpunktes in mm/s, die Länge der Druckpunktbewegung in

mm, die Schwankungsfläche in mm² und der Neigungswinkels der Patienten in Grad in der Sagittalebene.

- Als nächster Schritt sollte geklärt werden, ob dieses Messprotokoll prädiktiv für Stürze ist. Es wäre dann eines der wenigen Messprotokolle, für die Reliabilität und Validität belegt wären.

Korrespondenzadresse

C.M. Bauer MSc

Institut für Physiotherapie,
 Departement Gesundheit, Zürcher Hochschule
 für Angewandte Wissenschaften,
 Postfach, Technikumstr. 71
 8401 Winterthur
 Schweiz
 christoph.bauer@zhaw.ch

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Baloh R, Corona S, Jacobson K et al (1998) A prospective study of posturography in normal older people. *J Am Geriatr Soc* 46:438–443
2. Bauer C (2008) Reliabilität der statischen Posturografie – Review. *Physioscience* 4:65–70
3. Benevenuti F, Mecacci R, Gineprari I et al (1999) Kinematical characteristics of standing disequilibrium: reliability and validity of a posturography protocol. *Arch Phys Med Rehabil* 80:278–287
4. Bergland A, Jarmo G, Laake K (2003) Predictors of falls in the elderly by location. *Aging Clin Exp Res* 15:43–50
5. Bergland A, Wyller T (2004) Risk factors for serious fall related injury in elderly women living at home. *Inj Prev* 10:308–312
6. Boulgarides L, McGinty S, Willet J, Barnes C (2003) Use of clinical and impairment based tests to predict falls by community dwelling older adults. *Phys Ther* 83:338–339
7. Brauer S, Burns J, Galley P (2000) A prospective study of laboratory and clinical measures of postural stability to predict community dwelling fallers. *J Gerontol A Biol Sci Soc Med Sci* 55:M469–M476
8. Buatios S, Gueguen R, Gauchard G et al (2006) Posturography and risk of recurrent falls in healthy non-institutionalized persons aged over 65. *Gerontology* 52:345–352
9. Condron J, Hill K (2002) Reliability and validity of a dual-task force platform assessment of balance performance: effect of age, balance impairment and cognitive task. *JAGS* 50:157–162
10. Corriveau H, Hebert R, Prince F, Riache M (2000) Intrasession reliability of the „centre of pressure minus centre of mass“ variable of postural control in the healthy elderly. *Arch Phys Med Rehabil* 81:45–48
11. Corriveau H, Hebert R, Prince F, Riache M (2001) Postural control in the elderly: an analysis of test-retest reliability and interrater reliability of the COP-COM variable. *Arch Phys Med Rehabil* 82:80–85
12. Doyle T, Newton R, Burnett A (2005) Reliability of traditional and fractal dimension measures of quiet stance centre of pressure in young, healthy people. *Arch Phys Med Rehabil* 86:2034–2040
13. Era P, Sainio P, Koskinen S et al (2006) Postural balance in a random sample of 7979 subjects aged 30 years and over. *Gerontol* 52:204–213
14. Fernie G, Gryfe C (1982) The relationship of postural sway in standing to the incidence of falls in geriatric subjects. *Age Ageing* 11:11–16
15. Haas B, Withmarsh T (1998) Inter- and intratester reliability of the balance performance monitor in a non-patient population. *Physiother Res Int* 3:135–147
16. Piirtola M, Era P (2006) Force platform measurements as predictors of falls among older people – a review. *Gerontology* 52:1–16
17. Rogind H, Simonsen H, Era P, Bliddal H (2002) Comparison of Kistler 98618 force platform and Chattecx balance system for measurement of postural sway: correlation and test-retest reliability. *Scand J Med Sci Sports* 13:106–114
18. Samson M, Corve A (1996) Intra-subject inconsistencies in quantitative assessment of body sway. *Gait Posture* 4:252–257
19. Sheldon P (1962) The effect of age on the control of sway. *Gerontol Clin* 5:129–138
20. Shrout P, Fleiss J (1979) Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull* 86:420–428