

**FORSCHUNGSBERICHTE
des
PSYCHOLOGISCHEN INSTITUTS
der
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG I. BR.**

Nr. 150

Die Messung des Finger-Blutdrucks

Eine Methodenstudie mit zwei Geräten

Jochen Fahrenberg

**Forschungsgruppe Psychophysiologie
Psychologisches Institut
der Universität Freiburg
Belfortstrasse 20
D-79085 Freiburg i. Br.**

2000

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--------------------------------|----|
| Zusammenfassung | 3 |
| Summary | 4 |
| | |
| 1 Einleitung | 5 |
| | |
| 2 Pilotstudie zur Orientierung | 13 |
| 2. 1 Fragestellungen | 13 |
| 2. 2 Untersuchungsmethodik | 13 |
| 2. 3 Ergebnisse | 15 |
| 2. 4 Diskussion | 19 |
| | |
| 3. Methodenstudie | 23 |
| 3. 1 Fragestellungen | 23 |
| 3. 2 Untersuchungsmethodik | 23 |
| 3. 3 Ergebnisse | 29 |
| 3. 4 Diskussion | 47 |
| | |
| Literaturverzeichnis | |
| Anhang | |

Zusammenfassung

Die Methode zur nicht-invasiven, kontinuierlichen Messung des Finger-Blutdrucks mit dem PortapresTM Model 2.0 (TNO, BioMedical Instrumentation, Amsterdam) hat ein wichtiges Fenster auf die Blutdruckdynamik geöffnet. Die hohe zeitliche Auflösung im Vergleich zu den diskontinuierlichen Messungen, z. B. mit oszillometrischer Methodik, wird jedoch durch eine geringere Genauigkeit beeinträchtigt. Neuere Reviews von Imholz et al. (1998) und Silke and McAuley (1998) haben festgestellt, daß die Genauigkeit, insbesondere der systolischen Meßwerte im Vergleich zu intra-arteriellen Messungen, unzureichend ist.

Die Genauigkeit der Messungen kann ergänzend noch auf eine andere Weise geprüft werden: durch die kontinuierliche Messung des Finger-Blutdrucks mit zwei Geräten. Die vorliegende Methodenstudie beruht auf solchen simultan an der linken und an der rechten Hand durchgeführten Messungen. Weitere Vergleichsmöglichkeiten ergaben sich durch oszillometrische, an beiden Oberarmen durchgeführte Messungen des Brachialis-Blutdrucks mit Meßwiederholungen in den Untersuchungsphasen.

An der Untersuchung nahmen 31 normotone Männer teil. Die Messungen erfolgten in liegender Position während Ruhe, leichter Ergometerarbeit und Erholung. Die Gerätekonfiguration bestand aus je zwei Portapres- und SpaceLabs Geräten und dem Vitaport2 als Datenrekorder. Die Reproduzierbarkeit der interindividuellen Meßwerte wurde durch Meßwiederholungen bestimmt. Die Übereinstimmung der Meßergebnisse beider Geräte als Genauigkeit (accuracy) wurde durch die Berechnung der mittleren Differenz (Erwartungswert = 0) geprüft. Außerdem wurden die Differenzen der Geräte gegen den Mittelwert beider Geräte in einem Diagramm mit Übereinstimmungsgrenzen ± 2 SD (limits of agreement) dargestellt und der Standardfehler der mittleren Differenz (precision) berechnet.

Der Vergleich der beiden Portapres-Geräte ergab für systolische Meßwerte unter Ruhebedingungen als Mittelwert der Abweichungen beider Geräte (Genauigkeit) von 3.1 mm Hg (SEM = 1.3) und eine Standardabweichung der Differenzen (Präzision) von 7.4 mit Übereinstimmungsgrenzen von - 17.9 bis +11.6 mm Hg. Die entsprechenden Statistiken für den diastolischen Blutdruck lauten: Genauigkeit 2.8 mm Hg (SEM = 1.3) und SD = 7.3 mit Übereinstimmungsgrenzen von - 11.7 bis + 17.3. Zur Kontrolle wurden die entsprechenden Statistiken auch für die Herzfrequenz berechnet: Genauigkeit 0.6 bpm (SEM = 0.1) mit SD = 0.6 und Übereinstimmungsgrenzen von - 0.5 bis +1.7. Die Genauigkeit und Präzision der oszillometrischen Messung sind deutlich besser.

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß es sich bei den Abweichungen zwischen beiden Geräten nicht um einen konstanten Fehler im Sinne eines eventuell bei der Analyse von Veränderungen (Blutdruck Tracking) zu vernachlässigenden Offset handelt. Die mittlere Differenz scheint zwar gering und fast vernachlässigbar zu sein, doch zeigen die weiten Grenzen des Übereinstimmungsbereichs an, daß die Messungen zweifelhaft und oft nicht ausreichend genau sein werden. Die oszillometrisch gewonnenen Meßwerte sind relativ genauer.

Die mit dem PortapresTM Model 2.0 gemessenen Werte sollten ausdrücklich als "Finger-Blutdruck" bezeichnet werden. Die Anwender müssen entscheiden, ob die bei speziellen Fragestellungen erwünschte hohe zeitliche Auflösung auf Kosten der Genauigkeit zu rechtfertigen ist. Begleitende oszillometrische Messungen könnten Referenzwerte liefern.

Summary

The Finapres™ /Portapres™ methodology (TNO, BioMedical Instrumentation) has opened an essentially new window for the investigation of blood pressure dynamics. The higher resolution in time (beat-to-beat analysis) as compared to intermittent oscillometric measurement is an important advantage, however, the doubtful precision of finger blood pressure measurement appears to be a serious drawback. Recent reviews by Imholz et al. (1998) and Silke and McAuley (1998) regarding the Finapres/Portapres methodology, stated that the precision, especially in systolic blood pressure measurement, was not sufficient when compared to intra-arterial measurement.

The measurement precision can be evaluated further by obtaining continuous recordings with two devices at the same time. The present method study was based on simultaneous measurement at the left hand and at the right hand. Further comparisons were made possible by BP measurements with the oscillometric method obtained repeatedly during certain intervals

The study included 31 normotensive male participants. The recordings were made in supine position during rest, physical exercise (ergometer work) and during recovery. The recording devices included two Portapres Model 2.0, two SpaceLabs Mod 90207 and the Vitaport 2. The agreement of measurements was examined by testing the mean difference of measures and statistical tests on the assumption $M_{diff} = 0$. Agreement plots were derived depicting the difference of methods (A – B) against the mean of methods referring to a $M \pm 2$ SD interval of agreement.

The findings for the systolic BP measurement using the Portapres devices (during rest) showed an average difference (accuracy) between Portapres devices of 3.1 mm Hg (SEM = 1.3) and a standard deviation of differences (precision) of 7.4 with limits of agreement ($M \pm 2$ SD) – 17.9 to +11.6 mm Hg. The corresponding values for diastolic BP were: accuracy 2.8 mm Hg (SEM = 1.3 and SD = 7.3) with limits of agreement – 11.7 to + 17.3. As a reference, corresponding values were also computed for heart rate measures: accuracy 0.6 bpm (SEM = 0.1 and SD = 0.6) with limits of agreement – 0.5 to +1.7.

The findings show that the discrepancies were not due to a constant offset (bias) which might be eventually disregarded in practice. The mean difference between measures seems to be negligible, however, the large confidence interval ± 2 SD, that is, low precision of single measures, indicated that finger-blood pressure data lacked a sufficient accuracy in the present study. Obviously, the accuracy and precision of oscillometric measurements were superior to the finger BP measurements.

In concluding, BP measurements which are obtained with the Portapres™ Model 2.0 should be explicitly stated as finger blood pressure. It is up to the user, depending on the particular research issue, where time resolution may be highly desirable, whether or not, or to what extent the obvious drawback in measurement precision can be tolerated. Standard oscillometric measurements may be included in continuous finger blood pressure recordings to provide reference values.

1 Einleitung

Die kontinuierliche Blutdruckmessung am Finger mit dem Portapres™ Model 2.0 (TNO BioMedical Instrumentation, Amsterdam) hat ein neues Fenster auf die Blutdruckdynamik unter Alltagsbedingungen geöffnet. Deshalb sind Untersuchungen zur Evaluation dieser Methodik notwendig.

Viele Labor-Feld-Vergleichsuntersuchungen haben nachdrücklich gezeigt, wie fragwürdig Schlußfolgerungen aufgrund einzelner Messungen unter Labor- bzw. Klinik-Bedingungen sind. Das ambulante Monitoring des Blutdrucks ist heute für die Hypertensiologie, aber auch für die Psychophysiologie unentbehrlich geworden. Der aktuellen psychophysiologischen Forschung steht hier eine Methodik zur Verfügung, das Blutdruckverhalten als integrale Komponente von Verhaltensmustern, u.a. auch bei den oft nur Minuten dauernden Blutdruckveränderungen während emotionaler und mentaler Beanspruchung zu messen.

Die Variabilität des arteriellen Blutdrucks hat zunehmendes Interesse gefunden, denn es gibt zahlreiche Hinweise, daß der Grad der Blutdruck-Variabilität ein wichtiger Prädiktor des klinischen Verlaufs einer Hypertonie ist (siehe u. a. Meredith, Perloff, Mancia & Pickering, 1995; Verdecchia, Clement, Fagard, Palatini & Parati, 1999). Die Blutdruck-Variabilität ist ein wichtiger Aspekt der hämodynamischen Regulation (Schmidt, Engel & Blümchen, 1992). Auch aus verhaltenswissenschaftlicher und psychologischer Sicht ist die Untersuchung der zeitlichen Veränderung des Blutdrucks interessanter als nur die Messung des Blutdruck-Niveaus vorzunehmen. Die im ambulanten Monitoring üblichen Meßintervalle von 15 oder 20 Minuten sind wahrscheinlich oft unzureichend. Die aus diesen Messungen abgeleiteten Variabilitätsmaße, vor allem die Standardabweichung der ca. 50 Meßwerte eines Tages, können die wahre Variabilität und situationsabhängige Dynamik nicht ausreichend repräsentieren. Aus der psychophysiologischen Laborforschung ist bekannt, daß emotionale Aktivierung und mentale Anstrengung bei einigen Individuen starke Blutdruck-Reaktionen auslösen. Diese Anstiege dauern oft nur kurze Zeit und werden deshalb im zeitlichen Raster des üblichen Monitoring nicht erfaßt.

Mit der Entwicklung der Finapres™ und Portapres™ Model 2.0 Systeme (TNO BioMedical Instrumentation, Amsterdam) wurde eine kontinuierliche, nicht-invasive Messung des Blutdrucks am Finger möglich (Langewouters, 1993; Wesseling, 1988, 1993, 1996; Wesseling, Settels & de Wit, 1986;). Diese Meßsysteme haben auch einen neuen Zugang zur Dynamik der Blutdruckregulation unter Alltagsbedingungen eröffnet. Das kontinuierliche 24-Stunden-Monitoring kann, wie u. a. die großen Untersuchungen von Schmidt und Jain (1996) und von Scheuch, Berndt, Knöpfel und Seibt (1998) gezeigt haben, auch mit einer größeren Anzahl von Personen unter Alltagsbedingungen durchgeführt werden. Die nicht-invasive beat-to-beat Analyse von Blutdruckänderungen hat auch im Labor neue Möglichkeiten, z. B. zur Untersuchung der Barorezeptoren-Funktion und anderer schneller Reaktionsverläufe, geschaffen und bedeutet — über die ursprünglichen klinischen Anwendungen hinaus — auch eine wichtige Bereicherung der Methodik der kardiovaskulären Psychophysiologie (Fahrenberg, 2001, Man in't Veld, van Montfrans, Langewouters, Li & Mancia, 1995, Rüddel & Curio, 1995).

Seit der Einführung der Finapres/Portapres-Systeme für kontinuierliche Messung des Blutdrucks am Finger gibt es eine Diskussion über die Zuverlässigkeit dieser Messungen. In der Praxis zeigten sich neben hoher Übereinstimmung mit oszillometrischen Messungen des Brachialis-Blutdrucks nicht selten irritierende Diskrepanzen. Es wurden Abweichungen zwischen Portapres-Messungen und intra-arteriellen Messungen (Radialis, Brachialis) beobachtet und ähnlich auch

zwischen Portapres-Messungen und oszillometrischen sowie auskultatorischen Messungen am Oberarm. Die Ergebnisse der Methodenstudien sind widersprüchlich, wobei die Kommentare und Schlußfolgerungen zunehmend kritisch wurden. Offensichtlich handelt es sich bei den Diskrepanzen nicht um einen konstanten Fehler.

Die Reliabilität der Messungen ist jedoch nicht auf einfache Weise festzustellen, denn es sind mehrere wichtige Einflußgrößen zu berücksichtigen. Selbstverständlich muß bei den nicht-invasiven Vergleichsmessungen kritisch gefragt werden, ob sich diese tatsächlich als Referenzmethode eignen, da sie ihrerseits erhebliche Unsicherheiten und Probleme aufweisen. Genaue Vergleichsmessungen unter Berücksichtigung solcher Einwände haben sich als relativ schwierig erwiesen.

Wenn es grundsätzlich um die Evaluation der Methodik der Blutdruckmessung am Finger geht, sind die vier, u. a. von Kenner (1988) genannten Aspekte der Messung zu bedenken:

- Genauigkeit (accuracy) im Vergleich zu den "wahren" Werten einer Referenzmethode,
- Reproduzierbarkeit,
- Amplituden-Auflösung,
- zeitliche Auflösung.

Der erste und der zweite Aspekt entsprechen in etwa den Begriffen Parallel-Test-Reliabilität (wobei allerdings keine "wahren" Werte existieren) bzw. der Retest-Reliabilität in der Testkonstruktion. Die Amplituden-Auflösung kann bei den hier verglichenen Meßmethoden insgesamt als befriedigend gelten. Die hohe zeitliche Auflösung der Finapres-/Portapres-Geräte ist natürlich allen anderen nicht-invasiven Methoden überlegen. Als weiterer Aspekt wird oft die Genauigkeit bei der Wiedergabe einer Meßwertänderung (Tracking) genannt, denn bei einem konstanten Fehler könnte dennoch ein zuverlässiges Tracking (mit einem bias (offset) des Mittelwertes möglich sein. Wenn jedoch die Meßgenauigkeit unzureichend ist und die Werte über einen sehr weiten Bereich streuen, wird auch das Tracking unzuverlässig sein.

Statistische Analysen der Meßgenauigkeit

Bei der Beurteilung der Blutdruckmessungen wurden verschiedentlich Prozentangaben verwendet: wie viel Prozent der Messungen mit Methode A liegen im Bereich von ± 5 mm Hg (oder 10) der Referenzmethode B? Außerdem wurden Scattergramme mit Konfidenzintervallen (Konturogramme) verwendet (siehe u. a. O'Brien & O'Malley, 1991). Die Hypothese "Differenz (A-B) = 0" ist statistisch zu prüfen. Da die Genauigkeit der Messung im mittleren Bereich praktisch wichtiger als im Extrembereich ist, kann der Meßfehler für verschiedene Bereiche, z. B. unter 100, zwischen 100 und 150, über 150 mm Hg angegeben werden.

Die Genauigkeit einer Messung wird oft als Regressionslinie (A- und B-Messung mit ± 2 Standardabweichungen) angegeben. Diese Darstellung hat jedoch Nachteile: (1) der Korrelationskoeffizient zeigt die Enge der Beziehung, aber nicht die Übereinstimmung an, da Mittelwertunterschiede unberücksichtigt bleiben, (2) die Höhe des Koeffizienten hängt von dem Range der Meßwerte ab und (3) können hohe Koeffizienten trotz schlechter Übereinstimmung der Messungen gefunden werden.

Bland und Altman (1986) schlugen vor, die Differenz zwischen den beiden Methoden A und B (X-Achse) gegen den Mittelwert von A und B (X-Achse) mit einem Intervall von ± 2 SD in einem Diagramm darzustellen. Dieser Bereich gibt die "limits of agreement" an. Falls die Differenzen in

diesem Bereich als vernachlässigbar angesehen werden können, sind die Methoden A und B austauschbar (siehe auch die Beispiele bei Bland & Altman, 1986). Die Grenzen der Übereinstimmung stammen ja aus einer bestimmten Untersuchung. Unter der Normalverteilungsannahme hinsichtlich der Differenzen kann der Standardfehler dieser Differenz geschätzt werden.

Der Mittelwert der Differenzen zweier Methoden (mittlere Abweichung) wird als accuracy und die Standardabweichung der Differenzen als precision definiert (siehe auch Imholz, Wieling, van Montfrans & Wesseling, 1998; Jellema et. al., 1996; Silke & McAuley, 1998).

Vergleich mit intra-arteriellen Messungen

In einem Review haben Imholz et al. (1998) die Untersuchungen, in denen Finger-Blutdruck und intra-arteriell gemessener Brachialis-Blutdruck verglichen wurden, zusammengefaßt:

"The weighted accuracy of finger arterial pressure measurement among these studies comprising a total of 1031 subjects was

- 0.8 \pm 11.7 mm Hg (range - 48 to 30 mm Hg) for systolic pressure,
- 1.6 \pm 8.5 mm Hg (range - 20.1 to 18.5 mm Hg) for mean pressure, and
- 1.6 \pm 7.7 mm Hg (range - 13.4 to 25 mm Hg) for diastolic pressure ..." (p. 607).

"Although the accuracy of finger blood pressure in our review showed considerable scatter, the weighted accuracy of finger blood pressure among the 43 studies investigated remain within the 5 mm Hg limit of the American Association for the Advancement of Medical Instruments. The precision is too low for systolic and mean pressures and does not meet the acceptable limits of the 8 mm Hg of the AAMI recommendations Although for diastolic pressure the accuracy and precision values are within the AAMI limits the overall performance does not permit finger blood pressure measurements for assessment of absolute blood pressure levels in individual patients." (p. 610).

"For the assessment of beat-to-beat changes in blood pressure and assessment of blood pressure variability Finapres proved a reliable alternative for invasive measurements when mean and diastolic pressures are concerned. Differences in systolic pressure are larger and reach statistical significance but are not of clinical relevance." (p. 610)

Die Abweichungen sind also im Mittelwert relativ gering, doch bestehen aufgrund der großen Standardabweichungen der Differenzen (weite Grenzen des Übereinstimmungsbereichs) ein hohes Risiko von Fehlmessungen und Fehlbewertungen.

In einer Reanalyse von Finapres-Daten aus 20 Studien kamen Silke und Mc Auley (1998) zu den folgenden Ergebnissen und Schlußfolgerungen hinsichtlich der Übereinstimmung mit intra-arteriellen Messungen (IAP) an der Radialis oder Brachialis. Diese Ergebnisse beruhen auf einer neuen Methode, durch Schätzung robuster Parameter zu einer besseren Beurteilung der Meßgenauigkeit zu kommen:

"Based on 449 patients and 4490 re-samples, the average Finapres systolic bias (IAP - Finapres) was 2.2 mm Hg (s.d. \pm 12.4) with limits of agreement (bias \pm 2 s.d.) of - 22.6 and 26.9 mm Hg. The average precision was 12.1 mm Hg (s.d. \pm 8.4). The Finapres diastolic bias was - 0.3 mm Hg (s.d. \pm 7.9) with the limits of agreement - 16.1 and 15.5 mm Hg. The average precision was 7.6 mm Hg (s.d. \pm 5.3). The average Finapres mean arterial pressure bias was 2.1 mm Hg (s.d. \pm 8.6)

with precision of 7.6 mm Hg (s.d. ± 5.3). The calculated percentage of Finapres systolic values expected to fall within ± 5 or ± 10 of the direct intra-arterial pressure was 35.9% and 73.1%, respectively. The calculated precision of the Finapres systolic pressure between 0—5 mm Hg was 1.6% and between 0—10 mm Hg 36.4%. The comparable values for Finapres diastolic BP values were 63.5% and 92.8% and for precision 23.1 % and 79.2%.

The Finapres device can provide an accurate estimate of diastolic and mean arterial pressure compared with the intra-arterial record; the apparent inaccuracy of the Finapres systolic pressure may have a physiological explanation. When the Finapres device is used in experimental or in clinical situations, then calibration against a reliable reference arterial pressure is desirable to obviate the possibility of an 'offset' error." (p.403).

In einer weiteren Arbeit, die sich auf den Vergleich von Messungen mit dem Portapres Gerät und intra-arteriellen Messungen bei 39 Patienten unter verschiedenen klinischen Bedingungen bezog, gelangten Hirschl, Woisetschlager, Waldenhofer, Herkner und Beer (1999) zu dem Schluß, daß die Messung des Finger-Blutdrucks ein genaues und präzises Verfahren zum Monitoring des Blutdrucks darstellt. Allerdings räumen die Autoren ein, daß bei 11.4 % ihrer 3118 Messungen (MAP) die Veränderung des Finger-Blutdrucks in entgegengesetzter Richtung zur Referenz erfolgte.

Die Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen, so läßt sich zusammenfassend feststellen, sind überwiegend kritisch, bleiben aber etwas widersprüchlich. Deshalb stellt sich über die pragmatische Frage nach der Übereinstimmung der Meßmethoden die Aufgabe, die maßgeblichen Bedingungen für solche Abweichungen aufzuklären. In Tabelle 1.1. sind einige Methodenstudien zur Reliabilität genannt.

Tabelle 1.1 Finapres- und Portapres-Reliabilitätsstudien

| | |
|---|---|
| Übereinstimmung mit intra-arterieller (Brachialis-) Messung | u.a. Imholz et al. (1993), Omboni et al. (1993), Rongen et. al. (1995), Hirschl et al. (1996), Imholz (1996), Jellema et al. (1996) |
| Auswahl, Platzierung, Rotation, Fixierung der Manschette | Jones et al. (1993) |
| Fingertemperatur (Erwärmung, Kühlung) | Tanaka & Thulen (1993) |
| Suche nach Kovariaten zur Erklärung der Diskrepanzen | Imholz (1995) |
| Übereinstimmung mit auskultatorischer Messung | Musso et al. (1996) |
| "Level shift filtering"-Methode | Wesseling (1996) |
| Drift (verzögerte Erholung) | Ristuccia et al. (1997) |
| Übereinstimmung mit oszillometrischer und auskultatorischer (Schlag- zu Schlag) Messung | Fahrenberg et al. (1997), Scheuch et al. (1998) |
| 24-Stunden Reproduzierbarkeit | Voogel & Montfrans (1997) |
| Spektralanalyse des Finger- und Brachialis-Blutdrucksignals | Castiglioni et al. (1997) |
| 24-Stunden Blutdruck-Variabilität | Omboni et al. (1998) |
| Ungenauigkeit bei der Erfassung von Effekten vasoaktiver Pharmaka | Bos et al. (1995), O'Callaghan et al. (1998) |

In der Literatur werden verschiedene Erklärungshypothesen für die Abweichungen genannt, doch ist offensichtlich keine allein maßgeblich. Es handelt sich um einen Komplex von Einflüssen und z. T. voneinander abhängenden Einflüssen (Tabelle 1.2)

Tabelle 1.2 Einfluß auf die Messung des Finger-Blutdrucks

| |
|---|
| Gefäßtonus (Vasokonstriktion, kalte Finger), |
| Einfluß der Immobilisierung der Hand auf die Durchblutung, |
| Stauung durch die Fingermanschette, |
| Fingertemperatur (habituell, klimabedingt, manschettenbedingt), |
| Druckgradient zwischen A. brachialis und Finger, |
| Transmission und Verzerrung der Pulswelle zur Peripherie, |
| Seitenunterschiede rechts /links |
| Plazierung und Fixierung der Manschette |
| Finger-Switching |
| Höhendifferenz zum Herzen |
| Kalibrierung der Meßsysteme |
| Synchronisierung der Messungen |

Diese Methodenprobleme sollen hier nicht weiter diskutiert werden (siehe Imholz et al., 1995, 1998; Langewouters, Settels, Roelandt & Wesseling, 1998; sowie Fahrenberg, 1997).

Vergleich mit anderen nicht-invasiven Meßmethoden

Die Reliabilität der Messung des Finger-Blutdrucks wurde bisher als Genauigkeit im Vergleich zur arteriellen Messung evaluiert. Es gibt andere methodische Aspekte (siehe Tabelle 1.2), welche direkt untersuchbar sind. Im Hinblick auf das ambulante Blutdruck-Monitoring stellt sich außerdem die wichtige Frage, inwieweit die Meßwerte des Portapres2-Systems mit anderen nicht-invasiven Methoden übereinstimmen.

In einem Arbeitsbericht wurden die eigenen Erfahrungen mit kontinuierlicher Blutdruckmessung am Finger (Portapres2) im Vergleich zu oszillometrischer (SpaceLabs 90207) und auskultatorischer Technik (Boucke Tensiomat FIB 4/6 Zweikanal-Registrierung) zusammengefaßt (Fahrenberg, 1997).

"Die kontinuierlich mit dem Portapres 2 am Finger gemessenen Blutdruckwerte weichen deutlich von den auskultatorisch (Boucke Tensiomat FIB 4/6) oder oszillometrisch (SpaceLabs 90207) an der A. brachialis bestimmten Werten ab. Die Abweichungen sind nicht konstant, d.h. sie variieren auch intraindividuell und sie liegen in einer Größenordnung (z.T. über 10 oder auch über 20 mm Hg), die jenseits der Fehlerquellen solcher Vergleichsstudien praktisch relevant sind. Andererseits gibt es immer wieder Registrierungen mit bemerkenswert hoher Übereinstimmung.

Die Untersuchungsserie ergab keine deutlichen Hinweise, daß das Wechseln der Finger (Switching), die zeitweise Entlastung eines Fingers von der Manschette, Unterschiede der Fingertemperatur (im hier untersuchten Bereich), oder andere der diskutierten Einflüsse die entscheidenden Ursachen der beobachteten Diskrepanzen sind. Die Feststellungen beziehen sich aufgrund dieser Methodenstudien nur auf Registrierungen von bis zu zwei Stunden, nicht jedoch auf 24-Stunden-Aufzeichnungen." (Fahrenberg, 1997, S. 3).

Der mit dem Portapres 2 gemessene Druck sollte explizit als Fingerblutdruck bezeichnet werden. Für bestimmte Fragestellungen sind orientierende Messungen mit oszillometrischer oder mit auskultatorischer Technik, zweckmäßig.

Auch die Untersuchungsergebnisse von Scheuch et al. (1998) zeigen, daß Meßwerte des Finger-Blutdrucks und oszillometrische Meßwerte des Brachialis-Blutdrucks empirisch als zwei imperfekt korrelierte Indikatoren des arteriellen Blutdrucks anzusehen sind. In der Praxis kann es von Fall zu Fall eine hochgradige Übereinstimmung der Messungen, aber auch sehr deutliche Abweichungen geben. Diese Abweichungen können in einer Größenordnung liegen, die nicht nur in der Forschung, sondern auch klinisch relevant sind.

Schlußfolgerungen

Angeichts der inkonsistenten Ergebnisse und Methodenprobleme können verschiedene allgemeine Schlußfolgerungen gezogen werden:

(1) In vielen Untersuchungen kommt es primär auf intraindividuelle Veränderungen an, so daß ein "tracking" dieser Veränderungen ausreicht. Dieses Argument setzt jedoch voraus, daß der Fehler, d.h. die Abweichung von der Referenzmethode, konstant bleibt. Die Ergebnisse mehrerer Untersuchungen sprechen jedoch dafür, daß es sich nicht um einen konstanten Fehler (offset error) handelt.

(2) Es könnte versucht werden, die Portapres-Meßmethodik durch Signalanpassung, Filterung u. a. Verfahren so zu verbessern, daß der konventionell verwendete Brachialis-Blutdruck optimal geschätzt wird. Diesem Zweck dient die Entwicklung des FinOmeter (TNO Institute of Applied Physics, Amsterdam).

(3) Da es gegenwärtig keine andere geeignete Methode zur kontinuierlichen nicht-invasiven Messung der Blutdruckdynamik gibt, wird diese Methodik unter den notwendigen Vorbehalten verwendet. Die hohe zeitliche Auflösung und die Möglichkeit, unter Alltagsbedingungen zu messen, sind wichtige Vorzüge. Deshalb sind weiterführende Methodenstudien zur Evaluation und Optimierung der Anwendung notwendig.

Eine allgemeine Schlußfolgerung ist bei diesem Stand der Methodenevaluation wichtig:

Es sollte grundsätzlich von Finger-Blutdruck gesprochen werden, um Mißverständnisse zu vermeiden.

Effekte der Körperposition und Bewegungsaktivität

Die Körperposition und die körperliche Bewegungsaktivität haben einen großen Einfluß auf den Blutdruck. Deswegen sind bei der Evaluation von 24-Stunden-Blutdruck-Protokollen Informationen über solche Einflüsse wichtig. Diese Informationen fehlen jedoch in der Regel.

So wird in der Literatur zwischen Patienten mit nächtlicher Absenkung oder ohne nächtliche Absenkung des Blutdrucks ("dipper" und "non-dipper") unterschieden (siehe Pickering, 1991). Diese Effekte können jedoch auch durch die jeweilige Körperlage im Bett verursacht sein, wenn sich die relative Höhe der Manschette zur Herz-Ebene ändert (hydrostatischer Effekt).

Schwan und Pavcek (1989) beobachteten bei 20 Männern zwischen den wiederholten Blutdruckmessungen im Abstand von 20 Minuten während der Nacht eine mittlere Differenz des systolischen Blutdrucks von 7 ± 5.7 (Range 0 — 23) und des diastolischen Blutdrucks von 6 ± 5.0 (Range 0 — 20) mm Hg. Eine zweite Untersuchung dieser Autoren zeigte, daß die systematische Variation der Körperlage zu deutlichen Unterschieden des Blutdrucks führen kann (Tabelle 1.3).

Tabelle 1.3: Blutdruckunterschiede bei verschiedenen Körperlagen im Bett (Schwan & Pavcek, 1989, p. S63)

| Vergleich zwischen | Systolisch | Diastolisch |
|-------------------------------|--------------|--------------|
| Flach liegend – rechte Seite | 15 ± 5.1 | 12 ± 5.5 |
| Gewicht unten – rechte Seite | 10 ± 6.6 | 9 ± 5.4 |
| Linke Seite – rechte Seite | 10 ± 6.2 | 13 ± 6.6 |
| Flach liegend – linke Seite | 5 ± 6.8 | 0 ± 6.8 |
| Flach liegend – Gesicht unten | 5 ± 7.1 | 3 ± 6.0 |
| Linke Seite – Gesicht unten | 1 ± 5.9 | 3 ± 6.8 |
| Generelle Blutdruckdifferenz | 9 ± 6.1 | 9 ± 6.5 |

Anmerkung: Die oszillometrische Messung mit dem SpaceLabs Gerät erfolgte am linken Arm. In jeder Bedingung wurde drei mal gemessen.

Die während des Schlafs eingenommene Körperlage ist folglich ein wichtiger Einflußfaktor auf die Blutdruckmessung. Die geplante Methodenstudie bot die Gelegenheit, diese Effekte hinsichtlich der Finger-Blutdrucks im Vergleich zum Oberarm-Blutdruck zu überprüfen.

Zielsetzungen der Methodenstudien

Die Genauigkeit einer Blutdruck-Messung ist am besten durch zeitgleiche (simultane/parallele) Messung unter Verwendung zweier Geräte zu prüfen. Solche simultanen Messungen sollten in einer Pilotstudie und in einer anschließenden Methodenstudie durchgeführt werden. Hierbei konnte außer dem eigenen Portapres2-Gerät ein zweites Gerät eingesetzt werden. Herrn Dr. Frey (Leiter der Klinischen Forschung, Herz-Zentrum Bad Krozingen) und Herrn Dr. Suciu sei an dieser Stelle noch einmal für diese Unterstützung gedankt.

In der Pilotstudie sollten Erfahrungen mit solchen doppelten Messungen und Hinweise auf die relative Größe der Effekte verschiedener Einflußfaktoren gewonnen werden, um die anschließende Methodenstudie besser planen zu können. Wie ist die Reproduzierbarkeit der Messungen? Welche Rolle spielen die Auswahl der Finger, die Kompression, die Umschaltung zwischen Fingern und die Fingertemperatur? Inwieweit besteht eine Übereinstimmung mit dem shygmomanometrisch am Oberarm gemessenen Blutdruck?

Empirisch können nicht alle dieser Effekte konstant gehalten oder als Kovariate erfaßt werden. Angesichts der Vielzahl von Bedingungen und möglichen Vergleichen mußte eine Auswahl

getroffen werden. In der Methodenstudie im Anschluß an diese Pilotstudie wurde — ohne Switching — nur an den Mittelfingern der rechten und der linken Hand parallel gemessen. Diese Methodenstudie schließt an die früheren Untersuchungen an (Fahrenberg, 1997). Deshalb wurden hier einige Details der Kalibrierung, Registrierung und Auswertung nicht noch einmal dargestellt.

Die Methodenstudie hat mehrere Ziele:

1. Prüfung der Genauigkeit (accuracy und precision) der Messung des Finger-Blutdrucks durch parallele Messungen.
2. Prüfung der Reproduzierbarkeit der Meßwerte über Ruhebedingungen und leichte körperliche Belastung.
3. Vergleich zwischen Messungen des Finger-Blutdrucks und des oszillometrisch am Oberarm gemessenen Blutdrucks.
4. Untersuchung des Effektes von Änderungen der Körperlage (Drehung) im Liegen.

Frau Eleonore Szabo und Herrn Benjamin Scheibehenne ist für die Mithilfe bei den Registrierungen und Herrn Dipl.-Math. Friedrich Foerster für die Unterstützung bei der Datenorganisation aus den verschiedenen Systemen und bei einigen Schritten der Datenanalyse zu danken.

2 Pilotstudie zur Orientierung

2.1 Fragestellungen

Die Pilotstudie hatte mehrere Fragestellungen:

- (1) Reproduzierbarkeit (Kurzzeit-Stabilität)
Gibt es Unterschiede im Verlauf einer kontinuierlichen Messung?
- (2) Effekt der Position.
Gibt es Unterschiede zwischen den Fingern?
- (3) Effekt der Kompression
Gibt es Unterschiede, die auf die anhaltende Kompression der Gefäße (Stauung) zurückzuführen sind?
- (4) Effekt der Umschaltung (Switching)
Gibt es Unterschiede, die auf die Umschaltung (Switching) zwischen den Fingern zurückzuführen sind?
- (5) Fingertemperatur
Gibt es Zusammenhänge zwischen den Veränderungen von Finger-Blutdruck und Fingertemperatur?
- (6) Finger-Blutdruck und Brachialis-Blutdruck
Gibt es Unterschiede zwischen dem Finger-Blutdruck (Portapres2) und dem Brachialis-Blutdruck (Boucke/Tensiomat)?

2.2 Untersuchungsmethodik

Die Untersuchung folgte einem Meßwiederholungs-Plan, in welchem nach den Kalibrierungen vier Phasen der Registrierung, eine längere Pause und erneut drei Phasen der Registrierung vorgesehen sind. Das Gerät A maß kontinuierlich während der gesamten Untersuchung den Blutdruck am Mittelfinger der nicht-dominanten Hand. Das Gerät B wurde zwischen den Phasen vom Ringfinger auf den Zeigefinger (und zurück) umgeschaltet. Dieses Switching mit der automatischen Anpassung des PHYSIOCAL-Algorithmus dauerte in der Regel 4 bis 5 Minuten, so daß erst anschließend relativ stabile Blutdruckwerte erreicht waren. Während der ca. 40 Minuten dauernden Pause waren alle Fingermanschetten bis auf die des Mittelfingers geöffnet, ähnlich waren in der Schlußphase Mittelfinger und Zeigefinger entlastet, um Stauungseffekte erkennen zu können.

Die Tabelle 2.1 veranschaulicht den Untersuchungsablauf. Die statistischen Analysen mit Korrelationen und t-Tests für abhängige Messungen haben angesichts der geringen Anzahl von Versuchspersonen nur eine explorative Funktion.

Kalibrierungen wurden vorgenommen: Portapres2-Pulssignal: intern elektrisch mit Square-Wave-Generator und intern mit dem Präzisionsmanometer. Boucke-Tensiomat: Kalibrierung des Manschettendruck-Signals mit dem Präzisionsmanometer des Portapres2, außerdem durch Vergleichsmessungen mit einem Erkameter-Quecksilber-Manometer.

Da die auskultatorischen Messungen kontralateral zur Messung des Fingerblutdrucks vorgenommen wurden, mußte der Seitenunterschied berücksichtigt werden. Für diesen Zweck wurden zu Untersuchungsbeginn zwei SpaceLabs-Monitore 90207 eingesetzt, da nur ein Boucke-Tensiomat vorhanden ist.

Tabelle 2.1: Protokoll der Untersuchung zur Reliabilität der Finger-Blutdruckmessung mit zwei Portapres2 Geräten

| Phasen der Untersuchung | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Gerät Porta- pres | Seite | Kalib 1 60 s | Kalib 2 60 s | 1 120 s | 2 120 s | 3 120 s | 4 120 s | 5 Pause ca 40 min | 6 120 s | 7 120 s | 8 120 s |
| Ring- finger | B | re | | X | | X | | X | offen | | X | X |
| Mittel- finger | A | li | X | | X | X | X | X | | X | X | offen |
| Zeige- finger | B | li | X | | X | | X | | offen | X | | offen |
| Kleiner Finger | A | re | | X | | | | | offen | | | X |
| Ober- arm | Boucke Tensiomat | re | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | | T6 | T7 | T8 |

Anmerkungen: Zu Beginn wurden Kalibrierungen vorgenommen. Mit dem Gerät A wurde dann am Mittelfinger kontinuierlich in den Phasen 1 bis registriert. Das Gerät B wurde mehrfach zwischen Ringfinger und Zeigefinger umgeschaltet. Nach jedem Switching wurde abgewartet bis beim Physiocal-Algorithmus die Anzeige 70 erschien. Anschließend wurde ein Segment von 120 Sekunden (unmittelbar vor der shygmomanometrischen Messung mit dem Boucke-System mittels Mikrophon) gemittelt. Die Fingermanschetten waren in bestimmten Phasen der Untersuchung geöffnet. — Am Mittelfinger wurde kontinuierlich die Temperatur gemessen.

Die Ausgangssignale des Portapres2-Geräts (Pulssignal SBP, MBP, DBP, HF) und des Boucke-Tensiomat (Korotkow-Geräusche, Manschettendruck-Marken) wurden mit einem Vitaport2-System aufgezeichnet. Außerdem wurde mit YSI 4499E Sensoren die Fingertemperatur am Mittelfinger und am Zeigefinger unter der Blutdruckmanschette registriert. Im Protokoll wurde der mit einem Maßband bestimmte Umfang der Finger und die entsprechende Auswahl der Fingermanschette notiert.

Im Gegensatz zu der vorausgegangenen Methodenstudie (Fahrenberg, 1997) wurde hier auf eine Phase leichter körperlicher Belastung (Ergometer ca 60 Watt) zur Variation des Blutdrucks verzichtet, um multiple Effekte und zusätzliche Artefakte zu vermeiden. Deshalb war die intraindividuelle Varianz relativ gering. Die Probanden saßen während der Registrierung in einem bequemen Stuhl, der Unterarm ruhte auf der Armlehne. Der mittlere Abstand zur Herzhöhe betrug ca. 10 cm.

Probanden

Als freiwillige Probanden nahmen N= 13 gesunde Männer (Studierende der Universität) an der ca zweistündigen Untersuchung mit einem Honorar von 15,- DM/Stunde teil. Die anfänglichen Blutdruckmessungen ließen erkennen, daß diese Probanden normotone oder leicht erhöhte Werte hatten. Die interindividuelle Varianz war also relativ gering.

Die Messungen des Fingerumfangs ergaben:

| | | |
|----------------|------------|--------------------|
| Mittelfinger | 52 - 65 mm | (M = 58, SD = 4.0) |
| Zeigefinger | 51 - 65 mm | (M = 57, SD = 4.2) |
| Ringfinger | 50 - 57 mm | (M = 52, SD = 2.6) |
| Kleiner Finger | 45 - 53 mm | (M = 49, SD = 3.2) |

Aufgrund dieser Messungen wurden die empfohlenen Fingermanschetten verwendet:

| | |
|------------|-----------------------|
| 45 - 55 mm | kleine Manschette S |
| 55 - 65 mm | mittlere Manschette M |

Die Manschetten waren zu Fingern und zu Geräten fest zugeordnet.

Durch die SpaceLabs-Messungen (in der Regel als Mittelwert der 2. und 3. Messung von drei Messungen zu Untersuchungsbeginn) wurden Seitenunterschiede festgestellt:

| | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| systolisch (linker - rechter Arm) | - 3 bis - 15 mm (M = -9 mm Hg), |
| diastolisch (linker - rechter Arm) | + 7 bis - 7 mm (M = -1 mm Hg). |

Diese Seitenunterschiede sind beim Vergleich zwischen dem Finger-Blutdruck und den kontralateralen Messungen mit der auskultatorischen Methode (Boucke Tensiomat) zu berücksichtigen, wobei angenommen wird, daß die oszillometrisch festgestellten Seitenunterschiede auch für die auskultatorischen Messungen gelten. Die am Oberarm gemessenen Werte wurden hinsichtlich des Seitenunterschieds korrigiert.

2.3 Ergebnisse

In der Phase 1 wurden an den Fingern bzw. am Oberarm Meßwerte gewonnen, welche hinsichtlich Größenordnung und Varianz relativ übereinstimmen (Tabelle 2.2). Die systolischen Werte am Oberarm zeigen jedoch über die Phasen 1 bis 8 (entspricht T2 bis T8) eine geringere Varianz.

Tabelle 2.2: Statistiken der Blutdruckwerte

| | Systolisch | | | Diastolisch* | | |
|---|------------|----|---------|--------------|----|--------|
| | M | SD | Range | M | SD | Range |
| Messung in der Phase 1 (bzw. Phase 2 und T2) n = 13 | | | | | | |
| Ringfinger (Phase 2) | 120 | 10 | 101-136 | 70 | 8 | 56-80 |
| Mittelfinger (Phase 1) | 126 | 11 | 102-141 | 71 | 8 | 54-84 |
| Zeigefinger (Phase 1) | 119 | 11 | 102-139 | 68 | 7 | 55-77 |
| Oberarm (T2) | 126 | 11 | 110-148 | 62 | 8 | 52-76 |
| | | | | 82* | 8 | 68-94 |
| Messungen in den Phasen 1 bis 8 n = 91 (max) | | | | | | |
| Ringfinger | 124 | 13 | 98-144 | 74 | 8 | 56-88 |
| Mittelfinger | 131 | 14 | 102-159 | 75 | 9 | 54-94 |
| Zeigefinger | 121 | 13 | 96-145 | 70 | 9 | 52-88 |
| Oberarm | 126 | 9 | 108-148 | 60 | 9 | 41-87 |
| | | | | 81* | 9 | 64-107 |

Anmerkungen: Die Messungen am Oberarm wurden seitenkorrigiert. *Außer dem diastolischen Blutdruckwert der Phase 5 wurde auch der Wert der Phase 4 einbezogen.

Die Abbildung (im Anhang) läßt deutliche Unterschiede in der intraindividuellen Variabilität erkennen – und zwar unterschiedlich für Mittelfinger und Oberarm. Die Messungen am Mittelfinger zeigen außerdem einen Trend, welcher am Oberarm fehlt; dieser Trend könnte die höhere Varianz des Finger-Blutdrucks zumindest teilweise erklären.

Reproduzierbarkeit

Die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 2.3 zeigen, daß die individuellen Unterschiede der systolischen und diastolischen Werte des Finger-Blutdrucks über die Untersuchungsphasen reproduzierbar sind. Die Koeffizienten sanken dabei von ca .90 zwischen benachbarten Phasen auf ca .70 bis .80 zwischen der jeweils ersten zur letzten Untersuchungsphase ab. Die auskultatorischen Messungen des systolischen und in etwa auch des diastolischen (Phase 4) Blutdrucks waren in vergleichbarer Weise reproduzierbar, nicht jedoch die Werte des diastolischen Blutdrucks (Phase 5).

Tabelle 2.3: Reproduzierbarkeit der Blutdruckwerte (Kurzzeit-Stabilitäten) über die acht Untersuchungsphasen (N = 13).

| Untersuchungsphasen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1/2 | 1/3 | 1/4 | 1/6 | 1/7 | 2/3 | 2/4 | 2/6 | 2/7 | 2/8 | 3/4 | 3/6 | 3/7 | 4/6 | 4/7 | 4/8 | 6/7 | 6/8 | 7/8 |
| Ringfinger SBP | | — | — | — | — | — | .78 | — | .82 | .79 | — | — | — | — | .79 | .83 | — | — | .94 |
| DBP | — | — | — | — | — | — | .68 | — | .72 | .49 | — | — | — | — | .80 | .67 | — | — | .91 |
| Mittelfing. SBP | .87 | .80 | .63 | .76 | .73 | .84 | .83 | .82 | .82 | — | .91 | .92 | .87 | .87 | .86 | — | .95 | — | — |
| DBP | .91 | .86 | .75 | .71 | .64 | .89 | .71 | .77 | .71 | — | .89 | .88 | .84 | .79 | .79 | — | .96 | — | — |
| Zeigefing. SBP | — | .75 | — | .81 | — | — | — | — | — | — | — | .80 | — | — | — | — | — | — | — |
| DBP | — | .85 | — | .76 | — | — | — | — | — | — | — | .84 | — | — | — | — | — | — | — |
| Kleiner F. SBP | — | *) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | .35 |
| DBP | — | *) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | .19 |
| Oberarm SBP | .92 | .77 | .81 | .88 | .85 | .86 | .90 | .77 | .86 | .71 | .94 | .80 | .76 | .80 | .82 | .65 | .86 | .92 | .74 |
| DB4 | .83 | .75 | .73 | .62 | .54 | .78 | .74 | .71 | .63 | .66 | .84 | .85 | .64 | .93 | .54 | .92 | .73 | .90 | .52 |
| DBP5 | .57 | .79 | .79 | .39 | .39 | .58 | .48 | .77 | .19 | .75 | .89 | .51 | .41 | .39 | .52 | .59 | .39 | .88 | .44 |

Anmerkung: Es liegen nicht für alle Phasen Messungen vor. Die Korrelationskoeffizienten für Messungen am kleinen Finger beziehen sich auf die Phasen 2 und 8.

Einen weiteren Hinweis auf die Zuverlässigkeit der Messung lieferten die Korrelationen über alle vorliegenden Meßwert-Paare zwischen Fingern: SBP Mittelfinger/Zeigefinger .86 (n = 52), Mittelfinger/Ringfinger .75 (n = 39), Ringfinger/kleiner Finger .76 (n = 26); DBP Mittelfinger/Zeigefinger .76 (n = 52), Mittelfinger/Ringfinger .79 (n = 39), Ringfinger/kleiner Finger .63 (n = 26).

Genauigkeit

Zwischen den Fingern existierten deutliche, über die Phasen noch zunehmende Unterschiede (Tabelle 2.4). Am Mittelfinger wurden systolisch zwischen 5 und 15 mm Hg und diastolisch zwischen 2 und 8 mm Hg höhere Werte gemessen als am Ring- und Zeigefinger. Viele dieser Differenzen sind signifikant. Da jedoch Manschetten und Geräte nicht permutiert waren, kann nicht völlig ausgeschlossen werden, daß die Unterschiede gerätebedingt sind.

Tabelle 2.4: Mittelwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks bei der Kalibrierung und in den Untersuchungsphasen.

| | Ring- finger | t- Test | Mittel- finger | t- Test | Zeige- finger | Kleiner Finger | Oberarm |
|-----------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|---------|
| Kalibrierung 1 | — | | 122 | * | 117 | — | |
| | | | 67 | | 65 | | |
| Kalibrierung 2 | 116 | | — | | — | 119 | 125 |
| | 67 | | | | | 69 | 81 |
| | | | | | | | 62 |
| Phase 1 | — | | 126 | ** | 119 | — | 126 |
| | | | 71 | * | 68 | | 82 |
| | | | | | | | 62 |
| Phase 2 | 120 | ** | 127 | | — | — | 126 |
| | 70 | | 72 | | | | 80 |
| | | | | | | | 61 |
| Phase 3 | — | | 131 | *** | 123 | — | 127 |
| | | | 74 | * | 70 | | 80 |
| | | | | | | | 57 |
| Phase 4 | 125 | * | 130 | | — | — | 128 |
| | 74 | | 74 | | | | 82 |
| | | | | | | | 57 |
| | unter- brochen | | | | unter- brochen | | |
| Phase 6 | — | | 137 | *** | 122 | — | 126 |
| | | | 80 | *** | 72 | | 80 |
| | | | | | | | 61 |
| Phase 7 | 124 | ** | 137 | | — | — | 125 |
| | 76 | ** | 80 | | | | 80 |
| | | | | | | | 60 |
| Phase 8 | 127 | | — | | — | 128 | 126 |
| | 77 | | | | | 77 | 83 |
| | | | | | | | 60 |

Anmerkungen: Bei den auskultatorischen Messungen am Oberarm wurde zwischen diastolischen Werten Phase 4 und Phase 5 unterschieden. Die Ergebnisse der Mittelwert-Vergleiche zwischen den Fingern (t-Tests) sind in die Tabelle eingetragen. Signifikante Veränderungen der Blutdruckwerte eines Fingers wurden festgestellt:

Ringfinger: SBP Phase 2/8 $p = .01$; DBP 2/4 $p = .05$, 2/7 $p = .004$, 2/8 $p = .01$;

Mittelfinger: SBP Phase 1/3 $p = .02$, Phase 1/6 $p = .001$, Phase 1/7 $p = .006$, Phase 4/6 $p = .01$;

DBP 1/3 $p = .01$, 1/6 $p = .001$, 1/7 $p = .006$, 2/3 $p = .05$, 4/6 $p = .006$;

Zeigefinger: DBP 1/3 $p = .05$, 1/6 $p = .05$.

* $p \leq .05$ ** $p \leq .01$ *** $p \leq .001$

Unterschiede zwischen den Fingern und den Untersuchungsphasen

Die Blutdruckmessungen am Mittelfinger, an dem kontinuierlich gemessen wurde, lassen eine differentielle Veränderung relativ zum Ring- und Zeigefinger erkennen (Tabelle 2.4). Der systolische und diastolische Wert stiegen von der Kalibrierung bis zur letzten Messung in Phase 7 an. Die Unterschiede zwischen Phase 1 und 7 betragen +11/+9 mm Hg und sind sehr signifikant

($p = .001$). Der deutlichste Anstieg besteht zwischen Phase 4 und Phase 6, während sich die Werte der anderen Finger vor und nach der Unterbrechung zwischen Phase 4 und 6 nicht signifikant unterscheiden. Die kontinuierliche Messung scheint also über den Meßzeitraum zu einer Zunahme des Finger-Blutdrucks zu führen. Dies gilt auch für den Ring- und Zeigefinger sowie auch den kleinen Finger, aber nicht für den Oberarm. Die auskultatorischen Messungen am Oberarm zeigen eine hohe Konstanz über die Meßreihe, so daß es sich bei den beobachteten Veränderungen des Finger-Blutdrucks wahrscheinlich um lokale Effekte handelt.

Die Finger unterschieden sich in ihrem Umfang, mit Ausnahme von Mittelfinger und Zeigefinger, sehr signifikant ($p < .001$) voneinander. Zwischen dem Umfang des Mittelfingers und dem systolischen bzw. diastolischen Blutdruck in Phase 1 wurde keine signifikante Beziehung beobachtet, dies gilt ebenso für den Oberarm-Umfang und die auskultatorischen Messungen.

Fingertemperatur

Die Messungen der Fingertemperatur ergaben anfänglich einen sehr signifikanten Unterschied von 1.0 bzw. 0.6 Grad zwischen Mittelfinger und Zeigefinger (Tabelle 2.5). Während der Meßphasen glichen sich die Fingertemperaturen bis zur Phase 4 aneinander an, gingen jedoch in Phase 4 und 7 (Manschette des Zeigefingers geöffnet) bzw. Phase 8 (beide Manschetten geöffnet) wieder auseinander. Die kontinuierliche Abnahme der Temperatur am Mittelfinger (von der Kalibrierung bis zur Phase 7 um 3.7 Grad) mit Wiederzunahme in der letzten Phase, d.h. nach Öffnung der Manschette um 0.9 Grad, und der analoge Verlauf am Zeigefinger lassen sich als Effekte der Stauung interpretieren. Die ca. 40 Minuten dauernde Phase 5 führte an beiden Fingern, d.h. auch am nicht gestauten Zeigefinger, zu einer Temperaturabnahme von 1.0 bzw. 1.2 Grad. Der relativ enge Zusammenhang beider Temperaturmeßreihen wird aus der Korrelation aller Meßwertpaare deutlich: .77 ($n = 143$).

Tabelle 2.5: Fingertemperaturen

| | Mittelfinger | | Zeigefinger | | t-Tests |
|----------------|--------------|-----|-------------|-----|---------|
| | M | SD | M | SD | |
| vor der | 34.2 | 1.6 | 33.2 | 1.4 | *** |
| Kalibrierung | 34.3 | 1.6 | 33.7 | 1.5 | *** |
| Phase 1 Anfang | 34.0 | 1.9 | 33.9 | 2.7 | * |
| Ende | 33.0 | 1.9 | 33.2 | 1.9 | ** |
| Phase 2 | 33.4 | 2.0 | 33.4 | 2.2 | |
| Phase 3 | 32.7 | 2.4 | 32.7 | 2.5 | |
| Phase 4 | 32.3 | 2.8 | 31.9 | 3.3 | |
| Phase 6 Anfang | 31.3 | 4.0 | 30.7 | 4.3 | |
| Ende | 31.0 | 4.0 | 30.4 | 4.1 | |
| Phase 7 | 30.5 | 4.1 | 30.1 | 4.4 | |
| Phase 8 | 31.4 | 4.5 | 29.9 | 4.5 | ** |

Anmerkungen: Die Manschette am Mittelfinger war in Phase 8, die Manschette am Zeigefinger in Phase 2, 4, 7 und 8 geöffnet.

Effekt der Umschaltung

Der Trend der Meßwerte war am Mittelfinger deutlicher ausgeprägt (Zunahme von Phase 1 zu Phase 7 um 11/9 mm Hg) als am Ringfinger (4/6 mm Hg) oder Zeigefinger (3/4 mm Hg). Dieser Effekt wurde als Folge der Stauung interpretiert. Hierfür spricht auch die Konstanz der Messungen am Oberarm. Werden die Messungen aus den Kalibrierungsphasen einbezogen, so sind die Trends, hier auch für die beiden Messungen am kleinen Finger, noch deutlicher (siehe Tabelle 2.4).

Da nach der Umschaltung zwischen Fingermanschetten eine Vergleichsmessung erst nach dem Ablauf des PHYSIOCAL möglich ist, kann der Effekt des Switchings nur indirekt beurteilt werden. Das Switching zwischen den Fingern reduziert den Anstieg der Blutdruckwerte, aber verhindert ihn nicht völlig. Die Meßwerte am kleinen Finger, die in der Relation zum Ringfinger recht konstant bleiben, scheinen, da sie ebenfalls ansteigen, für einen generellen Trend, der für alle Finger zutrifft, zu sprechen.

Finger-Blutdruck und Brachialis-Blutdruck

Die beiden Methoden stimmen hinsichtlich Größenordnung und Varianz der Meßwerte in etwa überein. Die Korrelationen zwischen Mittelfinger und Oberarm sind jedoch interindividuell gering und nicht signifikant: systolisch zwischen $r = +.20$ und $r = -.11$, diastolisch Phase 4 zwischen $r = .41$ und $r = .03$, diastolisch Phase 5 zwischen $r = .44$ und $r = .00$ ($N = 13$). Dementsprechend sind auch die Korrelationen Mittelfinger/Oberarm über den gesamten Datensatz ($13 \times 6 = 78$ Meßwertpaare) gering: systolisch $r = .03$, diastolisch (Phase 4) $r = .16$ und diastolisch (Phase 5) $r = .01$ (ähnlich für die anderen Finger).

Diese Diskrepanzen sind, zumindest beim systolischen Blutdruck, nicht auf eine mangelnde Reproduzierbarkeit der interindividuellen Unterschiede rückführbar, denn die Reproduzierbarkeit der Messungen über die Phasen ist in einer Größenordnung von .90 zwischen benachbarten Phasen als befriedigend anzusehen. Die diastolischen Werte der auskultatorischen Messung, insbesondere in Phase 5, sind allerdings weitaus schlechter reproduzierbar (Tabelle 2.2). Für den geringen Zusammenhang beider Meßmethoden scheint zusätzlich noch die differentielle Veränderung verantwortlich zu sein, denn die Meßwerte des Finger-Blutdrucks zeigten einen Trend, der beim Oberarm-Blutdruck fehlt. Dies ist auch aus den typischen Verläufen der Abbildungen 2.2 (im Anhang) zu erkennen.

2. 4 Diskussion

Die inter- und intraindividuelle Variabilität der Blutdruckmessungen war in dieser Pilotstudie nicht groß, aber hinreichend, um einige methodische Aspekte zu evaluieren. Die Messungen an den Fingern und am Oberarm ergaben insgesamt, wenn von der geringeren Varianz der systolischen Werte am Oberarm abgesehen wird, Mittelwerte und Varianzen in ähnlicher Größenordnung. Die Reproduzierbarkeit der Messungen ist für aufeinander folgende Phasen als befriedigend zu bezeichnen – ausgenommen die diastolischen Meßwerte am Oberarm. Über den Untersuchungszeitraum sinken die Koeffizienten ab, was als Hinweis auf differentielle Verläufe zu verstehen ist.

Problematisch ist jedoch die Genauigkeit dieser Messungen, welche aufgrund der Mittelwerte und Korrelationskoeffizienten zunächst nicht hinreichend zu bewerten ist. In dieser orientierenden Pilotstudie war es nicht möglich, die Genauigkeit in der Übereinstimmung beider Geräte zu prüfen, da zunächst verschiedene Bedingungsvariationen vorgenommen wurden. Die Pilotstudie

lieferte aber Hinweise auf mögliche Einflußgrößen bei dieser Versuchsanordnung.

Die Analyse zeigte, daß es zwischen den Fingern deutliche Mittelwertunterschiede gibt. Es kann zwar nicht ausgeschlossen werden, daß Wechselwirkungen zwischen Finger, Manschette und Gerät existieren, doch handelt es sich wahrscheinlich ganz überwiegend um unterschiedliche Trends: eine deutliche Zunahme beim Mittelfinger und eine geringere Zunahme beim Ring- und Zeigefinger.

Die Zunahme der Blutdruckwerte an den Fingern ist wahrscheinlich auf die Kompression zurückzuführen. Diese Schlußfolgerung wird durch die Messung der Fingertemperatur und durch den Vergleich mit den relativ konstanten systolischen Werten des Oberarm-Blutdrucks gestützt. Die Abkühlung durch Kompression und Immobilisierung der Hand scheint alle Finger zu betreffen. Das Switching kann also den Trend über den Untersuchungszeitraum reduzieren, aber nicht völlig verhindern.

Die Untersuchungsergebnisse stimmen mit dem Befund von Ristuccia, Grossman, Watkins und Lown (1997) überein. In dieser Untersuchung wurden ein Trend des Finger-Blutdrucks beobachtet und eine viel größere Abnahme (Recovery) bei Probanden, welche standardisierte Fingerübungen durchführten, um die Effekte lokaler vaskulärer Veränderungen zu reduzieren. Ohne solche Maßnahmen würde es zu einer Verzerrung der Baseline vor einer neuen Untersuchungsphase kommen.

Die problematischen Konsequenzen längerer Kompression (bzw. zu häufiger Messungen) auf die Blutdruckmessung ist im Prinzip – auch für die Messung an der Brachialis mit Oberarmmanschette – bekannt. Deswegen gibt das Portapres2-System die Möglichkeit des automatischen Switching im Abstand von 15, 30 oder 60 Minuten.

Die gegenwärtige Untersuchung läßt aber vermuten, daß der Effekt der Kompression auch durch häufiges Switching nicht zu eliminieren ist. Allerdings war die Hand hier weitgehend, d.h. bis auf kleinere Lockerungsbewegungen in der Untersuchungsphase 5, ruhig gestellt, so daß die Abkühlung begünstigt war.

In dieser Pilotstudie wurden nur geringe Korrelationen zwischen Finger-Blutdruck und dem ebenfalls nicht-invasiv gemessenen Oberarm-Blutdruck gefunden. Dies ist aufgrund anderer Arbeiten nicht unerwartet (siehe Fahrenberg, 1997), doch ist die Abweichung zweier Methoden zur Messung des "Blutdrucks" irritierend. Eine Ursache dieser Diskrepanz ist in den differentiellen Trends des Finger-Blutdrucks zu sehen – abgesehen von anderen Bedingungen (u.a. Druckgradient Brachialis/Finger, Manschettenprobleme, Auswertungsprobleme und die Synchronisation der Messungen). Die Unterschiede bestanden jedoch, wenn auch geringer ausgeprägt, bereits in der ersten Phase. Da die Reproduzierbarkeit beider Messmethoden, zumindest für den systolischen Blutdruck, befriedigend ist, sind physiologische Ursachen dieser Diskrepanzen sowie differentielle Verläufe anzunehmen.

Die Untersuchungsbefunde müssen relativiert werden, weil in dieser Pilotstudie nur eine kleine Anzahl von normotonen Probanden unter Ruhebedingungen untersucht wurde. Eine größere interindividuelle Varianz und auch eine größere intraindividuelle Varianz sind wünschenswert. Die Provokation von Blutdruckänderungen durch mentale und körperliche Belastungen würde jedoch Nebeneffekte einführen, welche den Meßwiederholungsplan mit Parallelmessungen komplizieren würde.

Die Untersuchungsergebnisse dieser Pilotstudie legen die folgenden Schlußfolgerungen nahe:

1. Messungen des Finger-Blutdrucks mit dem Portapres Gerät sind, wenn die interindividuellen Unterschiede betrachtet werden, in einem Meßwiederholungsplan ausreichend reproduzierbar.
2. Die Genauigkeit dieser Messungen erscheint sehr problematisch. Es ergaben sich Hinweise auf mehrere Bedingungen, welche die Genauigkeit (als Übereinstimmung beider Geräte) beeinträchtigen: die Position bzw. die Selektion des Fingers, die Kompression des Fingers, die Umschaltung von Finger zu Finger und die Fingertemperatur.
3. Die Effekte der Kompression bzw. Vasokonstriktion (Abkühlung) könnten durch automatisches Switching im Abstand von 30 (oder 15) Minuten reduziert, aber nicht eliminiert werden. Dabei entstehen Datenlücken von jeweils ca. 5 Minuten, die eine kontinuierliche Registrierung u. U. erheblich beeinträchtigen würden.
4. Die Meßwerte des Finger-Blutdrucks können erheblich von den Vergleichsmessungen mit der sphygmomanometrischen oder oszillometrischen Technik abweichen. Diese Diskrepanzen sind wahrscheinlich nicht allein auf die speziellen Probleme solcher Vergleichsmessungen (u. a. zeitliche Auflösung, Synchronisierung) zurückzuführen. Deswegen ist zu überlegen, ob in der Praxis regelmäßige Kontrollmessungen am Oberarm zweckmäßig sind, wenn ein Bezug zum Brachialis-Blutdruck hergestellt werden soll.

In der anschließenden Methodenstudie soll vor allem der Aspekt der Genauigkeit untersucht werden. Dabei wird auf einen Wechsel der Finger verzichtet und die Registrierung jeweils nur am Mittelfinger der linken und der rechten Hand durchgeführt ohne die Manschette zeitweilig zu öffnen und ohne Manöver zur Förderung der Durchblutung.

3 Methodenstudie

3.1 Fragestellungen

Die wichtigste der einleitend genannten Fragestellungen ist der Vergleich der mit den zwei Portapres-Geräten gemessenen Blutdruckwerte. Die simultan an den Mittelfingern der linken und der rechten Hand gemessenen Werte sind nicht nur korrelativ, sondern auch durch Genauigkeitsdiagramme nach Bland und Altman (1986) zu evaluieren. Zu Vergleichszwecken werden auch die gemessenen Herzfrequenzen entsprechend ausgewertet. Um die intraindividuelle Varianz zu erhöhen, sollen die Messungen unter Ruhebedingungen und anschließend bei körperlicher Belastung am Ergometer durchgeführt werden.

Der Finger-Blutdruck soll mit zeitlich zugeordneten Messungen des Brachialis-Blutdrucks mit oszillometrischer Methode, jeweils am Ende einer Untersuchungsphase, verglichen werden. Die oszillometrische Methode wird außerdem verwendet, um eventuelle Seitenunterschiede des Blutdrucks berücksichtigen zu können. Der Vergleich von Portapres2 und SpaceLabs-Messungen hat einen praktischen Aspekt. Ist es empfehlenswert, beim Monitoring gelegentlich begleitende Messungen mit einem oszillometrischen System vorzunehmen, um Referenzwerte zu erhalten?

Die geplante Untersuchung bot die Gelegenheit, die Effekte einer Änderung der Körperlage auf die Meßwerte des Finger-Blutdrucks im Vergleich zum Oberarm-Blutdruck zu erfassen und die Ergebnisse von Schwan und Pavsek (1989) zu replizieren.

Durch Messung der Fingertemperatur soll der Versuch fortgesetzt werden, Beziehungen zwischen den Meßwerten der Finger-Blutdrucks (bzw. deren Abweichungen von Brachialis-Werten) und der Fingertemperatur zu erfassen. Die kontinuierlichen Temperaturmessungen werden unter der Fingermanschette des Mittelfingers und zur Kontrolle auch am Ringfinger jeder Hand vorgenommen.

Die Untersuchungsergebnisse aufgrund dieser Simultanmessungen mit zwei Geräten könnten dazu beitragen, die Genauigkeit der Messung des Finger-Blutdrucks noch auf eine andere Weise als nur durch den Vergleich mit intra-arteriellen Messungen zu prüfen. Die zu erwartenden Diskrepanzen zwischen dem Finger-Blutdruck und dem oszillometrisch bestimmten Oberarm-Blutdruck werden zu der Frage nach den praktischen Konsequenzen für das ambulante Monitoring unter Alltagsbedingungen führen.

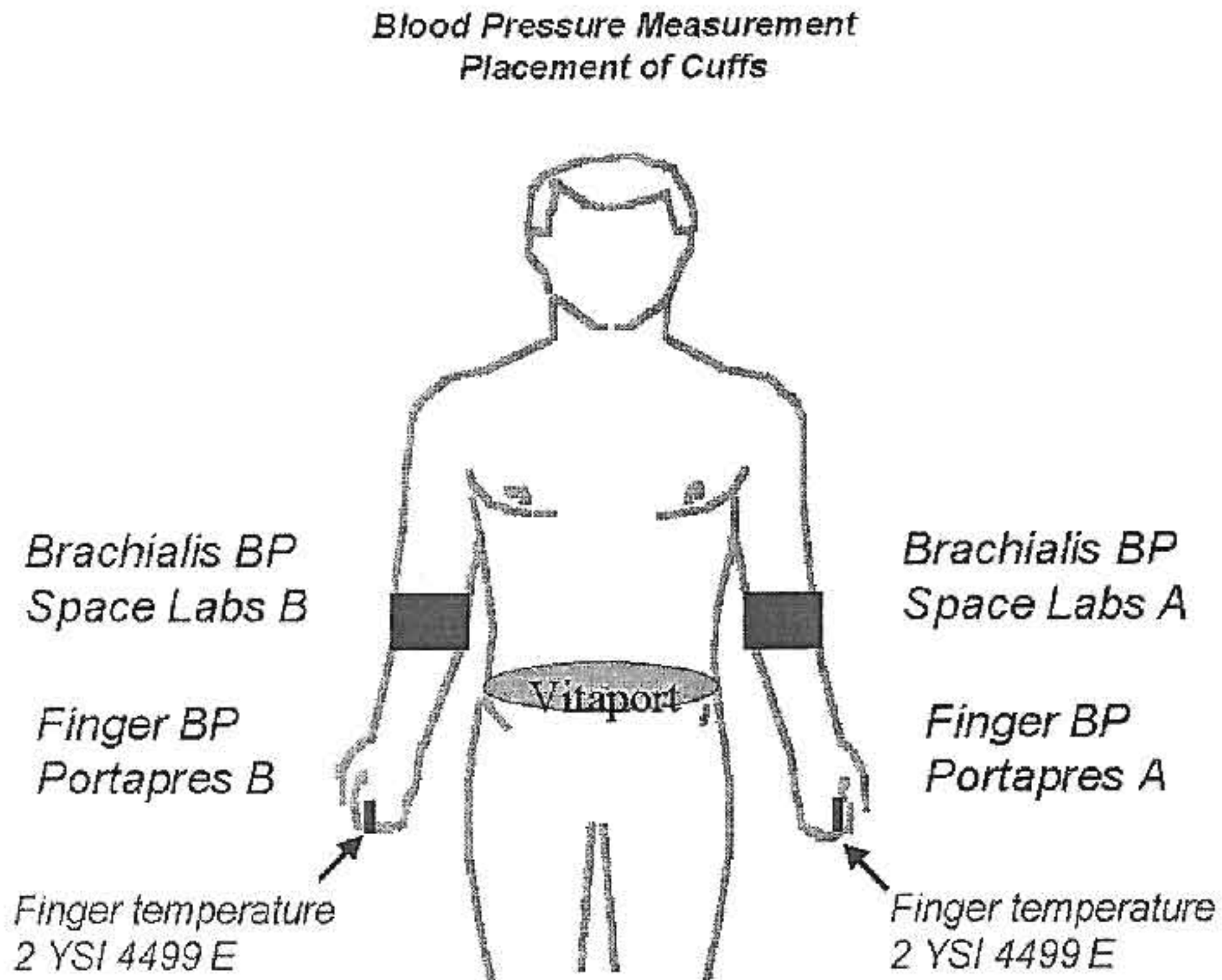
3.2 Untersuchungsmethodik

An der Untersuchung nahmen 31 normotone Männer im Alter von 21 bis 42 Jahren ($M = 27$) teil. Es handelte sich um Studierende verschiedener Fakultäten, die ein Teilnahmehonorar bekamen. Sie wurden informiert, daß Blutdruckmessungen am Finger und Oberarm unter verschiedenen Bedingungen vorgenommen würden, und stimmten der Untersuchung zu.

Die Messungen fanden im Liegen auf der Ergometerliege statt. Am linken und rechten Oberarm wurden die Manschetten der beiden oszillometrischen Geräte SpaceLabs Mod. 90207 (SpaceLabs™, Inc. Redmond, Washington, USA) verwendet. Am Mittelfinger der linken und der rechten Hand wurden die Manschetten der beiden Portapres™ Model 2.0 (TNO Biomedical Instrumentation, Amsterdam, Holland) Geräte angelegt, aber zunächst noch nicht angeschlossen. Zuvor waren auf die Innenseite der zweiten Phalangen der linken und der rechten Mittel- und

Ringfinger Temperaturfühler YSI 4499E (Yellowstone Springs Instruments Co., Inc.; Yellow Springs, USA) geklebt worden, so daß später eine Messung der Fingertemperatur unter Manschette, ohne das Fotoplethysmogramm zu stören, möglich war (Abbildung 3.1 zeigt die Anordnung der Geräte).

Abbildung 3.1 Anordnung der Geräte zur Blutdruck-Messung, der Manschetten und der Temperatursonden



Kalibrierungen der Blutdruck-Geräte wurden wie in den vorausgegangenen Untersuchungen vorgenommen (Fahrenberg et al., 1997). Die beiden Portapres-Geräte sind intern mit einem Präzisionsmanometer ausgestattet und einem Square-Wave-Generator, deren Signale im Vitagraph kontrolliert und dokumentiert wurden. Sowohl die Portapres als auch die SpaceLabs-Geräte wurden außerdem noch mit einem Quecksilbermanometer verglichen. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Abweichungen die Größenordnung von 2 mm Hg nicht übersteigen.

Der Umfang beider Oberarme und beider Mittelfinger wurde mit einem Bandmaß gemessen, um ggf. spezielle Blutdruckmanschetten auszuwählen. Es konnten jedoch bei allen Untersuchungsteilnehmern die normalen Manschetten benutzt werden. Beim Portapres links Nr. 921215, rechts Nr. 921210 (beide R fix).

Für die YSI 4499E Hautoberflächen-Sonden wird vom Hersteller eine Zeitkonstante von 1.1 s (bis zum Erreichen von 63 % des Betrags einer Temperaturänderung) angegeben. Das Signal wurde mit einem SPIL on-line-Programm (Brügner & Müller) für Vitaport 2 angepaßt und kalibriert.

Beim Vergleich der vier verwendeten Sensoren in einem Wasserbad; dessen Temperatur zwischen 21.5 und 35.0 Grad variiert und mit einem Quecksilber-Präzisions-Laborthermometer kontrolliert wurde, ergaben sich für die Meßwertänderungen relativ gute Übereinstimmungen. Zwischen den Sensoren existieren jedoch deutliche Unterschiede. Der Hersteller nennt eine Größenordnung von ± 0.3 Grad.

Tabelle 3.1: Vergleich der 4 YSI-Sensoren

| | Nr. | Baseline | (1) Wasser 21.5 Grad | (2) Wasser 35.5 Grad | (3) Wasser 22.0 Grad | (4) Wasser 35.0 Grad | Differenz (1) zu (4) |
|-------------------------------|-----|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Linke Hand | | | | | | | |
| Mittel- finger | 1 | 23.4 | 21.0 | 35.9 | 21.3 | 35.6 | 14.6 |
| Ring- finger | 2 | 23.4 | 20.9 | 35.6 | 21.1 | 35.6 | 14.7 |
| Rechte Hand | | | | | | | |
| Ring- finger | 3 | 23.2 | 20.8 | 35.8 | 20.9 | 35.4 | 14.6 |
| Mittel- finger | 4 | 23.5 | 21.0 | 36.2 | 21.2 | 36.0 | 15.0 |
| Differenz der Sensoren | | | | | | | |
| Max. Diff. | | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 0.4 | 0.6 | — |

Anmerkung: Messung (9.8.1999) im Wasserbad (Ablesung Quecksilber-Labor-Thermometer)

Die Untersuchung begann mit der Aufzeichnung der Fingertemperatur der Mittelfinger unter der geöffneten Manschette bzw. an den beiden Ringfingern.

Durch zwei simultan ausgelöste Blutdruckmessungen am Oberarm im Abstand von zwei Minuten wurden mögliche Seitenunterschiede festgestellt. Falls die Meßwerte der beiden SpaceLabs-Geräte systolisch oder diastolisch um mehr als 5 mm Hg voneinander abwichen, wurde eine dritte Messung vorgenommen. Der Seitenunterschied wurde als Differenz der Mittelwerte am linken und rechten Arm bestimmt. Es ergaben sich nur minimale Unterschiede, systolisch links +0.6 mm Hg (+12 bis -5), und diastolisch links +1.3 mm Hg (+6 bis -3), die bei der weiteren Auswertung vernachlässigt werden konnten.

Anschließend wurden die Fingermanschetten an den Mittelfingern geschlossen und die Messung des Finger-Blutdrucks begonnen. Es wurde sorgfältig auf die optimale Position und den relativ festen Sitz der Manschetten geachtet und bei zweifelhaften Meßwerten eine Adjustierung der Manschetten vorgenommen. Die Messung erfolgte ohne Switching, und mit aktivem Physiocall-Algorithmus. Die Anpassung des Systems wurde als erfolgreich angesehen, wenn Physiocall den Wert 70 erreichte. Dies war, von einigen Ausnahmen abgesehen — u. a. wegen kalter Finger und wegen einiger Artefakte — in der Regel nach 4 bis 5 Minuten der Fall.

Jedem zweiten Untersuchungsteilnehmer wurde anschließend über die linke Hand ein gefütterter Handschuh ("Grill-Handschuh") gezogen, um die Temperaturbedingungen an den Fingern zu

variieren: n = 16 mit Handschuh, n = 15 ohne Handschuh.

Das Höhenkorrektur-System wurde verwendet, wobei jeweils zu Beginn ein Abgleich erfolgte. Der erste Sensor wurde lateral auf der mittleren Axillarlinie beim gedachten Schnittpunkt mit der horizontalen Mamillarlinie befestigt; der zweite Sensor wurde auf der Oberseite der Fingermanschette fixiert.

Die Registrierung umfaßte die folgenden Untersuchungsphasen (siehe Tabelle 3.2):

| | | |
|----------------------|--------------------------------|--------|
| 1. Ruhe | Rückenlage | 20 min |
| 1. Ergometer 80 Watt | - " - | 5 min |
| 2. Erholung | - " - | 5 min |
| 3. Liegen | linke Seite | 3 min |
| 4. Liegen | rechte Seite | 3 min |
| 5. Liegen | rechte Seite, Hände aufliegend | 3 min |

Am Ende jeder der 6 Phasen wurde simultan an beiden Armen eine SpaceLabs-Messung vorgenommen.

Tabelle 3.2: Untersuchungsphasen und Messungen

| Untersuchungsphasen | | | | | | | |
|--|-------------|--------|------------|-----------|--------------|---------------|-------------------|
| | | Ruhe | Ergo-Meter | Erhol-ung | Liegen links | Liegen rechts | Liegen Hand unten |
| | | 20 min | 5 min | 5 min | 3 min | 3 min | 3 min |
| Kontinuierliche Messungen | | | | | | | |
| Mittelfinger links | Portapres A | | | | | | |
| Mittelfinger rechts | Portapres B | | | | | | |
| Fingertemperatur (2 Mittel- und Ringfinger) | YSI 4499E | | | | | | |
| Einzelne Messungen (am Ende jeder Phase) | | | | | | | |
| Oberarm links (Brachialis) | SpaceLabs A | X | X | X | X | X | X |
| Oberarm rechts (Brachialis) | SpaceLabs B | X | X | X | X | X | X |

Es wurde bei der Seitenlage dafür gesorgt, daß die Oberarm-Manschetten und Schlauchzuleitungen nicht abgequetscht wurden. Die Hände lagen während der Phasen 1 bis 3 flach auf der Liege auf, wobei speziell während der Ergometerbelastung auf die Vermeidung von Bewegungsartefakten geachtet wurde. In der Phase 4 lag die rechte Hand flach auf dem Oberschenkel, entsprechend in Phase 5 die linke Hand, während sich die jeweils andere Hand auf der Liege befand. In Phase 6 lag auch die linke Hand auf der Liege, um eine bequemere "Schlafhaltung" zu ermöglichen. Auf eine Registrierung in Bauchlage wurde wegen der störenden Geräte verzichtet. Die Untersuchung dauerte insgesamt durchschnittlich 90 Minuten.

Die kontinuierliche Blutdruckregistrierung wurde (1) im Portapres-Gerät gespeichert und (2) über die Analogausgänge als AC-Signale auf einem 16-Kanal-Vitaport2 System (Vitaport GmbH, Erftstadt) aufgezeichnet. Dafür wurden die folgenden Signale ausgewählt (jeweils von System A und B): Pulssignal PULS, systolischer Blutdruck SYST, mittlerer Blutdruck MEAN, diastolischer Blutdruck DIAS, Herzfrequenz HR, Höhendifferenz der Sensoren HEIG. Die Kanalbelegung und die Vitaport2-Definitionsdatei sind im Anhang dokumentiert.

Die kontinuierliche Aufzeichnung der Fingertemperaturen wurde ausgewertet, indem (1) über die 6 Untersuchungsphasen gemittelt wurde und (2) im Vitagraph zu bestimmten Zeitpunkten Einzelwerte mit dem Cursor gemessen wurden. Diese Meßpunkte lagen vor Beginn der Untersuchung (bei noch geöffneten Fingermanschetten), zu Beginn und zu Ende der Ruhephase, am Ende der Erholungsphase und am Ende der Untersuchung (jeweils kurz bevor die SpaceLabs-Messung stattfand). Da mit Trends innerhalb der Phasen und über den gesamten Zeitraum zu rechnen war, sollten die Einzelmessungen zur Beschreibung dieses Trends beitragen.

Im Vitagraph wurde mit den Statistikfunktionen eine erste Auswertung durch Berechnung von Mittelwerten, SD u.a. Statistiken für jede der sechs Haupt-Phasen vorgenommen. Wegen fehlerhafter Aufzeichnungen fehlen die Temperaturdaten von drei Personen, von zwei weiteren fehlen die Daten des 4. Sensors TRR.

Tabelle 3.3 dokumentiert die 49 Variablen der Untersuchung und die Statistiken über alle Untersuchungsabschnitte (31 Personen x 8 Abschnitte = 248), wobei hier in den Phasen 1 und 2 nur die beiden SpaceLabs-Messungen zur Prüfung der Seitenunterschiede sowie die Fingertemperaturen enthalten sind. Die Phasen 3 bis 5 sind die hauptsächlichen Phasen zur Evaluation der Blutdruckmessungen. An den Portapres-Registrierungen wurden weitere Segmentierungen mit einem zeitlichen Raster von 10 Sekunden und von 30 Sekunden vorgenommen.

Für die weitere statistische Auswertung wurden Programme aus dem SAS und dem SPSS verwendet sowie spezielle Programme zur Datenorganisation (Foerster).

Tabelle 3.3: Variablen der Untersuchung und Grundstatistiken über alle Untersuchungsphasen

| Variable | Label | N | Mean | SD | Minimum | Maximum |
|----------|---|-----|-------------|------------|------------|-------------|
| VP_NR | Vp-Nummer | 248 | 17.1290323 | 9.4949104 | 1.0000000 | 33.0000000 |
| HAND | Handschuh: 1=nein, 2=ja | 248 | 1.5161290 | 0.5007504 | 1.0000000 | 2.0000000 |
| N_SEGM | Segmente: 1-8 | 248 | 4.5000000 | 2.2959214 | 1.0000000 | 8.0000000 |
| TML | Temperatur Mittelf., links | 144 | 32.9063194 | 2.4705062 | 22.9800000 | 36.1500000 |
| TRL | Temperatur Ringf., links | 144 | 33.5495139 | 2.5500735 | 21.7900000 | 35.8300000 |
| TMR | Temperatur Mittelf., rechts | 144 | 33.0100694 | 2.4627796 | 22.9800000 | 35.4600000 |
| TRR | Temperatur Ringf., rechts | 134 | 32.8520896 | 1.9368663 | 26.2400000 | 35.5000000 |
| APULS_M | Puls, MW, links | 186 | 73.2536183 | 12.2443795 | 42.0480000 | 108.7000000 |
| APULS_S | Puls, SD, links | 186 | 15.4327688 | 3.2976247 | 10.2420000 | 30.5070000 |
| ASYST_M | Syst.Blutdr., MW, links | 186 | 113.1488495 | 18.9310764 | 76.4270000 | 172.0000000 |
| ASYST_S | Syst.Blutdr., SD, links | 186 | 7.2762742 | 2.5982223 | 1.8220000 | 15.2000000 |
| ADIAS_M | Diast.Blutdr., MW, links | 186 | 57.3773226 | 11.0781042 | 29.2710000 | 89.1410000 |
| ADIAS_S | Diast.Blutdr., SD, links | 186 | 3.7498602 | 1.2898983 | 0.8220000 | 11.8240000 |
| AMEAN_M | Mittl.Blutdr., MW, links | 186 | 73.2140323 | 12.3321613 | 42.1110000 | 108.9000000 |
| AMEAN_S | Mittl.Blutdr., SD, links | 186 | 4.1374355 | 1.4199542 | 0.2490000 | 12.4960000 |
| AHR__M | Herzfrequenz, MW, links | 186 | 69.7293387 | 14.8596872 | 43.8230000 | 112.5000000 |
| AHR__S | Herzfrequenz, SD, links | 186 | 5.2877097 | 2.6343959 | 1.1870000 | 19.2460000 |
| AHEIG_M | Sensor-Hoche, MW, links | 186 | 93.4862312 | 6.8474433 | 71.5510000 | 104.3000000 |
| AHEIG_S | Sensor-Hoche, SD, links | 186 | 0.5075484 | 0.8357138 | 0 | 7.5900000 |
| BPULS_M | Puls, MW, rechts | 186 | 75.0813495 | 12.1443226 | 43.8430000 | 107.3000000 |
| BPULS_S | Puls, SD, rechts | 186 | 15.9726290 | 3.7575042 | 6.5820000 | 32.4000000 |
| BSYST_M | Syst.Blutdr., MW, rechts | 186 | 118.4315484 | 19.5488906 | 73.7020000 | 188.9000000 |
| BSYST_S | Syst.Blutdr., SD, rechts | 186 | 7.4613925 | 2.7329580 | 0.9000000 | 18.8000000 |
| BDIAS_M | Diast.Blutdr., MW, rechts | 186 | 58.2684892 | 11.2754242 | 25.8020000 | 88.8260000 |
| BDIAS_S | Diast.Blutdr., SD, rechts | 186 | 3.5395430 | 1.0545150 | 0.5130000 | 7.2360000 |
| BMEAN_M | Mittl.Blutdr., MW, rechts | 186 | 74.5352527 | 12.1570294 | 42.8320000 | 107.8000000 |
| BMEAN_S | Mittl.Blutdr., SD, rechts | 186 | 3.9375538 | 1.2574988 | 0.1430000 | 8.4910000 |
| BER__M | Herzfrequenz, MW, rechts | 186 | 69.6509839 | 15.7527472 | 43.3290000 | 135.0000000 |
| BER__S | Herzfrequenz, SD, rechts | 186 | 5.3057312 | 3.5751169 | 1.1050000 | 36.6000000 |
| TMP1V_M | Temperatur, 1V, MW | 168 | 33.0597321 | 2.1269377 | 23.0870000 | 36.1570000 |
| TMP1V_S | Temperatur, 1V, SD | 168 | 0.0979940 | 0.1175783 | 0.0100000 | 0.7130000 |
| TMP2V_M | Temperatur, 2V, MW | 168 | 33.9418690 | 1.6663406 | 23.4530000 | 35.8190000 |
| TMP2V_S | Temperatur, 2V, SD | 168 | 0.1867024 | 0.1612027 | 0.0050000 | 0.7910000 |
| TMP3V_M | Temperatur, 3V, MW | 168 | 33.0345952 | 1.9126918 | 23.1090000 | 35.4390000 |
| TMP3V_S | Temperatur, 3V, SD | 168 | 0.2399821 | 0.1612900 | 0.0020000 | 1.0180000 |
| TMP4V_M | Temperatur, 4V, MW | 161 | 32.5754224 | 1.9448523 | 26.2920000 | 35.2070000 |
| TMP4V_S | Temperatur, 4V, SD | 161 | 0.1361615 | 0.1039627 | 0.0250000 | 0.6520000 |
| BHEIG_M | Sensor-Hoche, MW, rechts | 174 | 96.4010000 | 2.9648390 | 89.0050000 | 103.9000000 |
| BHEIG_S | Sensor-Hoche, SD, rechts | 174 | 0.3844598 | 0.5351157 | 0.0940000 | 3.2880000 |
| ASYST__ | Systol.Blutdr., Spacelabs, links | 246 | 118.7845528 | 12.4856785 | 87.0000000 | 144.0000000 |
| AMEAN__ | Mittl.Blutdr., Spacelabs, links | 246 | 83.9837398 | 9.4562224 | 59.0000000 | 105.0000000 |
| ADIAS__ | Diastol.Blutdr., Spacelabs, links | 246 | 67.4715447 | 9.3623869 | 41.0000000 | 90.0000000 |
| AHR____ | Herzfrequenz, Spacelabs, links | 246 | 65.3120081 | 11.9967510 | 40.0000000 | 102.0000000 |
| STUNDE_ | Uhrzeit Spacelabs-Messung, Stunde, rechts | 247 | 13.5991903 | 2.5908845 | 9.0000000 | 18.0000000 |
| MINUTE_ | Uhrzeit Spacelabs-Messung, Minute, rechts | 247 | 25.7489879 | 17.2403428 | 0 | 59.0000000 |
| BSYST__ | Systol.Blutdr., Spacelabs, rechts | 247 | 120.1740891 | 11.1802516 | 90.0000000 | 152.0000000 |
| BMEAN__ | Mittl.Blutdr., Spacelabs, rechts | 247 | 85.6801619 | 8.6812884 | 60.0000000 | 108.0000000 |
| BDIAS__ | Diastol.Blutdr., Spacelabs, rechts | 247 | 68.5789474 | 8.9010392 | 45.0000000 | 89.0000000 |
| BHR____ | Herzfrequenz, Spacelabs, rechts | 247 | 65.3603239 | 12.0562589 | 41.0000000 | 103.0000000 |

Anmerkung: Phase 1 und 2 enthalten nur Messungen der Fingertemperatur und des Oberarm-Blutdrucks; Phase 3 (Ruhe), Phase 4 (Ergometerarbeit) und Phase 5 (Erholung) sind die hauptsächlichen Untersuchungsphasen zur Evaluation des Blutdrucks, die Phasen 6 bis 8 dienen der Untersuchung des Lagewechsels.

3.3 Ergebnisse

Die Daten dieser Untersuchung erlauben Aussagen über die Genauigkeit der Blutdruckmessung am Finger und am Oberarm (Brachialis), indem die Messungen auf der linken und rechten Seite verglichen werden. Aus den Meßwiederholungen ist die Reproduzierbarkeit zu erkennen. Darüber hinaus kann die Übereinstimmung zwischen der Messung des Finger-Blutdrucks und des Brachialis-Blutdrucks analysiert werden. Zum Vergleich werden jeweils auch die Ergebnisse hinsichtlich der Herzfrequenz mitgeteilt. Da hier eine nahezu perfekte Übereinstimmung zu erwarten ist, die nur durch ungenaue Synchronisierung oder unterschiedliche Meßintervalle beeinträchtigt sein könnten, dienen diese Herzfrequenz-Ergebnisse als Vergleichsmaßstab der Genauigkeit sowie auch zur Kontrolle der statistischen Auswertungsschritte.

Die Ergebnisse beruhen auf den drei hauptsächlichen Untersuchungsphasen, für die durch die Abfolge von Ruhe, Ergometerarbeit und Erholung eine intraindividuelle Varianz induziert wurde. Die statistische Auswertung wurde hier ohne Rücksicht auf die Bedingungsvariation "Handschuh" vorgenommen, da die Fingertemperaturen auf diese Weise nur geringfügig beeinflusst wurden (siehe unten).

Mittelwerte und Reproduzierbarkeit der Messungen

Die Mittelwerte der Meßwerte über die 31 Untersuchungsteilnehmer sind für die Untersuchungsphasen 1 bis 6 in der Tabelle 3.4 aufgeführt. Diese Tabelle enthält auch die Korrelationen der Meßwiederholungen von Phase zu Phase sowie von Phase 1 zu 3 und Phase 1 zu 6, d. h. einen zeitlichen Abstand von durchschnittlich ca. 35 Minuten bzw. ca. 50 Minuten (von Phasenbeginn bis Phasenende gerechnet). Die Retest-Koeffizienten zwischen den am besten vergleichbaren Bedingungen, d. h. Ruhe und Erholung nach Ergometerarbeit (r_{13}) liegen fast alle über 0.90 und zeigen an, daß die individuellen Blutdruckunterschiede befriedigend reproduzierbar sind. Auffällig sind hier nur die Meßwerte des SpaceLabs Gerät B (0.73 bis 0.77), die offensichtlich mit der Erholung von der Ergometerarbeit zusammenhängen, denn zwischen Phase 1 und 2 waren diese Messungen besser reproduzierbar (0.80 bis 0.91).

Aus den Mittelwerten der Finger-Blutdruck-Messungen und der Herzfrequenz (Tabelle 3.4) ist zu sehen, daß die Ergometerarbeit eine Zunahme von systolisch 25 mm Hg und diastolisch 8 mm Hg und eine Pulssteigerung von 26 auslöste. Zum Zeitpunkt der SpaceLabs-Messung ist diese Reaktion bereits abgeschwächt (10/5 mm Hg, 5 bpm).

Zum Vergleich sind auch die Korrelationskoeffizienten zwischen Minuten-Mittelwerten innerhalb einer Phase interessant. So wurden z. B. an den segmentierten Portapres Records A zwischen der 1. und der 4. Minute der Phase 3 die folgenden Koeffizienten (Autokorrelation) berechnet: systolischer Blutdruck .95, diastolischer Blutdruck .97 und Herzfrequenz .96.

Die Koeffizienten für die im Abstand von zwei Minuten vorgenommenen Meßwiederholungen mit den SpaceLabs-Geräten anläßlich der Prüfung auf mögliche Seitenunterschiede betrugen .86, .79 und .86 für den systolischen, mittleren und diastolischen Blutdruck sowie .99 für die Herzfrequenz (Tabelle 3.5). Diese Autokorrelationen geben hier die Obergrenze der erreichbaren Koeffizienten der Reproduzierbarkeit an (bei unveränderter Position der Manschetten und Bedingungskonstanz).

Tabelle 3.4: Mittelwerte in den 6 Phasen und Korrelationskoeffizienten zwischen Phasen

| | N | 1 | 2 | r_{12} | 3 | r_{23} | 4 | r_{34} | 5 | r_{45} | 6 | r_{56} | r_{13} | r_{16} |
|----------------------|----|-------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|----------|----------|
| Finger-Blutdruck | | | | | | | | | | | | | | |
| ASYST | 31 | 113.5 | 138.7 | .76 | 114.7 | .68 | 113.0 | .89 | 96.7 | .81 | 102.4 | .77 | .89 | .69 |
| AMEAN | 31 | 73.3 | 84.5 | .87 | 75.4 | .85 | 78.8 | .87 | 62.5 | .84 | 64.8 | .82 | .90 | .80 |
| ADIAS | 31 | 57.4 | 65.7 | .89 | 59.5 | .89 | 63.7 | .87 | 48.3 | .86 | 49.8 | .82 | .91 | .80 |
| AHR | 31 | 65.5 | 92.0 | .76 | 66.6 | .82 | 64.0 | .95 | 65.1 | .97 | 65.3 | .98 | .95 | .95 |
| AHEIG | 31 | 9.6 | 9.5 | .95 | 9.5 | .96 | 9.6 | .49 | 9.8 | .14 | 8.1 | -.14 | .95 | -.07 |
| BSYST | 31 | 116.7 | 144.0 | .77 | 117.1 | .74 | 100.2 | .81 | 116.2 | .78 | 116.4 | .94 | .90 | .81 |
| BMEAN | 31 | 70.5 | 83.0 | .85 | 73.8 | .82 | 61.9 | .77 | 78.8 | .74 | 64.1 | .96 | .93 | .84 |
| BDIAS | 31 | 54.1 | 63.7 | .88 | 57.5 | .84 | 46.7 | .72 | 63.5 | .77 | 79.3 | .96 | .93 | .87 |
| BHR | 31 | 64.9 | 91.6 | .76 | 66.1 | .81 | 63.8 | .94 | 64.4 | .94 | 64.6 | .98 | .95 | .95 |
| BHEIG | 29 | 9.5 | 9.5 | .92 | 9.5 | .98 | 9.9 | .07 | 9.7 | -.07 | 9.7 | .76 | .92 | .08 |
| Brachialis Blutdruck | | | | | | | | | | | | | | |
| ASYST | 31 | 120.5 | 130.9 | .85 | 121.4 | .79 | 119.2 | .70 | 104.4 | .61 | 103.3 | .75 | .93 | .73 |
| AMEAN | 31 | 85.2 | 91.4 | .80 | 85.9 | .81 | 88.0 | .76 | 71.0 | .63 | 73.4 | .79 | .93 | .80 |
| ADIAS | 31 | 68.8 | 73.4 | .75 | 69.6 | .88 | 72.1 | .62 | 55.4 | .62 | 56.9 | .60 | .84 | .60 |
| AHR | 31 | 63.1 | 68.9 | .93 | 62.4 | .91 | 61.6 | .96 | 64.5 | .95 | 64.0 | .97 | .96 | .92 |
| BSYST | 31 | 120.6 | 130.6 | .80 | 120.2 | .66 | 104.3 | .77 | 119.2 | .78 | 118.4 | .93 | .73 | .68 |
| BMEAN | 31 | 85.3 | 90.7 | .80 | 85.1 | .69 | 70.9 | .72 | 89.1 | .75 | 89.0 | .81 | .77 | .79 |
| BDIAS | 31 | 67.6 | 73.2 | .85 | 68.5 | .69 | 53.4 | .67 | 72.6 | .80 | 72.7 | .82 | .73 | .77 |
| BHR | 31 | 63.6 | 68.7 | .91 | 62.9 | .92 | 62.4 | .97 | 63.8 | .95 | 63.9 | .96 | .91 | .89 |
| Fingertemperatur | | | | | | | | | | | | | | |
| Mittelf. links | 28 | 33.5 | 33.1 | .93 | 33.1 | .98 | 33.1 | 1.00 | 32.8 | 1.00 | 33.1 | 1.00 | .94 | .93 |
| Ringf. links | 28 | 34.5 | 33.5 | .81 | 34.3 | .85 | 34.1 | .93 | 34.1 | .97 | 33.6 | .66 | .93 | .72 |
| Mittelf. rechts | 28 | 33.9 | 32.4 | .83 | 33.1 | .87 | 33.6 | .88 | 32.6 | .97 | 33.0 | .95 | .88 | .83 |
| Ringf. rechts | 27 | 33.3 | 32.5 | .96 | 32.2 | .97 | 32.6 | .98 | 32.5 | .96 | 32.4 | .99 | .97 | .93 |

Anmerkungen: Die 6 Phasen sind: Ruhe, Ergometer, Erholung, Liegen linke Seite, Liegen rechte Seite, Liegen rechte Seite (Hand auf der Liege). Links System A, rechts System B. Als Finger-Blutdruck sind hier die Mittelwerte der Phasen eingetragen.

Diese Tabelle 3.5 zeigt auch die Korrelationskoeffizienten zwischen den Geräten und zwischen den Variablen (SYST, MEAN, DIAS und HR) bei den zu Beginn vorgenommenen Messungen zur Prüfung auf mögliche Seitenunterschiede.

Tabelle 3.5: Korrelationen zwischen Geräten (SpaceLabs A und B), zwischen Variablen und zwischen Meßwiederholungen bei der ersten Messung.

| | A SYST | B SYST | A MEAN | B MEAN | A DIAS | B DIAS | A HF | B HF | r_{11} |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|----------|
| A SYST | --- | | | | | | | | .94 |
| B SYST | .86 | --- | | | | | | | .92 |
| A MEAN | .79 | .71 | --- | | | | | | .84 |
| B MEAN | .65 | .74 | .79 | --- | | | | | .88 |
| A DIAS | .60 | .61 | .87 | .82 | --- | | | | .89 |
| B DIAS | .59 | .62 | .80 | .93 | .86 | --- | | | .84 |
| A HR | .23 | .31 | .39 | .50 | .48 | .48 | --- | | .97 |
| B HR | .24 | .31 | .40 | .53 | .50 | .51 | .99 | --- | .96 |

Anmerkung: Die Messung wurde einleitend zur Prüfung von Seitenunterschieden im Liegen durchgeführt und nach ca. 2 Minuten wiederholt. $r > 0.35$ $p < .05$; $r > 0.45$ $p < .01$; $r > 0.56$ $p < .001$

Genauigkeit der Portapres2 Messung

Der Vergleich zwischen den Geräten A und B wurde auf mehreren Wegen durchgeführt:

1. durch Berechnung von Korrelationskoeffizienten innerhalb einer Phase bzw. über drei Phasen;
2. durch Mittelwertvergleiche innerhalb der Phasen;
3. durch Scatter Plots
4. durch Agreement Plots (Übereinstimmungs-Diagramme).

Die Messungen der Geräte A und B korrelieren hinsichtlich der Herzfrequenz perfekt miteinander. Die Koeffizienten für den systolischen Blutdruck liegen in der Größenordnung von .84 bis .90, für den diastolischen Blutdruck nur zwischen .70 und .73 (siehe Tabelle 3.6, auch mit Vergleichswerten für die beiden SpaceLabs-Geräte).

Tabelle 3.6: Übereinstimmung zwischen den Geräten A und B während Ruhe und über die drei Phasen (Ruhe, Ergometer, Erholung).

| | Portapres A/B | | SpaceLabs A/B | |
|---------------------|---------------------|----------|---------------|----------|
| | Phasen- Mittelwerte | | Einzelwerte | |
| | Ruhe | 3 Phasen | Ruhe | 3 Phasen |
| Systolischer Druck | .84 | .90 | .86 | .87 |
| Mittlerer Druck | .75 | .80 | .84 | .81 |
| Diastolischer Druck | .70 | .73 | .83 | .82 |
| Herzfrequenz | 1.00 | 1.00 | .99 | .99 |

Beim Vergleich der Mittelwerte der Untersuchungsphasen (Tabelle 3.7) zeigen sich mehrere signifikante Unterschiede zwischen den Geräten A und B. Zu der Ruhephase wurden mit dem Gerät A niedrigere systolische und höhere mittlere und diastolische Blutdruckwerte gemessen. Die mittleren Differenzen betragen dabei ca. 3 mm Hg. Auch die Herzfrequenzen unterscheiden sich um 0.6 bpm. Ähnliche Abweichungen treten in den folgenden Phasen nur hinsichtlich des systolischen Blutdrucks / Ergometer ($p = .003$) und der Herzfrequenz /Erholung ($p < .001$) auf. Die Effektstärken sind als klein, bei der Herzfrequenz sogar als gering anzusehen.

In einer Serie von Abbildungen mit Scatter Plots und Agreement Plots mit den Übereinstimmungsgrenzen (siehe Einleitung) sollen die Ergebnisse zur Genauigkeit der Messungen, vor allem in der Ruhephase der Untersuchung, veranschaulicht werden (Abbildungen 3.2 bis 3.7).

Die Scatter Plots der Meßwert-Paare A/B aus der Ruhebedingung mit einem Zeitraster von 10 s in Abbildung 3.2 zeigen die im Vergleich zu den Herzfrequenzen sehr viel größeren Abweichungen der Blutdruckmessungen. Die Gestalt dieser Scatter Plots, insbesondere bei den diastolischen Werten, macht den Eindruck, daß bei einigen Personen systematische Ungenauigkeiten existieren.

In den Agreement Plots (Übereinstimmungs-Diagrammen) sind die Differenzen der Meßwerte A und B (Y-Achse) auf den Mittelwert der Meßwerte A und B (X-Achse) bezogen (Abbildung 3.3). Die Hypothese, daß der Mittelwert der Differenzen $M_{Diff} = 0$ ist, muß für alle Variablen verworfen werden. Dies gilt für die 10-Sekunden-Segmente ebenso wie für den Phasen-Mittelwert (siehe Tabelle 3.8). In die Agreement Plots wurden die "Übereinstimmungsbereiche" $M \pm 2 SD$ der Meßwert-Differenzen eingetragen (Abbildungen 3.3 und 3.7).

Auch bei der Messung der Herzfrequenz in der Ruhephase gibt es Ungenauigkeiten und Ausreißer, wenn ein Konfidenzbereich von $M \pm 2 SD$ angenommen wird. Aber es ist eine relativ geringe Anzahl und die Abweichungen betragen 2 bis maximal 4 bpm. Dagegen gibt es sowohl bei der systolischen als auch bei den diastolischen Messungen wesentlich häufigere und größere Abweichungen, die z. T. mehr als 20 mm Hg erreichen.

Die mittleren Abweichungen (Ruhewerte) betragen beim systolischen Druck -3.9 und beim diastolischen Druck 2.6 mm Hg, was Effektstärken von $d = 0.30$ bzw. $d = 0.27$ entspricht (für die Herzfrequenz $d = 0.04$). Die deutlich geringere Übereinstimmung der Blutdruckmessungen wird auch aus der Abbildung 3.4 beim Vergleich von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck mit den Zeitrastern 10 s und 30 s in der Ruhephase deutlich.

Tabelle 3.7: Unterschiede zwischen den Methoden A und B zur Messung von Finger-Blutdruck und von Brachialis-Blutdruck

| Variable | Ruhe | | | | | Ergometer | | | | | Erholung | | | | | Retest-Reliabilität | | |
|---------------------------------------|----------------|-----------|---------------|------|------|-----------|-----------|---------------|------|------|-----------|-----------|---------------|------|------|---------------------|-----|-----|
| | A | B | Diff A - B | t | p | A | B | Diff A - B | t | p | A | B | Diff A - B | t | p | Ruhe/ Ergometer | A | B |
| Portapres Finger-Blutdruck | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Systolischer Druck mm Hg | M 114 13 | 117 13 | -3.1 | 2.37 | .024 | 139 16 | 144 18 | -5.3 | 3.18 | .003 | 115 14 | 117 15 | -2.4 | 1.41 | .169 | .76 | .77 | .89 |
| Mittlerer Druck mm Hg | M 73 10 | 71 11 | 2.8 | 2.14 | .040 | 84 10 | 83 11 | 1.5 | 1.16 | .257 | 75 11 | 74 11 | 1.6 | 1.15 | .261 | .87 | .85 | .90 |
| Diastolischer Druck mm Hg | M 57 9 | 54 10 | 3.2 | 2.40 | .023 | 66 9 | 64 10 | 2.0 | 1.49 | .146 | 60 10 | 58 10 | 2.0 | 1.28 | .212 | .89 | .88 | .91 |
| Herzfrequenz bpm | M 66 11 | 65 11 | 0.6 | 5.91 | .000 | 92 12 | 92 12 | 0.3 | 1.97 | .058 | 67 11 | 66 11 | 0.6 | 5.13 | .000 | .76 | .76 | .95 |
| SpaceLabs Brachialis-Blutdruck | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Systolischer Druck mm Hg | M 121 8 | 121 9 | -.96 | 0.12 | .907 | 131 9 | 131 10 | 0.29 | 0.33 | .746 | 121 9 | 120 9 | 1.23 | 1.16 | .255 | .85 | .80 | .93 |
| Mittlerer Druck mm Hg | M 85 7 | 85 6 | -.13 | 0.20 | .847 | 91 6 | 91 6 | 0.65 | 0.81 | .427 | 86 7 | 85 7 | 0.63 | 0.68 | .505 | .80 | .80 | .93 |
| Diastolischer Druck mm Hg | M 69 7 | 68 7 | 1.16 | 1.63 | .114 | 73 7 | 73 6 | 0.26 | 0.33 | .747 | 70 7 | 69 7 | 0.97 | 1.20 | .241 | .75 | .85 | .84 |
| Herzfrequenz bpm | M 63 12 | 64 13 | -.48 | 1.19 | .243 | 69 12 | 69 12 | 0.13 | 0.68 | .502 | 62 11 | 62 11 | 0.13 | 0.56 | .580 | .93 | .91 | .96 |

Anmerkung: Konstitutionelle Seitenunterschiede waren zu vernachlässigen, denn der Seitenvergleich aufgrund zweier Messungen am Oberarm hatte nur geringfügige Unterschiede ergeben:

Systolisch (M = 125.1/124.5 mm Hg; SD = 8.68/8.62), t(30) = 0.880, p = 0.386; r_{tt}(29) = 0.90;

Diastolisch (M = 71.9/ 70.6 mm Hg; SD = 6.46/7.11), t(30) = 2.678, p = 0.012; r_{tt}(29) = 0.92.

Herzfrequenz (M = 68.9/ 69.0 bpm; SD = 12.5/12.5), t(30) = -.349, p = 0.730; r_{tt}(29) = 0.997.

Tabelle 3.8 Übereinstimmung der Messungen mit Gerät A und B (Portapres sowie SpaceLabs).

| | Differenzen und t – Test auf Diff = 0 | | | | SEM | Übereinstimmungs- Bereich M ± 2 SD- | |
|---|---------------------------------------|------|-------|------|------|--|-------|
| | M | SD | t | p | | | |
| Portapres Meßwerte der letzten Minute der Ruhephase | | | | | | | |
| Systolischer BD | -3.92 | 7.78 | 28.55 | .000 | 1.31 | -19.48 | 11.64 |
| Mittlerer BD | 2.30 | 7.24 | 17.96 | .000 | 1.24 | -12.18 | 16.78 |
| Diastolischer BD | 2.61 | 7.05 | 20.93 | .000 | 1.22 | -11.49 | 16.71 |
| Herzfrequenz | 0.58 | 0.66 | 50.31 | .000 | 0.27 | - 0.74 | 1.90 |
| Portapres Mittelwerte der Ruhephase | | | | | | | |
| Systolischer BD | -3.14 | 7.38 | 2.37 | .024 | 1.33 | -17.90 | 11.62 |
| Mittlerer BD | 2.80 | 7.27 | 2.14 | .040 | 1.31 | -11.74 | 17.34 |
| Diastolischer BD | 3.23 | 7.50 | 2.40 | .023 | 1.35 | -11.77 | 18.23 |
| Herzfrequenz | 0.60 | 0.57 | 5.91 | .000 | 0.10 | -0.54 | 1.74 |
| Portapres Mittelwerte der drei Untersuchungsphasen | | | | | | | |
| Systolischer BD | -3.60 | 8.70 | 3.99 | .000 | 0.90 | -21.00 | 13.80 |
| Mittlerer BD | 1.98 | 7.43 | 2.57 | .012 | 0.77 | -12.48 | 17.24 |
| Diastolischer BD | 2.38 | 7.56 | 2.97 | .004 | 0.80 | -13.54 | 17.50 |
| Herzfrequenz | 0.50 | 0.75 | 6.52 | .000 | 0.07 | -1.00 | 2.00 |
| SpaceLabs Meßwerte der letzten Minute der Ruhephase | | | | | | | |
| Systolischer BD | -0.09 | 4.56 | 0.12 | .907 | 0.82 | -9.21 | 9.03 |
| Mittlerer BD | -0.12 | 3.69 | 0.20 | .847 | 0.71 | -7.50 | 7.26 |
| Diastolischer BD | 1.16 | 3.97 | 1.63 | .114 | 0.66 | -6.78 | 9.10 |
| Herzfrequenz | -0.48 | 2.26 | 1.19 | .243 | 0.41 | -5.00 | 4.04 |
| SpaceLabs Mittelwerte der drei Untersuchungsphasen | | | | | | | |
| Systolischer BD | 0.47 | 5.10 | 0.879 | .382 | 0.53 | -9.73 | 10.67 |
| Mittlerer BD | 0.38 | 4.43 | 0.824 | .412 | 0.46 | -8.48 | 9.24 |
| Diastolischer BD | 0.79 | 4.24 | 1.793 | .076 | 0.44 | -7.69 | 9.27 |
| Herzfrequenz | 0.08 | 1.64 | 0.445 | .657 | 0.17 | -3.36 | 3.20 |

Genauigkeit der SpaceLabs Messungen

Bei den Messungen am Ende der Untersuchungsphasen bestanden zwischen den beiden Geräten nur minimale, nicht signifikante ($p > .05$) Mittelwertunterschiede (Tabelle 3.8). Die Korrelationskoeffizienten liegen in der Größenordnung von .81 bis .87 bzw. .99 für die Herzfrequenz (siehe Tabelle 3.6).

Die Grenzen der Übereinstimmung zwischen den Geräten A und B in der Ruhephase lassen die – im Vergleich zu den Portapres-Mittelwerten – bessere Übereinstimmung erkennen. Es gibt jedoch einige Ausreißer (Abbildung 3.8). Die Genauigkeits-Diagramme (Agreementplots) beziehen sich hier auf die 31 x 3 Meßwerte der drei Untersuchungsphasen. Die Blutdruckmessungen erreichen zwar nicht die Genauigkeit der Herzfrequenz, doch kann die Übereinstimmung der beiden oszillometrischen Messungen am Oberarm als befriedigend angesehen werden.

Übereinstimmung zwischen den Messungen des Finger-Blutdrucks und des Brachialis-Blutdrucks

Die Übereinstimmung beider Methoden konnte hier anhand der Messungen mit den SpaceLabs-Geräten am Ende der drei Phasen Ruhe, Ergometerarbeit und Erholung bestimmt werden. Als zeitlich benachbarte Meßwerte des Finger-Blutdrucks wurden aus diesen Phasen die Mittelwerte der letzten Minute der Portapres Registrierungen mit Gerät A und B herangezogen. In der Tabelle 3.9 sind die Verteilungen (M, SD), Korrelationskoeffizienten und Mittelwertunterschiede zusammengestellt.

Tabelle 3.9: Übereinstimmung zwischen Finger-Blutdruck (Portapres 2) und Oberarm-Blutdruck (SpaceLabs). Messungen unter Ruhebedingungen N = 31 mit t-Tests und Effektstärken.

| Linker Arm | Finger- Blutdruck Letzte Minute | | Oberarm- Blutdruck Einzelwerte | | Korr Finger/ Oberarm r | Differenz Blutdruck Oberarm minus Finger | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|------|--------------------------------------|------|-------------------------------------|---|------|------|------|------|
| | M | SD | M | SD | | M | SD | t | p | d |
| Systolischer Druck | 115.9 | 13.6 | 120.5 | 8.2 | 0.62 | 4.6 | 10.7 | 2.41 | .022 | 0.43 |
| Mittlerer Druck | 73.6 | 9.7 | 85.2 | 6.5 | 0.60 | 11.6 | 7.8 | 8.31 | .000 | 1.49 |
| Diastolischer Druck | 57.6 | 8.7 | 68.8 | 7.1 | 0.47 | 11.2 | 8.2 | 7.56 | .000 | 1.37 |
| Herzfrequenz | 64.6 | 10.7 | 63.1 | 11.8 | 0.92 | -1.5 | 4.5 | 1.86 | .073 | 0.33 |
| Rechter Arm | | | | | | | | | | |
| Systolischer Druck | 120.5 | 14.1 | 120.6 | 9.0 | 0.54 | 0.1 | 12.0 | 0.05 | .964 | 0.00 |
| Mittlerer Druck | 72.0 | 10.1 | 85.3 | 6.4 | 0.59 | 13.3 | 8.2 | 9.00 | .000 | 1.62 |
| Diastolischer Druck | 55.2 | 9.1 | 67.6 | 6.5 | 0.55 | 12.5 | 7.8 | 8.94 | .000 | 1.61 |
| Herzfrequenz | 64.2 | 10.5 | 63.6 | 12.7 | 0.90 | -0.6 | 5.7 | 0.56 | .577 | 0.10 |

Die Übereinstimmung bzw. Abweichung zwischen den Messungen des Finger-Blutdrucks und den Messungen des Oberarm-Blutdrucks sind aus den Statistiken der Tabelle 3.9 (siehe auch Abbildung 3.6) zu entnehmen. Die Korrelationskoeffizienten liegen nur in mittlerer Größenordnung und es existieren — etwas unterschiedlich auf beiden Seiten — signifikante oder sehr signifikante Mittelwertunterschiede in den Blutdruckwerten mit Ausnahme des systolischen Blutdrucks am rechten Arm. Die zur Kontrolle dienenden Herzfrequenzen zeigen keinen signifikanten Unterschied. Die Abweichungen betragen links ca. 5 mm Hg systolisch und ca. 11 mm Hg diastolisch. Diese Unterschiede sind als mittlere bis große Effektstärken anzusehen.

Abbildung 3. 2: Korrelation der Meßwerte von Portapres A und B (N = 31, Ruhe, 10 s Segmente)

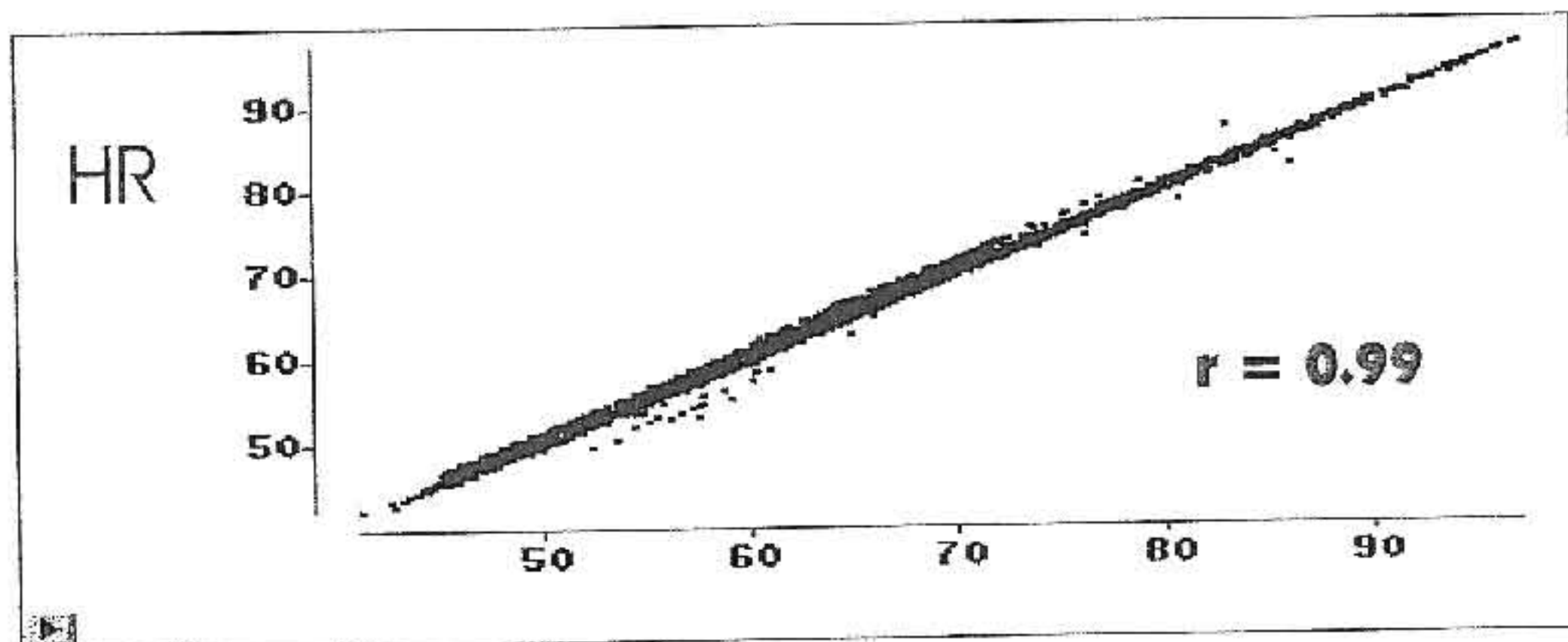
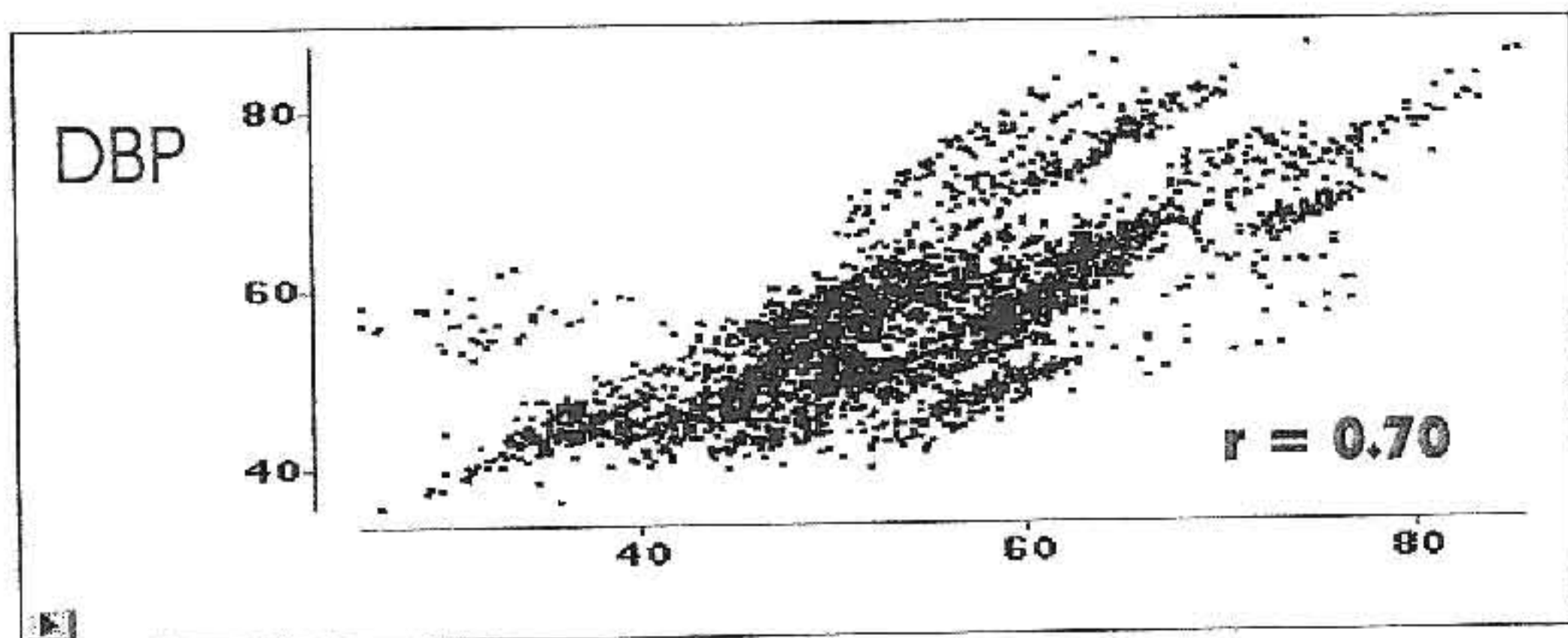
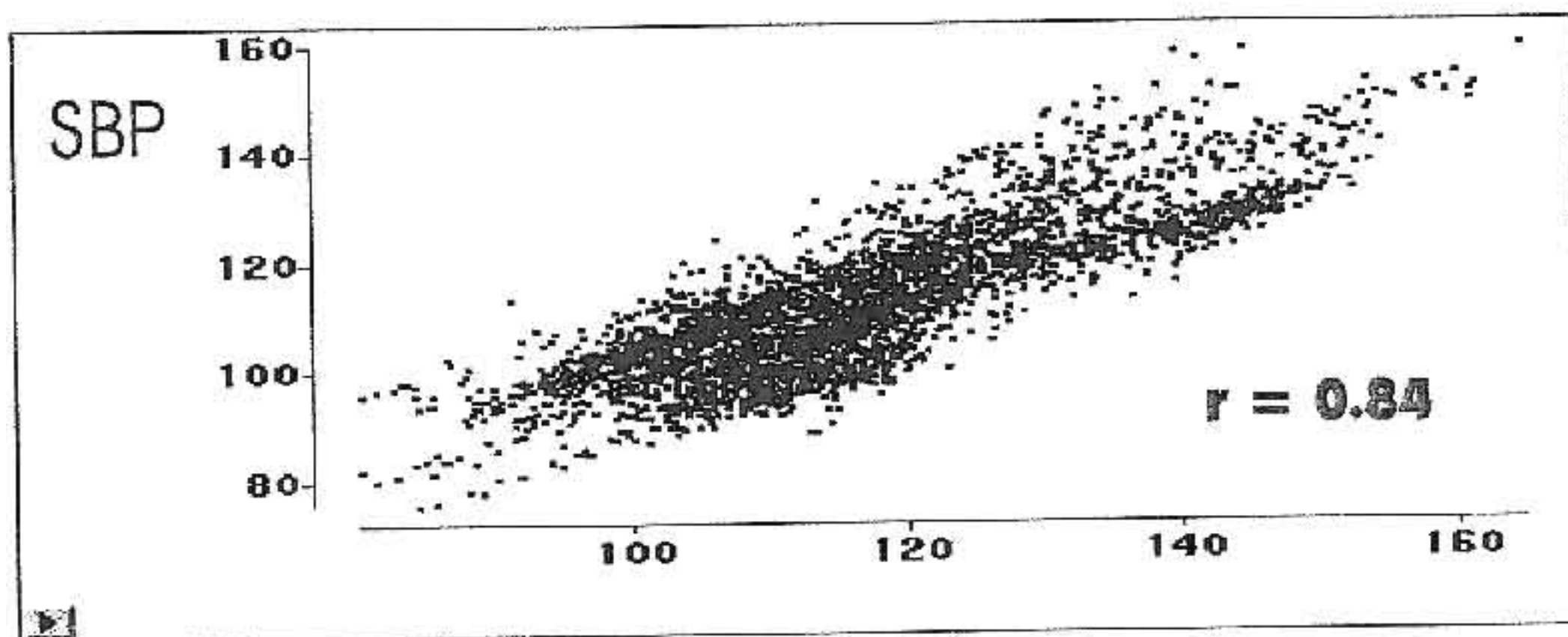


Abbildung 3.3: Portapres A und B Differenz vs. Mittelwert der Differenzen und Übereinstimmungsbereiche (10 s Segmente)

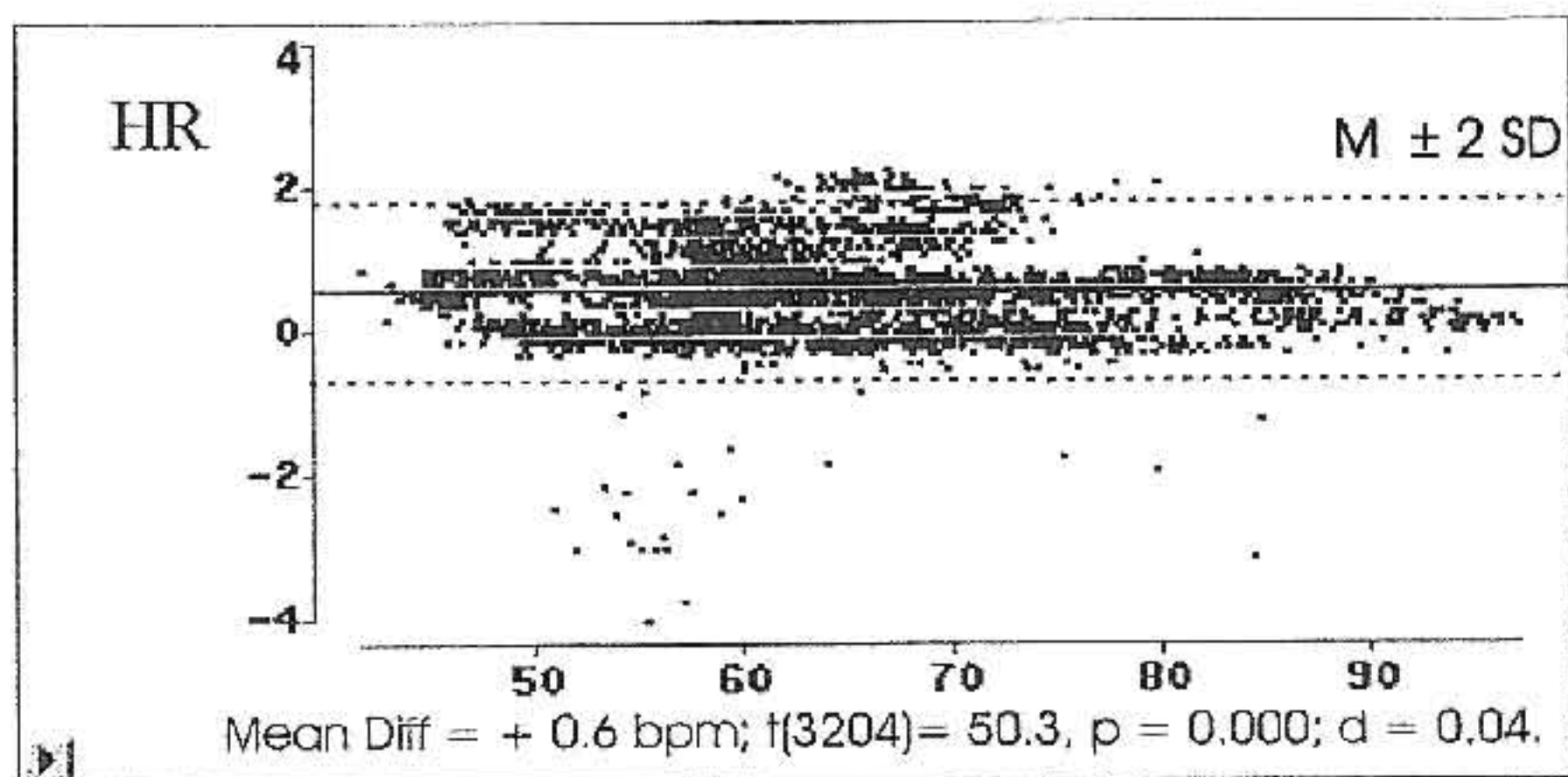
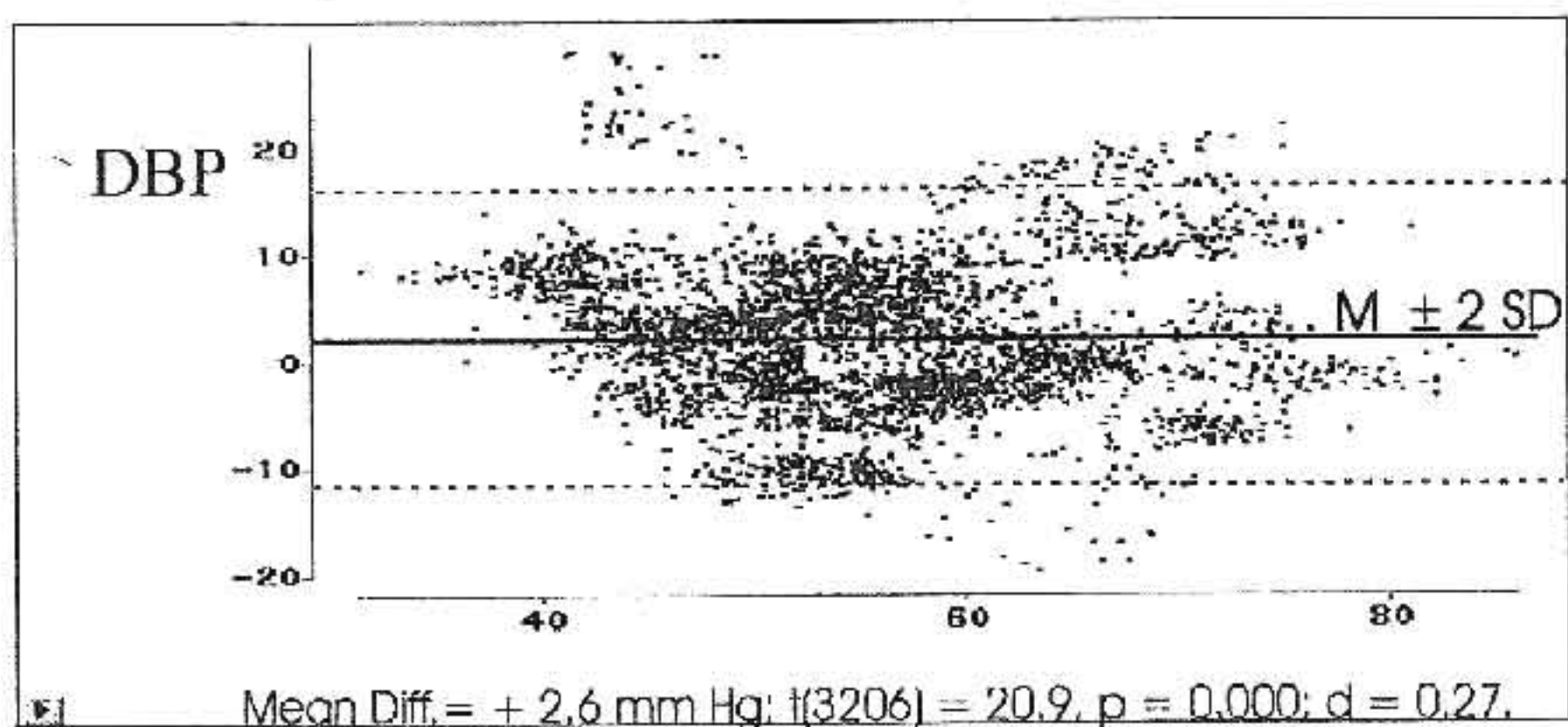
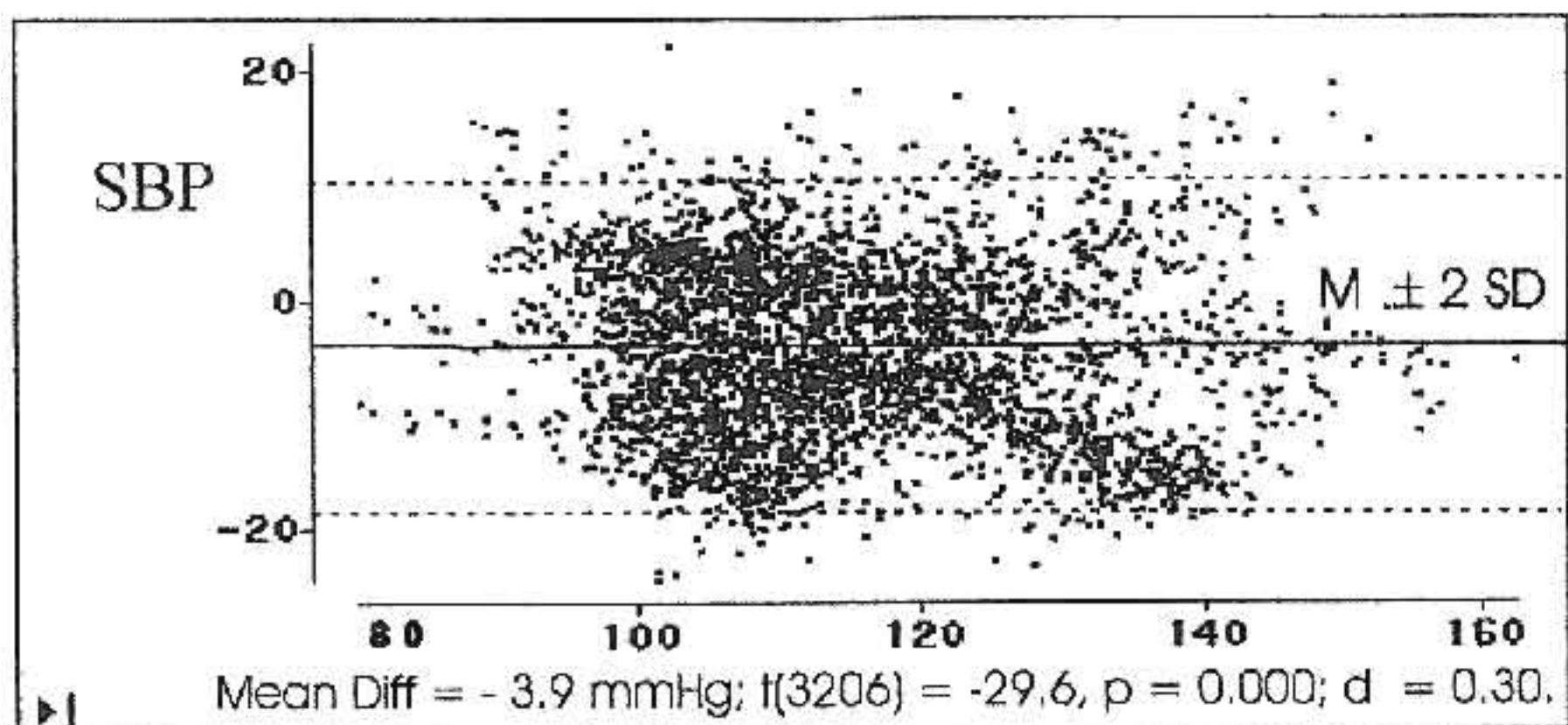


Abbildung 3.4: Portapres A and B in Ruhe (N = 31), Übereinstimmung von Messungen des systolischen Blutdrucks und der Herzfrequenz in Segmenten von 10 s und 30 s

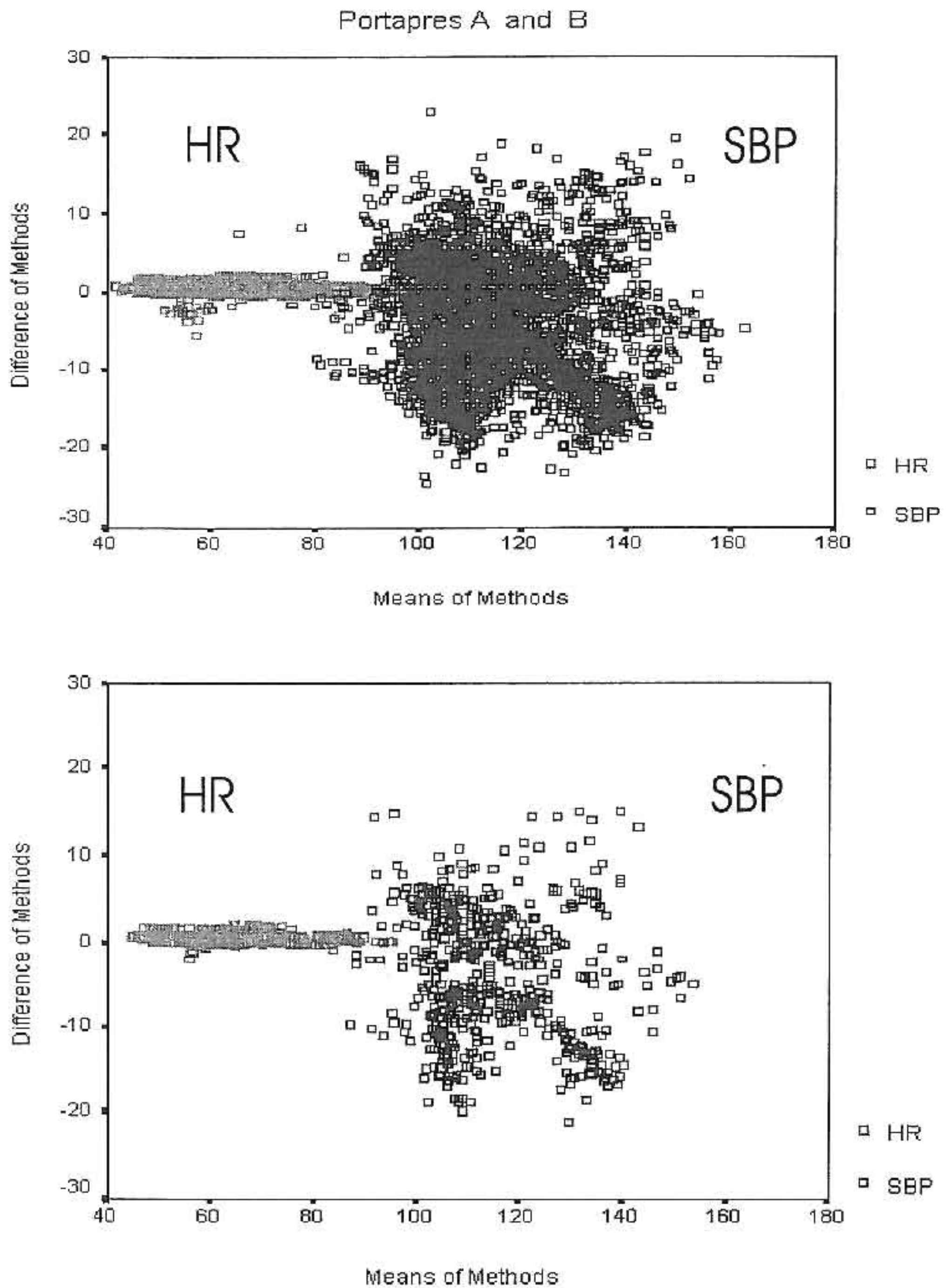


Abbildung 3.5: Messungen mit Portapres A und B in den Untersuchungsphasen Ruhe, Ergometer, Erholung (N = 31)

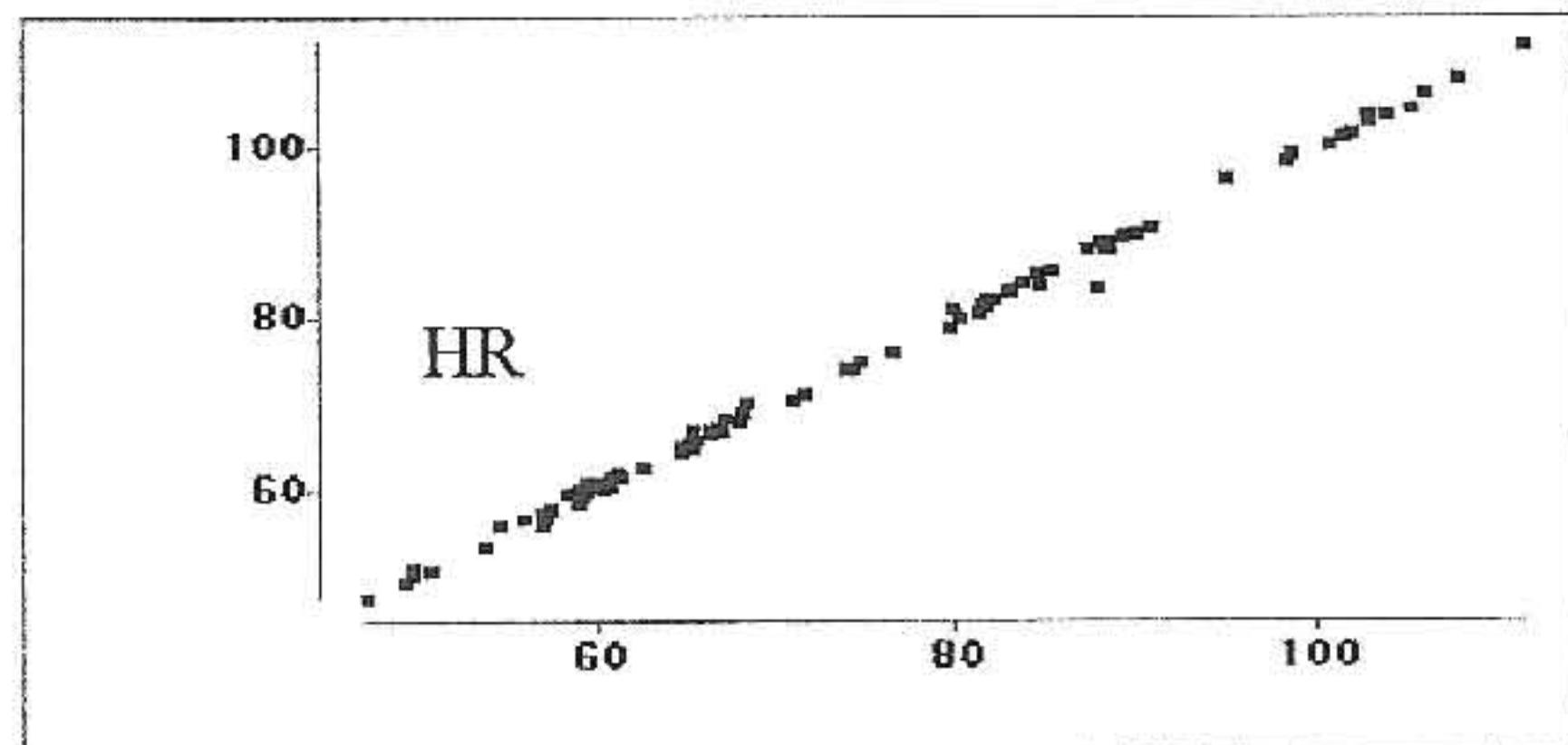
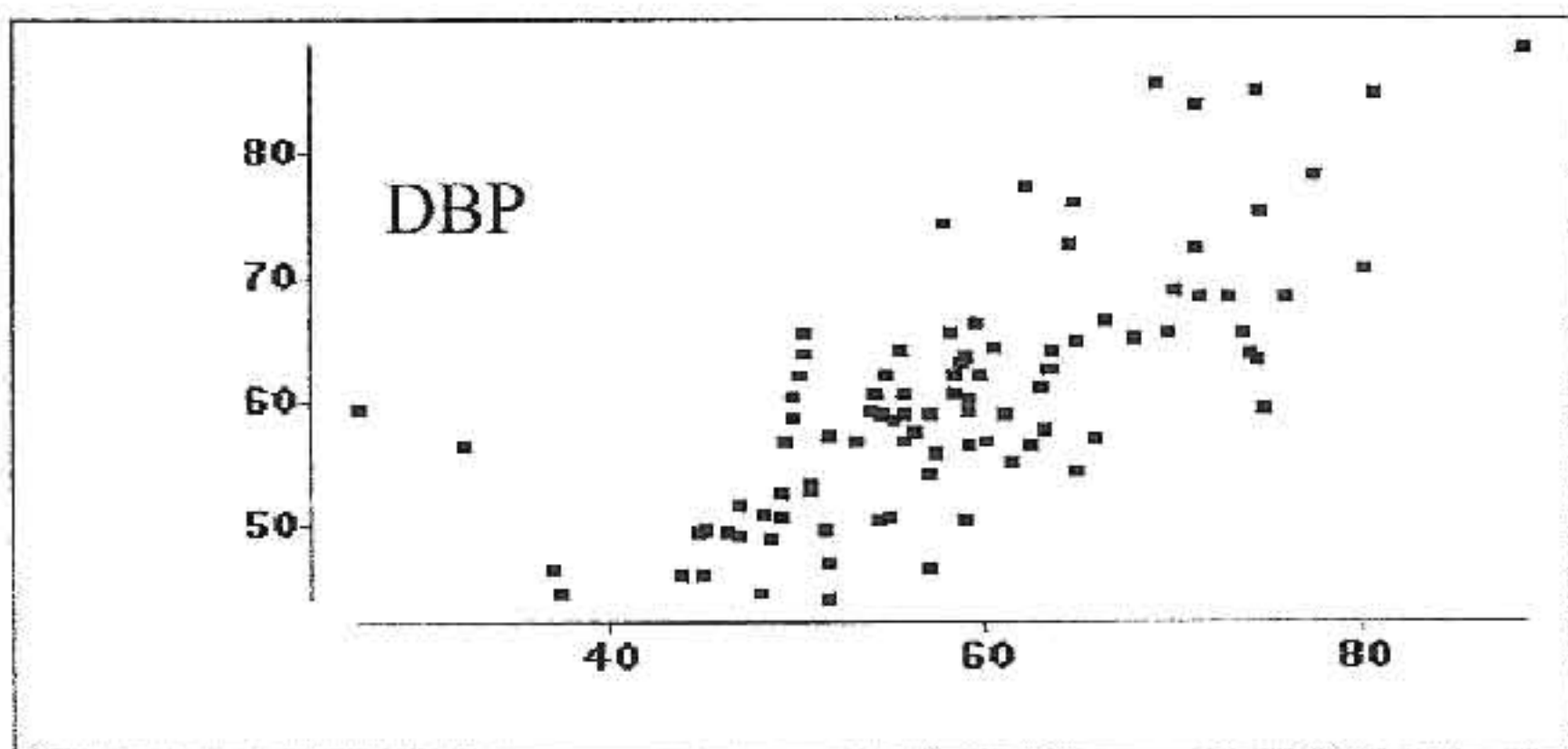
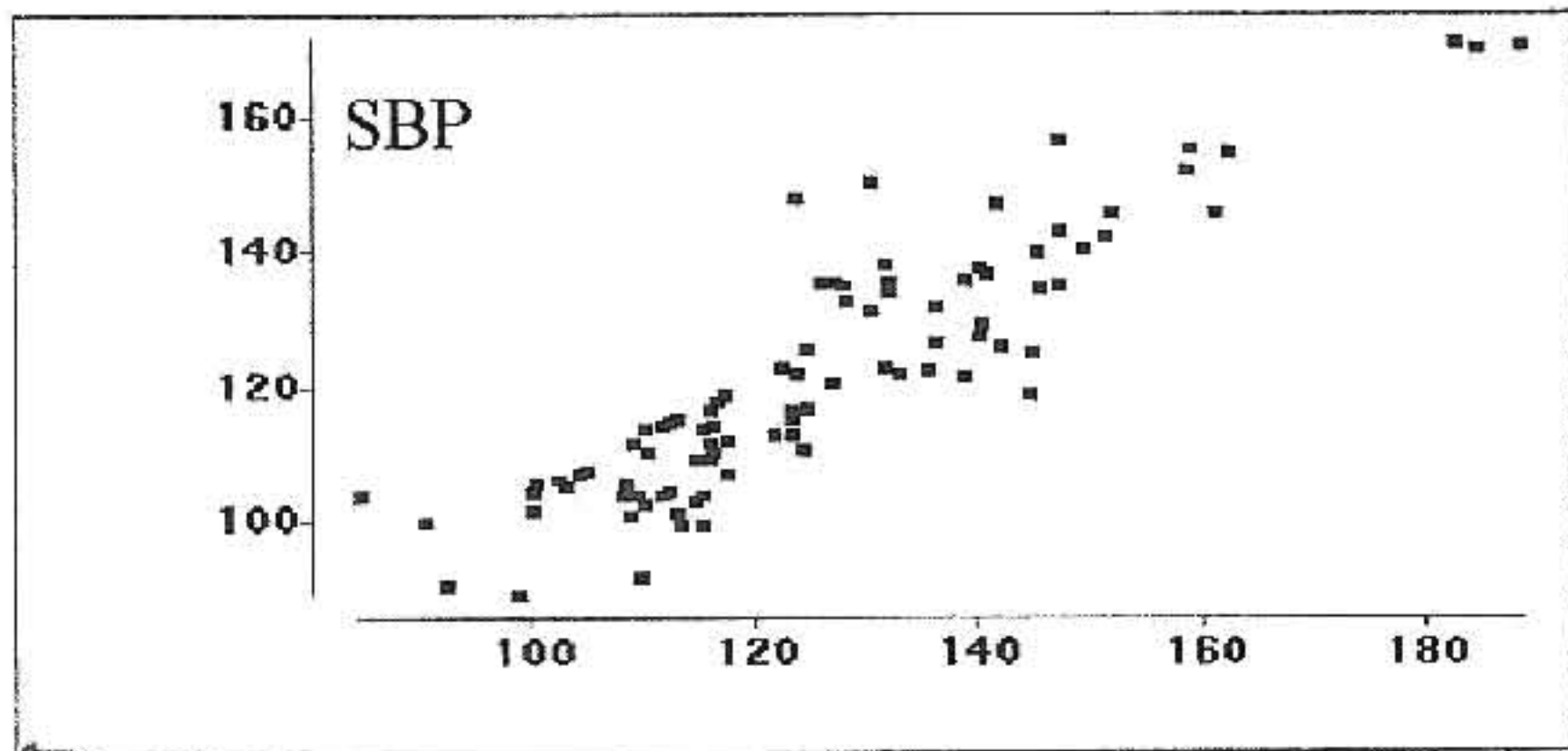


Abbildung 3.6: Portapres A (letzte Minute Ruhe) und SpaceLabs A

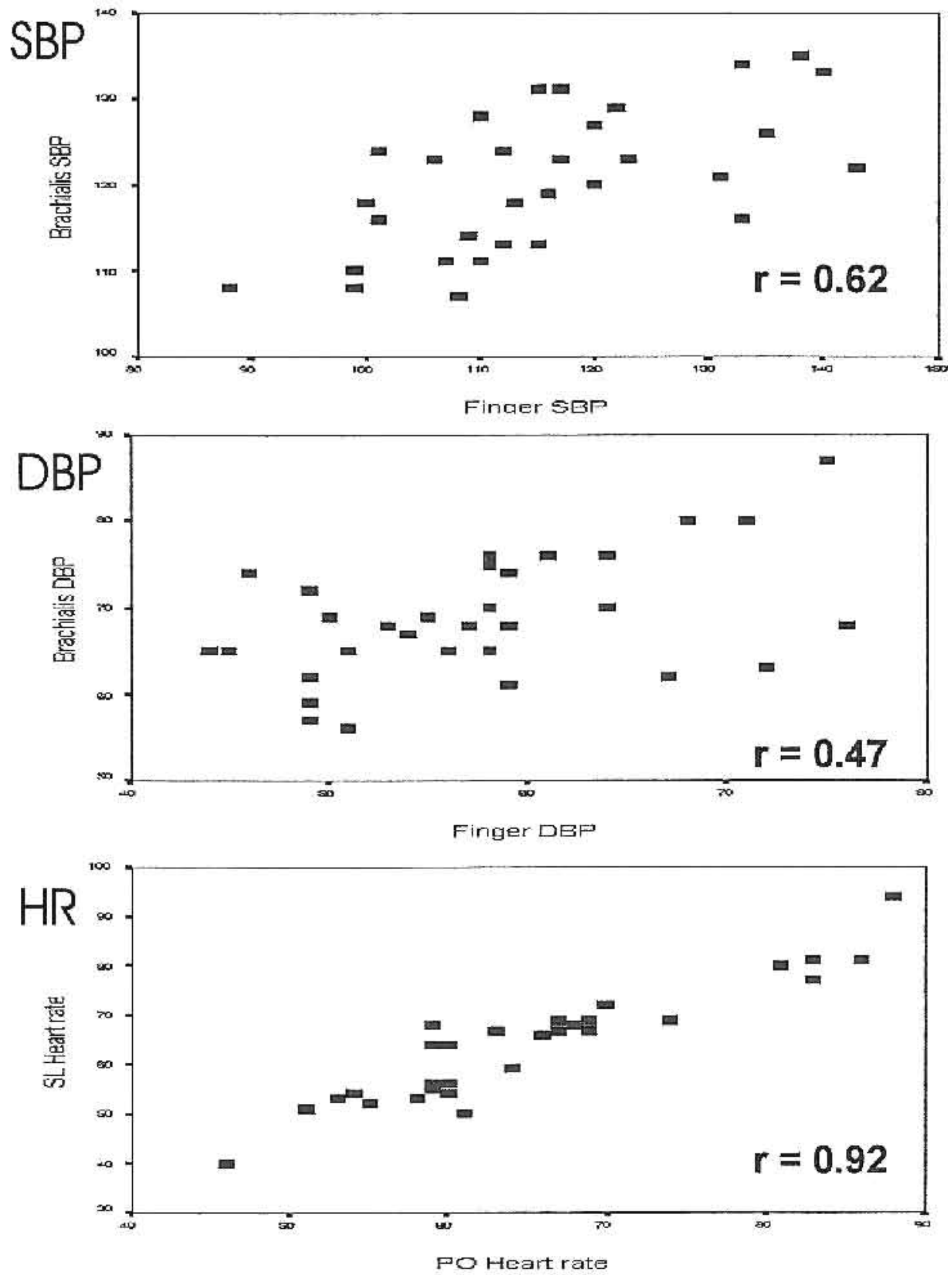


Abbildung 3.7: Portapres A und B Differenz vs. Mittelwert der Differenzen und die Übereinstimmungsgrenzen ($n = 3 \times 31$ Mittelwerte)

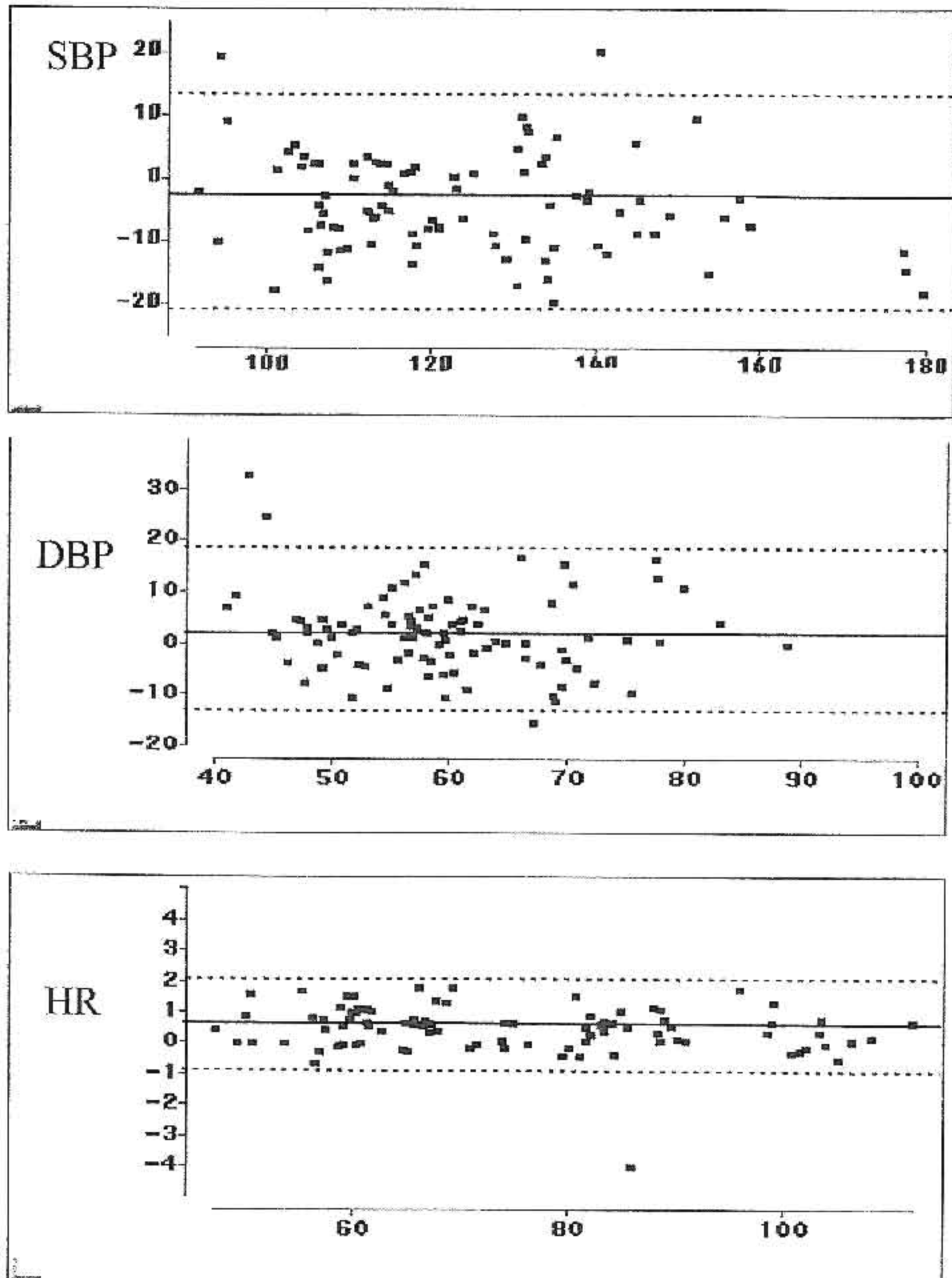
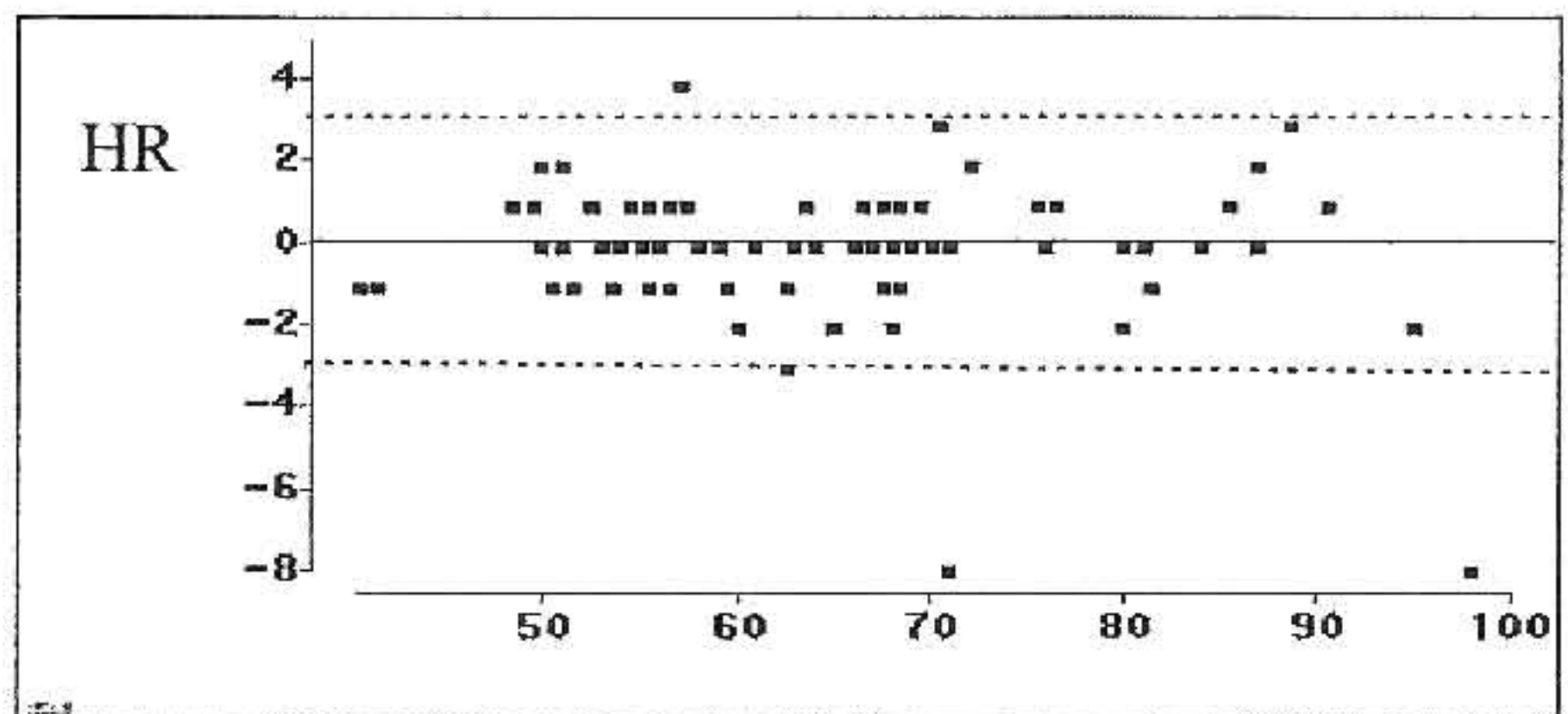
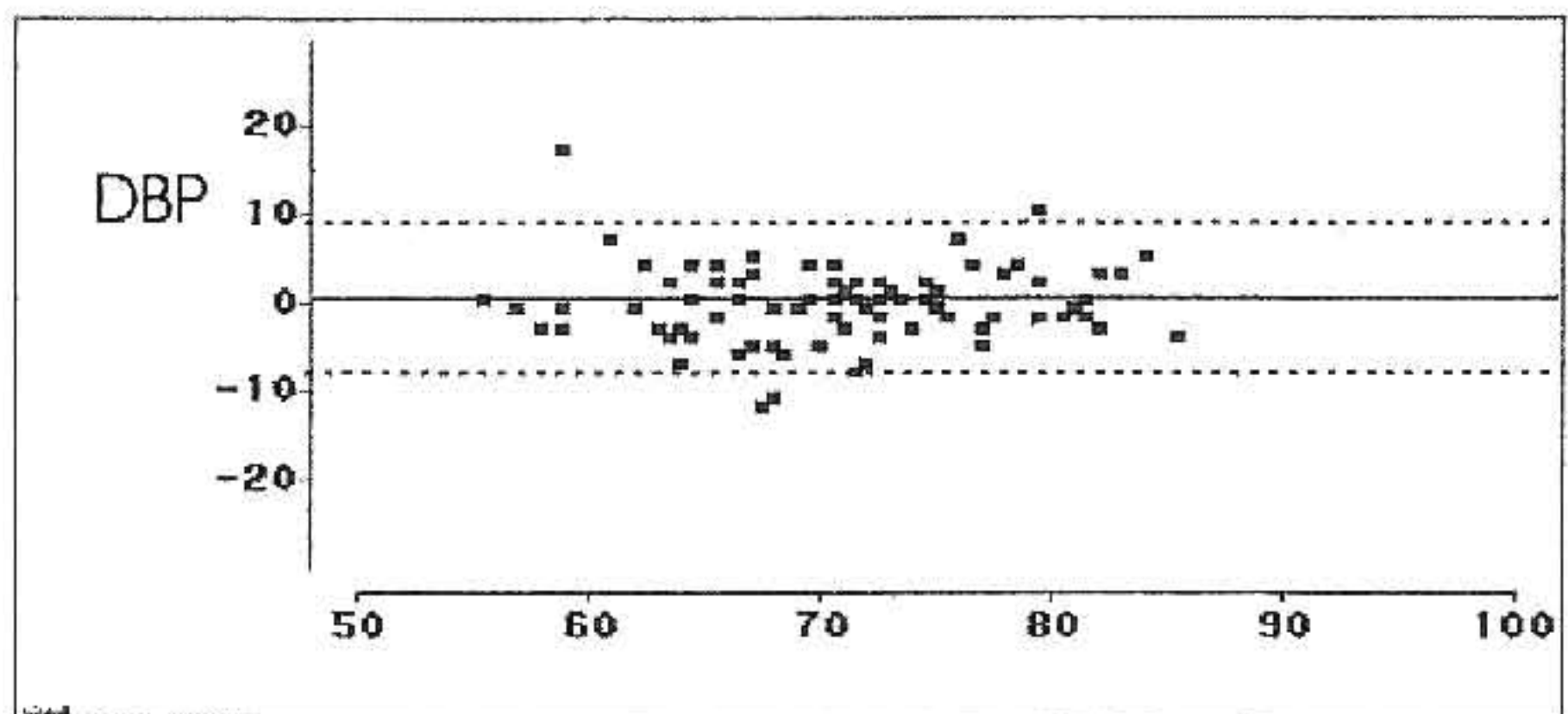
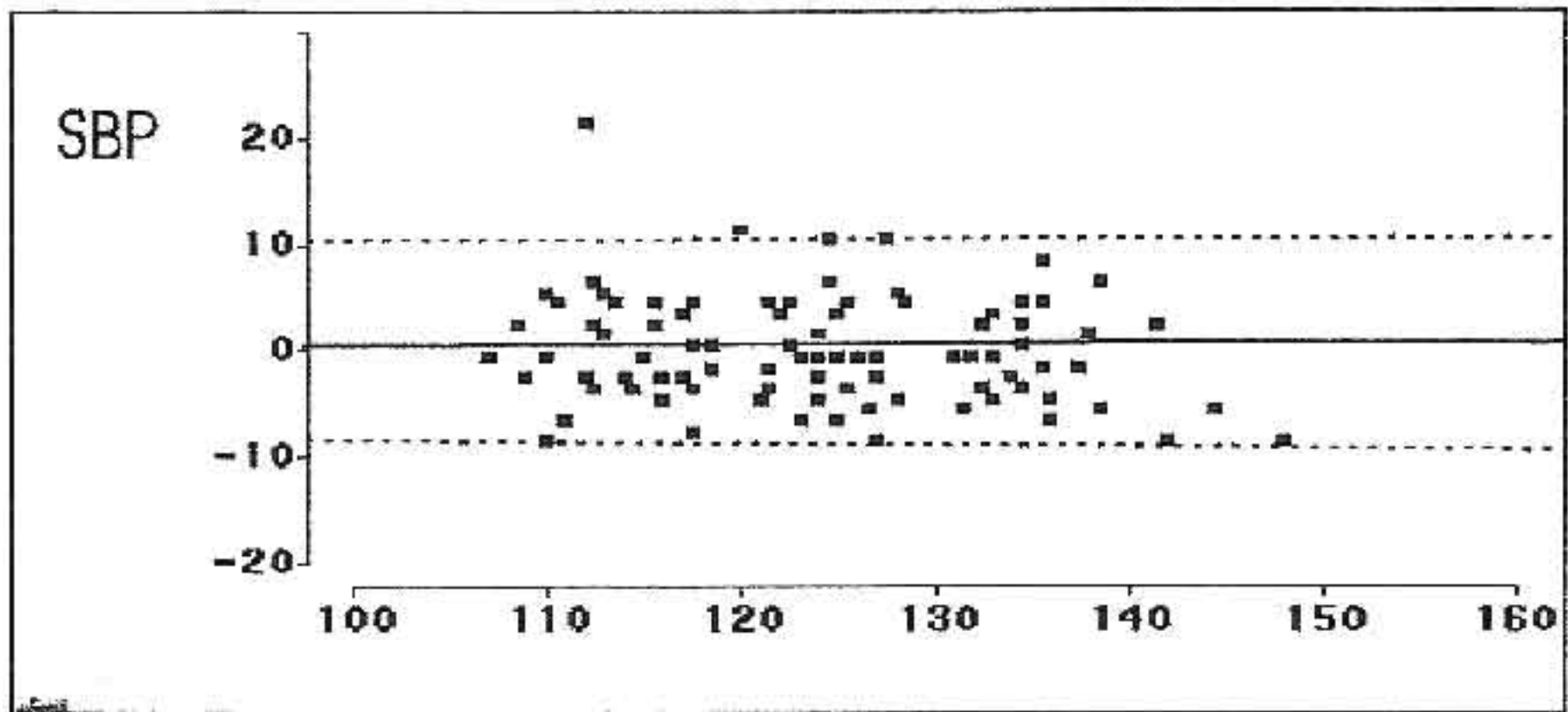


Abbildung 3.8: SpaceLabs A und B Differenz vs. Mittelwert der Differenzen und die Übereinstimmungsgrenzen ($n = 3 \times 31$ Meßwerte aus den drei Phasen)



Fingertemperatur

In der Tabelle 3.10 sind die Mittelwerte der Fingertemperatur über 27 bzw. 29 Personen dargestellt. Hier ist zwischen den ausgewählten Einzelwerten zur Trendbeschreibung und den Mittelwerten der Phasen zu unterscheiden sowie zwischen der Gruppe mit Handschuh und ohne Handschuh über der linken Hand.

Die Fingertemperaturen lassen zu Beginn eine große interindividuelle Varianz zwischen ca. 23 und 35 Grad erkennen, z. B. am Mittelfinger links zwischen 23.0 und 35.2 Grad ($M = 32.3$, $SD = 2.9$). Diese Unterschiede bleiben bis zum Untersuchungsende in etwa bestehen: zwischen 27.9 und 36.2 Grad ($M = 33.2$, $SD = 1.9$). Bemerkenswert ist, daß zwischen den Bedingungen mit/ohne Handschuh bereits zu Untersuchungsbeginn ein Unterschied zu bestehen scheint. Dies ist auf den sehr niedrigen Werte der Vp 1 zurückzuführen ($t = -1.03$, $df = 26$, $p = 0.312$).

Aus den Mittelwerten und Anfang-Ende-Differenzen in Tabelle 3.10 ist zu erkennen, daß zwischen Anfang und Ende (Einzelwerte, ohne Handschuh) tendenziell eine geringe Zunahme und bei den Phasenwerten von der Ruhebedingung bis zum Ende eine geringe Abnahme erfolgt. Zwischen den beiden Mittelfingern (mit Manschette) und den beiden Ringfingern (ohne Manschette) besteht kein systematischer Unterschied. Die Einflüsse der verschiedenen Untersuchungsbedingungen und des Handschuhs sind gering, und der Trend der Fingertemperatur über die Untersuchungszeit insgesamt ist nicht gravierend: Mittelfinger rechts Anfang bis zum Ende $+0.6$ Grad ($t = 1.879$, $df = 27$, $p = .071$); Ringfinger rechts vom -0.4 Grad ($t = 1.109$, $df = 25$, $p = .278$).

Eine temperatursteigernde bzw. temperaturstabilisierende Wirkung des Handschuhs ist an den Einzelwerten durch Vergleich der linken und rechten Seite festzustellen. Dieser Effekt ist in schwächerer Ausprägung auch bei den Phasenmittelwerten zu sehen.

Zwischen den Temperaturen (Einzelwerte und Mittelwerte, Ruhephase) der vier Finger bestehen mittlere bis hohe Korrelationen (Tabelle 3.11 und 3.12). Die einfachen Korrelationen zwischen den Temperaturen und der Variable Handschuh (1 = nein, 2 = ja) und mit der laufenden Nr. der Untersuchung deuten an, daß der Handschuh tendenziell eine höhere Fingertemperatur bedingt und daß die früheren Untersuchungsteilnehmer in den Sommermonaten eine höhere Fingertemperatur aufwiesen als spätere Untersuchungsteilnehmer in den Herbstmonaten. Die Mittelwerte der im Labor zu Untersuchungsbeginn gemessenen Raumtemperaturen wichen jedoch nur wenig voneinander ab: 23.8 Grad ($n = 21$) und 22.8 Grad ($n = 10$).

Tabelle 3.10 : Fingertemperaturen (ausgewählte Einzelwerte und Mittelwerte von Phasen)

| | Ausgewählte Einzelwerte | | | | | Diff Anfang Ende | Mittelwerte der Phasen | | | | | Diff Ruhe Liegen | |
|----------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|------------------------|------------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------------|---------------|
| | Anfang (1) | Ruhe A (2) | Ruhe E (3) | Erholung E (5) | Ende (8) | | Ruhe (3) | Ergom. (4) | Erhol. (5) | Liegen L (6) | Liegen R (7) | | Liegen (8) |
| <u>Ohne Handschuh</u> | | | | | | | | | | | | | |
| Mittelfinger links* | 31.7 | 33.0 | 31.9** | 31.3** | 31.5** | - 0.2 | 32.8* | 32.5 | 31.8** | 31.2** | 31.3** | 31.9** | -0.9 |
| Ringfinger links | 31.8 | 33.3 | 33.4 | 33.4 | 32.4* | + 0.6 | 34.2 | 33.1 | 33.9 | 31.2 | 33.5 | 32.7** | -1.5 |
| Mittelfinger rechts* | 31.8 | 33.2 | 32.9 | 33.0 | 33.0 | + 1.2 | 33.9 | 32.4 | 33.5 | 33.1 | 32.4 | 33.4 | -0.5 |
| Ringfinger rechts | 32.6 | 33.7 | 33.6 | 32.9 | 33.1 | + 0.5 | 33.7 | 32.6 | 32.7 | 33.2 | 33.1 | 33.1 | -0.6 |
| <u>Mit Handschuh links</u> | | | | | | | | | | | | | |
| Mittelfinger links* | 32.8 | 33.9 | 34.2* | 34.2** | 34.2** | + 1.4 | 34.1* | 33.1 | 34.2** | 34.2** | 34.2** | 34.2** | +0.1 |
| Ringfinger links | 32.8 | 34.4 | 34.6 | 34.7 | 34.4* | + 1.6 | 34.7 | 33.9 | 34.6 | 34.5 | 34.6 | 34.4** | -0.3 |
| Mittelfinger rechts* | 32.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 32.8 | - 0.1 | 33.8 | 32.4 | 32.8 | 33.4 | 32.7 | 32.7 | -1.0 |
| Ringfinger rechts | 33.3 | 33.2 | 32.6 | 31.8 | 32.1 | - 1.2 | 32.9 | 32.4 | 31.8 | 32.0 | 32.1 | 31.8 | -0.8 |

Anmerkungen: Die linke Hand befand sich bei n = 16 Probanden in einem Handschuh; die parallelen Messungen an der rechten Hand dienen hier als Kontrollen. Die Einzelwerte wurden am Anfang und am Ende der Untersuchung gemessen, am Anfang und am Ende der Ruhephase und am Ende der Erholungsphase, am Ende der Untersuchung (wegen fehlender Daten 12-14 Personen ohne bzw. 14-15 mit Handschuh). Ein * bedeutet, daß sich der Mittelwert im t-Test signifikant ($p < .05$ bzw. bei ** $p < .01$) von dem entsprechenden Mittelwert mit/ohne Handschuh unterscheidet.

Tabelle 3.11: Korrelationen der Finger-Temperaturen (getrennt für Einzelwerte und Mittelwerte) während der Ruhephase.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | Handschuh (2 = ja) | Vp Nr |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|-------|
| 1 Mittelfinger links* | .94 | .42 | .37 | .77 | .43 | -.55 |
| 2 Ringfinger links | .78 | .88 | .92 | .74 | .23 | -.64 |
| 3 Mittelfinger rechts* | .41 | .64 | .96 | .62 | -0.6 | -.36 |
| 4 Ringfinger rechts | .63 | .71 | .46 | .96 | -.22 | -.68 |

Anmerkungen: Korrelationskoeffizienten der am Anfang der Ruhephase gemessenen Einzelwerte (oberhalb der Diagonale) und der Mittelwerte dieser Phase (unterhalb der Diagonale). In der Diagonale stehen die Korrelationen zwischen Einzel- und Mittelwerten.

*Messung unter der Finger-Manschette N = 28 (minimal 26)

Tabelle 3.12: Korrelation der Fingertemperaturen (Mittelwerte) über 3 (bzw. 6) Phasen

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 1 Mittelfinger links* | -- | .86 | .67 | .40 |
| 2 Ringfinger links | .77 | -- | .84 | .52 |
| 3 Mittelfinger rechts* | .47 | .73 | -- | .61 |
| 4 Ringfinger rechts | .41 | .52 | .53 | -- |

Anmerkungen: Korrelationskoeffizienten der Einzelwerte der Fingertemperatur über 3 Meßpunkte (oberhalb der Diagonale) und der Mittelwerte über 6 Phasen (unterhalb der Diagonale)

*Messung unter der Finger-Manschette N = 28 (minimal 26)

Die individuellen Fingertemperaturen sind zwischen Anfang und Ende der Untersuchung relativ gut reproduzierbar.

Tabelle 3.13: Korrelationen zwischen der Temperaturmessung zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten

| | Beginn (1) Ruhe Anfang (2) | Ruhe Anfang (2) Ruhe Ende (3) | Ruhe Anfang (2) Erholung E (5) | Beginn (1) Ende (8) |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Mittelfinger links* | .71 | .58 | .62 | .82 |
| Ringfinger links | .85 | .94 | .96 | .83 |
| Mittelfinger rechts* | .82 | .95 | .95 | .78 |
| Ringfinger rechts | .80 | .88 | .89 | .70 |

Anmerkung: Die Fingermanschetten waren am Mittelfinger (*) befestigt: links bei der Hälfte der Personen unter einem Handschuh

Effekte der Körperlage

Die Körperlage wurde variiert, indem von der Rückenlage in die linke und die rechte Seitenlage gewechselt wurde. Außerdem befand sich die kontralaterale Hand auf dem Oberschenkel bzw. in der letzten Phase ruhten beide Hände auf der Liege, um eine bequemere Schlafposition nachzuahmen.

Die vom Höhenkorrektursystem des Portapres-Geräts angezeigten Höhendifferenzen der Sensoren sind in Tabelle 3.14 wiedergegeben. Die für die verschiedenen Körperpositionen gemessenen Höhendifferenzen spiegeln nur näherungsweise die tatsächlichen, hydrostatisch relevanten Differenzen zwischen den Meßorten (Mittelfinger, Oberarm) und der tatsächlichen Ebene des Herzens wider. Aus morphologischen Gründen könnten hier Differenzen von mehreren cm bestehen. Die gemessenen Höhenwerte bzw. Differenzen sind über gleichartige Untersuchungsphasen konstant (siehe Tabelle 3.14). Für die Höhendifferenzen der Oberarm-Manschetten zur Herz-Ebene sind keine Informationen verfügbar.

In der Abbildung 3.9 sind die Effekte beim Wechsel der Körperlage dargestellt. Es sind Blutdruckunterschiede in der Größenordnung von 10 bis 20 mm Hg zu erkennen. In Rückenlage sind die vier Meßwerte relativ ähnlich, wobei die SpaceLabs-Werte etwas höher liegen (siehe oben). Bei Rotation auf die linke Körperseite sinken die am rechten Mittelfinger und Oberarm gemessenen Werte deutlich ab, und diese Veränderung zeigt sich spiegelbildlich bei Rotation auf die rechte Körperseite. In der letzten Phase, in der auch die linke Hand wieder auf der Liege ruht, erhöht sich der an der linken Hand gemessene Finger-Blutdruck.

Tabelle 3.14: Höhendifferenzen des Portapres-Korrektursystems in den verschiedenen Körperlagen

| Phase | Körperlage | Gerät A (links) | | Gerät B (rechts) | |
|-------|---|-----------------|-----|------------------|-----|
| | | M | SD | M | SD |
| 3 | Rückenlage | -4.3 | 2.5 | -5.0 | 2.0 |
| 4 | Rückenlage | -4.9 | 2.7 | -5.1 | 2.4 |
| 5 | Rückenlage | -5.1 | 2.7 | -5.2 | 2.3 |
| 6 | Linke Seite (re Hand auf Oberschenkel) | -3.6 | 2.9 | -0.6 | 2.9 |
| 7 | Rechte Seite (li Hand auf Oberschenkel) | -1.8 | 3.0 | -2.8 | 2.3 |
| 8 | Rechte Seite (beide Hände auf der Liege) | -19.4 | 6.1 | -2.8 | 2.8 |

Anmerkung: Es handelt sich um Mittelwerte des Height-Signals in den Untersuchungsphasen. Das negative Vorzeichen bedeutet, daß sich der Sensor am Finger unterhalb der Ebene des am Thorax befestigten Sensors befand (Indifferenz = 0.0 cm). Die Mittelwerte sind zwischen vergleichbaren Phasen 3/4 und 5 weitgehend konstant und reproduzierbar ($r > .92 < .98$).

Die Auswirkung der Körperlage auf den oszillometrisch bestimmten Blutdruck am Oberarm war erwartet, nicht dagegen der Effekt beim Portapres Gerät, da das Höhenkorrektursystem angeschaltet, kalibriert und funktionell überprüft war.

| Porta pres | Space Labs | Porta pres | Space Labs | Porta pres | Space Labs | Porta pres | Space Labs |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| le | ri | le | ri | le | ri | le | ri |

Tabelle 3.15 : Einfluß der Rückenlage und Seitenlage auf Finger- und Oberarm-Blutdruck

| Blutdruck in flacher Rückenlage/ Blutdruck in rechter Seitenlage, beide Hände auf der Liege | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|------|------|--------|------|------|-----------------------|-----------|------|--------|------|------|
| Blutdruck | Portapres Mittelwerte | | | | | | SpaceLabs Einzelwerte | | | | | |
| | links | | | rechts | | | links | | | rechts | | |
| | Diff | t | p | Diff | t | p | Diff | t | p | Diff | t | p |
| Systolischer | 12.3 | 6.07 | .000 | 0.6 | 0.40 | .690 | 18.3 | 15.1 8 | .000 | 1.4 | 1.05 | .301 |
| Mittlerer | 10.6 | 8.76 | .000 | -5.5 | 4.97 | .000 | 12.9 | 14.6 6 | .000 | -4.0 | 4.59 | .000 |
| Diastolischer | -4.6 | 2.57 | .015 | -6.5 | 5.36 | .000 | 13.2 | 13.4 2 | .000 | -4.2 | 5.19 | .000 |

Der Wechsel aus der flachen Rückenlage in die rechte Seitenlage als Schlafhaltung würde sehr signifikante Veränderungen des am linken Oberarm gemessenen Blutdrucks verursachen: systolisch – 18.3 mm Hg (SD = 6.5), diastolisch –13.2 mm Hg (SD = 5.3) und im mittleren Blutdruck –12.9 mm Hg (SD = 4.8).

3. 4 Diskussion

In der vorliegenden Methodenstudie wurde die Genauigkeit der Finger-Blutdruck-Messung mit dem PortapresTM Model 2.0 durch simultane Registrierung an der linken und der rechten Hand geprüft. Die Meßergebnisse können unter verschiedenen Perspektiven bewertet werden.

Korrelationsstatistisch ergab sich eine befriedigende Reproduzierbarkeit der individuellen Meßwerte des Finger-Blutdrucks bei jedem der Portapres-Geräte: (1) über ein kurzes Intervall von zwei Minuten und (2) zwischen den Untersuchungsphasen.

Auch die Mittelwertunterschiede zwischen den Geräten Portapres A und B scheinen gering zu sein. Die systolischen Werte sind bei A um ca. 3 mm Hg niedriger und die diastolischen Werte um ca. 3 mm Hg höher als bei B, wenn die Ruhephase betrachtet wird. Während Ergometerarbeit und anschließender Erholung sind die Abweichungen (Bias) noch geringer. Auch bei der Herzfrequenz gibt es Abweichungen zwischen beiden Systemen in der Größenordnung von 0.5 bpm. Diese kleine Differenz könnte durch den PHYSIOCAL-Mechanismus bedingt sein bzw. durch die missing data, die bei beiden Geräten nicht identisch sind.

Die meßmethodischen Probleme zeigen sich in aller Deutlichkeit erst in den Scatter Plots und Agreement Plots bzw. in den Übereinstimmungsbereichen mit ihren sehr weiten Grenzen. Dieser Übereinstimmungsbereich ($M \pm 2 SD$) beschreibt die Unsicherheit der Messungen (Tabelle 3.8 und Abbildungen). Die Abbildungen machen diesen Sachverhalt anschaulich.

Im Unterschied zum Portapres ergab sich zwischen beiden SpaceLabs-Geräten kein systematischer Mittelwertunterschied für Blutdruck und Herzfrequenz; der Übereinstimmungsbereich hat hier engere Grenzen (z. B. beim systolischen Blutdruck nur ca. 70 % des Übereinstimmungsbereichs vom Portapres Gerät). Die Herzfrequenzen sind hier vergleichsweise unsicher, da sie bei der oszillometrischen Methode nur aus wenigen Datenpunkten geschätzt und nicht als Minuten-Mittelwerte tatsächlich gemessen wurden.

Der Vergleich zwischen den Messungen des Finger-Blutdrucks und des oszillometrisch gemessenem Brachialis-Blutdruck war hier nur mit Vorbehalten möglich. Der Vergleich bezieht sich auf die letzte Minute der Ruhephase bevor die SpaceLabs-Messung ausgelöst wurde. Die Meßwerte sind also nicht strikt synchron erfaßt (zu den Problemen einer Synchronisierung siehe Fahrenberg, 1997). Bei diesen Vergleichen ergaben sich Unterschiede mit z. T. großer Effektstärke für die Blutdruckvariablen (Ausnahme: systolische Werte rechts), jedoch nicht für die Herzfrequenz. Weitere Vorbehalte ergeben sich aus der Restriktion der Varianz, denn es wurden nur normotone Personen unter Ruhebedingungen bzw. während leichter körperlicher Belastung gemessen.

Die Untersuchungsergebnisse stimmen in der allgemeinen Aussage mit den zitierten Untersuchungen über Finger-Blutdruck und intra-arterielle Werte überein. Die mittlere Differenz der Methoden scheint numerisch in der Praxis fast vernachlässigbar zu sein. Diese Abweichung bleibt jedoch durch ihre statistische Signifikanz und wegen ihrer Effektstärke ein wichtiger Einwand. Insbesondere begründen die weiten Grenzen des Übereinstimmungsbereichs erhebliche Zweifel an der Meßgenauigkeit. Die Untersuchungsergebnisse sprechen außerdem gegen die Annahme eines konstanten Fehlers (Offset).

Oszillometrische Messungen als Referenz

Die oszillometrischen Messungen des Brachialis-Blutdrucks waren hinsichtlich Mittelwert und Standardabweichungen der Differenzen zwischen beiden Geräten vergleichsweise genauer (siehe Tabelle 3.8 und Agreement Plot). Deswegen können solche Messungen als Referenzmessungen während einer Portapres-Registrierung zweckmäßig sein. Im Anhang befindet sich eine Abbildung, welche einen Portapres Rekord mit den eingetragenen Referenzwerten der SpaceLabs-

Messungen zeigt. Die mehr oder minder großen Abweichungen werden einen Einfluß auf die Interpretation von Befunden haben, da sie zweifellos zu Vorbehalten führen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sprechen erneut dafür, während der Registrierung des Finger-Blutdrucks simultane Referenzmessungen mit oszillometrischer Methodik vorzunehmen (Fahrenberg et al., 1997; Wild, 1998). Es empfiehlt sich ohnehin, beim Anlegen des Portapres Geräts Vergleichsmessungen durchzuführen, um bei deutlichen Abweichungen zwischen oszillometrischer Messung und Finger-Blutdruck eine Adjustierung der Manschetten vorzunehmen. Diese Messungen können dann fortgesetzt und automatisch in Intervallen von 20 Minuten oder, z. B. während eines Interviews, auch in Intervallen von 10 Minuten kontralateral erfolgen. Die Messung am ipsilateralen Oberarm hätte den Vorzug einer genaueren zeitlichen Zuordnung dieser Messung zum Portapres-Protokoll. Der Fingerpuls wird durch die zunehmende Okklusion unterdrückt, doch kehrt das Signal, wenn die Meßphase nicht zu lange dauert, ohne größere Störungen (PHYSIOCAL) wieder. In einem solchen Rekord wäre die u. U. von der Messung ausgelöste Startreaktion zu erkennen.

Fingertemperatur

Diese Methodenstudie mit der vorausgegangenen Pilotstudie war nur bedingt geeignet, mögliche Einflußgrößen auf die Messung des Finger-Blutdrucks zu erfassen. Aus der Pilotstudie an 15 Personen ist zu entnehmen, daß die Effekte der Kompression und Abkühlung der Finger mit der Switching Option zu reduzieren, aber nicht zu beseitigen sind. Da das Switching durch die notwendige neue Anpassung, welche ca. 5 Minuten dauert, andere Nachteile hat, wird sie in der Regel nur für Registrierungen, die länger als 1 1/2 bis 2 Stunden dauern, zweckmäßig sein.

Die weitere Untersuchung der möglichen Einflüsse der Fingertemperatur hat keine klaren Ergebnisse gebracht. Die Kompression durch die Fingermanschette und die Applikation eines wärmenden Handschuhs haben hier nur geringe Einflüsse auf die Fingertemperatur gebracht. Die Interpretation wird durch widersprüchliche Ergebnisse für einen Finger der rechten Hand erschwert. Ein Untersuchungsteilnehmer fiel durch eine sehr niedrige Fingertemperatur auf; Kontrollrechnungen ohne diese Person lieferten jedoch keine wesentlich anderen Resultate. Die Bedeutung von Fingertemperatur, Umgebungstemperatur und Außentemperatur müßten über einen größeren Temperaturbereich untersucht werden (siehe Tanakka & Thulen, 1993).

Körperlage

Der an sich bekannte, hydrostatisch bedingte Einfluß der Körperposition konnte hier während der Registrierung in liegender Position durch Rotation des Körpers aus der Rückenlage in die linke und die rechte Seitenlage mit Variation der Position der Hand gezeigt werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß es beim Portapres Gerät eine automatische Anpassung der Meßwerte durch das Höhenkorrektur-System gibt. Dagegen war dies bei der Messung des Blutdrucks am Oberarm nicht der Fall. Insofern waren die deutlichen Auswirkungen der Lageänderung auf die oszillometrischen Blutdruckwerte erwartet. Für die Effekte auch beim Finger-Blutdruck fehlt eine Erklärung. Eine Fehlfunktion ist nicht wahrscheinlich, da das System routinemäßig überprüft wurde. Es könnte u. U. — als Folge einer bequemen Lagerung der Hand — eine Varianz zwischen Personen und zwischen Bedingungen aufgetreten sein.

An den Ergebnissen ist bemerkenswert, daß sowohl die SpaceLabs-Messungen als auch die Portapres-Messungen Effekte der Körperrotation in einer praktisch nicht zu vernachlässigenden

Größenordnung erkennen ließen. Die Messungen am linken Oberarm sowie an der rechten Hand (bei linker Seitenlage) und an der linken Hand (bei rechter Seitenlage) reagierten am stärksten.

Die Ergebnisse stehen in sehr guter Übereinstimmung mit den Befunden von Schwan und Pavcek (1989): Wenn eine Person die Blutdruckmanschette am linken Arm trägt und dann nachts (zeitweilig) auf der rechten Körperseite schläft, wird der Blutdruck in hochsignifikantem Ausmaß systolisch um 18 und diastolisch um 13 mm Hg gegenüber der Rückenlage abnehmen — ohne daß diese Person ein "dipper" wäre.

Generell sollten, wenn eine genauere Evaluation der Blutdruckdynamik — insbesondere unter Alltagsbedingungen (ambulant Monitoring) — beabsichtigt ist, eine angemessene Kontrolle der Körperposition und der körperlichen Aktivität stattfinden. Zur Information über die körperlichen Aktivität können einfache Körperlage-Sensoren und EMG-Ableitungen (vgl. Jain et al., 1996; Tuomisto, Johnston & Schmidt, 1996) bzw. auch dreiaxiale Aktimeter bzw. Accelerometer verwendet werden (siehe u. a. Costa et al., 1999; Heger, 1990; Käßler, 1994; Myrtek et al., 1988; Sherman et al., 1998). Noch genauere Aussagen über Körperposition, Aktivität und Bewegungsmuster sind durch Accelerometrie mit drei bis vier Kanälen möglich (Bussmann, 1998; Foerster, Smeja & Fahrenberg, 1999; Foerster & Fahrenberg, 2000). An künftige Blutdruck-Meßsysteme sollten in diesem Sinne höhere technische Anforderungen gestellt werden als bisher.

Ausblick

In der kardiovaskulären Psychophysiologie und in der psychosomatisch orientierten Hypertonieforschung gibt es zahlreiche Fragestellungen, die von einer kontinuierlichen, nicht-invasiven Messung des Finger-Blutdrucks wichtige Fortschritte erwarten könnten. Als Beispiel sei hier die Registrierung des Blutdrucks während des psychologischen Interviews eines Patienten mit essentieller Hypertonie und ähnliche Fragestellungen genannt (siehe u. a. Deter, Klepper & Schulte, 1996; Franck et al., 1996; Hermann et al., 1986; Kollenbaum et al., 1995; Piesbergen et al., 1995; Schmidt & Jain, 1996). Solche Interviews sollen die Blutdruckreaktionen während biographisch wichtiger Themen und alltäglicher Belastungen und assoziierte Emotionen und Konflikte erfassen. Diese Registrierungen können den Patienten später als ihr Blutdruck-Video gezeigt werden, um diese Blutdruckreaktivität anschaulich zu machen. Viele Patienten vermögen es zunächst nicht, sich die enge Kopplung von Alltagsbelastungen und Blutdruckreaktionen konkret vorzustellen. Anhand solcher Rekords können die psychologischen und anderen Gründe auffälliger Blutdrucksteigerungen und u. U. geeignete Maßnahmen besprochen werden.

Diese Forschungsansätze müssen sich jedoch mit der zweifelhaften Meßgenauigkeit des Geräts auseinandersetzen. Die konventionelle oszillometrische Messung des Brachialis-Blutdrucks ist sicher wesentlich genauer, wird aber oft ein unzureichendes Bild der Blutdruckdynamik d. h. der kurzzeitigen Reaktionen und der allgemeinen Variabilität geben. Die neuen Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß es sich bei den Abweichungen zwischen beiden Geräten nicht um einen konstanten Fehler im Sinne eines eventuell bei der Analyse von Veränderungen ("Blutdruck Tracking") zu vernachlässigenden Offset handelt. Die mittlere Differenz scheint zwar gering und fast vernachlässigbar zu sein, doch zeigen die weiten Grenzen des Übereinstimmungsbereichs an, daß die Messungen zweifelhaft und oft nicht ausreichend genau sein werden.

Die mit dem PortapresTM Model 2.0 gemessenen Werte sollten ausdrücklich als "Finger-Blutdruck" bezeichnet werden. Die Anwender müssen entscheiden, ob die bei speziellen Fragestellungen erwünschte hohe zeitliche Auflösung auf Kosten der Genauigkeit zu rechtfertigen ist. Begleitende oszillometrische Messungen könnten Referenzwerte liefern.

Literaturverzeichnis

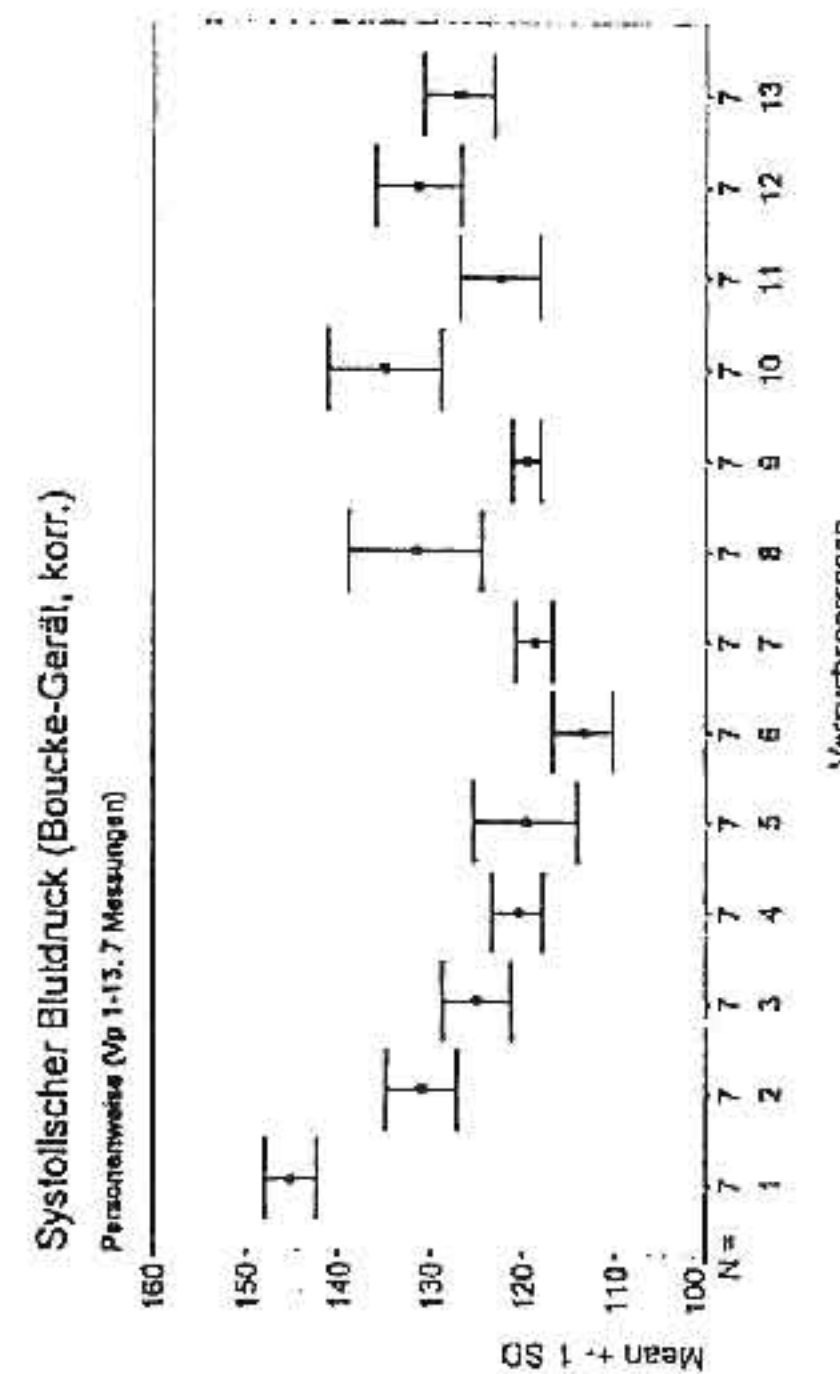
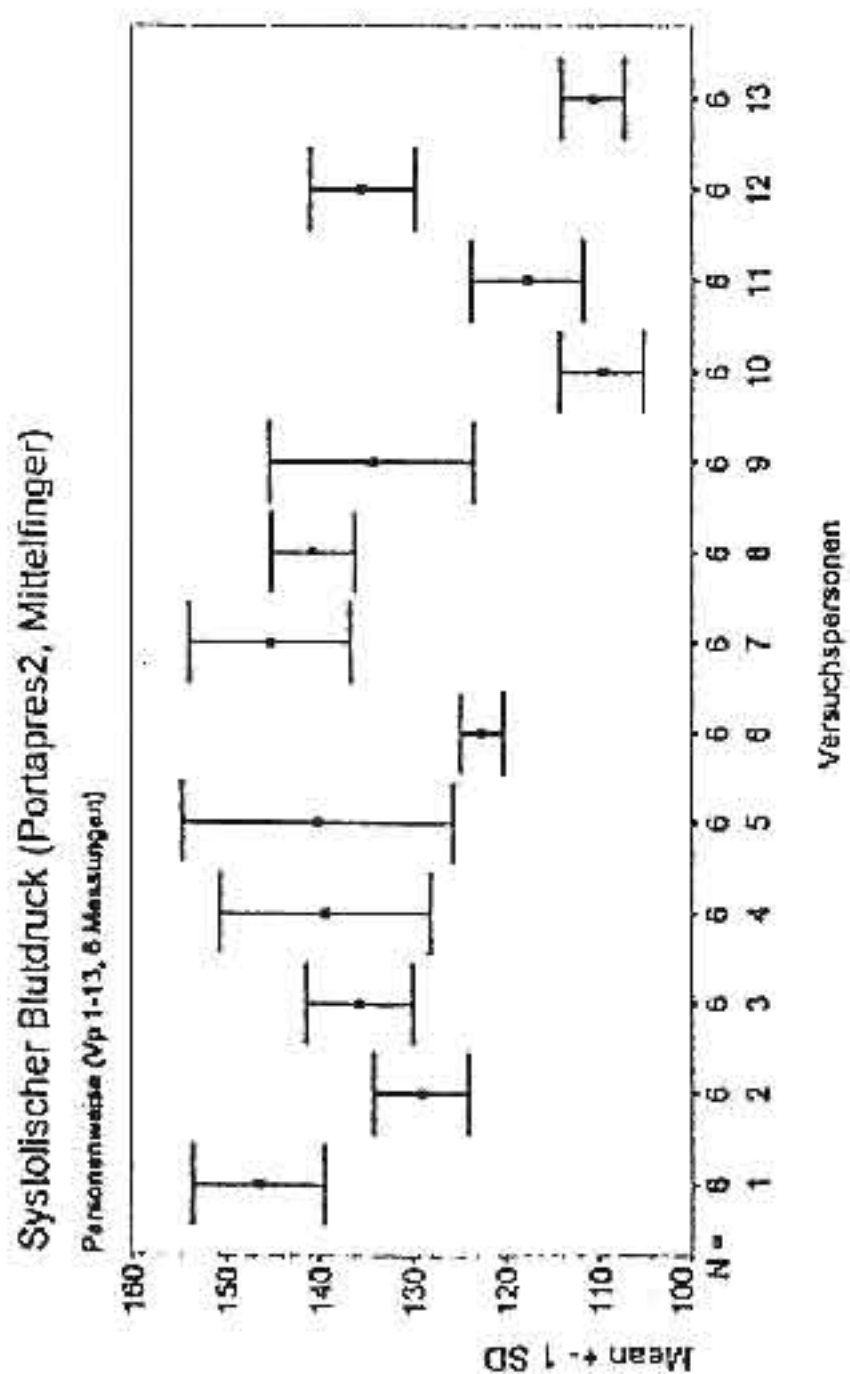
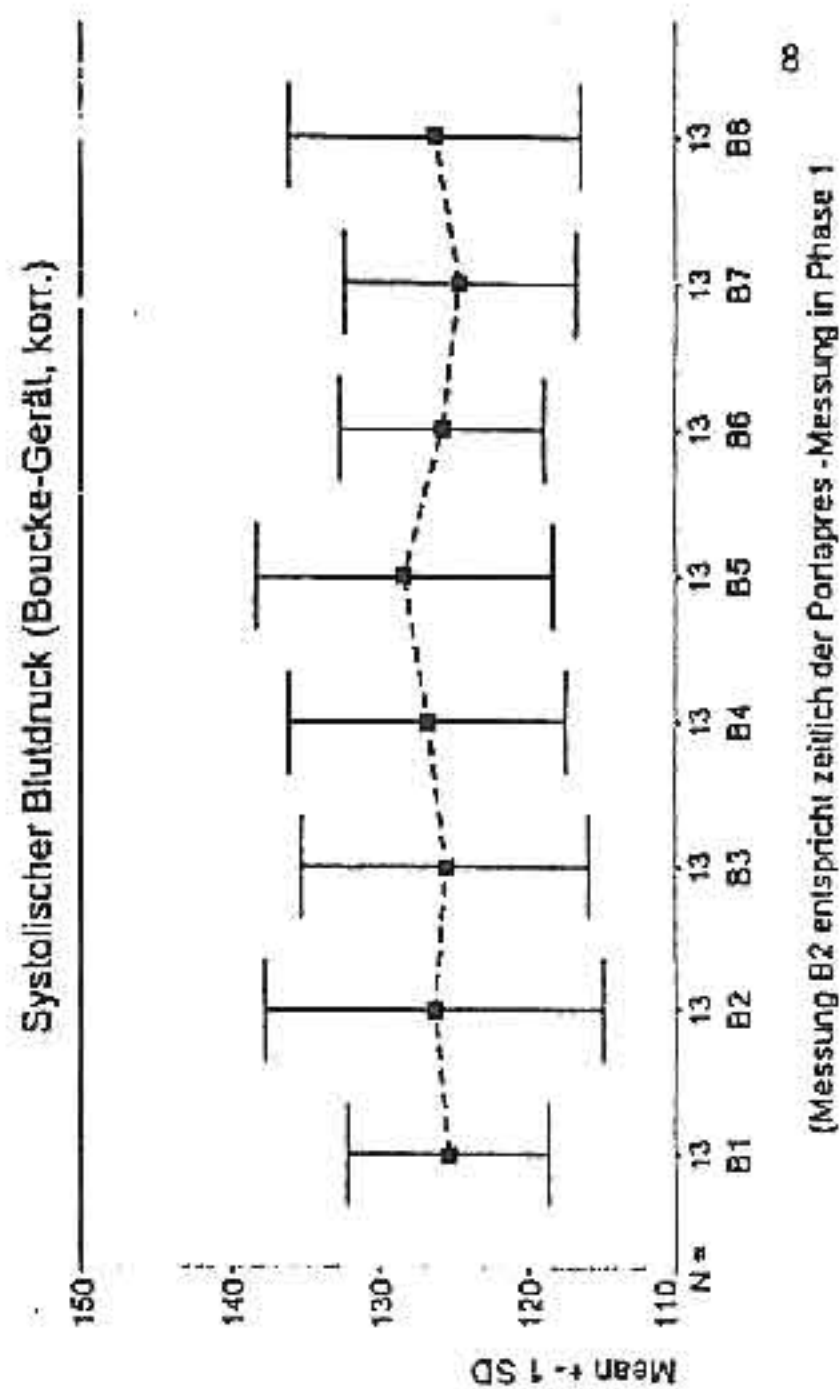
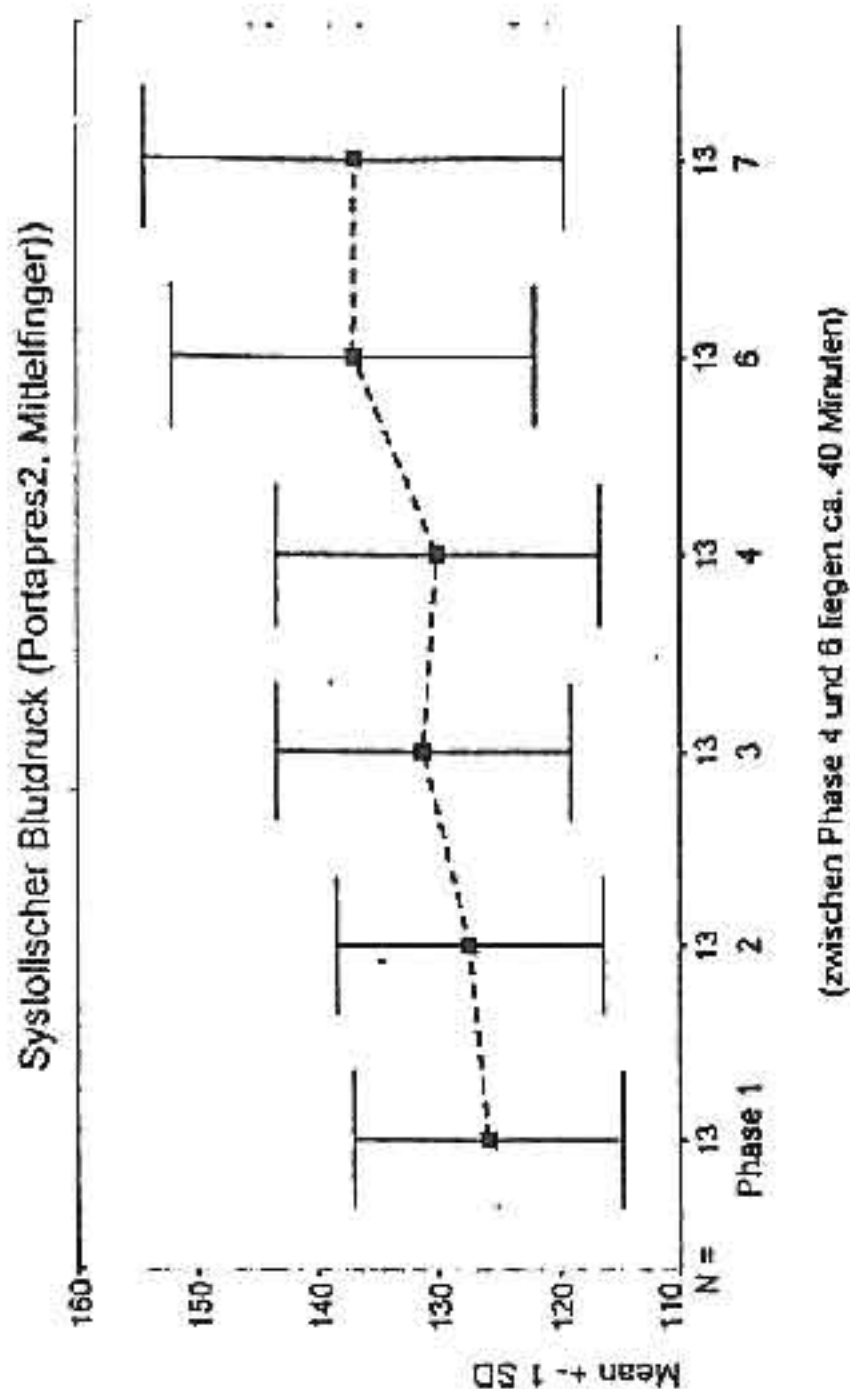
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *THE LANCET*, February 8, 307-310.
- Bos, W. J. W., van den Meiracker, A. H., Wesseling, K. H. & Schalekamp, M. A. D. H. (1995). Effect of regional and systemic changes in vasomotor tone on finger pressure amplification. *Hypertension*, 26, 315-320.
- Bussmann, H. (1998). Ambulatory monitoring of mobility-related activities in rehabilitation medicine. Delft, The Netherlands: Eburon.
- Castiglioni, P., Parati, G., Omboni, S., Mancia, G., Imholz, B. P. M., Wesseling, K. H. & Di Rienzo, M. (1999). Broad-band spectral analysis of 24 h continuous finger blood pressure: Comparison with intra-arterial recordings. *Clinical Science*, 97, 129-139.
- Costa, M., Steptoe, A., Cropley, M. & Griffith, J. (1999). Ambulatory blood pressure monitoring associated with reduced physical activity during every day life. *Psychosomatic Medicine*, 61, 806-811.
- Deter, H. C., Klepper, A. & Schulte, K. H. (1996). Preliminary results of a differentiated emotion-stimulating interview in patients with essential hypertension as compared with inpatients of a psychosomatic unit and normal controls. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 65, 262-271.
- Fahrenberg, J. (1996). Concurrent assessment of blood pressure, heart rate, physical activity, and emotional state in natural settings. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp. 165-187). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Fahrenberg, J. (1997). Kontinuierliche Blutdruckmessung am Finger (Portapres2) im Vergleich zu oszillometrischer (SpaceLabs 90207) und auskultatorischer (Boucke Tensiomat FIB 4/6) Technik. Forschungsbericht Nr. 129. Freiburg i. Br.: Psychologisches Institut der Universität.
- Fahrenberg, J. (2001). Physiologische Grundlagen und Meßmethoden der Herz-Kreislaufaktivität. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Biologische Psychologie. Band 4: Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie* (S. 317-483). Göttingen: Hogrefe.
- Fahrenberg, J. & Myrtek, M. (2001). Monitoring und Assessment. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Biologische Psychologie. Band 4: Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie* (S. 657-798). Göttingen: Hogrefe.
- Fahrenberg, J., Wild, M., Müller, W. & Herrmann, J. M. (1997). Kontinuierliche Blutdruckmessung mit Portapres2: Eine Reliabilitätsstudie. *Nieren- und Hochdruckkrankheiten*, 26, 218.
- Foerster, F. & Fahrenberg, J. (2000). Motion pattern and posture: Correctly assessed by calibrated accelerometers. *Behavior Research Methods*, 32, 450-457.
- Foerster, F., Smeja, M., & Fahrenberg, J. (1999). Detection of posture and motion by accelerometry: A validation study in ambulatory monitoring. *Computers and Human Behavior*, 15, 571-583.
- Franck, M., Herrmann, J. M. & Fahrenberg, J. (1996). Psychophysiologisches Blutdruck-Monitoring. *Nieren- und Hochdruckkrankheiten*, 25, 195-201.
- Heger, R. (1990). Psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring. Methodeentwicklung und erste Ergebnisse eines multimodalen Untersuchungsansatzes bei 62 normotonen und blutdrucklabilen Studenten. Phil. Diss. Universität Freiburg i. Br. Frankfurt: Lang.
- Herrmann, J.M., Rassek, M., Schäfer, N., Schmidt, T.H. & Uexküll, Th. von (1986). Essentielle Hypertonie. In Th. von Uexküll, *Psychosomatische Medizin*. 3. Aufl. (S. 719-744). München: Urban & Schwarzenberg.
- Hirschl, M. M., Binder, M., Herkner, H., Bur, A., Brunner, M., Seidler, D., Stühlinger, H. G. & Laggner, A.N. (1996). Accuracy and reliability of noninvasive continuous finger blood pressure measurement in critically ill patients. *Critical Care Medicine*, 24, 1684-1689.
- Hirschl, M. M., Woisetschläger, C., Waldenhofer, U., Herkner, H. & Bur, A. (1999). Finapres vs Portapres. *Journal of Human Hypertension*, 13, 899.
- Imholz, B.P.M. (1995). The brachial to finger pressure difference: are effects of modifiers of pulse wave distortion detectable among subjects? In A. J. Man in't Veld, G. A. van Montfrans, G. J. Langewouters, K. I. Lie & G. Mancia (Eds.), *Measurement of heart rate and blood pressure variability in man* (pp. 109-112). Alphen aan den Rijn, The Netherlands: Van Zuiden Communication B.V.
- Imholz, B.P.M. (1996). Automated blood pressure measurement during ergometric stress testing: possibilities of Finapres. *Zeitschrift Kardiologie*, 85, (Suppl. 3), 76-80.
- Imholz, B. P. M., Wieling, W. van Montfrans, G. A. & Wesseling, K. (1998). Fifteen years experience with finger arterial pressure monitoring: assessment of the technology. *Cardiovascular Research*, 38, 605-616.
- Imholz, B. P. M., Langewouters, G. J., van Montfrans, G. A., Parati, G., van Goudoever, J., Wesseling, K. H., Wieling, W. & Mancia, G. (1993). Feasibility of ambulatory, continuous 24-hour finger arterial pressure recording. *Hypertension*, 21, 65-73.

- Jain, A., Martens, W. L. J., Mutz, G., Weiß, R. K. & Stephan, E. (1996). Towards a comprehensive technology for recording and analysis of multiple physiological parameters within their behavioral and environmental context. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp 215-235). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Jellema, W. T., Imholz, B. P. M., van Goudoever, J., Wesseling, K. H. & van Lieshout, J. J. (1996). Finger arterial versus intrabrachial pressure and continuous cardiac output during head-up tilt testing in healthy subjects. *Clinical Science*, 91, 193-200.
- Jones, R. D. M., Kornberg, J. P., Roulson, C. J., Visram, A. R. & Irwin, M. G. (1993). The Finapres 2300e finger cuff. The influence of cuff application on the accuracy of blood pressure measurement. *Anaesthesia*, 48, 611-615.
- Kenner, T. (1988). Arterial blood pressure and its measurement. *Basic Research in Cardiology*, 83, 107-121.
- Käppler, C. (1994). Psychophysiologische Bedingungsanalyse von Blutdruckveränderungen im alltäglichen Lebenskontext. Phil. Diss., Universität Freiburg i. Br. Frankfurt a.M.: Lang.
- Kollenbaum, V. E., Meyer, W., Meyer, G. J., Veldern, G., Schnoor, P. W., Will, D., Seidenstücker, K. H., Speidel, H. & Niedermayer, W. (1995). Psychophysische Belastungsreaktionen während eines tiefenpsychologischen Interviews. *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie*, 45, 202-207.
- Langewouters, G. J. (1993). Portapres™ Model 2.0. User Manual. TNO Biomedical Instrumentation Research Unit. Amsterdam. The Netherlands.
- Langewouters, G. J., Settels, J. J., Roelandt, R. & Wesseling, K. H. (1998). Why use Finapres or Portapres rather than intra-arterial or intermittent non-invasive techniques of blood pressure measurement? *Journal of Medical Engineering & Technology*, 22, 37-43.
- Man in't Veld, A. J., van Montfrans, G. A., Langewouters, G. J., Lie, K. I. & Mancia, G. (1995). Measurement of heart rate and blood pressure variability in man. Methods, mechanisms and clinical applications of continuous finger blood pressure measurement. Alphen aan den Rijn, The Netherlands: Van Zuiden Communications B.V.
- Meredith, P. A., Perloff, D., Mancia, G. & Pickering, T. (1995). Blood pressure variability and its implications for antihypertensive therapy. *Blood Pressure*, 1995, 5-11.
- Mussu, N. R., Giacche, M., Galbariggi, G. & Vergassola, C. (1996). Blood pressure evaluation by noninvasive and traditional methods. Consistencies and discrepancies among photoplethysmomanometry, office sphygmomanometry, and ambulatory monitoring. Effects of blood pressure measurement. *American Journal of Hypertension*, 9, 293-299.
- Myrtek, M., Brügger, G., Fichtler, A., König, K., Müller, W., Foerster, F. & Höppner, V. (1988). Detection of emotionally induced ECG changes and their behavioral correlates: A new method for ambulatory monitoring. *European Heart Journal*, 9 (Supplement N), 55-60.
- Myrtek, M., Brügger, G. & Müller, W. (1996). Interactive monitoring and contingency analysis of emotionally induced ECG changes: Methodology and applications. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp. 115-127). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- O'Brien, E. & O'Malley, K. (Eds.) (1991). *Blood pressure measurement (Handbook of Hypertension Vol. 14)*. Amsterdam: Elsevier.
- O'Callaghan, C., Straznicki, N. E., Komersova, K. & Louis, W. J. (1998). Systematic errors in blood pressure from finger blood pressure measurements. *Blood Pressure*, 7, 277-281.
- Omboni, S., Parati, G., Frattola, A., Mutti, E., Di Rienzo, M., Castiglioni, P. & Mancia, G. (1993). Spectral and sequence analysis of finger blood pressure variability. Comparison with analysis of intra-arterial recordings. *Hypertension*, 22, 26-33.
- Omboni, S., Parati, G., Castiglioni, P., Di Rienzo, M., Imholz, B. P. M., Langewouters, G. J., Wesseling, K. & Mancia, G. (1998). Estimation of blood pressure variability from 24-hour ambulatory finger blood pressure. *Hypertension*, 32, 52-58.
- Pickering, T.G. (1991). *Ambulatory monitoring and blood pressure variability*. London: Science Press.
- Piesbergen, C., Middeke, M. Butollo, W. (1995). On-line-Feedback des Blutdrucks mittels nichtinvasiver, kontinuierlicher Blutdruckmessung. *Nieren- und Hochdruckkrankheiten*, 32, 154-156.
- Ristuccia, H. L., Grossman, P., Watkins, L. L. & Lown, B. (1997). Incremental bias in Finapres estimation of baseline blood pressure levels over time. *Hypertension*, 29, 1039-1043.
- Rongen, G. A., Bos, W. J. W., Lenders, J. W. M., van Montfrans, G. A., van Lier, H. J. J., van Goudoever, J., Wesseling, K. H. & Thien, T. (1995). Comparison of intrabrachial and finger blood pressure in healthy elderly volunteers. *American Journal of Hypertension*, 8, 237-248.
- Rüddel, H. & Curio, I. (Eds.) (1991). *Non-invasive continuous blood pressure measurement. Methods, evaluations and applications of the vascular unloading technique (Peñáz-Method)*. Frankfurt a.M.: Lang.
- Scheuch, K., Berndt, A., Knöpfel, D. & Seibt, R. (1998). Brachialer und peripherer Blutdruck über 24 Stunden – eine vergleichende Studie: *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 42, 219-223.

- Schmidt, T. H., Engel, B. & Blümchen, G. (Eds.) (1992.). Temporal variations of the cardiovascular system. Berlin: Springer.
- Schmidt, T.H. & Jain, A. (1996). Continuous assessment of finger blood pressure and other haemodynamic and behavioral variables in everyday life. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.). Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies (pp. 189-213). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Schmidt, T. F. H., Steinmetz, T., Wittenhaus, J., Piccolo, P. & Lürpsch, H. (1992). A new dimension of blood pressure measurement in man: 24-h ambulatory continuous noninvasive recording with Portapres. In T. F. H. Schmidt, B. T. Engel & G. Blümchen (Eds.), Temporal variations of the cardiovascular system (pp. 181-221). Berlin: Springer.
- Schwan, A. & Pavsek, K. (1989). Change in posture during sleep causes errors in non-invasive automatic blood pressure recordings. *Journal of Hypertension*, 7 (suppl 6), S62-S63.
- Sherman, W. M., Morris, D. M., Kirby, T. E., Petosa, R. A. Smith, B. A., Frid, D. J. & Leenders, N. (1998). Evaluation of a commercial accelerometer (Tritrac) to measure energy expenditure during ambulation. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 43-47.
- Silke, B. & McAuley, D. (1998). Accuracy and precision of blood pressure determination with the Finapres: An overview using re-sampling statistics. *Journal of Human Hypertension*, 12, 403-409.
- Tanaka, H. & Thulesius, O. (1993). Effect of temperature on finger artery pressure evaluated by volume clamp technique. *Clinical Physiology*, 13, 535-545.
- Tuomisto, M. T., Johnston, D. W. & Schmidt, T. F. H. (1996). The ambulatory measurement of posture, thigh acceleration, and muscle tension and their relationship to heart rate. *Psychophysiology*, 33, 409-415.
- Verdecchia, P., Clement, D., Fagard, R., Palatini, P. & Parati, G. (1999). Task Force III: Target-organ damage, morbidity and mortality. *Blood Pressure Monitoring*, 4, 303-317.
- Voogel, A. J. & van Montfrans, G. A. (1997). Reproducibility of twenty-four-hour finger arterial blood pressure, variability and systemic hemodynamics. *Journal of Hypertension*, 15, 1761-1765.
- Wesseling, K. H. (1988). Finapres – Kontinuierliche, nichtinvasive arterielle Blutdruckmessung am Finger nach der Methode von Peñáz. In W. Meyer-Sabellek & R. Gotzen (Hrsg.), Indirekte 24-Stunden-Blutdruckmessung (S. 45-59). Darmstadt: Steinkopff.
- Wesseling, K. H. (1993). The FAST-mf/-cZ system. User Manual. Amsterdam: TNO-BioMedical Instrumentation.
- Wesseling, K. H. (1996). Finger arterial pressure measurement with Finapres. *Zeitschrift für Kardiologie*, 85 (Suppl. 3), 38-44.
- Wesseling, K.H., Settels, J.J. & de Wit, B. (1986). The measurement of continuous finger arterial pressure noninvasively in stationary subjects. In T.H. Schmidt, T.M. Dombroski & G. Blümchen (Eds.), Biological and psychological factors in cardiovascular disease (pp. 355-376). Berlin: Springer.
- Wesseling, K. H., de Wit, B., van der Hoeven, G. M. A., van Goudoever, J. & Settels, J. J. (1995). Physiological, calibrating finger vascular physiology for Finapres. *Homeostasis*, 36, 67-82.
- Wild, M. (1998). Die Rückmeldung von kontinuierlich gemessenen Blutdruckwerten mit Portapres 2.0 bei Hypertonikern. Unveröffentlichte Dipl. Arbeit, Universität Freiburg i.Br.: Psychologisches Institut, Forschungsgruppe Psychophysiologie.

Anhang

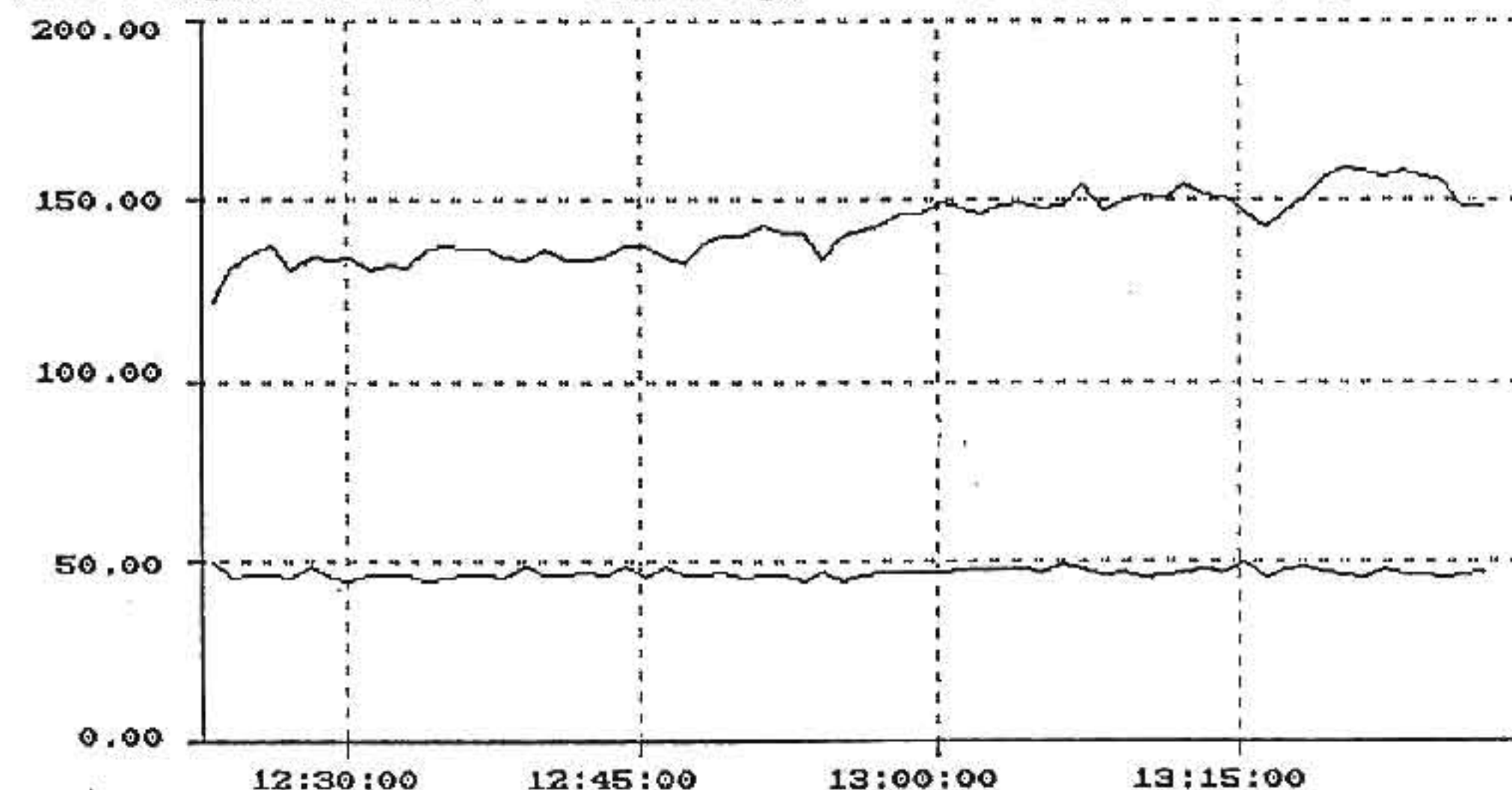
Abbildungen zur Pilotstudie



Mittlerer Verlauf der systolischen Werte und Darstellung der Varianzunterschiede zwischen Personen

Plot 1 Signal RES.Syst (t60.00)mHg C:\DOSPROG\FAST\80E25.RES

Plot 4 Signal RES.Rate (t60.00)pm C:\DOSPROG\FAST\80E25.RES



res1: ModelFlo

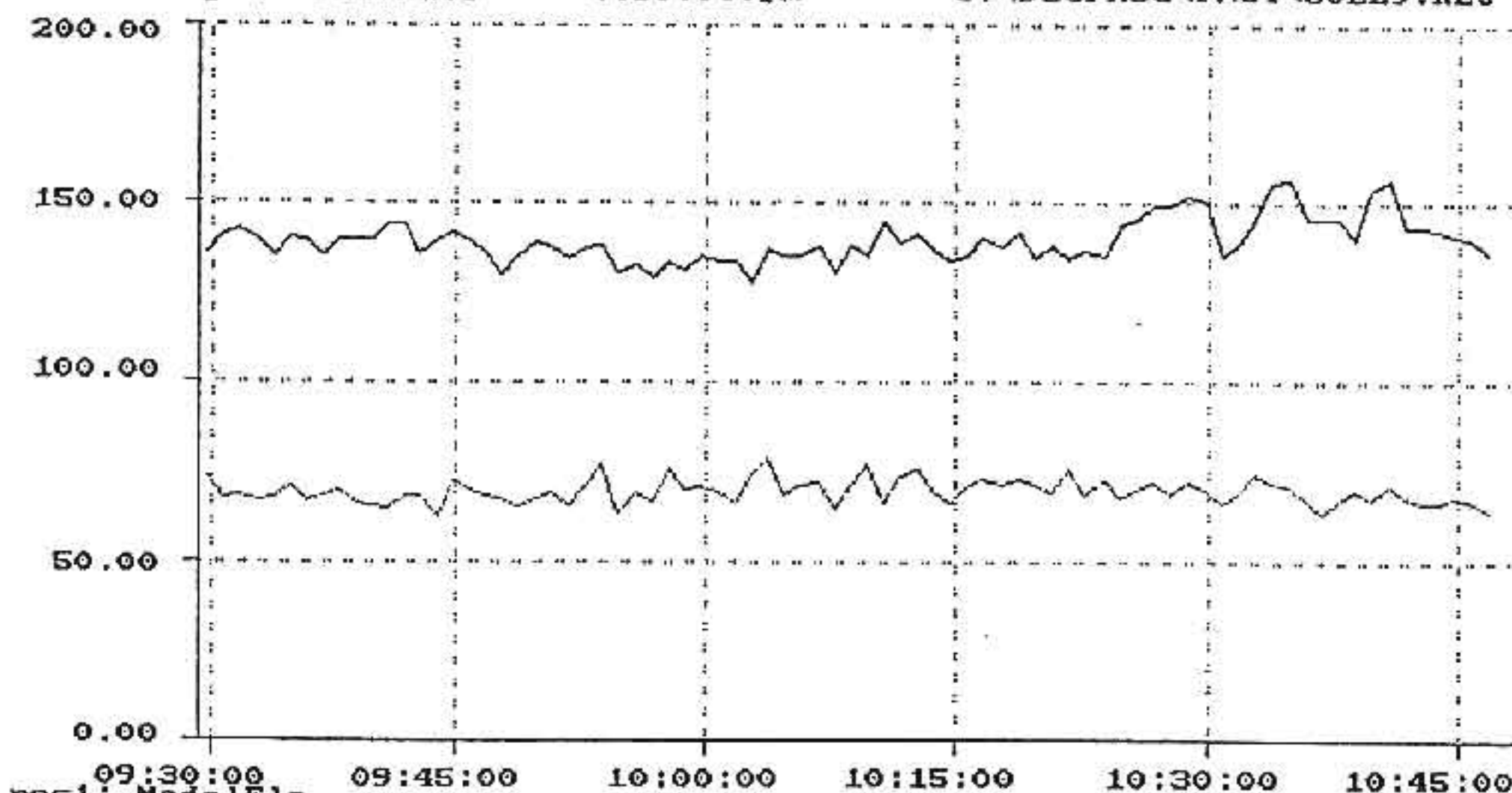
1999.02.25 11:22:21 Male Zao:100 Age:25

abs_time 12:22:44 - 13:29:02

Abbildungen Zwei typische Verläufe von systolischem Blutdruck
am Zeigefinger (mit Trend) und Herzfrequenz.

Plot 1 Signal RES.Syst (t60.00)mHg C:\DOSPROG\FAST\80E29.RES

Plot 4 Signal RES.Rate (t60.00)pm C:\DOSPROG\FAST\80E29.RES



res1: ModelFlo

1999.02.25 11:38:19 Male Zao:100 Age:60

abs_time 09:29:15 - 10:48:25

Abbildung: Portapres A mit Eintragung von Referenzmessungen mit SpaceLabs A Rekord V

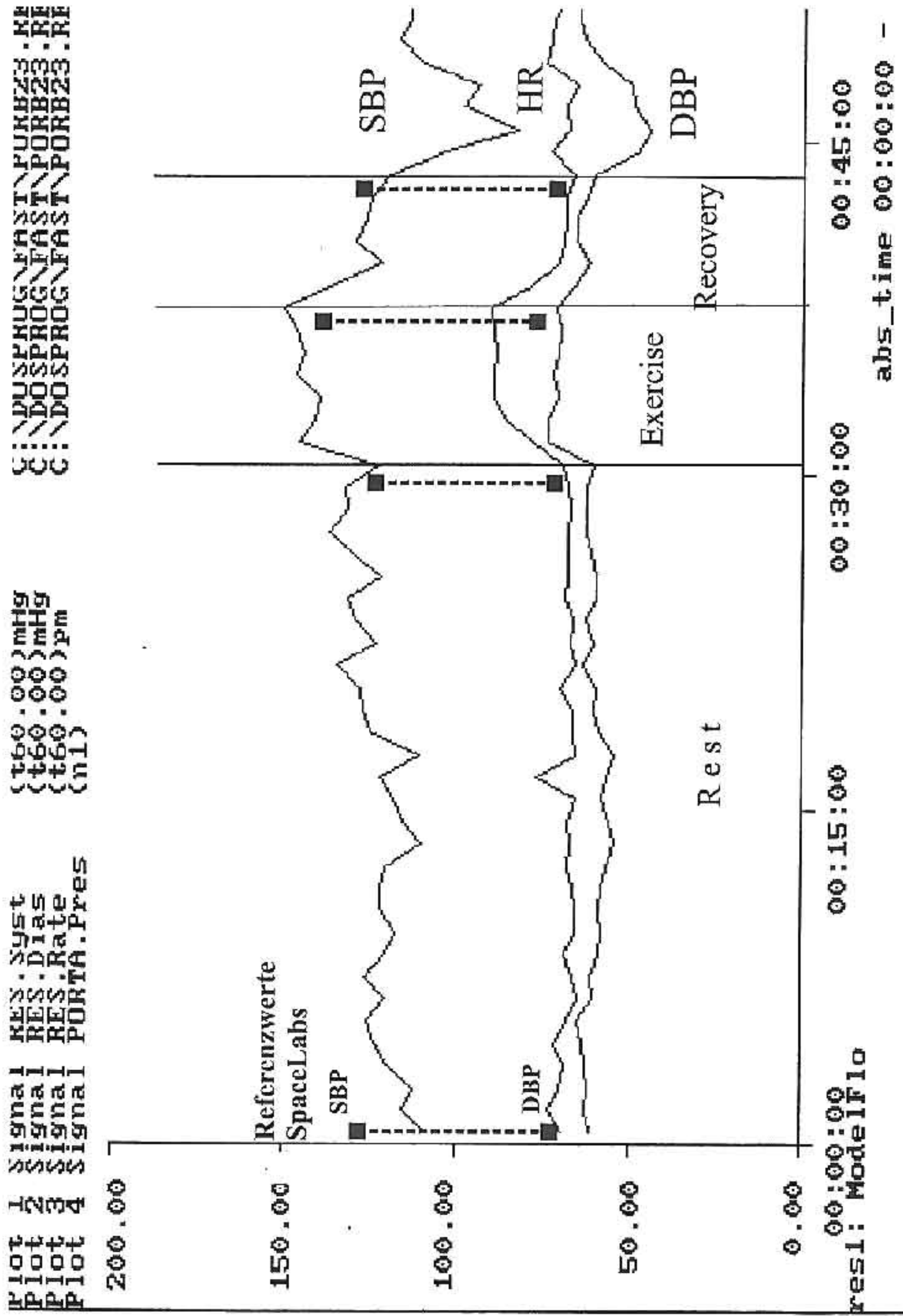
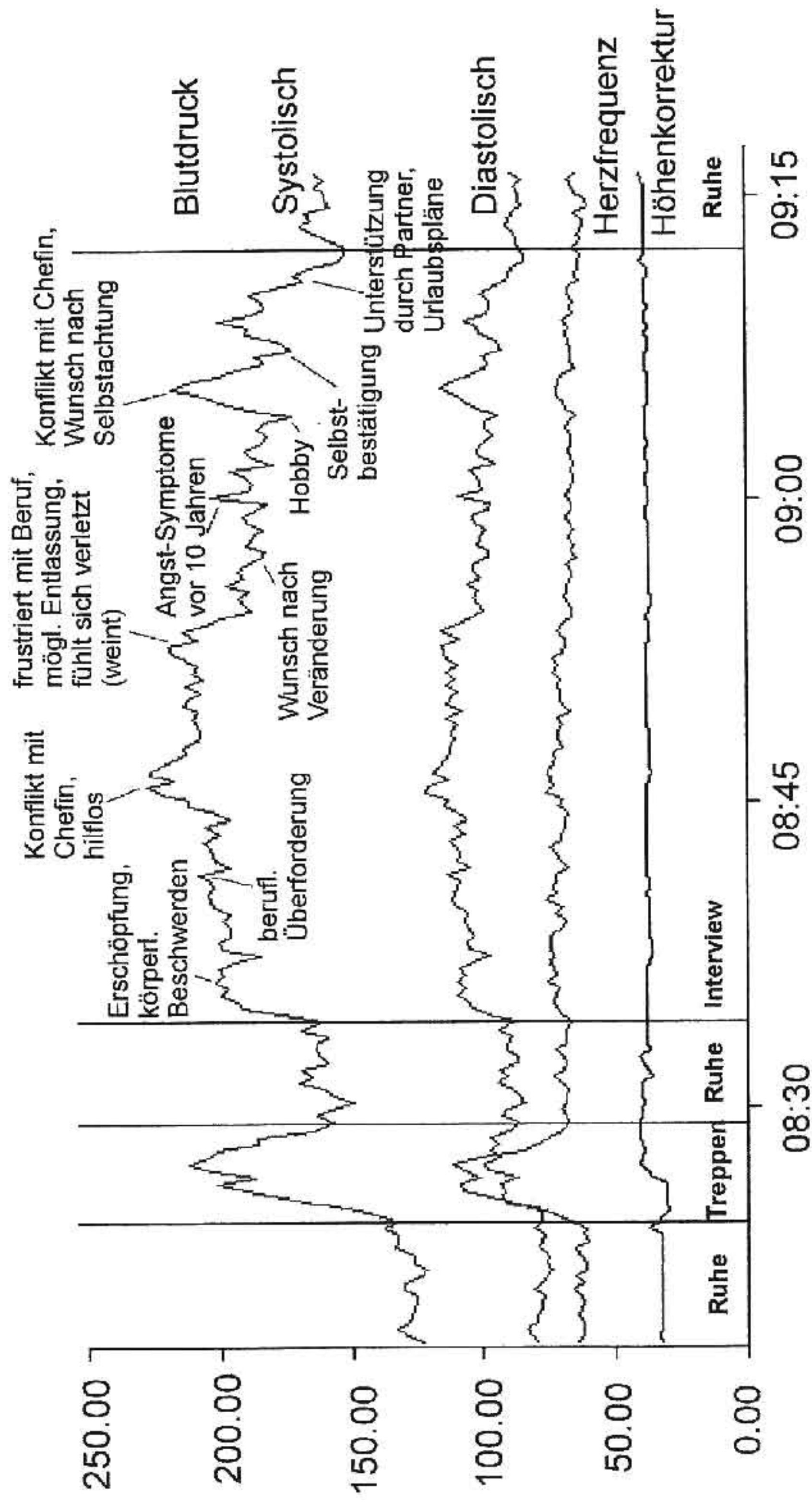


Abbildung A 2: Typisches Beispiel einer Portapres-Registrierung vor und während eines biographischen Interviews bei einer Patienten mit essentieller Hypertonie (Interview und Registrierung M. Wild).



Variablen der Untersuchung und Grundstatistiken der Untersuchungsphasen (Phase 1 und 2 mit der Messung von Fingertemperatur und Blutdruck, Phase 3 = Ruhebedingung, Phase 4 = Ergometerarbeit, Phase 5 = Erholung, Phasen 6 bis 8 = Lagewechsel)

| Variable | Label | N | Mean | Std Dev | Minimum | Maximum |
|----------|---|----|-------------|------------|-------------|-------------|
| VP_NR | Vp-Nummer | 31 | 17.1290323 | 9.6323827 | 1.0000000 | 33.0000000 |
| HAND | Handschuh: 1=nein, 2=ja | 31 | 1.5161290 | 0.5080005 | 1.0000000 | 2.0000000 |
| TML00001 | Temperatur Mittelf., links, AusBed1 | 28 | 32.2842857 | 2.8971550 | 22.9800000 | 35.1500000 |
| TRL00001 | Temperatur Ringf., links, AusBed1 | 28 | 32.2964296 | 3.0292234 | 22.1000000 | 35.0000000 |
| TMR00001 | Temperatur Mittelf., rechts, | 26 | 32.9642308 | 1.9508730 | 28.2500000 | 35.5000000 |
| APULS_M1 | Puls, MW, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| APULS_S1 | Puls, SD, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| ASYST_M1 | Syst.Blutdr., MW, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| ASYST_S1 | Syst.Blutdr., SD, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| ADIAS_M1 | Diast.Blutdr., MW, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| ADIAS_S1 | Diast.Blutdr., SD, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| AMEAN_M1 | Mittl.Blutdr., MW, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| PMEAN_S1 | Mittl.Blutdr., SD, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| AHR_M1 | Herzfrequenz, MW, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| AHR_S1 | Herzfrequenz, SD, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| AHEIG_M1 | Sensor-Hoehe, MW, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| AHEIG_S1 | Sensor-Hoehe, SD, links, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BPULS_M1 | Puls, MW, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BPULS_S1 | Puls, SD, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BSYST_M1 | Syst.Blutdr., MW, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BSYST_S1 | Syst.Blutdr., SD, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BDIAS_M1 | Diast.Blutdr., MW, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BDIAS_S1 | Diast.Blutdr., SD, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BMEAN_M1 | Mittl.Blutdr., MW, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BMEAN_S1 | Mittl.Blutdr., SD, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BHR_M1 | Herzfrequenz, MW, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BHR_S1 | Herzfrequenz, SD, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP1V_M1 | Temperatur, 1V, MW, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP1V_S1 | Temperatur, 1V, SD, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP2V_M1 | Temperatur, 2V, MW, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP2V_S1 | Temperatur, 2V, SD, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP3V_M1 | Temperatur, 3V, MW, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP3V_S1 | Temperatur, 3V, SD, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP4V_M1 | Temperatur, 4V, MW, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| TMP4V_S1 | Temperatur, 4V, SD, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BHEIG_M1 | Sensor-Hoehe, MW, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| BHEIG_S1 | Sensor-Hoehe, SD, rechts, AusBed1 | 0 | . | . | . | . |
| ASYST_1 | Syst.Blutdr., Spacel., links, AusBed1 | 31 | 125.2530645 | 8.8089642 | 109.0000000 | 143.0000000 |
| AMEAN_1 | Mittl.Blutdr., Spacel., links, AusBed1 | 31 | 88.8387097 | 6.4812384 | 78.0000000 | 102.0000000 |
| ADIAS_1 | Dias.Blutdr., Spacel., links, AusBed1 | 31 | 72.2250065 | 7.0744125 | 60.0000000 | 88.0000000 |
| AHR_1 | Herzfrequenz, Spacel., links, AusBed1 | 31 | 69.1290323 | 12.6773865 | 55.0000000 | 102.0000000 |
| STUNDE_1 | Uhrzeit: Stunde, rechts, AusBed1 | 31 | 13.0000000 | 2.4899799 | 9.0000000 | 17.0000000 |
| MINUTE_1 | Uhrzeit: Minute, rechts, AusBed1 | 31 | 21.9354839 | 16.6251526 | 1.0000000 | 57.0000000 |
| BSYST_1 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed1 | 31 | 124.3548387 | 8.4362250 | 112.0000000 | 146.0000000 |
| BMEAN_1 | Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed1 | 31 | 88.0645161 | 6.4546391 | 77.0000000 | 107.0000000 |
| BDIAS_1 | Dias.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed1 | 31 | 71.1612903 | 7.4166334 | 60.0000000 | 89.0000000 |
| BHR_1 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, AusBed1 | 31 | 69.0967742 | 12.8668951 | 52.0000000 | 103.0000000 |
| TML00002 | Temperatur Mittelf., links, AusBed2 | 29 | 33.4289655 | 1.5413059 | 29.8700000 | 35.6200000 |
| TRL00002 | Temperatur Ringf., links, AusBed2 | 29 | 33.8410345 | 2.6340915 | 21.7900000 | 35.7800000 |
| TMR00002 | Temperatur Mittelf., rechts, AusBed2 | 29 | 33.4168966 | 2.3565745 | 23.0100000 | 35.4100000 |
| TRL00002 | Temperatur Ringf., rechts, AusBed2 | 27 | 33.4114815 | 1.5725621 | 28.4400000 | 35.3300000 |
| APULS_M2 | Puls, MW, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| APULS_S2 | Puls, SD, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| ASYST_M2 | Syst.Blutdr., MW, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| ASYST_S2 | Syst.Blutdr., SD, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| ADIAS_M2 | Diast.Blutdr., MW, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| ADIAS_S2 | Diast.Blutdr., SD, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| AMEAN_M2 | Mittl.Blutdr., MW, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| PMEAN_S2 | Mittl.Blutdr., SD, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| AHR_M2 | Herzfrequenz, MW, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| AHR_S2 | Herzfrequenz, SD, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| AHEIG_M2 | Sensor-Hoehe, MW, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| AHEIG_S2 | Sensor-Hoehe, SD, links, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BPULS_M2 | Puls, MW, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BPULS_S2 | Puls, SD, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BSYST_M2 | Syst.Blutdr., MW, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BSYST_S2 | Syst.Blutdr., SD, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BDIAS_M2 | Diast.Blutdr., MW, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BDIAS_S2 | Diast.Blutdr., SD, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BMEAN_M2 | Mittl.Blutdr., MW, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BMEAN_S2 | Mittl.Blutdr., SD, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BHR_M2 | Herzfrequenz, MW, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BHR_S2 | Herzfrequenz, SD, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |

| | | | | | | |
|----------|--|----|-------------|------------|-------------|-------------|
| TMP1V_M2 | Temperatur, 1V, MW, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| TMP1V_S2 | Temperatur, 1V, SD, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| TMP2V_M2 | Temperatur, 2V, MW, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| TMP2V_S2 | Temperatur, 2V, SD, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| TMP3V_M2 | Temperatur, 3V, MW, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| TMP3V_S2 | Temperatur, 3V, SD, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| TMP4V_M2 | Temperatur, 4V, MW, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| TMP4V_S2 | Temperatur, 4V, SD, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BHEIG_M2 | Sensor-Hoehe, MW, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| BHEIG_S2 | Sensor-Hoehe, SD, rechts, AusBed2 | 0 | . | . | . | . |
| ASYST_2 | Syst.Blutdr., Spacel., links, AusBed2 | 31 | 124.4516129 | 8.9345746 | 109.0000000 | 141.0000000 |
| AMEAN_2 | Mitt.Blutdr., Spacel., links, AusBed2 | 31 | 87.7741935 | 5.8292920 | 79.0000000 | 99.0000000 |
| ADIAS_2 | Dias.Blutdr., Spacel., links, AusBed2 | 31 | 71.0000000 | 6.2449980 | 57.0000000 | 84.0000000 |
| AHR_2 | Herzfrequenz, Spacel., links, AusBed2 | 31 | 68.1935484 | 12.4857769 | 54.0000000 | 100.0000000 |
| STUNDE_2 | Uhrzeit: Stunde, rechts, AusBed2 | 31 | 13.0000000 | 2.4899799 | 9.0000000 | 17.0000000 |
| MINUTE_2 | Uhrzeit: Minute, rechts, AusBed2 | 31 | 24.6774194 | 16.5537249 | 4.0000000 | 59.0000000 |
| BSYST_2 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed2 | 31 | 123.6774194 | 9.1992286 | 109.0000000 | 145.0000000 |
| BMEAN_2 | Mitt.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed2 | 31 | 87.3225806 | 6.9636537 | 77.0000000 | 107.0000000 |
| BDIAS_2 | Dias.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed2 | 31 | 69.6129032 | 7.3106198 | 54.0000000 | 87.0000000 |
| BHR_2 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, AusBed2 | 31 | 68.2903226 | 12.4611223 | 54.0000000 | 102.0000000 |
| TML00003 | Temperatur Mittelf., links, Ruhe | 29 | 33.1127586 | 2.5190076 | 23.1500000 | 36.0400000 |
| TRL00003 | Temperatur Ringf., links, Ruhe | 29 | 34.0386207 | 2.2514891 | 23.4300000 | 35.4100000 |
| TMR00003 | Temperatur Mittelf., rechts, Ruhe | 29 | 33.2896552 | 2.3664024 | 22.9800000 | 35.4600000 |
| TRR00003 | Temperatur Ringf., rechts, Ruhe | 27 | 33.0470370 | 1.8159185 | 27.2600000 | 35.1800000 |
| APULS_M3 | Puls, MW, links, Ruhe | 31 | 73.3456774 | 9.5824582 | 60.2180000 | 95.1760000 |
| APULS_S3 | Puls, SD, links, Ruhe | 31 | 15.1155161 | 1.6668405 | 11.3540000 | 18.3350000 |
| ASYST_M3 | Syst.Blutdr., MW, links, Ruhe | 31 | 113.5413871 | 12.8249107 | 89.0640000 | 140.4000000 |
| ASYST_S3 | Syst.Blutdr., SD, links, Ruhe | 31 | 7.9357742 | 2.0498776 | 3.5710000 | 11.9000000 |
| ADIAS_M3 | Diast.Blutdr., MW, links, Ruhe | 31 | 57.3480645 | 8.9369001 | 44.6720000 | 76.4960000 |
| ADIAS_S3 | Diast.Blutdr., SD, links, Ruhe | 31 | 3.9686774 | 0.9041846 | 1.8180000 | 5.7680000 |
| AMEAN_M3 | Mittl.Blutdr., MW, links, Ruhe | 31 | 73.3097419 | 9.7623299 | 59.7810000 | 95.6650000 |
| PMEAN_S3 | Mittl.Blutdr., SD, links, Ruhe | 31 | 4.5244039 | 1.0324784 | 2.1350000 | 6.4170000 |
| AHR_M3 | Herzfrequenz, MW, links, Ruhe | 31 | 65.4900645 | 10.5195876 | 47.5880000 | 90.2370000 |
| AHR_S3 | Herzfrequenz, SD, links, Ruhe | 31 | 5.1908387 | 1.8478058 | 2.1990000 | 9.3400000 |
| AHEIG_M3 | Sensor-Hoehe, MW, links, Ruhe | 31 | 95.6532581 | 2.4989329 | 91.1920000 | 101.6000000 |
| AHEIG_S3 | Sensor-Hoehe, SD, links, Ruhe | 31 | 0.4042581 | 0.5702629 | 0.0450000 | 3.3850000 |
| BPULS_M3 | Puls, MW, rechts, Ruhe | 31 | 71.1069677 | 10.3781198 | 50.6420000 | 91.6310000 |
| BPULS_S3 | Puls, SD, rechts, Ruhe | 31 | 16.1022903 | 1.8976381 | 13.4450000 | 21.0360000 |
| BSYST_M3 | Syst.Blutdr., MW, rechts, Ruhe | 31 | 116.6834194 | 13.0791424 | 90.3930000 | 145.3000000 |
| BSYST_S3 | Syst.Blutdr., SD, rechts, Ruhe | 31 | 8.3137742 | 1.9825136 | 4.4000000 | 13.7000000 |
| BDIAS_M3 | Diast.Blutdr., MW, rechts, Ruhe | 31 | 54.1186452 | 10.2081028 | 32.0780000 | 74.7060000 |
| BDIAS_S3 | Diast.Blutdr., SD, rechts, Ruhe | 31 | 3.8337419 | 0.7556991 | 2.0590000 | 5.1420000 |
| BMEAN_M3 | Mittl.Blutdr., MW, rechts, Ruhe | 31 | 70.5128065 | 10.6047742 | 49.5590000 | 90.8020000 |
| BMEAN_S3 | Mittl.Blutdr., SD, rechts, Ruhe | 31 | 4.3433871 | 0.9202546 | 2.1750000 | 6.1300000 |
| BHR_M3 | Herzfrequenz, MW, rechts, Ruhe | 31 | 64.8886452 | 10.6575426 | 47.0860000 | 90.0660000 |
| BHR_S3 | Herzfrequenz, SD, rechts, Ruhe | 31 | 5.1063484 | 1.7907076 | 2.1690000 | 9.3310000 |
| TMP1V_M3 | Temperatur, 1V, MW, Ruhe | 28 | 33.5098214 | 1.5862116 | 29.8010000 | 35.9500000 |
| TMP1V_S3 | Temperatur, 1V, SD, Ruhe | 28 | 0.2345714 | 0.1932010 | 0.0380000 | 0.7130000 |
| TMP2V_M3 | Temperatur, 2V, MW, Ruhe | 28 | 34.4908571 | 1.0120679 | 31.0560000 | 35.6610000 |
| TMP2V_S3 | Temperatur, 2V, SD, Ruhe | 28 | 0.2166071 | 0.1818038 | 0.0520000 | 0.7540000 |
| TMP3V_M3 | Temperatur, 3V, MW, Ruhe | 28 | 33.8684286 | 1.2596397 | 29.1390000 | 35.4390000 |
| TMP3V_S3 | Temperatur, 3V, SD, Ruhe | 28 | 0.2371786 | 0.1158531 | 0.0290000 | 0.5400000 |
| TMP4V_M3 | Temperatur, 4V, MW, Ruhe | 27 | 33.2624444 | 1.7014627 | 27.8560000 | 35.2070000 |
| TMP4V_S3 | Temperatur, 4V, SD, Ruhe | 27 | 0.2382222 | 0.1468069 | 0.0480000 | 0.6520000 |
| BHEIG_M3 | Sensor-Hoehe, MW, rechts, Ruhe | 29 | 95.0009655 | 1.9907974 | 90.2420000 | 99.2910000 |
| BHEIG_S3 | Sensor-Hoehe, SD, rechts, Ruhe | 29 | 0.3377586 | 0.4759188 | 0.1060000 | 2.1260000 |
| ASYST_3 | Syst.Blutdr., Spacel., links, Ruhe | 31 | 120.5161290 | 8.1888989 | 107.0000000 | 135.0000000 |
| AMEAN_3 | Mitt.Blutdr., Spacel., links, Ruhe | 31 | 85.1935484 | 6.5239015 | 76.0000000 | 102.0000000 |
| ADIAS_3 | Dias.Blutdr., Spacel., links, Ruhe | 31 | 68.7741935 | 7.0885338 | 56.0000000 | 87.0000000 |
| AHR_3 | Herzfrequenz, Spacel., links, Ruhe | 31 | 63.1290323 | 11.8426966 | 40.0000000 | 94.0000000 |
| STUNDE_3 | Uhrzeit: Stunde, rechts, Ruhe | 31 | 13.4516129 | 2.7427323 | 9.0000000 | 18.0000000 |
| MINUTE_3 | Uhrzeit: Minute, rechts, Ruhe | 31 | 31.7741935 | 18.3079394 | 0 | 57.0000000 |
| BSYST_3 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Ruhe | 31 | 120.6129032 | 8.9616867 | 107.0000000 | 136.0000000 |
| BMEAN_3 | Mitt.Blutdr., Spacel., rechts, Ruhe | 31 | 85.3225806 | 6.4207325 | 75.0000000 | 102.0000000 |
| BDIAS_3 | Dias.Blutdr., Spacel., rechts, Ruhe | 31 | 67.6129032 | 6.5252199 | 55.0000000 | 81.0000000 |
| BHR_3 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, Ruhe | 31 | 63.6129032 | 12.7349321 | 41.0000000 | 102.0000000 |
| TML00004 | Temperatur Mittelf., links, Ergom. | 0 | . | . | . | . |
| TRL00004 | Temperatur Ringf., links, Ergom. | 0 | . | . | . | . |
| TMR00004 | Temperatur Mittelf., rechts, Ergom. | 0 | . | . | . | . |
| TRR00004 | Temperatur Ringf., rechts, Ergom. | 0 | . | . | . | . |
| APULS_M4 | Puls, MW, links, Ergom. | 31 | 84.7469355 | 9.8798679 | 65.4060000 | 108.7000000 |
| APULS_S4 | Puls, SD, links, Ergom. | 31 | 20.8877097 | 3.3578724 | 14.9650000 | 30.5070000 |
| ASYST_M4 | Syst.Blutdr., MW, links, Ergom. | 31 | 138.6612903 | 16.2116353 | 113.4000000 | 172.0000000 |
| ASYST_S4 | Syst.Blutdr., SD, links, Ergom. | 31 | 8.7709677 | 2.8429086 | 5.0000000 | 15.0000000 |
| ADIAS_M4 | Diast.Blutdr., MW, links, Ergom. | 31 | 65.6724839 | 9.4705372 | 51.1090000 | 89.1410000 |
| ADIAS_S4 | Diast.Blutdr., SD, links, Ergom. | 31 | 4.4673871 | 1.0236878 | 3.1620000 | 7.4640000 |
| AMEAN_M4 | Mittl.Blutdr., MW, links, Ergom. | 31 | 84.4899677 | 10.0088303 | 65.2800000 | 108.9000000 |
| PMEAN_S4 | Mittl.Blutdr., SD, links, Ergom. | 31 | 4.7956774 | 1.2366940 | 3.1000000 | 7.8900000 |
| AHR_M4 | Herzfrequenz, MW, links, Ergom. | 31 | 91.9740968 | 11.8300236 | 60.7200000 | 112.5000000 |
| AHR_S4 | Herzfrequenz, SD, links, Ergom. | 31 | 5.8958387 | 3.9472499 | 2.4890000 | 19.2460000 |
| AHEIG_M4 | Sensor-Hoehe, MW, links, Ergom. | 31 | 95.1302903 | 2.7256717 | 89.6840000 | 101.0000000 |
| AHEIG_S4 | Sensor-Hoehe, SD, links, Ergom. | 31 | 0.3779032 | 0.1877272 | 0.0560000 | 0.8820000 |
| BPULS_M4 | Puls, MW, rechts, Ergom. | 31 | 83.6036452 | 11.0215462 | 63.2440000 | 107.3000000 |
| BPULS_S4 | Puls, SD, rechts, Ergom. | 31 | 21.9644194 | 3.8319737 | 13.4200000 | 32.4000000 |
| BSYST_M4 | Syst.Blutdr., MW, rechts, Ergom. | 31 | 143.9677419 | 18.1080900 | 116.6000000 | 188.9000000 |
| BSYST_S4 | Syst.Blutdr., SD, rechts, Ergom. | 31 | 9.2387097 | 3.2588012 | 5.1000000 | 18.8000000 |

| | | | | | | |
|----------|---|----|-------------|------------|-------------|-------------|
| BDIAS_M4 | Diast.Blutdr., MW, rechts, Ergom. | 31 | 63.7082903 | 10.2279671 | 48.0850000 | 88.8260000 |
| BDIAS_S4 | Diast.Blutdr., SD, rechts, Ergom. | 31 | 4.1596774 | 0.8674466 | 2.7970000 | 6.1810000 |
| BMEAN_M4 | Mittl.Blutdr., MW, rechts, Ergom. | 31 | 82.9716452 | 11.2149962 | 62.4650000 | 107.8000000 |
| BMEAN_S4 | Mittl.Blutdr., SD, rechts, Ergom. | 31 | 4.4970000 | 1.0592169 | 2.9220000 | 6.9750000 |
| BHR_M4 | Herzfrequenz, MW, rechts, Ergom. | 31 | 91.6246774 | 11.8282436 | 60.6660000 | 111.3000000 |
| BHR_S4 | Herzfrequenz, SD, rechts, Ergom. | 31 | 5.5965806 | 3.1097202 | 2.4920000 | 15.4850000 |
| TMP1V_M4 | Temperatur, 1V, MW, Ergom. | 28 | 33.1242500 | 1.8148171 | 28.3620000 | 35.8570000 |
| TMP1V_S4 | Temperatur, 1V, SD, Ergom. | 28 | 0.1107500 | 0.0994889 | 0.0180000 | 0.3510000 |
| TMP2V_M4 | Temperatur, 2V, MW, Ergom. | 28 | 33.4830714 | 1.4061741 | 30.6520000 | 35.6740000 |
| TMP2V_S4 | Temperatur, 2V, SD, Ergom. | 28 | 0.2436071 | 0.1875640 | 0.0250000 | 0.6760000 |
| TMP3V_M4 | Temperatur, 3V, MW, Ergom. | 28 | 32.3802857 | 1.4632008 | 27.6390000 | 34.6710000 |
| TMP3V_S4 | Temperatur, 3V, SD, Ergom. | 28 | 0.3239643 | 0.1836552 | 0.0310000 | 0.7690000 |
| TMP4V_M4 | Temperatur, 4V, MW, Ergom. | 27 | 32.4777037 | 1.7599863 | 26.9140000 | 34.5320000 |
| BHEIG_M4 | Sensor-Hoehe, MW, rechts, Ergom. | 29 | 94.8367586 | 2.3669694 | 89.6280000 | 98.7860000 |
| BHEIG_S4 | Sensor-Hoehe, SD, rechts, Ergom. | 29 | 0.2666897 | 0.1677992 | 0.1210000 | 0.7820000 |
| ASYST_4 | Syst.Blutdr., Spacel., links, Ergom. | 31 | 150.9032258 | 3.6384985 | 114.0000000 | 144.0000000 |
| AMEAN_4 | Mittl.Blutdr., Spacel., links, Ergom. | 31 | 91.3870968 | 6.4739345 | 77.0000000 | 105.0000000 |
| ADIAS_4 | Dias.Blutdr., Spacel., links, Ergom. | 31 | 73.4193548 | 6.6771960 | 58.0000000 | 85.0000000 |
| AHR_4 | Herzfrequenz, Spacel., links, Ergom. | 31 | 68.8709677 | 12.0657696 | 50.0000000 | 94.0000000 |
| STUNDE_4 | Uhrzeit: Stunde, rechts, Ergom. | 31 | 13.6451613 | 2.6900853 | 9.0000000 | 18.0000000 |
| MINUTE_4 | Uhrzeit: Minute, rechts, Ergom. | 31 | 28.1290323 | 19.4469225 | 0 | 58.0000000 |
| BSYST_4 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Ergom. | 31 | 130.6129032 | 9.9387371 | 114.0000000 | 152.0000000 |
| BMEAN_4 | Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Ergom. | 31 | 90.7419355 | 6.3243853 | 77.0000000 | 108.0000000 |
| BDIAS_4 | Dias.Blutdr., Spacel., rechts, Ergom. | 31 | 73.1612903 | 6.0723240 | 60.0000000 | 87.0000000 |
| BHR_4 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, Ergom. | 31 | 68.7419355 | 12.1846016 | 49.0000000 | 96.0000000 |
| TML00005 | Temperatur Mittelf., links, Erholg. | 29 | 32.7886207 | 2.6649266 | 23.1800000 | 35.9400000 |
| TAL00005 | Temperatur Ringf., links, Erholg. | 29 | 34.1031034 | 2.2646682 | 23.5400000 | 35.8300000 |
| TMR00005 | Temperatur Mittelf., rechts, Erholg. | 29 | 33.0744828 | 2.4247733 | 22.9800000 | 35.3600000 |
| TRR00005 | Temperatur Ringf., rechts, Erholg. | 27 | 32.3155556 | 1.9764894 | 26.6400000 | 34.5600000 |
| APULS_M5 | Puls, MW, links, Erholg. | 31 | 75.3682581 | 10.4221884 | 58.8740000 | 102.7000000 |
| APULS_S5 | Puls, SD, links, Erholg. | 31 | 14.9614194 | 1.8688890 | 12.0230000 | 18.9530000 |
| ASYST_M5 | Syst.Blutdr., MW, links, Erholg. | 31 | 114.7073548 | 14.4527612 | 90.7300000 | 152.8000000 |
| ASYST_S5 | Syst.Blutdr., SD, links, Erholg. | 31 | 7.6062903 | 2.0531003 | 4.3000000 | 12.6000000 |
| ADIAS_M5 | Diast.Blutdr., MW, links, Erholg. | 31 | 59.4946129 | 9.7396146 | 44.0880000 | 84.4220000 |
| ADIAS_S5 | Diast.Blutdr., SD, links, Erholg. | 31 | 3.7355161 | 0.9053110 | 2.0190000 | 6.0610000 |
| AMEAN_M5 | Mittl.Blutdr., MW, links, Erholg. | 31 | 75.3980645 | 10.5328860 | 58.9300000 | 102.8000000 |
| PMEAN_S5 | Mittl.Blutdr., SD, links, Erholg. | 31 | 4.3025484 | 0.9374104 | 2.5380000 | 6.0620000 |
| AHR_M5 | Herzfrequenz, MW, links, Erholg. | 31 | 66.6261290 | 11.0627719 | 47.4880000 | 91.1130000 |
| AHR_S5 | Herzfrequenz, SD, links, Erholg. | 31 | 5.5531935 | 2.6767834 | 1.6720000 | 11.6050000 |
| AHEIG_M5 | Sensor-Hoehe, MW, links, Erholg. | 31 | 94.9138710 | 2.7160929 | 89.4090000 | 100.5000000 |
| AHEIG_S5 | Sensor-Hoehe, SD, links, Erholg. | 31 | 0.3542581 | 0.2788989 | 0.0310000 | 1.2710000 |
| BPULS_M5 | Puls, MW, rechts, Erholg. | 31 | 74.1793548 | 10.6655021 | 46.0470000 | 95.6280000 |
| BPULS_S5 | Puls, SD, rechts, Erholg. | 31 | 15.5513226 | 2.2015282 | 11.2070000 | 22.0180000 |
| BSYST_M5 | Syst.Blutdr., MW, rechts, Erholg. | 31 | 117.0627419 | 14.5238520 | 84.4100000 | 158.6000000 |
| BSYST_S5 | Syst.Blutdr., SD, rechts, Erholg. | 31 | 7.5643871 | 2.0469517 | 4.2000000 | 13.5000000 |
| BDIAS_M5 | Diast.Blutdr., MW, rechts, Erholg. | 31 | 57.5339032 | 10.4213005 | 26.4960000 | 77.6070000 |
| BDIAS_S5 | Diast.Blutdr., SD, rechts, Erholg. | 31 | 3.5172581 | 0.9023171 | 1.6440000 | 5.7110000 |
| BMEAN_M5 | Mittl.Blutdr., MW, rechts, Erholg. | 31 | 73.7763548 | 10.8361770 | 45.0540000 | 94.6600000 |
| BMEAN_S5 | Mittl.Blutdr., SD, rechts, Erholg. | 31 | 4.0196452 | 0.9769787 | 2.0730000 | 6.8080000 |
| BHR_M5 | Herzfrequenz, MW, rechts, Erholg. | 31 | 66.0642903 | 11.1859121 | 47.0200000 | 90.9960000 |
| BHR_S5 | Herzfrequenz, SD, rechts, Erholg. | 31 | 5.4875484 | 2.5845253 | 1.6740000 | 11.6170000 |
| TMP1V_M5 | Temperatur, 1V, MW, Erholg. | 28 | 33.0698214 | 1.9485999 | 27.5690000 | 35.8480000 |
| TMP1V_S5 | Temperatur, 1V, SD, Erholg. | 28 | 0.0832143 | 0.0883379 | 0.0110000 | 0.3210000 |
| TMP2V_M5 | Temperatur, 2V, MW, Erholg. | 28 | 34.2587857 | 1.1699342 | 30.7940000 | 35.8190000 |
| TMP2V_S5 | Temperatur, 2V, SD, Erholg. | 28 | 0.2167143 | 0.1875037 | 0.0270000 | 0.7910000 |
| TMP3V_M5 | Temperatur, 3V, MW, Erholg. | 28 | 33.1153214 | 1.5427906 | 27.4330000 | 35.0900000 |
| TMP3V_S5 | Temperatur, 3V, SD, Erholg. | 28 | 0.3041786 | 0.2310943 | 0.0200000 | 1.0180000 |
| TMP4V_M5 | Temperatur, 4V, MW, Erholg. | 27 | 32.2414815 | 1.9300703 | 26.5920000 | 34.4480000 |
| TMP4V_S5 | Temperatur, 4V, SD, Erholg. | 27 | 0.1150000 | 0.0722554 | 0.0430000 | 0.3300000 |
| BHEIG_M5 | Sensor-Hoehe, MW, rechts, Erholg. | 29 | 94.7704138 | 2.3175456 | 89.0050000 | 98.7080000 |
| BHEIG_S5 | Sensor-Hoehe, SD, rechts, Erholg. | 29 | 0.4157931 | 0.5284319 | 0.0940000 | 2.1570000 |
| ASYST_5 | Syst.Blutdr., Spacel., links, Erholg. | 30 | 121.4333333 | 8.5083461 | 106.0000000 | 138.0000000 |
| AMEAN_5 | Mittl.Blutdr., Spacel., links, Erholg. | 30 | 85.9333333 | 6.9922782 | 73.0000000 | 102.0000000 |
| ADIAS_5 | Dias.Blutdr., Spacel., links, Erholg. | 30 | 69.6000000 | 6.7292465 | 57.0000000 | 85.0000000 |
| AHR_5 | Herzfrequenz, Spacel., links, Erholg. | 30 | 62.3666667 | 11.3759678 | 41.0000000 | 90.0000000 |
| STUNDE_5 | Uhrzeit: Stunde, rechts, Erholg. | 31 | 13.8064516 | 2.6384257 | 9.0000000 | 18.0000000 |
| MINUTE_5 | Uhrzeit: Minute, rechts, Erholg. | 31 | 24.9032258 | 18.4048674 | 0 | 57.0000000 |
| BSYST_5 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Erholg. | 31 | 120.1612903 | 8.7715326 | 101.0000000 | 138.0000000 |
| BMEAN_5 | Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Erholg. | 31 | 85.1290323 | 7.1121583 | 67.0000000 | 101.0000000 |
| BDIAS_5 | Dias.Blutdr., Spacel., rechts, Erholg. | 31 | 68.4516129 | 7.4199672 | 50.0000000 | 81.0000000 |
| BHR_5 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, Erholg. | 31 | 62.9032258 | 11.6228363 | 42.0000000 | 87.0000000 |
| TML00006 | Temperatur Mittelf., links, Liegen L. | 0 | . | . | . | . |
| TAL00006 | Temperatur Ringf., links, Liegen L. | 0 | . | . | . | . |
| TMR00006 | Temperatur Mittelf., rechts, Liegen L. | 0 | . | . | . | . |
| TRR00006 | Temperatur Ringf., rechts, Liegen L. | 0 | . | . | . | . |
| APULS_M6 | Puls, MW, links, Liegen L. | 31 | 78.7212258 | 9.3827685 | 60.4670000 | 100.3000000 |
| APULS_S6 | Puls, SD, links, Liegen L. | 31 | 13.8420968 | 1.8794910 | 10.5110000 | 18.9120000 |
| ASYST_M6 | Syst.Blutdr., MW, links, Liegen L. | 31 | 112.9774039 | 13.6455994 | 85.5620000 | 148.4000000 |
| ASYST_S6 | Syst.Blutdr., SD, links, Liegen L. | 31 | 6.7059032 | 2.8477202 | 3.7000000 | 15.2000000 |
| ADIAS_M6 | Diast.Blutdr., MW, links, Liegen L. | 31 | 63.6484839 | 8.7867763 | 45.3140000 | 83.6730000 |
| ADIAS_S6 | Diast.Blutdr., SD, links, Liegen L. | 31 | 3.7259355 | 1.8476798 | 1.9030000 | 11.8240000 |
| AMEAN_M6 | Mittl.Blutdr., MW, links, Liegen L. | 31 | 78.8096129 | 9.5240763 | 59.9820000 | 100.8000000 |
| PMEAN_S6 | Mittl.Blutdr., SD, links, Liegen L. | 31 | 4.1166129 | 2.0167600 | 2.0000000 | 12.4960000 |
| AHR_M6 | Herzfrequenz, MW, links, Liegen L. | 31 | 63.9884194 | 10.9283298 | 44.1800000 | 91.1820000 |
| AHR_S6 | Herzfrequenz, SD, links, Liegen L. | 31 | 4.6031290 | 1.8653985 | 1.5920000 | 8.9270000 |
| AHEIG_M6 | Sensor-Hoehe, MW, links, Liegen L. | 31 | 96.4218065 | 2.9326556 | 87.7650000 | 100.6000000 |

| | | | | | | |
|----------|---|----|-------------|------------|-------------|-------------|
| AHEIG_S6 | Sensor-Hoehe, SD, links, Liegen L. | 31 | 0.5760968 | 1.3191029 | 0.0400000 | 7.5900000 |
| BPULS_M6 | Puls, MW, rechts, Liegen L. | 31 | 62.1086774 | 8.6184247 | 43.8430000 | 76.2370000 |
| BPULS_S6 | Puls, SD, rechts, Liegen L. | 31 | 14.5741935 | 2.1208862 | 11.3250000 | 21.2200000 |
| BSYST_M6 | Syst.Blutdr., MW, rechts, Liegen L. | 31 | 100.2272258 | 12.2450434 | 73.7020000 | 132.0000000 |
| BSYST_S6 | Syst.Blutdr., SD, rechts, Liegen L. | 31 | 7.2974194 | 3.4222679 | 3.7920000 | 18.1860000 |
| BDIAS_M6 | Diast.Blutdr., MW, rechts, Liegen L. | 31 | 46.7238065 | 8.5472792 | 25.3020000 | 59.7890000 |
| BDIAS_S6 | Diast.Blutdr., SD, rechts, Liegen L. | 31 | 3.2931935 | 1.3507002 | 1.6180000 | 7.2360000 |
| BMEAN_M6 | Mittl.Blutdr., MW, rechts, Liegen L. | 31 | 61.8486129 | 8.6524837 | 42.8320000 | 75.6560000 |
| BMEAN_S6 | Mittl.Blutdr., SD, rechts, Liegen L. | 31 | 3.7499032 | 1.7934286 | 1.8940000 | 8.4910000 |
| BHR_M6 | Herzfrequenz, MW, rechts, Liegen L. | 31 | 66.3168710 | 17.1456283 | 43.6980000 | 135.0000000 |
| BHR_S6 | Herzfrequenz, SD, rechts, Liegen L. | 31 | 6.4991290 | 7.1009244 | 1.6340000 | 36.6000000 |
| TMP1V_M6 | Temperatur, 1V, MW, Liegen L. | 29 | 32.7292069 | 2.6814356 | 23.0870000 | 35.9670000 |
| TMP1V_S6 | Temperatur, 1V, SD, Liegen L. | 29 | 0.0419655 | 0.0236001 | 0.0100000 | 0.1070000 |
| TMP2V_M6 | Temperatur, 2V, MW, Liegen L. | 29 | 33.7233793 | 2.2621176 | 23.4530000 | 35.5800000 |
| TMP2V_S6 | Temperatur, 2V, SD, Liegen L. | 29 | 0.1231034 | 0.0939560 | 0.0050000 | 0.5080000 |
| TMP3V_M6 | Temperatur, 3V, MW, Liegen L. | 29 | 33.2471379 | 2.5435243 | 23.1090000 | 35.2070000 |
| TMP3V_S6 | Temperatur, 3V, SD, Liegen L. | 29 | 0.1916897 | 0.1335274 | 0.0350000 | 0.6640000 |
| TMP4V_M6 | Temperatur, 4V, MW, Liegen L. | 27 | 32.5468148 | 2.0054853 | 26.5740000 | 35.0200000 |
| TMP4V_S6 | Temperatur, 4V, SD, Liegen L. | 27 | 0.1158889 | 0.0668036 | 0.0270000 | 0.2870000 |
| BHEIG_M6 | Sensor-Hoehe, MW, rechts, Liegen L. | 29 | 99.4256552 | 2.8558165 | 91.2530000 | 103.9000000 |
| BHEIG_S6 | Sensor-Hoehe, SD, rechts, Liegen L. | 29 | 0.4129655 | 0.5781815 | 0.1000000 | 3.2000000 |
| ASYST_6 | Syst.Blutdr., Spacel., links, Liegen L. | 31 | 119.5483871 | 7.5048371 | 102.0000000 | 132.0000000 |
| AMEAN_6 | Mittl.Blutdr., Spacel., links, Liegen L. | 31 | 88.0967742 | 6.0737404 | 77.0000000 | 101.0000000 |
| ADIAS_6 | Diast.Blutdr., Spacel., links, Liegen L. | 31 | 72.1290323 | 6.8786720 | 56.0000000 | 90.0000000 |
| AHR_6 | Herzfrequenz, Spacel., links, Liegen L. | 31 | 62.1935484 | 11.0496436 | 44.0000000 | 88.0000000 |
| STUNDE_6 | Uhrzeit: Stunde, rechts, Liegen L. | 31 | 13.9032258 | 2.5865658 | 9.0000000 | 18.0000000 |
| MINUTE_6 | Uhrzeit: Minute, rechts, Liegen L. | 31 | 25.0967742 | 17.5296983 | 0 | 58.0000000 |
| BSYST_6 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen L. | 31 | 104.2903226 | 8.1494112 | 90.0000000 | 120.0000000 |
| BMEAN_6 | Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen L. | 31 | 70.8709677 | 6.4017807 | 60.0000000 | 86.0000000 |
| BDIAS_6 | Diast.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen L. | 31 | 53.4193548 | 5.0647421 | 45.0000000 | 63.0000000 |
| BHR_6 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, Liegen L. | 31 | 62.4193548 | 10.8221199 | 44.0000000 | 86.0000000 |
| TML00007 | Temperatur Mittelf., links, Liegen | 0 | . | . | . | . |
| TRL00007 | Temperatur Ringf., links, Liegen | 0 | . | . | . | . |
| TMR00007 | Temperatur Mittelf., rechts, Liegen | 0 | . | . | . | . |
| TRR00007 | Temperatur Ringf., rechts, Liegen | 0 | . | . | . | . |
| APULS_M7 | Puls, MW, links, Liegen | 31 | 62.4863226 | 8.6709599 | 46.6530000 | 85.9340000 |
| APULS_S7 | Puls, SD, links, Liegen | 31 | 13.5232903 | 1.7326245 | 10.2420000 | 17.0810000 |
| ASYST_M7 | Syst.Blutdr., MW, links, Liegen | 31 | 96.6481613 | 11.8207347 | 76.4270000 | 127.2000000 |
| ASYST_S7 | Syst.Blutdr., SD, links, Liegen | 31 | 6.9305484 | 2.4779409 | 3.3850000 | 14.1000000 |
| ADIAS_M7 | Diast.Blutdr., MW, links, Liegen | 31 | 48.3450968 | 8.2372589 | 31.4470000 | 69.2440000 |
| ADIAS_S7 | Diast.Blutdr., SD, links, Liegen | 31 | 3.4284839 | 1.3069959 | 1.7580000 | 7.2040000 |
| AMEAN_M7 | Mittl.Blutdr., MW, links, Liegen | 31 | 62.4998387 | 8.8367435 | 46.0420000 | 86.4870000 |
| PMEAN_S7 | Mittl.Blutdr., SD, links, Liegen | 31 | 3.7084516 | 1.3541805 | 2.0100000 | 8.1790000 |
| AHR_M7 | Herzfrequenz, MW, links, Liegen | 31 | 65.0471290 | 11.0303408 | 43.8230000 | 90.0590000 |
| AHR_S7 | Herzfrequenz, SD, links, Liegen | 31 | 5.9675404 | 2.8066773 | 1.1870000 | 11.2900000 |
| AHEIG_M7 | Sensor-Hoehe, MW, links, Liegen | 31 | 98.2174194 | 2.9757220 | 91.6200000 | 104.3000000 |
| AHEIG_S7 | Sensor-Hoehe, SD, links, Liegen | 31 | 0.5759032 | 0.6710039 | 0.0620000 | 3.3570000 |
| BPULS_M7 | Puls, MW, rechts, Liegen | 31 | 79.2596129 | 9.5376057 | 61.1980000 | 98.6480000 |
| BPULS_S7 | Puls, SD, rechts, Liegen | 31 | 14.0242581 | 1.9534541 | 11.0600000 | 20.1580000 |
| BSYST_M7 | Syst.Blutdr., MW, rechts, Liegen | 31 | 116.2346452 | 15.3384143 | 93.0330000 | 157.4000000 |
| BSYST_S7 | Syst.Blutdr., SD, rechts, Liegen | 31 | 6.6603548 | 1.8745115 | 3.2000000 | 10.1000000 |
| BDIAS_M7 | Diast.Blutdr., MW, rechts, Liegen | 31 | 63.4750323 | 8.4669405 | 45.1120000 | 78.2680000 |
| BDIAS_S7 | Diast.Blutdr., SD, rechts, Liegen | 31 | 3.3278387 | 1.0045735 | 1.6730000 | 5.8990000 |
| BMEAN_M7 | Mittl.Blutdr., MW, rechts, Liegen | 31 | 78.7804839 | 9.4666636 | 61.8370000 | 97.5350000 |
| BMEAN_S7 | Mittl.Blutdr., SD, rechts, Liegen | 31 | 3.6805484 | 1.1129772 | 1.9350000 | 6.5760000 |
| BHR_M7 | Herzfrequenz, MW, rechts, Liegen | 31 | 64.4025484 | 11.0917251 | 43.3290000 | 89.9810000 |
| BHR_S7 | Herzfrequenz, SD, rechts, Liegen | 31 | 4.9830645 | 1.9094551 | 1.1050000 | 10.8250000 |
| TMP1V_M7 | Temperatur, 1V, MW, Liegen | 29 | 32.7906207 | 2.6100207 | 23.4130000 | 35.9890000 |
| TMP1V_S7 | Temperatur, 1V, SD, Liegen | 29 | 0.0702759 | 0.0495212 | 0.0120000 | 0.2530000 |
| TMP2V_M7 | Temperatur, 2V, MW, Liegen | 29 | 34.0695172 | 2.1582360 | 23.7920000 | 35.6910000 |
| TMP2V_S7 | Temperatur, 2V, SD, Liegen | 29 | 0.1801724 | 0.1222226 | 0.0290000 | 0.5660000 |
| TMP3V_M7 | Temperatur, 3V, MW, Liegen | 29 | 32.5671724 | 2.3768398 | 23.2050000 | 35.0000000 |
| TMP3V_S7 | Temperatur, 3V, SD, Liegen | 29 | 0.1834483 | 0.0825325 | 0.0020000 | 0.4080000 |
| TMP4V_M7 | Temperatur, 4V, MW, Liegen | 27 | 32.5073333 | 2.0676511 | 26.4900000 | 34.9500000 |
| TMP4V_S7 | Temperatur, 4V, SD, Liegen | 27 | 0.0890741 | 0.0477154 | 0.0250000 | 0.2520000 |
| BHEIG_M7 | Sensor-Hoehe, MW, rechts, Liegen | 29 | 97.1964828 | 2.2794018 | 92.7220000 | 101.7000000 |
| BHEIG_S7 | Sensor-Hoehe, SD, rechts, Liegen | 29 | 0.5874138 | 0.8733777 | 0.1050000 | 3.2880000 |
| ASYST_7 | Syst.Blutdr., Spacel., links, Liegen | 31 | 104.4193548 | 9.2835848 | 87.0000000 | 126.0000000 |
| AMEAN_7 | Mittl.Blutdr., Spacel., links, Liegen | 31 | 70.9677419 | 5.7241236 | 59.0000000 | 83.0000000 |
| ADIAS_7 | Diast.Blutdr., Spacel., links, Liegen | 31 | 55.4193548 | 5.5243352 | 41.0000000 | 69.0000000 |
| AHR_7 | Herzfrequenz, Spacel., links, Liegen | 31 | 64.5161290 | 11.6872323 | 43.0000000 | 94.0000000 |
| STUNDE_7 | Uhrzeit: Stunde, rechts, Liegen | 31 | 14.0000000 | 2.5948667 | 9.0000000 | 18.0000000 |
| MINUTE_7 | Uhrzeit: Minute, rechts, Liegen | 31 | 24.6774194 | 16.1294495 | 0 | 57.0000000 |
| BSYST_7 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen | 31 | 119.2258065 | 8.1596964 | 107.0000000 | 139.0000000 |
| BMEAN_7 | Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen | 31 | 89.0967742 | 5.9517775 | 79.0000000 | 103.0000000 |
| BDIAS_7 | Diast.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen | 31 | 72.6129032 | 6.0037623 | 60.0000000 | 85.0000000 |
| BHR_7 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, Liegen | 31 | 63.8387097 | 11.2222896 | 44.0000000 | 90.0000000 |
| TML00008 | Temperatur Mittelf., links, Liegen R. | 29 | 32.8955172 | 2.5545835 | 23.4900000 | 36.1500000 |
| TRL00008 | Temperatur Ringf., links, Liegen R. | 29 | 33.4251724 | 2.2377757 | 23.8900000 | 35.7300000 |
| TMR00008 | Temperatur Mittelf., rechts, Liegen R. | 29 | 32.9072414 | 2.4678213 | 23.2000000 | 35.0000000 |
| TRR00008 | Temperatur Ringf., rechts, Liegen R. | 27 | 32.5262963 | 2.2510906 | 26.2400000 | 35.2400000 |
| APULS_M8 | Puls, MW, links, Liegen R. | 31 | 64.0532903 | 9.9257305 | 42.0480000 | 84.8120000 |
| APULS_S8 | Puls, SD, links, Liegen R. | 31 | 14.2665506 | 2.0268408 | 10.6180000 | 19.1980000 |
| ASYST_M8 | Syst.Blutdr., MW, links, Liegen R. | 31 | 102.3574194 | 13.0755277 | 79.1970000 | 127.9000000 |
| ASYST_S8 | Syst.Blutdr., SD, links, Liegen R. | 31 | 5.7081613 | 2.2381805 | 1.8220000 | 12.7000000 |
| ADIAS_M8 | Diast.Blutdr., MW, links, Liegen R. | 31 | 49.7551935 | 9.3065752 | 29.2710000 | 68.1900000 |

| | | | | | | |
|-----------|---|----|-------------|------------|-------------|-------------|
| ADIAS_SB | Diast.Blutdr., SD, links, Liegen R. | 31 | 3.1531613 | 1.0866594 | 0.8220000 | 5.7210000 |
| AMEAN_MB | Mittl.Blutdr., MW, links, Liegen R. | 31 | 64.7769677 | 10.0830053 | 42.1110000 | 85.3720000 |
| PMEAN_SB | Mittl.Blutdr., SD, links, Liegen R. | 31 | 3.3768387 | 1.2803436 | 0.2490000 | 6.9030000 |
| AHR_MB | Herzfrequenz, MW, links, Liegen R. | 31 | 65.2501935 | 11.4141815 | 44.4190000 | 92.1880000 |
| AHR_SB | Herzfrequenz, SD, links, Liegen R. | 31 | 4.5157097 | 1.7991815 | 1.6450000 | 10.1460000 |
| AHEIG_MB | Sensor-Hoehe, MW, links, Liegen R. | 31 | 80.5807419 | 6.0615825 | 71.5510000 | 100.5000000 |
| AHEIG_SB | Sensor-Hoehe, SD, links, Liegen R. | 31 | 0.7568710 | 1.2457177 | 0 | 4.4860000 |
| BPULS_MB | Puls, MW, rechts, Liegen R. | 31 | 80.2298387 | 9.4746278 | 58.6780000 | 100.3000000 |
| BPULS_SB | Puls, SD, rechts, Liegen R. | 31 | 13.6192903 | 2.5092305 | 6.5820000 | 20.7000000 |
| BSYST_MB | Syst.Blutdr., MW, rechts, Liegen R. | 31 | 116.4135161 | 15.1974883 | 94.4570000 | 159.3000000 |
| BSYST_SB | Syst.Blutdr., SD, rechts, Liegen R. | 31 | 5.6937097 | 2.0366034 | 0.9000000 | 10.0000000 |
| BDIAS_MB | Diast.Blutdr., MW, rechts, Liegen R. | 31 | 64.0512581 | 8.5214603 | 46.6670000 | 80.1280000 |
| BDIAS_SB | Diast.Blutdr., SD, rechts, Liegen R. | 31 | 3.1055484 | 1.0464581 | 0.5130000 | 5.2610000 |
| BMEAN_MB | Mittl.Blutdr., MW, rechts, Liegen R. | 31 | 79.3216129 | 9.5800822 | 57.2730000 | 99.4960000 |
| BMEAN_SB | Mittl.Blutdr., SD, rechts, Liegen R. | 31 | 3.3348387 | 1.1799951 | 0.1430000 | 6.0550000 |
| BHR_MB | Herzfrequenz, MW, rechts, Liegen R. | 31 | 64.6088710 | 11.5217106 | 43.9000000 | 91.9370000 |
| BHR_SB | Herzfrequenz, SD, rechts, Liegen R. | 31 | 4.1615161 | 1.4485879 | 1.6210000 | 6.9200000 |
| TEMP1V_MB | Temperatur, 1V, MW, Liegen R. | 26 | 33.1635000 | 1.9256237 | 27.9290000 | 36.1570000 |
| TEMP1V_SB | Temperatur, 1V, SD, Liegen R. | 26 | 0.0465000 | 0.0306389 | 0.0160000 | 0.1420000 |
| TEMP2V_MB | Temperatur, 2V, MW, Liegen R. | 26 | 33.6047692 | 1.3236241 | 31.0150000 | 35.6270000 |
| TEMP2V_SB | Temperatur, 2V, SD, Liegen R. | 26 | 0.1391154 | 0.1502503 | 0.0220000 | 0.7290000 |
| TEMP3V_MB | Temperatur, 3V, MW, Liegen R. | 26 | 33.0386154 | 1.6422695 | 27.2380000 | 34.6720000 |
| TEMP3V_SB | Temperatur, 3V, SD, Liegen R. | 26 | 0.2003462 | 0.1304138 | 0.0280000 | 0.7570000 |
| TEMP4V_MB | Temperatur, 4V, MW, Liegen R. | 26 | 32.4106538 | 2.1903432 | 26.2920000 | 35.2070000 |
| TEMP4V_SB | Temperatur, 4V, SD, Liegen R. | 26 | 0.0692308 | 0.0254091 | 0.0330000 | 0.1480000 |
| BHEIG_MB | Sensor-Hoehe, MW, rechts, Liegen R. | 29 | 97.1757241 | 2.8200551 | 91.8830000 | 102.8000000 |
| BHEIG_SB | Sensor-Hoehe, SD, rechts, Liegen R. | 29 | 0.2861379 | 0.2590212 | 0.0950000 | 1.1000000 |
| ASYST_8 | Syst.Blutdr., Spacel., links, Liegen R. | 30 | 103.3333333 | 8.4906981 | 90.0000000 | 123.0000000 |
| AMEAN_8 | Mittl.Blutdr., Spacel., links, Liegen R. | 30 | 73.4000000 | 6.9856997 | 59.0000000 | 88.0000000 |
| ADIAS_8 | Diast.Blutdr., Spacel., links, Liegen R. | 30 | 56.9333333 | 7.0267142 | 42.0000000 | 69.0000000 |
| AHR_8 | Herzfrequenz, Spacel., links, Liegen R. | 30 | 63.9666667 | 11.4303991 | 41.0000000 | 90.0000000 |
| STUNDE_8 | Uhrzeit: Stunde, rechts, Liegen R. | 30 | 14.0000000 | 2.5461262 | 10.0000000 | 18.0000000 |
| MINUTE_8 | Uhrzeit: Minute, rechts, Liegen R. | 30 | 24.7666667 | 14.4357873 | 1.0000000 | 51.0000000 |
| BSYST_8 | Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen R. | 30 | 118.4000000 | 8.6207443 | 104.0000000 | 140.0000000 |
| BMEAN_8 | Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen R. | 30 | 89.0000000 | 5.9595343 | 80.0000000 | 105.0000000 |
| BDIAS_8 | Diast.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen R. | 30 | 72.7333333 | 6.6536655 | 62.0000000 | 85.0000000 |
| BHR_8 | Herzfrequenz, Spacel., rechts, Liegen R. | 30 | 63.9333333 | 11.3439436 | 41.0000000 | 90.0000000 |

Definitionsdatei porpor.def (Studie 80E, 1999). Globale Scanrate 512 Hz

| K | Name | Einheit | Pre- processing | Größe | Scan | Store | MUL | DIV | RES | Offset | Ampl. | HP | LP |
|----|--------|---------|--------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------|
| 01 | APpuls | mm Hg | NO | WORD | 64 | 64 | 01231 | 10000 | 0.123 | 02048 | 00050 | 0.000 | 0024 |
| 02 | APsvst | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01236 | 10000 | 0.124 | 02061 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 03 | APdias | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01221 | 10000 | 0.122 | 02048 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 04 | Apmean | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01241 | 10000 | 0.124 | 02060 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 05 | APHR | bpi | NO | WORD | 32 | 32 | 01230 | 10000 | 0.123 | 02032 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 07 | BPheig | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01233 | 10000 | 0.123 | 01210 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 08 | APheig | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01243 | 10000 | 0.124 | 02063 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 09 | BPpuls | mm Hg | NO | WORD | 64 | 64 | 01229 | 10000 | 0.123 | 02055 | 00050 | 0.000 | 0024 |
| 10 | BPsvst | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01234 | 10000 | 0.123 | 02045 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 11 | BPdias | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01230 | 10000 | 0.123 | 02065 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 12 | BPmean | mm Hg | NO | WORD | 32 | 32 | 01242 | 10000 | 0.124 | 02054 | 00050 | 0.000 | 0012 |
| 13 | BPHR | bpm | NO | WORD | 32 | 32 | 01233 | 10000 | 0.123 | 02000 | 00050 | 0.000 | 0010 |
| 14 | temp1v | gC | User SPIL 1 | WORD | 32 | 32 | 00001 | 00100 | 0.010 | 00000 | 00040 | 0.000 | 0012 |
| 15 | temp2v | gC | User SPIL 1 | WORD | 32 | 32 | 00001 | 00100 | 0.010 | 00000 | 00040 | 0.000 | 0012 |
| 16 | temp3v | gC | User SPIL 1 | WORD | 32 | 32 | 00001 | 00100 | 0.010 | 00000 | 00040 | 0.000 | 0012 |
| 65 | Marker | adc | Marker | WORD | 16 | 16 | 00001 | 00001 | 1.000 | 00000 | 00003 | 0.000 | 1000 |
| 66 | UBATT | V | Battery Test | BYTE | 4 | 1 | 00245 | 10000 | 0.025 | 00000 | 00003 | 0.150 | 0137 |