

Plethysmographische Applikationen



ELCAT

Plethysmographische Applikationen

Version: v002 (2026-07-16)

Herausgeber:

medis.

Medizinische Messtechnik GmbH

Werner-von-Siemens-Str. 8 Telefon: +49 3677 4629-0
98693 Ilmenau Telefax: +49 3677 4629-29
Germany E-Mail: info@medis.company
Homepage: www.elcat.de

Bitte beachten Sie, dass dieses Dokument durch das Urheberrecht geschützt ist. Es darf weder im Original noch als Kopie an Dritte weitergegeben werden, außer die Weitergabe erfolgt mit ausdrücklicher Zustimmung durch medis Medizinische Messtechnik GmbH.

1	O-PO Optische Pulsoszillographie.....	1-1-1
1.1	Untersuchung vorbereiten	1-1-1
1.2	Allgemeine medizinische Hinweise.....	1-1-2
1.3	Hinweise zu den Messergebnissen	1-1-3
1.4	Medizinische Anwendungsgebiete	1-1-4
2	O-AD Optischer Arteriendruck	2-1
2.1	Untersuchung vorbereiten	2-1
2.2	Allgemeine medizinische Hinweise.....	2-2
2.3	Hinweis zu den Messergebnissen	2-2
2.4	Medizinische Anwendungsgebiete	2-4
3	P-SPO Pneumatische Segmentale Pulsoszillographie	3-1
3.1	Untersuchung vorbereiten	3-1
3.2	Allgemeine medizinische Hinweise.....	3-2
3.3	Hinweise zu den Messergebnissen	3-3
3.4	Medizinische Anwendungsgebiete	3-7
3.5	Wissenschaftliche Grundlagen der Messmethode	3-7
3.6	Technische Informationen zur Messmethode	3-8
4	D-PPG Digitale Photoplethysmographie (LRR)	4-1
4.1	Untersuchung vorbereiten	4-1
4.2	Allgemeine medizinische Hinweise.....	4-4
4.3	Hinweise zu den Messergebnissen	4-4
4.4	Medizinische Anwendungsgebiete	4-6
4.5	Wissenschaftliche Grundlagen zur Messmethode	4-7
4.6	Technische Informationen zur Messmethode	4-10
5	PDM Phlebodynamometrie (KP Kompartimentdruck)	5-1
5.1	Untersuchung vorbereiten	5-1
5.2	Hinweise zu den Messergebnissen	5-3
5.3	Medizinische Anwendungsgebiete	5-8
5.4	Wissenschaftliche Grundlagen der Messmethode	5-10
6	SG-VVP Strain-Gauge Venen-Verschlussplethysmographie	6-1
6.1	Untersuchung vorbereiten	6-1
6.2	Allgemeine medizinische Hinweise.....	6-5
6.3	Hinweise zu den Messergebnissen	6-5
6.4	Medizinische Anwendungsgebiete	6-7
6.5	Messmethode und Wissenschaftliche Grundlagen zur Messmethode	6-7
6.6	Technische Informationen zur Messmethode	6-9
7	SG-AR Strain-Gauge Arterielle Reserve (RH)	7-1
7.1	Untersuchung vorbereiten	7-1
7.2	Allgemeine medizinische Hinweise.....	7-3
7.3	Hinweise zu den Messergebnissen	7-4
7.4	Medizinische Anwendungsgebiete	7-5

8	O-VVP Optische Venen-Verschlussplethysmographie	8-1
8.1	Untersuchung vorbereiten	8-1
8.2	Allgemeine medizinische Hinweise	8-3
8.3	Hinweise zu den Messergebnissen	8-3
8.4	Medizinische Anwendungsgebiete	8-5
8.5	Wissenschaftliche Grundlagen zur Messmethode	8-6
8.6	Technische Informationen zur Messmethode	8-8
9	Zweckbestimmung	8-9-1

1 O-PO Optische Pulsoszillographie

1.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum Die O-PO-Untersuchung soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden.

Patient vorbereiten



- Der Patient soll sich vor der Untersuchung 15 Minuten oder länger in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten.
Kalte Extremitäten verfälschen das Messergebnis



- Finger bzw. Zehen ggf. in warmem Wasser aufwärmen; Hauttemperatur sollte ca. 37° C betragen.
- Patient in den Messablauf einweisen
Weisen Sie den Patient darauf hin, dass er sich während der Messung entspannen und auch die Finger (Zehen) nicht bewegen soll.

Patienten Lagerung



- Der Patient wird flach gelagert, der Kopf wird gegebenenfalls durch eine Nackenstütze angehoben.
- Die zu messenden Akren werden auf Herzniveau und sehr ruhig gelagert. Lagern Sie Füße bzw. Hände zur ruhigen und stabilen Lagerung auf einem weichen Kissen.
- Platzieren Sie die O-PO-Sensoren, Idealerweise an den Finger- oder Zehenkuppen (äußerstes akrales Glied). Wählen Sie hierbei ein möglichst gesundes Hautareal.
- Befestigen Sie die O-PO-Sensoren mit doppelseitig klebenden Ringen oder mit der Sensor-Klammer, nicht aber mit Hansaplast o. ä.

Die Sensorfarben sind zu beachten

- Sensor **rot** = **rechts**
- Sensor **blau** = **links**

Sensorpositionierung und Lagerung der Extremität



Abb. 1.1.1: Akrale Pulsmessung mit optischen Sensoren



Abb. 1.1.2: Akrale Pulsmessung mit optischen Sensoren



Abb. 1.1.3: Akrale Pulsmessung mit optischen Sensoren

1.2 Allgemeine medizinische Hinweise

Allgemein

Die Optische Pulsoszillographie O-PO (oder elektronische Oszillographie) ist vor allem für die Erfassung akraler Durchblutungsstörungen gut geeignet. Sie erlaubt auch Aussagen über die Durchgängigkeit von großen Arterien und bietet sich als Screening-Methode aufgrund der einfachen und schnellen Durchführbarkeit an.

Zur Beurteilung akraler Verschlüsse ist die O-PO unter optimalen Ruhebedingungen und hohen Raumtemperaturen durchzuführen, da sonst störende funktionelle Beeinflussungen der Durchblutung nicht auszuschließen sind.

Die Empfindlichkeit der Optischen Pulsoszillographie O-PO ist wesentlich größer als die der pneumatisch segmentalen Pulsoszillographie P-SPO (Sensor ist hier die Druckmanschette).

Es werden auch kleine Blutvolumen-Schwankungen der Akren gut erfasst.

Bei jedem Patienten sollen grundsätzlich die Akren im Seitenvergleich untersucht werden.

- Dazu müssen die Abnahmestellen symmetrisch sein.

Differenzierung von Durchblutungsstörungen

Zur besseren Differenzierung zwischen funktionellen und organischen akralen Durchblutungsstörungen sollten bei unklaren Befunden gefäßerweiternde Maßnahmen (z. B. Wärmeapplikation oder Anwendung von Nitro-Spray) durchgeführt werden.

Eine Formanalyse der Pulscurve sowie die Berechnung ihrer Zeitwerte sind möglich.

Ein APO-Befund soll nie ohne klinischen Befund abgegeben werden.

1.3 Hinweise zu den Messergebnissen

Allgemeines

Ein normales Oszillogramm zeigt einen steil ansteigenden anakroten und langsam wieder abfallenden katakroten Schenkel mit Inzisur und dikroter Welle.

Literatur-Hinweis

- **Rudofsky, G.**, *Kompaktwissen Angiologie*, perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft, Erlangen (1988)
- **Kappert, A.**, *Lehrbuch und Atlas der Angiologie*, Hans Huber, Bern Stuttgart Toronto (1989)
- **Gerok, W., Hartmann, F., Schuster, H.-P., Alexander, K.**, *Gefäßkrankheiten* (Ed. Alexander, K.) Urban & Schwarzenberg, München (1994)

Anwendungsgebiete

- Screening zur Erfassung von arteriellen Verschlussprozessen
- Pulswellenanalyse mit Hinweisen zur Differenzierung
- Abgrenzung von funktioneller zu organischer Genese
- Erfassung von hämodynamisch wirksamen Stenosen (Belastung)

Ergebnisse der Pulsvermessung

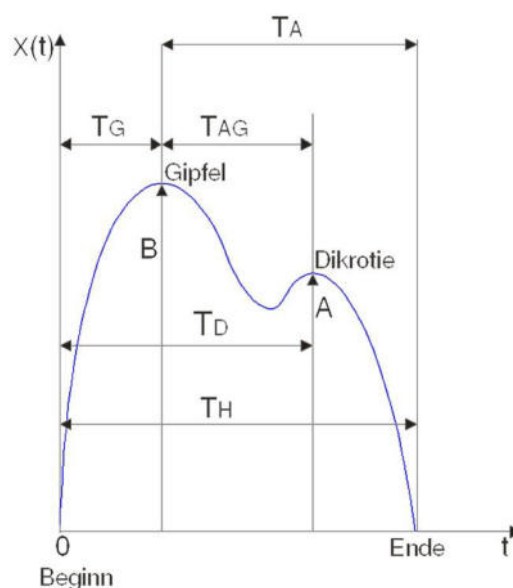


Abb. 1.3.1: Nomenklatur und Bewertungsparameter

T_H Herzperiodendauer

P	Puls (Schläge / Min)
T _G	Gipfelzeit
T _D	Dikrotiezeit
T _A	Abfallzeit
T _{AG}	Arterielle Grundgeschwindigkeit
TG/TA	Normierte Gipfelzeit
TD/TA	Normierte Dikrotiezeit
RI	Reflexionsindex – $RI = \frac{A}{B}$ (in %)
SI	Arterielle Steifigkeit – $SI = \frac{Höhe}{T_{AG}}$ (in m/s)

Puls-Amplitude

Die Puls-Amplitude (PA) ist nicht unbedingt aussagekräftig, da sie von zahlreichen, individuell stark schwankenden biologischen Faktoren abhängt.

Seitendifferenzen von 30 % bis 40 % müssen nicht unbedingt pathologisch sein.

Wichtigste Kriterien für die Durchgängigkeit der Arterien sind die Pulskurvenform, die Pulswellenlaufzeit und die Gipfelzeit.

1.4 Medizinische Anwendungsgebiete

Screening

- Screening zur Erfassung von arteriellen Verschlussprozessen

Analyse

- Pulswellenanalyse mit Hinweisen zur Differenzierung
- Abgrenzung funktioneller von organischer Genese
- Erfassung von hämodynamisch wirksamen Stenosen (Belastung)

2 O-AD Optischer Arteriendruck

2.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum Die optische Arteriendruckmessung soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden.

Patient vorbereiten



- Der Patient soll sich vor der Untersuchung 15 Minuten oder länger in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten.
Kalte Extremitäten verfälschen das Messergebnis



- Finger bzw. Zehen gegebenenfalls in warmem Wasser aufwärmen; Hauttemperatur sollte ca. 37 °C betragen.
- Patient in den Messablauf einweisen
Weisen Sie den Patient darauf hin, dass er sich während der Messung entspannen und auch die Finger (Zehen) nicht bewegen soll.

Patienten Lagerung



- Der Patient wird flach gelagert, der Kopf wird gegebenenfalls durch eine Nackenstütze angehoben.
- Die zu messenden Akren werden auf Herzniveau und sehr ruhig gelagert. Lagern Sie Füße bzw. Hände zur ruhigen und stabilen Lagerung auf einem weichen Kissen.
- Platzieren Sie die O-PO-Sensoren, Idealerweise an den Finger- oder Zehenkuppen (äußerstes akrales Glied). Wählen Sie hierbei ein möglichst gesundes Hautareal.
- Befestigen Sie die O-PO-Sensoren mit doppelseitig klebenden Ringen oder mit der Sensor-Klammer, nicht aber mit Hansaplast o. ä.

Die Sensorfarben sind zu beachten

- Sensor **rot** = **rechts**
- Sensor **blau** = **links**

Platzierung der Manschetten



Die Zehenmanschetten bzw. Fingermanschetten werden an den gleichen Akren entsprechend ihrer farblichen Markierung platziert, wie die O-PO-Sensoren.

- Zehenmanschette = Zehe 1 - 4, gegebenenfalls Großzehe, innerstes Glied
- Fingermanschette = alle Finger, gegebenenfalls Daumen, innerstes Glied

Sensorpositionierung



Abb. .2.1.1: Akrale Blutdruckmessung (O-AD) mit optischen Sensoren

2.2 Allgemeine medizinische Hinweise

Allgemein

Die Optische Arteriendruckmessung O-AD (in der Literatur auch elektronisch oszillographische Druckmessung genannt) ist vor allem für die Erfassung systolischer Druckwerte an Penis, Finger und Zehen gut geeignet. Sie erlaubt auch Aussagen über die Durchgängigkeit von großen Arterien und bietet sich als Screening-Methode aufgrund der einfachen und schnellen Durchführbarkeit an.

Die Messung mit der optischen akralen Arteriendruckmessung O-AD ist wesentlich einfacher durchzuführen, als die sonographische Dopplerdruckmessung.

Durch die Oszillographie werden auch kleine Blutvolumen-Schwankungen der Akren gut erfasst.

Mit der optischen Oszillographie (d. h. elektrisch verstärkten Oszillographie) können die Finger- und Zehenpulskurven ausgewertet werden.

Untersuchung

Zur Beurteilung akraler Verschlüsse ist die O-AD unter optimalen Ruhebedingungen und hohen Raumtemperaturen (ca. 27 °C) durchzuführen, da sonst störende funktionelle Beeinflussungen der Durchblutung nicht auszuschließen sind.

Bei jedem Patient sollen grundsätzlich die Akren im Seitenvergleich untersucht werden, dazu müssen die Abnahmestellen allerdings symmetrisch sein.

Eine Formanalyse der Pulscurve sowie die Berechnung ihrer Zeitwerte sind möglich.

Ein O-AD-Befund soll nie ohne klinischen Befund abgegeben werden.

2.3 Hinweis zu den Messergebnissen

Allgemein

Ein normales Oszillogramm zeigt einen steil ansteigenden anakroten und langsam wieder abfallenden katakroten Schenkel mit Inzisur und dikroter

Welle.

Literatur-Hinweis

- **Rudofsky, G.**, *Kompaktwissen Angiologie*, perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft, Erlangen (1988)
- **Kappert, A.**, *Lehrbuch und Atlas der Angiologie*, Hans Huber, Bern Stuttgart Toronto (1989),
- **Gerok, W., Hartmann, F., Schuster, H.-P., Alexander, K.**, *Gefäßkrankheiten*, (Ed. Alexander, K.) Urban & Schwarzenberg, München (1994)

Ergebnisse der Pulsvermessung

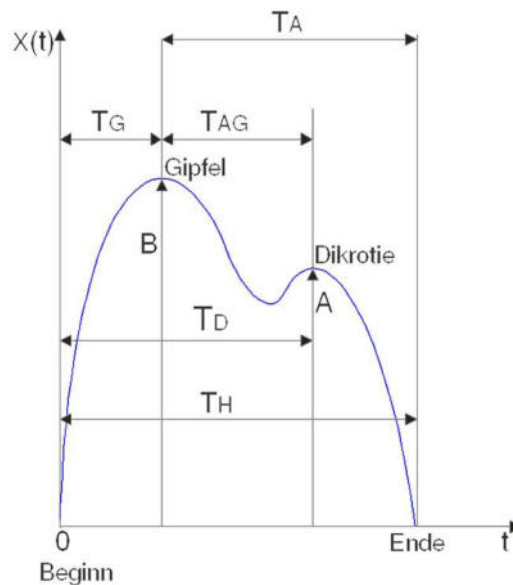


Abb. 2.3.1: Nomenklatur und Bewertungsparameter

T_H	Herzperiodendauer
P	Puls (Schläge / Min)
T_G	Gipfelzeit
T_D	Dikrotiezeit
T_A	Abfallzeit
T_{AG}	Arterielle Grundgeschwindigkeit
T_G/T_A	Normierte Gipfelzeit
T_D/T_A	Normierte Dikrotiezeit
RI	Reflexionsindex – $RI = \frac{A}{B}$ (in %)
SI	Arterielle Steifigkeit – $SI = \frac{\text{Höhe}}{T_{AG}}$ (in m/s)

Puls-Amplitude

- Die Puls-Amplitude (PA) ist nicht unbedingt aussagekräftig, da sie von zahlreichen, individuell stark schwankenden biologischen Faktoren abhängt.

- Seitendifferenzen von 30 % bis 40 % müssen nicht unbedingt pathologisch sein.
- Akrale Druckwerte liegen in der Regel ca. 10 % über dem Systemdruck (max. Brachialdruck).

2.4 Medizinische Anwendungsgebiete

Allgemein

- Arterielle Durchblutungsstörungen (systolische Blutdruckwerte)

Diabetischer Fuß

- Zur Abklärung des diabetischen Fußes

Penis Untersuchung

- Zur Abklärung von physiologischer bzw. psychologischer Funktionsstörung (erektile Disfunktion)

3 P-SPO Pneumatische Segmentale Pulsoszillographie

3.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum Die Pneumatische Segmentale Pulsoszillographie P-SPO soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden.

Patient vorbereiten



- Der Patient soll sich vor der Untersuchung 15 Minuten oder länger, am besten unter Ruhebedingungen, in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten.
Kalte Extremitäten verfälschen das Messergebnis.



- Patient in den Messablauf einweisen.
Weisen Sie den Patient darauf hin, dass er sich während der Messung entspannen und auch die Finger (Zehen) nicht bewegen soll.

Patienten Lagerung

- Der Patient wird flach gelagert, der Kopf wird gegebenenfalls durch eine Nackenstütze angehoben.
- Platzieren Sie die Füße zur ruhigen und stabilen Lagerung auf ein weiches Kissen.

Manschetten anlegen

Manschetten

- Legen Sie die Manschetten an beiden Extremitäten gleich an. Wir empfehlen die Manschetten nicht zu locker anzulegen.

Wichtig: Werden die Manschetten unterschiedlich angelegt, ergeben sich unterschiedliche Amplituden bei der arteriellen Funktionsdiagnostik.

- Die konische Oberschenkel-Manschette muss so angelegt werden, dass die Gummibläse der Bein-Manschette auf der Schenkelinnenseite platziert ist und die Schläuche in Richtung Knie zeigen.
- Die Arm- / Bein-Manschette muss so angelegt werden, dass die Gummibläse auf der Wadeninnenseite platziert ist.
- Die Ziehgurt-Manschette muss so angelegt werden, dass die Gummibläse auf der Fußinnenseite oder auf dem Fußrücken platziert ist.
- Bei Zehen-Manschetten ist darauf zu achten, dass die Manschetten sorgfältig (am besten am Großzeh) angelegt werden und die Druckschläuche auf die Zehenkuppen zeigen.



Die Manschetten-Farben sind zu beachten

- Manschette **rot** = **rechts**
- Manschette **blau** = **links**

Manschetten- Positionierung und Beinlagerung



Abb. 3.1.1: Segmentale Pulsoszillographie

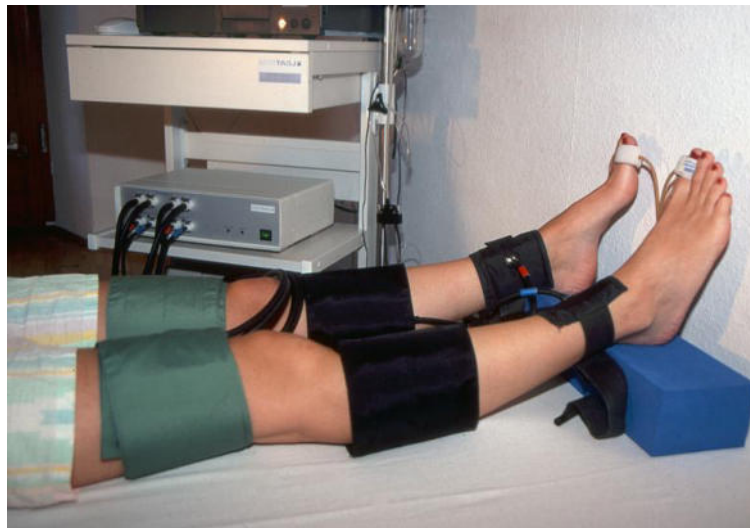


Abb. 3.1.2: Segmentale Pulsoszillographie

3.2 Allgemeine medizinische Hinweise

Allgemein

Grundsätzlich soll bei jedem Patient vor der ersten P-SPO-Untersuchung, besonders aber bei Verdacht auf eine arterielle Verschlusskrankheit oder auf eine eventuelle arterielle Durchblutungsstörung diese, z. B. mit einer Ultraschall-Doppler-Untersuchung im Knöchelbereich, ausgeschlossen werden.

Bei jedem Patient sollen grundsätzlich beide Beine untersucht werden, da nur so ein korrekter Höhen- und Seitenvergleich möglich ist.

Die P-SPO soll unter vorgegebenen Ruhebedingungen durchgeführt werden.

Es sollte ein Belastungs-Oszillogramm (wieder im Liegen) folgen.

Untersuchung

Zur besseren Differenzierung sollte die Pneumatisch-Segmentale Pulsoszillographie vor und nach Belastung durchgeführt werden.

Belastungsübung bei Verdacht auf:

- Oberschenkelverschlüsse z. B. ca. 40 Zehenstände
- Beckenverschluss z. B. 20 Kniebeugen

Ein P-SPO-Befund soll nie ohne klinischen Befund abgegeben werden.

3.3 Hinweise zu den Messergebnissen

Allgemein

Es können pathologische Messergebnisse vorgetäuscht werden bei:

- Venösen Abstromhindernissen (CVI, Thrombosen)
- Rechtsherzinsuffizienz
- Vasospastischen Syndromen wie Raynaudsche Attacken, etc.
- Bei arteriellen Stenosen können unauffällige Ruhepuls-Oszillogramme vorgetäuscht werden.
- Pathologische Oszillogramme finden sich mit Sicherheit bei Beckenverschlüssen am Oberschenkel, bei Femoralisverschlüssen am Unterschenkel und bei peripheren Verschlüssen über den Knöcheln und der Fußableitung.

Literatur Hinweis

- **Rudofsky, G.**, Lehrbuch: *Kompaktwissen Angiologie*, perimed Fachbuchverlagsgesellschaft, Erlangen, (1988)
- **Kappert, A.**, *Lehrbuch und Atlas der Angiologie*, Hans Huber, Bern Stuttgart Toronto (1989)
- **Gerok, W., Hartmann, F., Schuster, H.-P., Alexander, K.**, *Gefäßkrankheiten* (Ed. Alexander, K.) Urban & Schwarzenberg, München (1994)

Hinweis



Bedingt durch die relativ geringe Empfindlichkeit der Pneumatischen Segmentalen Pulsoszillographie ist eine exakte Beurteilung nicht immer einfach.

Anwendungsgebiete

Verschlusslokalisation an den Gliedmaßen

Segmental im Seitenvergleich (Dokumentation des Pulstastbefundes)

Form der Pulskurve

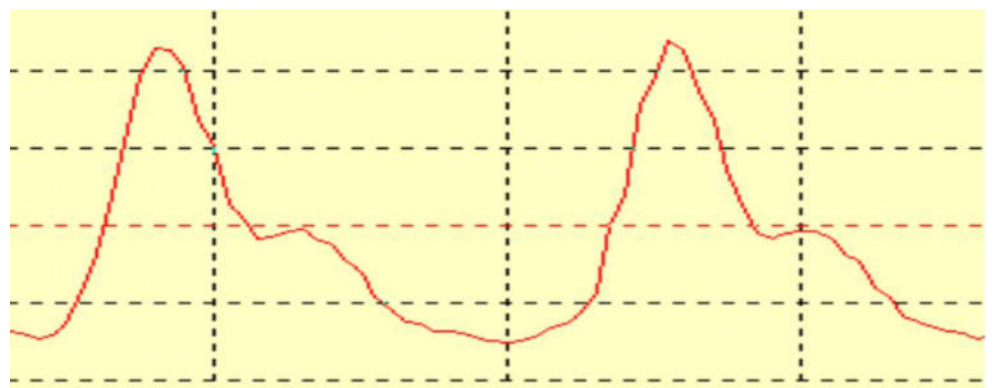


Abb. 3.3.1: Normale Pulskurve

Eine normale Pulskurve zeigt einen steilen Anstieg mit spitzem Maximum.

Im abfallenden Schenkel ist im oberen Drittel die dikrote Welle lokalisiert; danach fällt die Pulscurve wieder auf das Ausgangsniveau ab.

Die Pulscurve des normalen akralen Oszillogramms weist einen steil ansteigenden anakroten Schenkel und einen langsamer abfallenden katakroten Schenkel mit Inzisur und dikroter Welle (infolge Eigenschwingung der Arterie = „rebound wave“) auf.

Die Zeit vom Gipfel der Pulswelle bis zum Gipfel der dikroten Welle wird als Grundswingungsdauer der Arterie bezeichnet. Bei maximaler Vasodilatation vertieft sich die Inzisur und die dikrote Welle nähert sich der Basis. Höherwandern der Dikrotie mit Abflachung der Inzisur spricht für arterielle Engstellung. Bei Vasospastik, z. B. nach Kältereiz, kann die Dikrotie ganz verschwinden, um nach Wärmeanwendung wieder aufzutreten.

Gegenüber der normalen Kurvenform lassen sich folgende pathologischen Typen unterscheiden:

Verschiedene Pulskurven

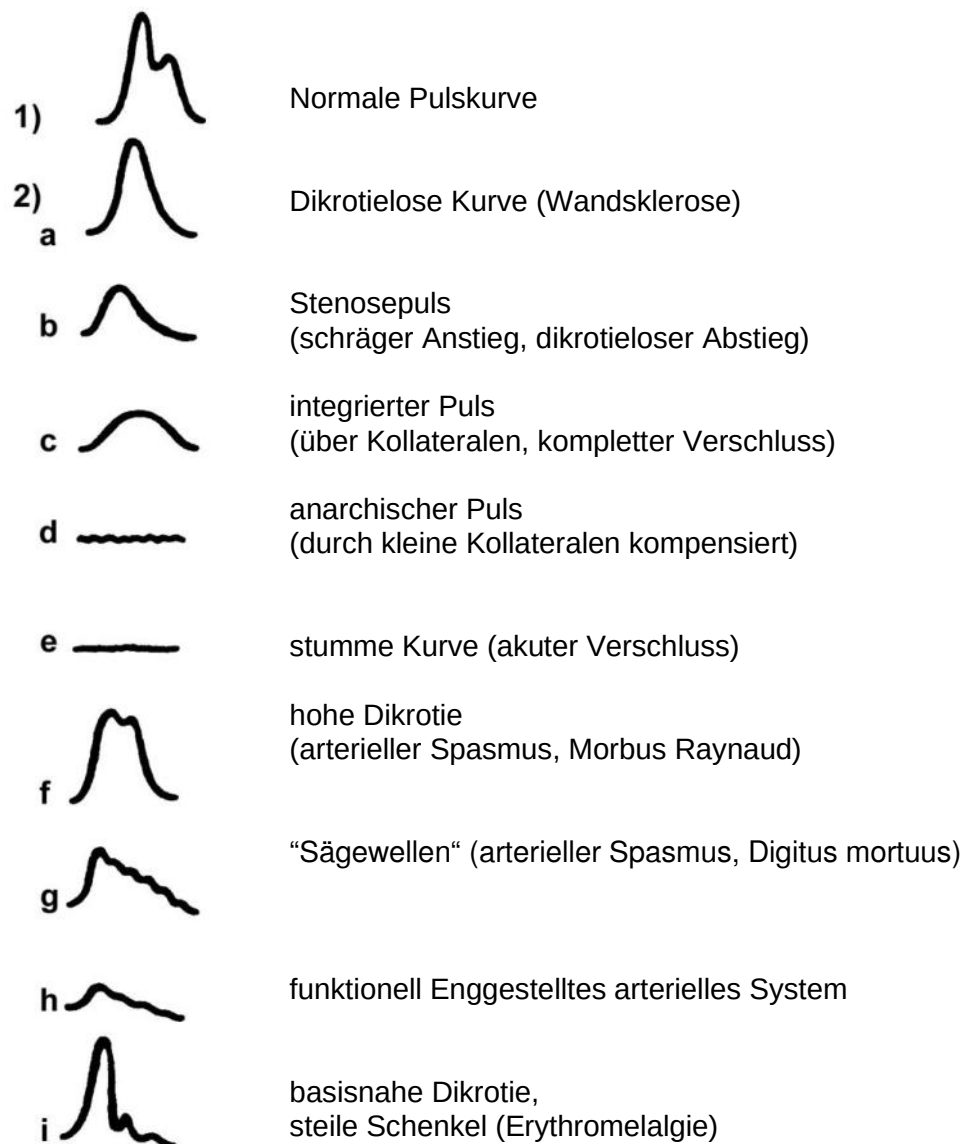


Abb. 3.3.2: Typische Kurvenformen des akralen elektronischen Oszillogramms.

- 1) Normalkurve,
- 2) pathologische Kurvenformen a - i (Nach Kappert 1981).

- **Pathologische Pulskurven**

- a) Starre Form:
Dikrotielose Kurve bei Elastizitätsverlust der Arterien infolge von Wandsklerose.
- b) Stenosepuls:
Verminderte Amplitude, langsam ansteigender Schenkel, aber noch deutlich steiler als der dikrotielose absteigende Schenkel.
- c) Integrierte Pulsform:
Symmetrische, oben abgerundete, dikrotielose Pulskurve mit gleicher Abflachung von anakrotem und katakrotem Schenkel. Es handelt sich um den „kompensatorischen Puls“ großkalibriger Kollateralen, die Verschlüsse der Stammarterien kompensieren.
- d) Anarchische Kurvenform:
Kleine, arhythmische Ausschläge bei durch ein kleinkalibriges Kollateralsystem („Hypervaskularisationstyp“) kompensierten Verschlüssen.
- e) Stumme Kurve:
Auch bei höchster Verstärkung bis auf einzelne Erhebungen fehlende Pulsationen, vor allem bei akuten Arterienverschlüssen vor Ausbildung eines funktionstüchtigen Kollateralkreislaufs; aber auch bei sehr schlecht kompensierten chronischen Verschlüssen.
- f) Hochsitzende Dikrotie bei funktionellen Angiopathien (Morbus Raynaud u.a.).
- g) „Sägewellen“ im absteigenden Schenkel bei insgesamt abgeflachter Kurve bei vasospastischer Diathese.
- h) Stark abgeflachte Kurve mit steilem anakrotem Schenkel und flachem absteigenden Anteil bei funktionell eng gestelltem Arteriensystem (Digitus mortuus u.a.).
- i) Kurven mit steilem anakrotem und katakrotem Schenkel mit basisnaher Dikrotie bei abnorm weit gestelltem Arteriensystem (z. B. Erythromelalgie).

Puls-Amplitude

Eine quantitative Bewertung der Puls-Amplitude ist zurzeit nicht möglich, da es keine Normwerte für die Puls-Amplitude gibt.

Die Puls-Amplituden sind bei Oberschenkel und Wade etwa gleich groß.

Ab Knöchel (Fessel) distal werden die Amplituden erheblich niedriger.

Verlauf des Maximums der Puls-Amplitude

Der arterielle Mitteldruck (oszillographischer Index) ist ca. in dem Druckwert mit dem Maximum der Puls-Amplitude.

Das Maximum der Puls-Amplitude ist bei gesunden Patienten in den gleichen oder benachbarten Druckwerten zu finden.

Ist das Maximum der Puls-Amplitude im Seitenvergleich um mehr als 2 Druckstufen (bei 20 mmHg je Druckstufe) verschoben, so weist dies auf einen arteriellen Gefäßverschluss proximal der Ableitungsstellen hin.

Wird das Maximum der Puls-Amplitude über der Wade und den distalen Ableitungen deutlich geringer und verschiebt sich das Maximum der Puls-Amplitude zu niedrigeren Druckwerten, ist das ein Hinweis für Verschlüsse, z. B. der Arteria femoralis superficialis.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Beziehung zwischen den häufigsten oszillographischen Befunden und den mutmaßlich verschlossenen oder stenosierte Arteriensegmenten, wobei Pulstastbefund und Auskultation eine weitere Diagnosespezifizierung erlauben. Die hier aufgeführten Oszillationsbefunde beschreiben lediglich die am weitesten proximal gelegene Lokalisation arterieller Strombahnhindernisse.

Oszillographischer Befund	Diagnose bzw. betroffene Arterien-segmente
Ruheoszillogramm normal	Wahrscheinlich keine pAVK. Gut kompensierte Strombahnhindernisse geben sich allerdings nicht zu erkennen ==> Belastungs-Oszillogramm
Ruhe- und Belastungs-Oszillogramm normal	pAVK der großen Gefäße praktisch auszuschließen (Fuß / Hand bzw. Digitalarterien werden allerdings nicht erfasst) ==> Akrales Oszillogramm

Ruheoszillogramm normal, aber:

Pathologische Reaktion vorwiegend nach Kniebeugen	Strombahnhindernis oberhalb Leistenband (meist Stenose)
Pathologische Reaktion vorwiegend nach Zehenständen	Strombahnhindernis unterhalb Leistenband (meist Stenose)
Amplitudenreduktion proximale Oberschenkelmanschette	Iliakasegment oder A. femoralis-communis-Segment oder A. profunda femoris plus A. femoralis superficialis
Amplitudenreduktion distale Oberschenkelmanschette	A. femoralis superficialis
Amplitudenreduktion Wadenmanschette	distale A. femoralis superficialis und / oder A. poplitea
Amplitudenreduktion distale Unterschenkelmanschette	Unterschenkelarterien (bei tastbarem Arterienpuls: Truncus tibiofibularis)
Amplitudenverlust nur der Fußsohlenmanschette	A. tibialis posterior
Amplitudenverlust nur der Fußrückenmanschette	A. tibialis anterior
Amplitudenüberhöhung distaler Oberschenkel und / oder Wade	Aneurysma oder dilatierende Arteriopathie A. femoralis / A. poplitea, Hypertonie

(Schleuderzacken)

Amplitudenreduktion unter Oberschenkelmanschette bei Amplitudenerholung im Waden- / Unterschenkelbereich	Iliakastenose (gut kompensiert) oder Femoralisstenose oder Zustand nach fem. / pop. Bypass oder Artefakt
--	--

3.4 Medizinische Anwendungsgebiete

Allgemein

Die segmentale mechanische Pulsoszillographie SPO als orientierende Voruntersuchung findet insbesondere zur Bestätigung und Dokumentation des klinischen Pulsstatus ihre Berechtigung.

Ruheoszillographie

- Segmental im Seitenvergleich
- Dokumentation des Pulstastbefundes
- Verschlusslokalisation an den Extremitäten

Belastungstest

Erfassung von hämodynamisch wirksamen Stenosen (Belastung)

3.5 Wissenschaftliche Grundlagen der Messmethode

Die Pneumatische Segmentale Pulsoszillographie P-SPO (Stufenoszillographie) hat ihren Ursprung in der mechanischen Oszillographie nach dem Verfahren von Gesenius-Keller. Bei der Methode nach Gesenius-Keller wurde die Pulsation direkt über einen mechanischen Schreiber registriert.

Um Gefäßwandschwingungen registrieren zu können und dämpfende Einflüsse (größere Blutfülle der kapazitiven Gefäße, Flüssigkeitsansammlungen im Gewebe) zu reduzieren, werden bei der Pneumatischen Segmentalen Pulsoszillographie P-SPO Manschetten angelegt und der Manschettendruck verändert. Durch die Pulsation entstehen Druckschwankungen in den Gliedmaßen; diese werden an die Manschetten weitergegeben und können erfasst werden. Die Messung erfolgt durch Drucksensoren, die den Druck in den Manschetten registrieren.

Bis jetzt gab es auch nur die Möglichkeit, mit einer Manschette zu messen; dadurch musste nach jedem gemessenen Segment umplatziert und eine Extremität nach der anderen gemessen werden. Mit dem neuen Verfahren der Pneumatischen Segmentalen Pulsoszillographie mit dem vasolab 5000 können Sie die Pulsation an beiden Extremitäten gleichzeitig messen. Es werden bis zu drei Manschetten-Positionen nacheinander gemessen; dadurch ist ein automatischer Messablauf möglich.

Das Maximum der Puls-Amplituden ist bei Manschetten-Druckwerten zu registrieren, die zirka dem arteriellen Mitteldruck entsprechen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Gewebedruck die Messung etwas verfälschen kann, da erst der Auflagedruck der Druckmanschetten überwunden werden muss.

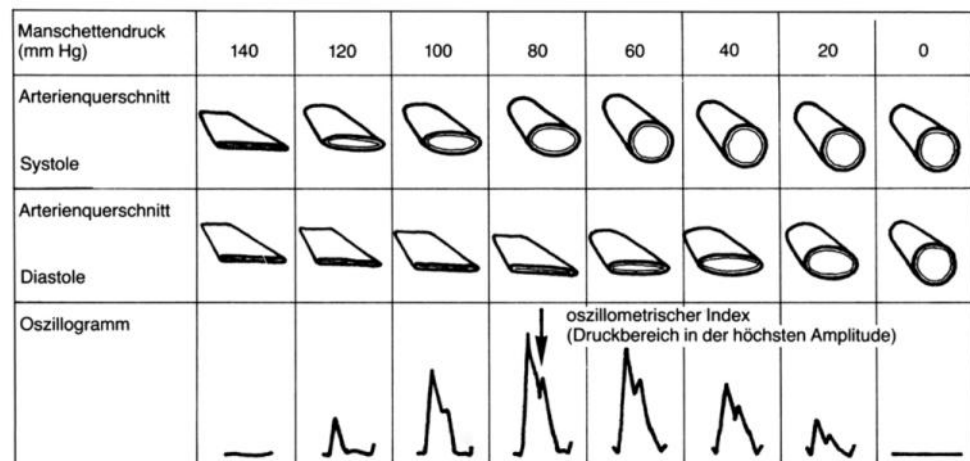


Abb. 3.5.1: Arterienquerschnitt (aus: **Rudofsky, G.**, *Kompaktwissen Angiologie*, perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft, Erlangen (1988))

3.6 Technische Informationen zur Messmethode

Die P-SPO Messprozedur gliedert sich in mehrere Abschnitte, die alle vom vasolab 5000 kontrolliert und gesteuert werden.

Das P-SPO Untersuchungs-Programm kann in einem Messablauf bis zu fünf Manschettenpaare steuern und dokumentieren.

Der vasolab 5000 steuert den für die Druckerzeugung notwendigen Kompressor. An dem Kompressor können gleichzeitig drei verschiedene Manschettenpaare angeschlossen werden. Damit ein schneller Manschettenwechsel durchgeführt werden kann, sind Schnellverschlüsse vorgesehen. Der Kompressor wird über eine serielle Schnittstelle an den vasolab 5000 angeschlossen und kann bis zu einem Maximaldruck von 250 mmHg betrieben werden.

4 D-PPG Digitale Photoplethysmographie (LRR)

4.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum Die D-PPG-Untersuchung soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden.

Patient vorbereiten Der Patient soll sich vor der Untersuchung 15 Minuten oder länger in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten.

Die Hauttemperatur soll 20 °C bis 25 °C betragen.



Kalte Extremitäten verfälschen das Messergebnis.

Der Patient soll Schuhe, Strümpfe und eng anliegende Kleidungsstücke ausziehen.

Patienten Lagerung Der Patient nimmt die Untersuchungs-Position ein. Zur Routineuntersuchung bieten sich zwei Bewegungsprogramme (siehe unten [Bewegungsprogramm](#)) an. "Dorsalextensionen im Sitzen" oder "Halbe Kniebeugen".

Sensor-Positionierung Sie nehmen die D-PPG-Sensoren aus der Halterung und platzieren einen der doppelseitig klebenden Ringe auf die Stirnfläche des D-PPG-Sensors.



Achten Sie darauf, dass die beiden Linsen frei sind.

Der D-PPG-Sensor wird ca. 10 cm proximal des Innenknöchels mit dem beiderseits klebenden Rings durch festes Andrücken befestigt.

- Befindet sich jedoch eine tropische Störung auf der „Idealmess-Stelle“, wird der D-PPG-Sensor auf das nächste proximal gelegene, gesunde Hautareal, aber nicht auf die Varize oder eine insuffiziente Perforansvene geklebt.
- Falls keine ausreichende Haftung gegeben ist, sollte die Haut im Messareal entfettet bzw. Haare entfernt werden.
- Kabel des D-PPG-Sensors zum Fuß ausrichten
- Die Farbkennzeichnung ist zu beachten:



D-PPG-Sensor **rot** = **rechts**

D-PPG-Sensor **blau** = **links**



Abb. 4.1.1: D-PPG
Messung ohne
Tourniquet
Manschette



Abb. 4.1.2 :D-PPG
Messung mit
Tourniquet
Manschette

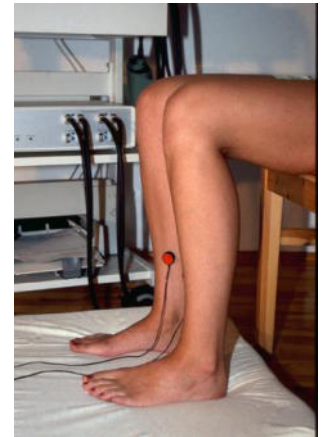


Abb. 4.1.3 :D-PPG
Messung mit
falscher
Beinstellung



Abb. 4.1.4: D-PPG Messung mit
korrekter Beinstellung



Abb. 4.1.5: D-PPG Messung mit
korrekter Sensorposition

Hinweis



Verwenden Sie niemals Klebestreifen (z. B. Hansaplast) zur Befestigung des D-PPG-Sensors. Durch das Andrücken des D-PPG-Sensors verändern sich die hämodynamischen Verhältnisse im Messareal.

Untersuchung durchführen

• Bewegungsprogramm

Die Untersuchung teilt sich in:

- Bewegungsprogramm
- Wiederauffüllphase

Nachdem der D-PPG-Sensor sicher fixiert wurde, empfiehlt es sich, den Patienten vor der D-PPG-Untersuchung unter Anleitung das Bewegungsprogramm üben zu lassen oder dieses vorzuführen.

Zur Routineuntersuchung bieten sich zwei Bewegungsprogramme an:

- Der Patient sitzt entspannt und angelehnt auf einem Stuhl, die Beine sind entspannt und ca. 110° im Knie abgewinkelt. Der Beckenwinkel beträgt ca. 110°. Im Metronomtakt führt der Patient maximale Dorsalextensionen (maximales Heben der Fußspitze) aus, die Ferse bleibt dabei am Boden.



Abb. 4.1.6: D-PPG-Bewegungsprogramm "Dorsalextensionen im Sitzen".

- Der Patient steht entspannt und hält sich eventuell an einer Haltevorrichtung fest. Die Beine sind leicht gespreizt, Fußspitzen leicht nach innen gerichtet mit zirka einer Fußbreite Abstand zwischen den Fußspitzen; dabei sollen die Knie aneinander gedrückt werden.
Im Metronomtakt führt der Patient halbe Kniebeugen aus.

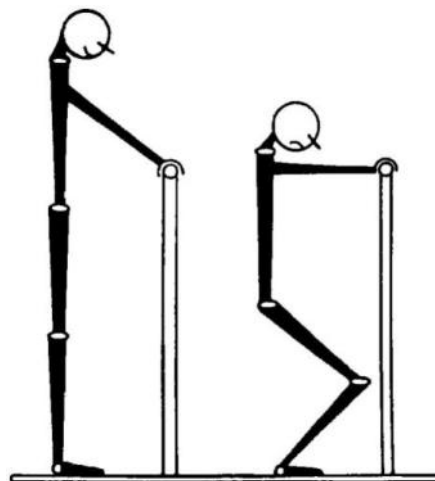


Abb. 4.1.7: D-PPG-Bewegungsprogramm "Halbe Kniebeugen"



Bei Versteifungen oder Bewegungseinschränkungen im Sprunggelenk sind aussagekräftige Messungen nur bedingt möglich. Für solche Fälle ist das Bewegungsprogramm "Halbe Kniebeugen" zu empfehlen.

• Wiederauffüllphase

Wichtig ist, dass der Patient nach dem Bewegungsprogramm, also in der Wiederauffüllphase, entspannt sitzt oder steht, sich nicht bewegt, nicht spricht und ruhig und gleichmäßig atmet.

Untersuchung beenden

Nach Messende entfernen Sie bitte sorgfältig den D-PPG-Sensor vom Bein.



Den D-PPG-Sensor niemals durch Ziehen am Kabel entfernen, sondern durch Anfassen am D-PPG-Sensor-Gehäuse.

4.2 Allgemeine medizinische Hinweise

Allgemein

Grundsätzlich soll bei jedem Patient vor der ersten D-PPG-Untersuchung, besonders aber bei Verdacht auf eine arterielle Verschlusskrankheit oder auf eine eventuelle arterielle Durchblutungsstörung diese, z. B. mit einer Ultraschall-Doppler-Untersuchung im Knöchelbereich, ausgeschlossen werden.

Bei jedem Patient sollen grundsätzlich beide Beine untersucht werden.

Die D-PPG-Untersuchung ist als Screening-Test bei unklarem Befund, schwerer Abfluss-Störung oder großer Diskrepanz zwischen der D-PPG-Messung und dem klinischen Befund zu verstehen. In diesen Fällen sollen andere Untersuchungsmethoden (z. B. Phlebographie, Phlebodynamometrie) erwogen werden.

Messung mit Tourniquet-Manschette?

Bei einem Patient mit einem D-PPG-Grad I bis III empfiehlt sich eine zweite Messung mit Tourniquet-Manschette unterhalb des Knies. Verbessert sich dabei die Hämodynamik der venösen Auffüllzeit T_0 oder der venösen Pumpleistung V_0 , so ist ein Reflux der Oberflächen-Venen vorhanden.



Verwenden Sie unsere speziellen Tourniquet-Manschetten (Breite 2,5 cm). Es empfiehlt sich, mit einem Druck von ca. 120 mmHg zu arbeiten.



Verwenden Sie niemals breite Tourniquet-Manschetten (Breite größer als 3 cm). Selbst bei kleinem Druck beeinflussen Sie dadurch das tiefe Venensystem.

4.3 Hinweise zu den Messergebnissen

Definition der Bewertungsparameter

Die Definition der einzelnen Bewertungsparameter kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

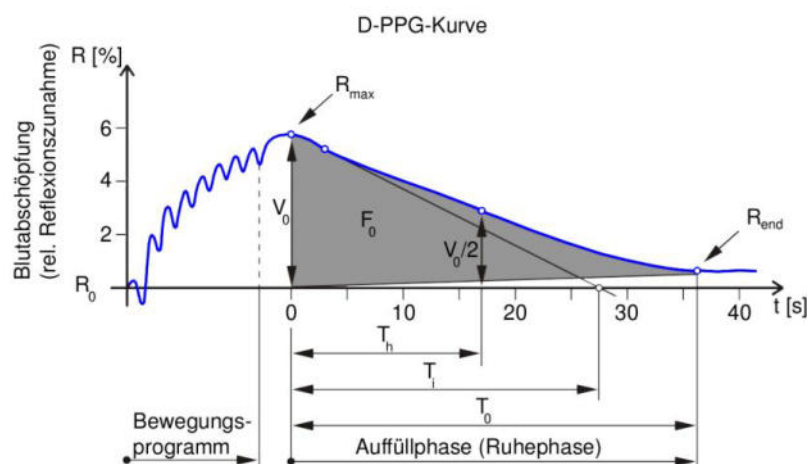


Abb. 4.3.1: Nomenklatur und Bewertungsparameter der D-PPG-Kurve

T_0 Die „venöse Auffüllzeit T_0 “ ist der 1. Hauptparameter der D-PPG-Kurve. T_0 ist das Zeitintervall zwischen R_{max} und R_{end} . R_{max} ist das Maximum der D-PPG-Kurve nach Ende des Bewegungsprogramms. Der Endwert R_{end} ist dann erreicht, wenn sich das registrierte D-PPG-Mess-Signal



etwa 5 Sekunden lang nicht wesentlich ändert (Plateau-Bildung).

Im Allgemeinen erreicht die D-PPG-Kurve einen Endwert, der vom Startwert R_0 (Basislinie) geringfügig abweichen kann; in einigen Fällen liegt der Endwert R_{end} unterhalb der Basislinie. R_{end} ist nicht der Schnittpunkt des Mess-Signals mit der Zeitachse!

- T_h Die „venöse Halbwertszeit T_h “ ist der Zeitpunkt, zu dem die Hälfte der Pumpleistung während der Auffüllphase (Ruhephase) - also die Hälfte der Amplitude - wieder erreicht wurde. Der T_h -Wert gibt also nicht die Hälfte von T_0 an.
- T_i T_i bewertet den initialen Einstrom des Blutes in das Messgebiet (beim Venen-Gesunden also den initialen arteriellen Einstrom) und ist der Schnittpunkt einer Geraden, die durch das Kurvenmaximum und den Abfall nach 3 Sekunden festgelegt ist, mit der Null-Linie.
- V_0 Die „venöse Pumpleistung V_0 “ ist der 2. Hauptparameter der D-PPG-Kurve. V_0 ist ein Maß für die durch die Muskelpumpaktionen der unteren Extremität maximal erreichte Blutabschöpfung. Der Wert wird in Prozent angegeben. Die Skalierung erfolgt automatisch abhängig von den Maximalwerten.

$$V_0[\%] = (R_{\text{max}} - R_0) / R_0 \times 100$$

QUANTITATIVE PLETHYSMOGRAPHIE

- F_0 Die „venöse Pumparbeit F_0 “ gibt als Integral der Auffüllphase der D-PPG-Kurve, die Summe der aufgewendeten Pumpleistung wieder. Die Einheit ist Prozent mal Sekunde.

Einteilung der Bewertungsparameter

Zur Beurteilung der Muskelpumpen-Funktion unterscheiden wir aufgrund der Bewertung der venösen Auffüllzeit nach internationaler Festlegung drei Insuffizienzgrade.

- Normal: T_0 größer 25 s (Venen gesund)
- Insuffizienz-Grad I: T_0 24 bis 20 s (leichte Abfluss-Störung)
- Insuffizienz-Grad II: T_0 19 bis 10 s (mittelschwere Abfluss-Störung)
- Insuffizienz-Grad III: T_0 unter 10 s (schwere Abfluss-Störung)

Durch die QUANTITATIVE PLETHYSMOGRAPHIE steht die „venöse Pumpleistung V_0 “ als weiterer reproduzierbarer Parameter zur Verfügung. Obwohl bislang nur die „venöse Auffüllzeit T_0 “ international standardisiert wurde, hat sich durch die Praxis für die Beurteilung der „venösen Pumpleistung V_0 “ folgende Bewertung ergeben:

- Normal: $V_0 \geq 3 \%$
- Pathologisch: $V_0 < 3 \%$



Diese Gradeinteilung gilt nur für das Bewegungsprogramm „Dorsalextensionen im Sitzen“.



Überprüfen Sie die errechneten Parameter.

Medizinische Hinweise zu den Messergebnissen

Auch wenn die D-PPG-Diagnosen leicht zu stellen sind, darf der klinische Befund nie außer Acht gelassen werden.

Ist die Differenz zwischen R_0 und R_{end} zu groß, soll die Messung wiederholt werden. Ferner soll die Haftung des D-PPG-Sensors kontrolliert werden.

Je kleiner die Parameter, desto ausgeprägter die hämodynamische Störung. Bislang wurde nur die "venöse Auffüllzeit" international standardisiert; für die anderen Parameter werden Sie bald Ihren Standard festgelegt haben.

Wiederholen Sie Messungen, bei denen sich eine große Diskrepanz zwischen Ihrem klinischen Befund und den Messergebnissen ergibt.

Bei schwierig deutbaren Kurven oder problematischen Messergebnissen wird empfohlen, die Messung zu wiederholen, um eventuelle Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Bei Artefakten (z. B. Bewegung der Patienten, Husten o. ä.) wird möglicherweise das Messende falsch erkannt und somit die venöse Auffüllzeit T_0 falsch ermittelt, so dass infolge dessen auch die Pumparbeit F_0 nicht korrekt ermittelt werden kann. Die Parameter V_0 , T_i und T_h werden jedoch korrekt errechnet.

4.4 Medizinische Anwendungsgebiete

Allgemein

Grundsätzlich gilt:

Die D-PPG quantifiziert die venöse Hämodynamik der unteren Extremitäten.

Die D-PPG kann keine Diagnose stellen, wohl aber eine Diagnose ausschließen oder bestätigen. Im folgenden Abschnitt wird eine Auswahl von Einsatzgebieten vorgestellt (es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit):

Quantifizierung bei einer klinisch diagnostizierten Venopathie

Bei diesen Patienten ist es wichtig, eine regelmäßige Stadienkontrolle vorzunehmen, um einer Verschlechterung der Erkrankung rechtzeitig therapeutisch begegnen zu können.

Früherkennung einer Venopathie

Nicht jede Venopathie zeigt gleich eine sichtbare Veränderung der Beinvenen. Sobald ein klinischer oder anamnestischer Verdacht besteht, sollte eine D-PPG-Untersuchung durchgeführt werden.

Indikation und Prognose einer Stripping-Operation oder einer Sklerotherapie

Ist durch das klinische Bild oder durch die Ultraschall-Doppler-Untersuchung eine Stamm- oder Seitenastvarikose der Vena saphena magna gesichert, sollte der Funktionstest mit der D-PPG durchgeführt werden. Dazu führen Sie zunächst eine normale Messung durch. Danach erfolgt eine zweite Messung, bei der Sie die Vena saphena magna durch Fingerdruck oder Stauschlauch okkludieren. Bessert sich nach diesem Manöver die Hämodynamik, liegt eine funktionelle Indikation zur Operation oder Sklerotherapie vor.

Therapiekontrolle, Rezidivkontrolle

Ob Varizenexhairese oder Sklerosierungstherapie, jede Therapie bedarf der Effizienzkontrolle mit der D-PPG. Erforderlich sind mindestens drei

Untersuchungen: Vor und nach der Therapie, sowie nach Ablauf eines Jahres.

Schwangerschafts-Überwachung

Das Risiko, während der Schwangerschaft eine Venopathie zu bekommen, ist groß. Dieses Risiko nimmt mit jeder weiteren Schwangerschaft zu. Die D-PPG gibt die Möglichkeit, gefährdete Patientinnen zu überwachen.

Präoperativer Einsatz

Vor jedem planbaren operativen Eingriff kann die venöse Hämodynamik gemessen werden, um unter Umständen eine gezielte Thromboseprophylaxe betreiben zu können.

Bettlägerigkeit

Patienten, die für längere Zeit an das Krankenbett gebunden sind, können nach Bedarf überwacht werden, um rechtzeitig eine Thromboseprophylaxe einleiten zu können.

Verdacht auf eine Phlebothrombose (Thrombose der tiefen Venen)

Die D-PPG kann eine Verdachtsdiagnose stützen, aber nicht sichern; sie ist nur die Routineuntersuchung vor einem Venen-Verschlusstest.

Ausschlussdiagnostik bei unklaren Beinbeschwerden

Vielfach verursachen orthopädische oder neurologische Erkrankungen eine ähnliche Schmerzsymptomatik wie eine Venopathie. Die D-PPG-Untersuchung kann hier zur Abklärung der Differentialdiagnose hilfreich sein.

4.5 Wissenschaftliche Grundlagen zur Messmethode

Allgemeines

Die Anwendung optischer Messmethoden an der Haut ist seit etwa 1930 in der Medizin bekannt. CARTWRIGHT verwendete Infrarotstrahlen, um Blutzirkulationsschwankungen zu messen. 1938 fand HERTZMAN einen Zusammenhang zwischen der Intensität der Lichtreflexion der Haut und ihrem Blutgehalt: Er nannte die Apparatur "photoelectric plethysmograph". Seit dieser Zeit werden Photoplethysmographen zur Registrierung der akralen oder dermalen arteriellen Pulsation, also zur Hautdurchblutungsmessung, eingesetzt.

In den 70er Jahren stellte man fest, dass diese Methode auch die venöse Pumpleistung der unteren Extremität messen kann und dass diese Messung mit der Phlebodynamometrie gut korreliert. BLAZEK und WIENERT führten 1981 ein verfeinertes Verfahren, die Licht-Reflexions-Rheographie (LRR) in die phlebologische Diagnostik ein. Die konsequente Weiterentwicklung dieser Messmethode (LRR) an der RWTH Aachen führte zur Entwicklung der Digitalen Photoplethysmographie (D-PPG). Im Rahmen einer interdisziplinären Forschungszusammenarbeit stellte die Arbeitsgruppe BLAZEK und SCHULTZ-EHRENBURG (Aachen und Bochum) das D-PPG-Gerät VQ1000 im Herbst 1988 erstmalig der medizinischen Fachwelt vor. Das D-PPG-Gerät registriert und speichert Reflexionsänderungen im Messareal, welche vor allem durch eine Blutvolumenverschiebung in den kutanen und subkutanen venösen Gefäßplexus infolge von Bewegungsübungen oder Lagewechsel entstehen.

Der D-PPG-Sensor ist tiefenoptimiert und nutzt eine geeignete Lichtwellenlänge und Strahlungsgeometrie bei gleichzeitiger Unterdrückung der Oberflächenreflexion und des Störlichtes aus, wodurch der gesamte Venenplexus der Kutis sicher abgetastet wird.

Im Gegensatz zu allen vorher genutzten Systemen beinhaltet das D-PPG-System ein sich selbst kalibrierendes Verstärkungssystem, mit dem das reflektierte Empfangssignal geeicht wird. Dabei befinden sich alle wesentlichen Komponenten, einschließlich des optischen Sensors, in einer mikroprozessorgesteuerten Regelschleife. Diese Anordnung garantiert normierte und reproduzierbare Messungen unabhängig von der Hautstruktur und Hautpigmentierung. Dadurch ist erstmalig eine QUANTITATIVE PLETHYSMOGRAPHIE möglich.

Biophysikalische Grundlagen

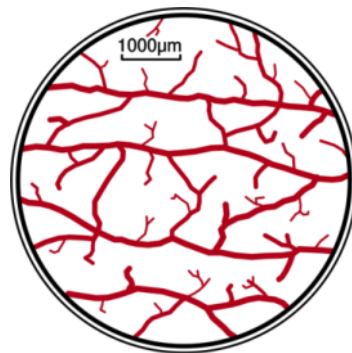


Abb. 4.5.1: Mess-Fenster unter dem D-PPG-Sensor

Hier sind die typischen Reflexions- und Extinktionseigenschaften der menschlichen Haut aufgezeigt. Es ist bekannt, dass im Bereich der unsichtbaren Strahlen um 940 nm ein besonders günstiges "Mess-Fenster" für die optische Abtastung existiert. Das eingestrahelte Licht wird von der Epidermis nur geringfügig absorbiert (ca.15 %). Außerdem besteht ein großer Unterschied zwischen der Reflexion der blutleeren Haut und der Reflexion von Blutgefäßen.

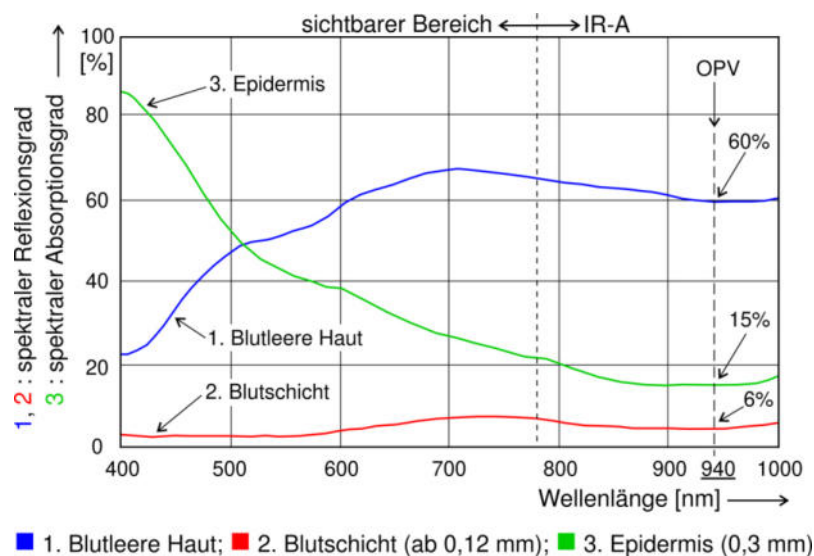


Abb. 4.5.2: Optische Eigenschaften biologischer Proben im Sichtbaren- und im Infrarotbereich

Die Abbildung zeigt schematisch das Gefäßsystem im Bereich der Haut unter dem D-PPG-Sensor. Da die gefüllten Blutgefäße etwa 10-mal weniger Licht reflektieren als das undurchblutete Hautgewebe, erscheinen sie als dunkle Linien in einem relativ hellen Umfeld.

Durch die Okklusion wird Blut angestaut, wobei der periphere Venendruck steigt und die Oberfläche der elastischen, kapazitiven Gefäße sich vergrößert. Dadurch verringert sich die mittlere Reflexion im Mess-Fenster, was durch ein Ansteigen der D-PPG-Kurve registriert wird. Das optoelektrische Messprinzip der D-PPG beruht also auf der Erfassung der Reflexionsänderungen subepidermaler Hautschichten vor, während und nach einer Okklusion, wobei die Änderungen durch Füllungsschwankungen in dem Gefäßplexus der Haut verursacht werden.

Durch die Tourniquet-Manschette wird das Oberflächen-Venensystem hämodynamisch stärker an das tiefe Venensystem angebunden.

**Folgende
biophysikalische
Gesetzmäßigkeiten
werden genutzt**

Es besteht ein direkter und unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Füllungszuständen im tiefen Venensystem der unteren Extremitäten und dem Füllungsgrad in den vom D-PPG-System abgetasteten Gefäßen der Kutis.

Jede Druckänderung im venösen Gefäßsystem bewirkt eine Änderung der Gefäßoberfläche und damit eine Änderung des D-PPG-Signals.

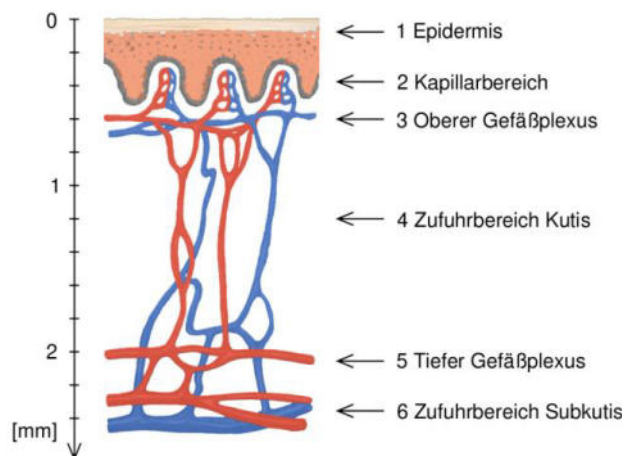


Abb. 4.5.3: Topographie der Hautgefäße am Unterschenkel (schematisch)

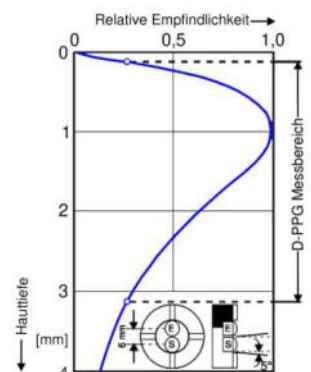


Abb. 4.5.4: Relative Empfindlichkeit des D-PPG-Sensors als Funktion der Hauttiefe

Im D-PPG-Sensor befindet sich neben der Sendediode S und der Detektordiode D ein Mikrosignalverstärker. Der Messbereich des D-PPG-Sensors ist durch den $1/e$ Abfall der maximalen Empfindlichkeit definiert. Er beträgt ca. 0,1 bis 3,1 mm, so dass der Gefäßplexus der Kutis sicher erreicht und bewertet wird.

4.6 Technische Informationen zur Messmethode

D-PPG-Sensor

Der D-PPG-Sensor ist über ein Kabel direkt mit dem Gerät verbunden. Er besitzt zwei optoelektronische Elemente. Der Sender schickt Infrarotlichtwellen in die Haut, der Empfänger nimmt die reflektierten Lichtwellen auf.

Arbeitschritte

Die D-PPG-Messprozedur gliedert sich in acht Arbeitsschritte, die alle vom Mikrocomputer kontrolliert werden und automatisch ablaufen. Die Abbildung 6.3.5.1 zeigt den automatischen Messablauf und verdeutlicht die einzelnen Schritte des Programms.

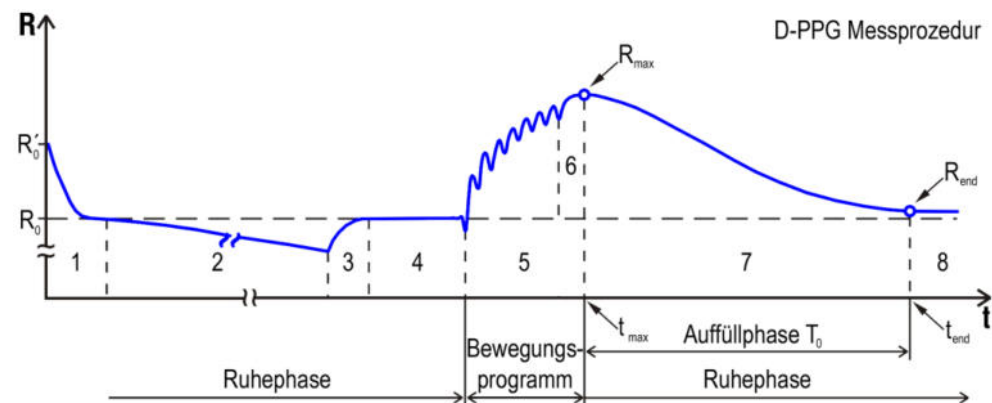


Abb. 4.6.1: Automatischer Messablauf

Ablauf der Messprozedur

1. Automatische Kalibrierung

- Der individuelle Reflexionswert R_0 wird auf den vorgesehenen Wert der Ruhereflexion R_0 geeicht (Basislinie der D-PPG-Kurve).

Auf dem D-PPG-Display erscheint „Bitte warten, Messung folgt“.

Hinweis



2. Feststellung der stationären Ruhedurchblutung

- Der Ruhewert ist erreicht, wenn zwei aufeinander folgende Mittelwerte über 4 Sekunden keinen großen Unterschied haben. Spätestens nach 30 Sekunden wird jedoch mit der Messung begonnen.

3. Weitere Kalibrierung

- Es wird die Sendeleistung nachgeregelt, um die möglicherweise eingetretene Drift zu korrigieren.

4. Startphase

- Bewegungsprogramm beginnt in 5 Sekunden.

Auf dem D-PPG-Display erscheint „Start in 5 s“.

Hinweis



5. Durchführung des Bewegungsprogramms im vorgegebenen Takt des Metronoms.

- Durch die Muskelpumpaktivität wird Blut abgeschöpft, wobei der periphere Venendruck sinkt und die Hautreflexion steigt.

6. Erkennung des Maximalwertes der Reflexion
7. Auffüllphase
 - Die Reflexionsänderungen, die durch die wieder einsetzende Venenfüllung entstehen, werden dem Untersucher akustisch wie auch optisch im D-PPG-Display in Form eines Balkendiagramms mitgeteilt.
8. Nach Messende werden vom D-PPG-Gerät die hämodynamischen Parameter automatisch berechnet und zusammen mit dem Messprotokoll ausgedruckt und gespeichert.

5 PDM Phlebodynamometrie (KP Kompartimentdruck)

5.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum

Der Patient soll sich vor der Messung 15 Minuten oder länger in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten, und auch die PDM-Untersuchung selbst soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden.



Kalte Extremitäten verfälschen das Messergebnis.

Patient vorbereiten

Der Patient soll Schuhe, Strümpfe und eng anliegende Kleidungsstücke ausziehen.

Vorbereitung des Mess-Systems

Nehmen Sie den Druckwandler aus der Halterung und entfernen Sie die Schutzkappe.

Achten Sie darauf, dass der Druckwandler sauber ist.



Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die Druckmessung mit einem elektronischen Druckspannungswandler (Statham-Element).

Halten Sie den Druckwandler senkrecht, mit der Membran nach oben, und bedecken Sie die flache Oberfläche vollständig mit Wasser oder mit physiologischer Lösung.

Es soll sich eine einheitliche Flüssigkeitskuppe ohne Luftblasen bilden.

Schließen Sie den Membran-Dom an den Druckwandler an. Drehen Sie dazu vorsichtig den Druckwandler-Überwurfring auf dem Membran-Dom fest. Die überschüssige Flüssigkeit wird dabei verdrängt. Bitte achten Sie darauf, dass sich zwischen dem Membran-Dom und dem Druckwandler keine Luftblasen befinden.

Verbinden Sie das Druckleitungssystem (Heidelberger Verlängerung) mit dem Dreiwegehahn.

Schließen Sie das Druckleitungssystem (Heidelberger Verlängerung) an die Butterflykanüle an.

Verbinden Sie den Infusionsbehälter (mit physiologischer Lösung) mit dem Membran-Dom.

Aktiveren Sie den Spülvorgang; dazu betätigen Sie den am Membran-Dom befindlichen Hebel.

Achten Sie darauf, dass sich Membran-Dom und das gesamte Mess-System blasenfrei füllen.



Der Dreiwegehahn wird am direkten (geraden) Ausgang des Membran-Doms angeschlossen.



Hohe Druckwerte, die den Druckwandler beschädigen können, entstehen mitunter dadurch, dass während des Aufbauvorgangs alle Sperrhähne zum Membran-Dom geschlossen sind. Öffnen Sie den Dreiwegehahn zur Atmosphäre, bevor Sie den Membran-Dom befestigen.

- **Sensor-
positionierung**

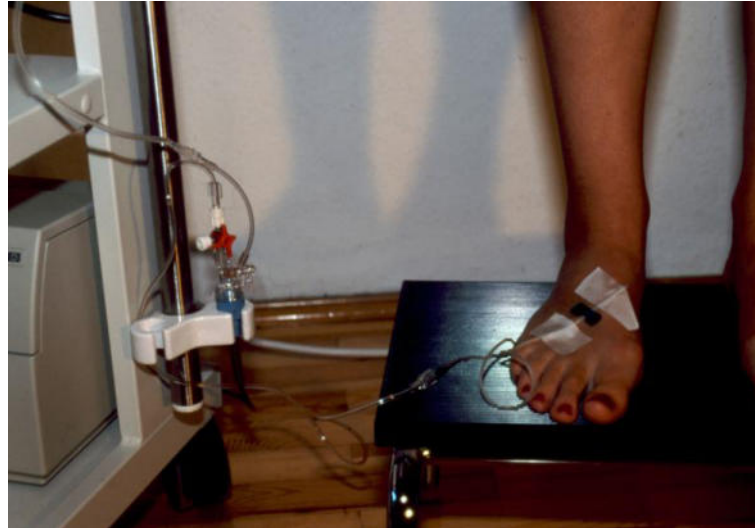


Abb. 5.1.1: PDM Untersuchung

**Vorbereitung der PDM-
Untersuchung**

Die Untersuchung unterteilt sich in:

- Bewegungsprogramm
- Wiederauffüllphase

- **Bewegungs-
programm**

Der Patient nimmt seine Messposition ein.

Spülen Sie das Mess-System und wiederholen Sie dies während der Messpausen. Sie verhindern dadurch die Blutgerinnung in der Butterflykanüle.

Mit der Butterflykanüle punktieren Sie das Venensystem im Vorfußbereich. Achten Sie unbedingt darauf, dass die Spitze der Butterflykanüle frei ist und nicht an der Venenwand anliegt.

Fixieren Sie die Butterflykanüle.

Beobachten Sie den Ruhedruckwert; dieser soll über 3 bis 5 Sekunden konstant sein.

Der Patient führt unter Anleitung das Bewegungsprogramm aus. Es bieten sich mehrere Bewegungsprogramme an:

- 10 Zehenstände (im Stehen) in ca. 15 Sekunden
- Halbe Kniebeugen
- Dorsalextensionen im Sitzen
- Laufen (Gehen) auf der Stelle
Das Bewegungsprogramm "Laufen (Gehen) auf der Stelle" wird bis zum Erreichen des Minimaldrucks ausgeführt.

Sie können zwischen einem akustischen und optischen Metronomtakt wählen.

Hinweis



Kommt es nicht sofort zu einer Druckreduzierung, überprüfen Sie die Position der Butterflykanüle. Diese darf nicht an der Venenwand anliegen.

- **Wiederauffüllphase** Wichtig ist, dass der Patient nach dem Bewegungsprogramm, also in der Wiederauffüllphase, entspannt sitzt oder steht, sich nicht bewegt, nicht spricht und ruhig und gleichmäßig atmet.

Nach Erreichen des Ruhedruckwertes sollte sich der Patient für weitere ca. 10 Sekunden ruhig verhalten; dadurch können überhöhte Druckwerte erkannt werden.



Sollen Varizen beurteilt werden, empfiehlt sich die Wiederholung mit entsprechenden Pelotten-Kompressionstests.

Untersuchung beenden

Nach Messende entfernen Sie bitte sorgfältig die Butterflykanüle bzw. den Messaufbau.



Stellen Sie sicher, dass keine Kochsalzlösung austreten kann. Vom Infusionshalter heruntertropfende Kochsalzlösung, die in das Gehäuse des Laborwagens eindringt, kann einen Kurzschluss verursachen und langfristig zur Korrosion des Laborwagens führen.

5.2 Hinweise zu den Messergebnissen

Normiertes und freies Untersuchungs-Programm

Allgemein

Zur Beurteilung müssen die Ergebnisse, der Druckabfall und die venöse Auffüllzeit getrennt betrachtet werden.

Druckabfall

Normalwerte entsprechen einem Druckabfall von mind. 60 mmHg.

Ist der Druckabfall kleiner als 60 mmHg, kann das auf einen Klappenschaden im epifaszialen oder tiefen Venensystem hinweisen.

Kommt es während des Bewegungsprogramms zu keiner Druckreduzierung (Bewegungsausschläge sind erkennbar) und unmittelbar danach zu einer Druckerhöhung, deutet das auf ein postthrombotisches Syndrom (PTS) hin.

Venöse Auffüllzeit

Fehlerquelle für eine scheinbar normale Wiederauffüllzeit trotz Klappenschäden kann eine periphere arterielle Durchblutungsstörung sein. Zur Beurteilung der Muskelpumpen-Funktion unterscheiden wir aufgrund der Bewertung der venösen Auffüllzeit nach internationaler Festlegung drei Insuffizienzgrade:

- Normal: T_0 größer 25 s (Venen gesund)
- Grad I: T_0 24 bis 20 s (leichte Abfluss-Störung)
- Grad II: T_0 19 bis 10 s (mittelschwere Abfluss-Störung)
- Grad III: T_0 unter 10 s (schwere Abfluss-Störung)

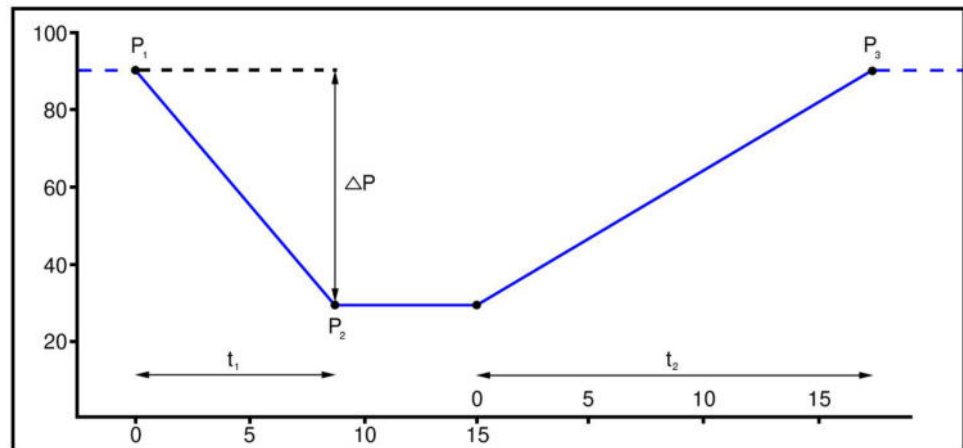


Abb. 5.2.1: Nomenklatur und Bewertungsparameter der PDM-Kurve

KP Kompartimentdruck-Untersuchung

Bewertungsparameter

Bei der subfaszialen Druckmessung gelten folgende Werte (siehe unten [Weitere Informationen zum Kompartimentdruck](#)):

Normalwerte entsprechen einem Druck kleiner als 10 mmHg.

Bei eingeschränkter Perfusion findet man Druckwerte zwischen 20 - 40 mmHg.

Druckwerte größer 40 mmHg deuten auf das Vorliegen eines manifesten Kompartiment-Syndroms hin.

Untersuchungen von W. Hach und Ch. Schwahn-Schreiber in „Das chronisch venöse Fazienkompressionssyndrom“ zeigen im Durchschnitt folgende Werte (gemessen im tiefen dorsalen Kompartiment) auf:

Normal

- im Liegen: 13,6 mmHg
- im Stehen: 29,9 mmHg

Abnormal

- im Liegen: 21,1 mmHg
- im Stehen: 62,5 mmHg
(Patienten mit chronischem Faszienkompressionsyndrom)

Kompartmentsyndrom

Ätiologie und Pathogenese

Synonyma: Muskellogen-Syndrom, Tibialis-Logen-Syndrom

Ein Kompartmentsyndrom am Unterschenkel kommt besonders im Bereich der Tibialis-anterior-Loge vor. Eine Muskellogenkompression führt zu einem verminderten arteriellen und venösen Blutfluss woraus eine Erhöhung der Kapillarpermeabilität mit Verstärkung der Ödembildung resultiert (Circulus vitiosus). Neuromuskuläre Funktionsstörungen und ischämische Muskelnekrosen sind die Folge, am Ende kommt es zu einer narbigen Muskelkontraktur. Besonders häufig tritt ein

Kompartmentsyndrom nach Frakturen, nach Muskelquetschungen, beim posttraumatischen Muskelödem sowie nach Anlage eines zu engen, nicht gespaltenen Gipses oder eines zirkulären Verbandes auf.

Funktionelles Kompartmentsyndrom

Eine funktionell bedingte Muskelischämie nach Belastung wurde vor allem für die Tibialis-anterior-Loge beschrieben. Man unterscheidet eine akute und eine chronische Form. Das akute funktionelle Kompartmentsyndrom tritt während oder unmittelbar nach größeren Belastungen - insbesondere nach längeren Märschen - auf und kann akut zu ausgedehnten Muskelnekrosen führen. Das chronische funktionelle Kompartmentsyndrom entsteht durch Schwellung der Muskulatur durch sportliche Aktivität. Diese Form ist wesentlich häufiger als die akute Form und tritt häufig bilateral auf. Sie wird hauptsächlich im Leistungssport beobachtet, insbesondere bei Wettkampfgehern und Mittelstreckenläufern.

Klassifikation

Unterschieden werden ein drohendes Kompartmentsyndrom mit dezenter neurologischer Symptomatik, intakter peripherer Durchblutung und tiefen, dumpfen Spannungsschmerzen sowie ein manifestes Kompartmentsyndrom mit Schmerzen, Schwellungen, neurologischen Defiziten und peripherer Minderperfusion.

Symptomatik

Die Patienten klagen in der Regel über prätibiale Schmerzen und Spannungsgefühle, häufig werden Weichteilschwellungen beobachtet. Sensibilitätsstörungen beginnen oft im Zwischenraum zwischen der ersten und der zweiten Zehe, später kommt es zu einer Zehen- und Fußhebeschwäche. Eine N. peroneus- / N. tibialis-Läsion äußert sich in Form eines Fallfußes bzw. Stepperganges.

Diagnostik

Anamnese

Besonders wichtig ist die Erfragung eines evtl. Verletzungsmusters und der bisherigen Therapie.

Klinische Untersuchung

Wichtig ist die Überprüfung der Sensibilität, der Motorik sowie der Durchblutung der betroffenen Extremität. Die subfasziale Druckmessung ist von entscheidender Bedeutung. Werte < 10 mmHg gelten als normal, Werte zwischen 20-40 mmHg werden bei eingeschränkter Perfusion gefunden, Werte > 40 mmHg deuten auf das Vorliegen eines manifesten Kompartmentsyndroms hin. Allgemein sollte der Unterschied zwischen diastolischem Blutdruck und Kompartimentdruck nicht weniger als 30 mmHg betragen, da es sonst zu Mikrozirkulationsstörungen kommen kann.

Bildgebende Untersuchung

Um eine Phlebothrombose differentialdiagnostisch auszuschließen, wird häufig eine Phlebographie durchgeführt. Typischerweise findet man beim Kompartmentsyndrom ein verengtes tiefes Venensystem. Auch die Sonographie ist zur Darstellung prinzipiell geeignet.

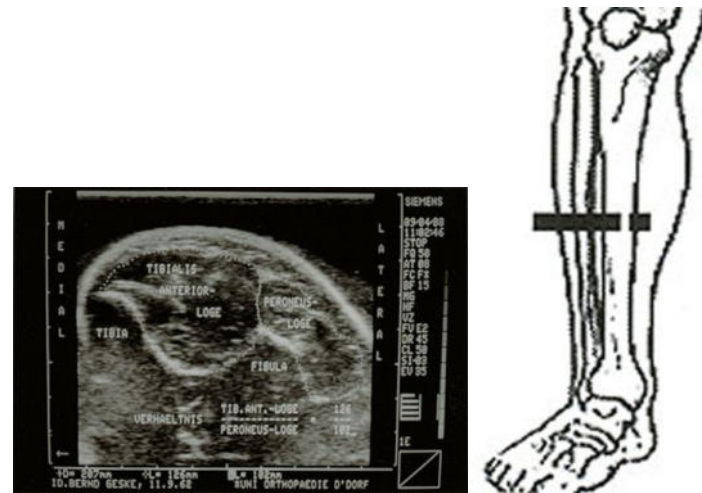


Abb. 5.2.2: Sonogramm Kompartmentsyndrom

Experimentelle Studien zur Ultraschalluntersuchung beim Kompartmentsyndrom haben keinen sicheren Zusammenhang zwischen den sonographischen Veränderungen der Weichteile und dem tatsächlichen Logendruck ergeben. Deutliche Druckzunahmen gehen aber mit einer Verbreiterung der Muskellogen einher, die im Seitenvergleich auffallen können. Die vorliegende Abbildung zeigt die sonographische Querschnittanatomie des Unterschenkels in der anterioren Transversalebene. Über den echoreichen Strukturen der Tibia und Fibula sowie dem starken Echoband der Membrana interossea können die einzelnen Muskellogen voneinander gut abgegrenzt werden.

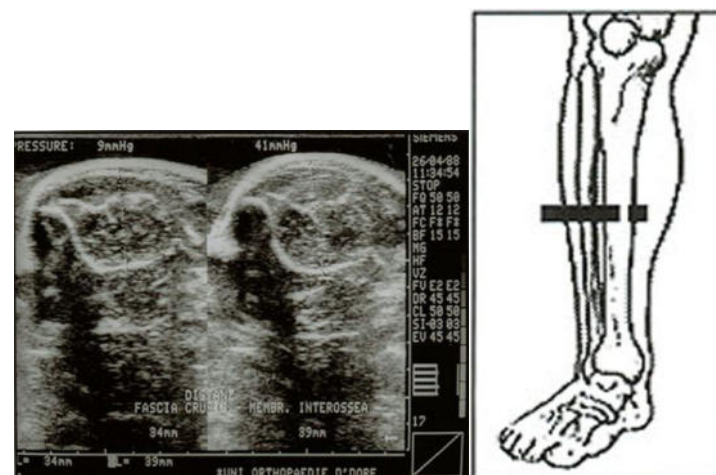


Abb. 5.2.3: Sonogramm Kompartmentsyndrom

Die beim Kompartmentsyndrom vorliegende Druckerhöhung, in diesem Fall der Tibialis anterior Loge, ist im Vergleich mit der gesunden Seite (links 34 mm) indirekt an der Zunahme des Muskeldurchmessers (rechts 39 mm) zu erkennen. Es wird im Schallbild die Distanz zwischen der Fascia crura und der Membrana interossea bestimmt (Pfeile). Die tatsächlich vorliegenden, zum Vergleich gemessenen, Druckwerte betrugen links 9 mmHg, rechts 41 mmHg. Echogenitätsveränderungen der Muskulatur lassen sich nicht für eine sichere Beurteilung verwenden.

Differentialdiagnosen

Erkrankung/ Stadium	Symptome	Anmerkungen/ Besonderheiten
Phlebo- thrombose	Umfangsdifferenz, Druckschmerz, Lowenberg-Test, Meyer-Druckpunkte (Austritt Perforans-Venen), Homans-Test (Schmerz bei Dorsalflexion des Fußes), Payr-Zeichen (Druckschmerz der Plantarmuskulatur)	Phlebographie, Doppler-Sonographie, Röntgen, Szintigraphie
Phlegmasia coerulea dolens	Ödem, Zyanose, Schmerz, Schwellung, kühle Haut, Nekrosen, Gangrän, evtl. hypovolämischer Schock	Doppler-Sonographie, Phlebographie, Pulsstatus
Thrombo- phlebitis	geröteter tastbarer Strang, geringe Schwellung	klinische Untersuchung

**Therapie und
Rehabilitation****konservativ**

Bei drohendem Kompartmentsyndrom sollte die betroffene Extremität gekühlt und auf Herzniveau gelagert werden. Eine antiphlogistische Medikation ist ebenfalls indiziert.

operativ

Ein frühes Eingreifen ist von entscheidender Bedeutung. Die betroffene Muskelloge muss innerhalb der ersten 6 Stunden - möglichst innerhalb von 4 Stunden - durch Faszien-spaltung und anschließende offene Wundbehandlung entlastet werden. Es sollten grundsätzlich alle vier Logen des Unterschenkels eröffnet werden. Erfolgt die Fasziotomie zu spät, bleiben bereits nach einem Tag irreversible Nervenschädigungen zurück. Auch die Infektionsrate steigt mit zunehmender Zeit stark an - bis zu 50 % nach dem 1. Tag.

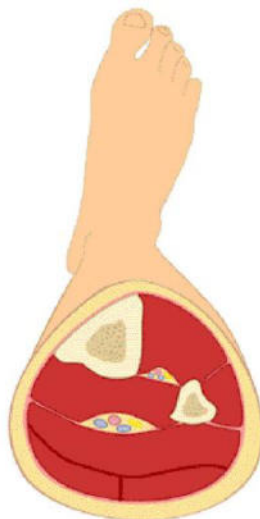
Muskellogen

Abb. 5.2.4: Darstellung der Muskellogen im Unterschenkelquerschnitt

**Weitere Informationen
zum Kompartimentdruck**

Publikationen

www.jerosch.de/publikationen/zeitschriften/

Institut für Sportmedizin

Prof. Dr. J. Jerosch

www.gvle.de/kompendium/unterschenkel/0025/0015.html

Sportmedizin (Kompendium) Kompartimentsyndrom Diagnostik

www.gvle.de/kompendium/unterschenkel/0025/0020.html**5.3 Medizinische Anwendungsgebiete****PDM Phlebodynamometrie****Allgemein**

In der spezialisierten Venenfunktionsdiagnostik hat die Phlebodynamometrie (periphere blutige Venendruckmessung) als wenig invasives und gut reproduzierbares Verfahren einen hohen Stellenwert. Es werden durch die Messung objektive Daten über die Funktionsfähigkeit des Venensystems sowohl hinsichtlich der Auspumpleistung als auch der Venenklappenfunktion (Wiederauffüllzeit) gewonnen. Äußere Ödeme oder trophische Hautveränderungen beeinträchtigen das Messergebnis nicht.

Die Phlebodynamometrie liefert, im Gegensatz zu anderen Untersuchungsmethoden, in der Belastung quantitative Werte, die für die beabsichtigten therapeutischen Maßnahmen notwendig sind.

Die Phlebodynamometrie kann auch in der Schwangerschaft angewendet werden.

Der Venendruck im Fuß beträgt im Liegen ca. 6 bis 10 mmHg, im Stehen ca. 70 bis 90 mmHg. Durch das Bewegungsprogramm kommt es zu einem Druckabfall von ca. 40 bis 60 mmHg. Dieser Druckabfall fällt bei hämodynamisch bedeutsamer Varikosis und besonders beim postthrombotischen Syndrom (PTS) geringer aus. Die PDM kann eine wichtige Untersuchung vor invasiven Therapiemaßnahmen (Stripping-Operation, Sklerosierung) sein. Die funktionelle Bedeutung insuffizienter Stamm- und / oder Perforansvenen bzw. die Ausschaltung derer, kann in Kombination mit dem Pelotten-Kompressionstest geklärt werden.

Es wird ein Druckabfall nach einem Bewegungsprogramm und die venöse Wiederauffüllzeit bzw. das Verhalten mit und ohne Kompression der Stammvenen-Mündung (V. saphena magna und parva) bzw. des Abgangs insuffizienter Perforansvenen (besonders Dodd-, Boyd- und Cockett-Gruppe) bestimmt. Insgesamt liefert die PDM quantitativ gut reproduzierbare Aussagen über die Funktion der Venen der unteren Extremitäten. Durch Punktion der V. femoralis können die venösen Druckverhältnisse im Beckenbereich beurteilt und damit z. B. die Indikation zur Umleitoperation nach Palma geprüft werden.

**Einsatz der
Phlebodynamometrie**

- Alternatives und ergänzendes Verfahren zur Phlebographie vor Eingriffen am oberflächlichen Venensystem
- Bei klinischem Verdacht auf Veränderungen am tiefen Venensystem oder deren phlebographischem Nachweis vor einem Eingriff. Hierzu ist ergänzend ein Kompressionsversuch notwendig.
- Differentialdiagnostische Bedeutung bei unklarem phlebologischem Befund

- Prognose über Behandlungserfolg
 - Kontrolle des Therapieerfolges
 - Gutachterstellungnahme
- Venendiagnostik
- Venendruck-Messung
 - Nachweis einer vorhandenen PTS

KP Kompartimentdruck-Untersuchung

Kompartiment-Syndrom Besonders häufig tritt ein Kompartiment-Syndrom nach Frakturen, nach Muskelquetschungen, beim posttraumatischen Muskelödem sowie nach Anlage eines zu engen, nicht gespaltenen Gipses oder eines zirkulären Verbandes auf.

Am Unterschenkel kommt dieses Syndrom besonders häufig im Bereich der Tibialis-anterior-loge vor.

Funktionelles Kompartiment-Syndrom

Bei einer funktionell bedingten Muskelschämie nach Belastung unterscheidet man eine akute und eine chronische Form.

Das **akute funktionelle Kompartiment-Syndrom** tritt während oder unmittelbar nach größeren Belastungen – insbesondere nach längeren Märschen – auf und kann akut zu ausgedehnten Muskelnekrosen führen.

Das **chronisch funktionelle Kompartiment-Syndrom** entsteht durch Schwellung der Muskulatur bei sportlichen Aktivitäten. Diese Form kommt wesentlich häufiger vor als die akute Form. Man kann sie hauptsächlich bei Leistungssportlern und bei Soldaten nach Gewaltmärschen beobachten.

Das **chronisch venöse Kompartiment-Syndrom** entwickelt sich im Verlauf von Venenkrankheiten mit schwerem chronisch-venösen Stauungssyndrom. Dieses unterscheidet sich auch grundlegend von dem bisher bekannten funktionellen Syndrom. Die schwerste Form wird von W. Hach und Ch. Schwahn-Schreiber als das chronische Faszienkompressionssyndrom bezeichnet. Dieses vorherrschende Syndrom ist ein bisher unheilbares Manschettenulcus am Unterschenkel.

Klassifikation

Man unterscheidet zwischen **drohendem Kompartiment-Syndrom** (mit dezenter neurologischer Symptomatik, intakter peripherer Durchblutung und tiefen, dumpfen Spannungsschmerzen) und **manifestem Kompartiment-Syndrom** (mit Schmerzen, Schwellungen, neurologischen Defiziten und peripherer Minderperfusion).

Symptomatik

In der Regel klagen die Patienten über prätibiale Schmerzen und Spannungsgefühle. Häufig treten auch Schwellungen an den Weichteilen auf. Sensibilitätsstörungen beginnen oft im Zwischenraum zwischen der ersten und zweiten Zehe, später kommt es zu einer Zehen- und Fußhebeschwäche.

Diagnostik

Kompartiment-Diagnostik

- Erfragung eines evtl. Verletzungsmusters

- Überprüfung der Sensibilität
- Überprüfung der Motorik
- Überprüfung der Durchblutung
- Kompartiment-Druckmessung

Mess-Anordnung

Die folgende Graphik beschreibt die Mess-Anordnung bei der KP

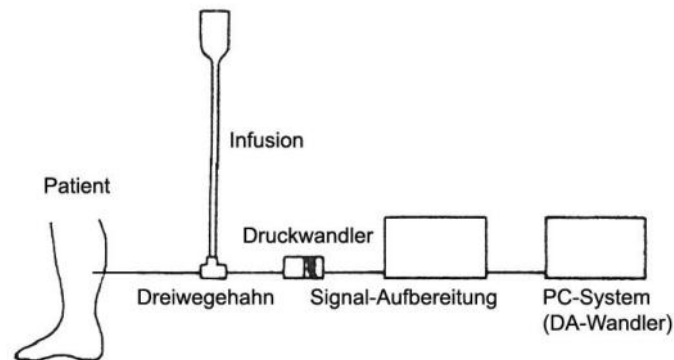


Abb. 5.3.1: Mess-Anordnung bei der KP

5.4 Wissenschaftliche Grundlagen der Messmethode

Allgemein

Die Phlebodynamometrie (PDM) ermittelt invasiv den Venendruck. Die PDM ist ein technisch einfaches Verfahren zur Bestimmung der Funktion des oberflächlichen und tiefen venösen Systems der Beine. Sie erlaubt Voraussagen über den Erfolg der Ausschaltung einzelner Insuffizienzpunkte des oberflächlichen Venensystems.

Prinzip

Nach dem Gesetz von Bernoulli ist der Druck in einer Röhre abhängig von der Flußgeschwindigkeit. Daher ist der Venendruck im Stehen hoch und sinkt bei Muskularbeit der Wadenpumpe stark. Der Ruhedruck (ca. 95 mmHg) nach Punktion einer Fußrückenvene entspricht der Differenzhöhe zwischen Fußsohle und rechtem Vorhof und sinkt unter maximaler Belastung durch Kniebeugen oder Zehenstände bei Gesunden auf Werte unter 50 % des Ausgangswertes (40 mmHg) ab. Bei chronisch venöser Insuffizienz wird diese Drucksenkung unter maximaler Muskularbeit deutlich kleiner.

Wird die chronische Insuffizienz überwiegend durch Insuffizienz der oberflächlichen Venen verursacht, lässt sich durch Ausschaltung der Insuffizienzpunkte (Abbinden der Vena saphena bzw. Fingerdruckverschluss von Perforanten), der erhöhte Venendruck bei Belastung deutlich vermindern ($\Delta P > 15-20$ mmHg).

Wird die chronische venöse Insuffizienz überwiegend durch eine Insuffizienz des tiefen Systems verursacht, bleibt eine Drucksenkung nach Verlegung oberflächlich erweiterter Venen aus, evtl. Druckanstieg.

Mess-Anordnung

Die folgende Graphik beschreibt die Mess-Anordnung bei der PDM.

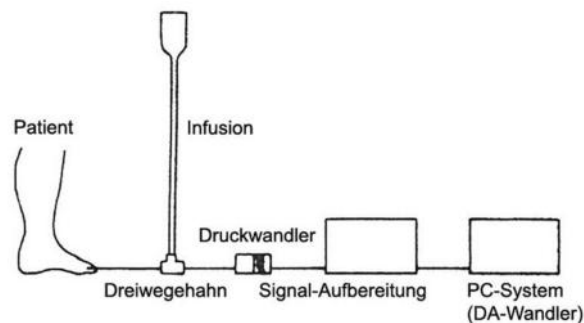


Abb. 5.4.1: Mess-Anordnung bei der PDM

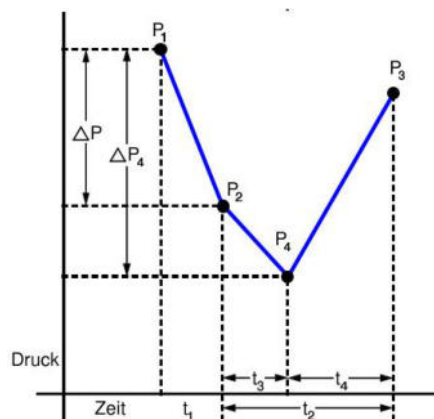
Parameter der Venendruckkurve

Abb. 5.4.2: Venendruckmessungsparameter der Venendruckkurve

P_1 hydrostatischer Ruhedruck des stehenden Patienten

P_2 tiefster erreichter Mitteldruck während Belastung

ΔP absoluter Druckabfall ($P_1 - P_2$ bzw. $P_1 - P_4$)

t_1 wieder erreichter Ruhedruck nach Belastung (normal $P_1 = P_1$, häufig unter P_1)

t_2 Druckausgleichszeit

Untersuchungsablauf

Vor Beginn der Untersuchung muss das Mess-System mit steriler Kochsalzlösung luftblasenfrei gefüllt werden. Der Druck-Spannungswandler besitzt am Druck-Dom zwei Anschlüsse. An einem der Anschlüsse muss ein sog. „Dreiwegehahn“, am zweiten Anschluss ein sog. „Zweiwegehahn“ angeschlossen werden. Der Druck-Dom wird über eine Kochsalzinfusion, die am Dreiwegehahn angeschlossen wird aufgefüllt. Bei geöffnetem Zweiwegehahn wird der Druck-Dom senkrecht nach oben gehalten und dann mit der Infusion so lange durchspült, bis er luftblasenfrei ist. Sodann schließt man den Zwei- und Dreiwegehahn und bringt am noch freien Anschluss des Dreiwegehahns einen Verlängerungsschlauch, die sogenannte Heidelberger Verlängerung, an. An ihrem vorderen Ende wird die für die Punktion der Fußrückenvene zu benutzende, flach angeschliffene Butterflykanüle der Stärke G 21 angebracht.

Sensor

Die Druckmessung erfolgt mit einem elektronischen Druck-Spannungswandler.

**Heidelberger
Verlängerung**

Die Heidelberger Verlängerung ist notwendig:

- Sie ermöglicht die freie Beweglichkeit des Patienten.
- Sie verhindert einen Blutrückfluss in den Membran-Dom.

• Literatur-Hinweis

- **Partsch, H.**, *Phlebologiekurs*, 5teilige Fortbildungsreihe der „Arbeitsgemeinschaft Phlebologie der Österreichischen Gesellschaft für Dermatologie und Venerologie, Zyma, Wien (1989)
- **Kappert, A.**, *Lehrbuch und Atlas der Angiologie*, Hans Huber, Bern Stuttgart Toronto (1989)
- **Rudofsky, G.**, *Kompaktwissen Angiologie*, perimed Fachbuch-Verlag, Erlangen (1988)
- **Marshall, M., Wüstenberg P.**, Klinik und Therapie der chronisch venösen Insuffizienz, Braun, Karlsruhe (1994)
- **Varady, Z.**, 10. Internationaler Frankfurter Workshop für Phlebologie 1996 und 11. Internationaler Frankfurter Workshop für Phlebologie 1997, Phlebo
- **Altenkämper, W., Felix, W., Gericke, A., Gerlach, H.-E., Hartmann, M.**, *Phlebologie für die Praxis*, de Gruyter, Berlin New York (199´1)

6 SG-VVP Strain-Gauge Venen-Verschlussplethysmographie

6.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum Die SG-VVP-Untersuchung soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden, da kalte Extremitäten das Messergebnis verfälschen.

Patient vorbereiten Der Patient soll sich vor der Untersuchung 15 Minuten oder länger in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten.

Der Patient soll Schuhe, Strümpfe und eng anliegende Kleidungsstücke ausziehen.

Patient in den Messablauf einweisen.

Patientenlagerung Der Patient nimmt die Untersuchungs-Position ein. Das Bein des liegenden Patienten wird so gelagert, dass es im Kniegelenk leicht gebeugt ist und der Unterschenkel ca. 20 cm über Herzniveau liegt. Die Ferse wird durch eine Abstützung fixiert und der Oberschenkel durch einen Keil entlastet. Zur Vermeidung einer Abstrombehinderung wird das Knie nach außen gedreht. Beim Anlegen der Bein-Manschette beachten Sie bitte, dass die Gummibläse der Bein-Manschette auf die Schenkelinnenseite platziert ist; nur dadurch ist sichergestellt, dass der Okklusionsdruck auf das tiefe Venensystem wirkt.

Oberkörper flach lagern, Kopf gegebenenfalls durch Nackenstütze anheben.

Die konische Bein-Manschette muss so angelegt werden, dass die Gummibläse auf der Schenkelinnenseite platziert ist und die Schläuche in Richtung Knie zeigen.

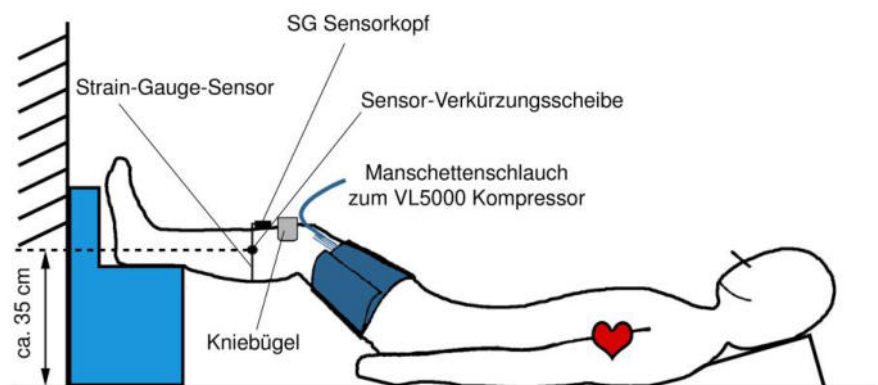


Abb. 6.1.1: Untersuchungsanordnung bei der SG-VVP-Untersuchung

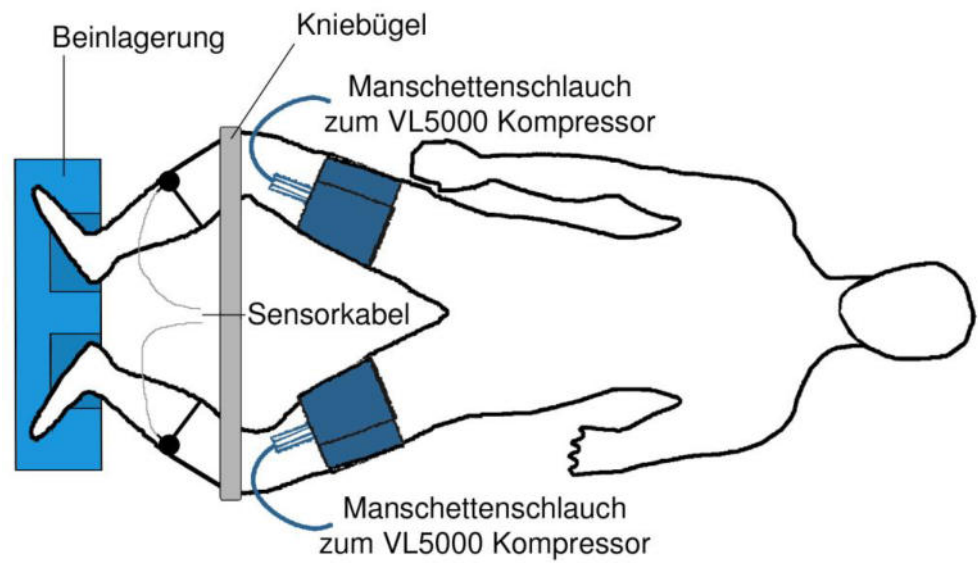


Abb. 6.1.2: Untersuchungsanordnung bei der SG-VVP-Untersuchung



Zur besseren Standardisierung der Patienten-Lagerung sollte eine spezielle Angiologie-Liege verwendet werden.

Sensorpositionierung und Beinlagerung

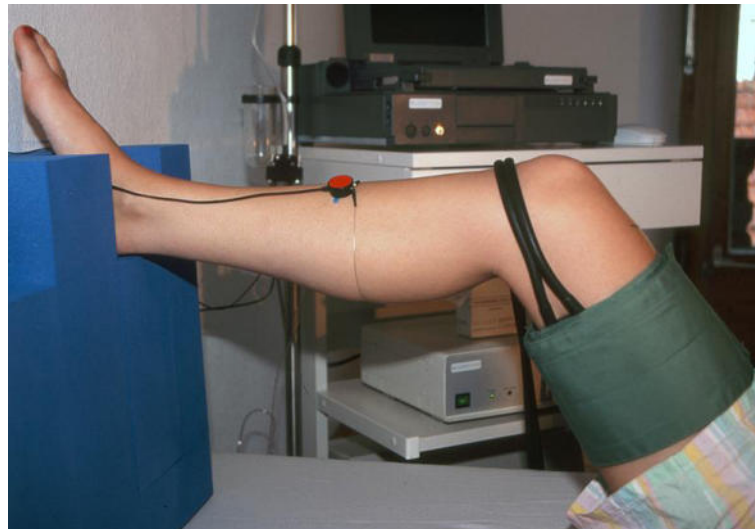


Abb. 6.1.3: Venen-Verschlusstest (SG-VVP) mit korrekter Sensorposition

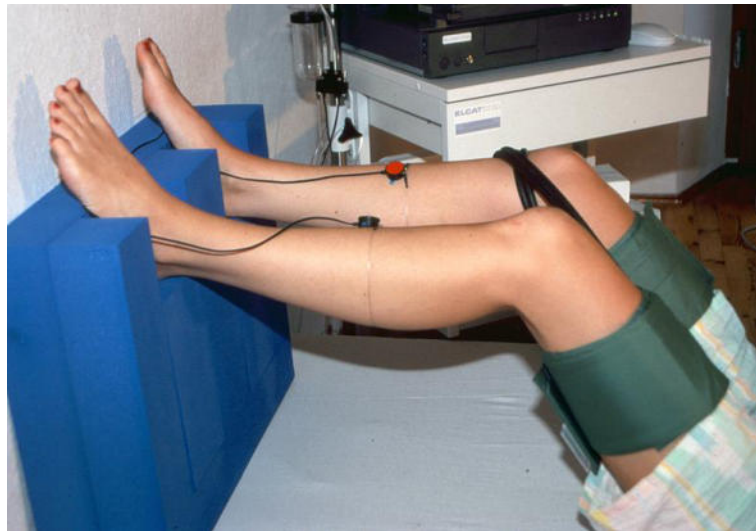


Abb. 6.1.4: Venen-Verschlusstest (SG-VVP) mit korrekter Beinlagerung

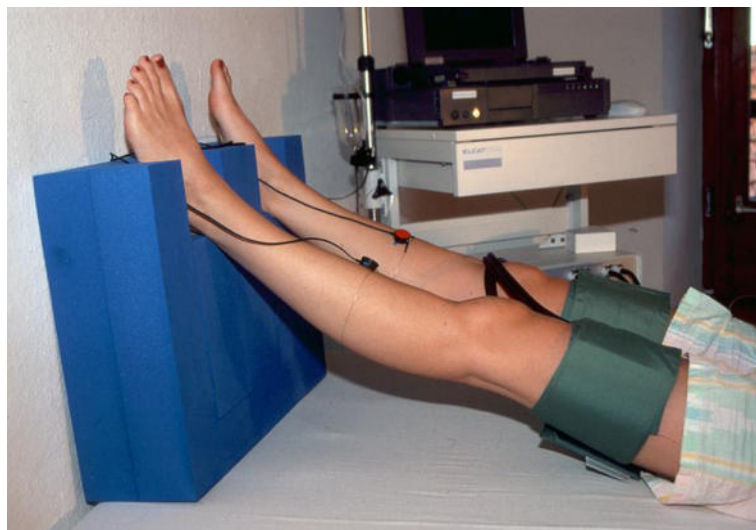


Abb. 6.1.5: Venen-Verschlusstest (SG-VVP) mit falscher Beinlagerung

SG-VVP Untersuchung der Arme

Untersuchungs- Position

Der Patient nimmt die Messposition ein. Die Arme des liegenden Patienten werden so gelagert, dass sie im Armgelenk leicht gebeugt sind und über dem Herzniveau liegen. Dazu werden die Arme z. B. auf eine Auflage oder eine ähnliche Vorrichtung, welche entsprechend über dem Bauch / Brustbereich des Patienten angebracht wird, gelegt. Der Winkel der Armauflage sollte ca. 45 Grad betragen.

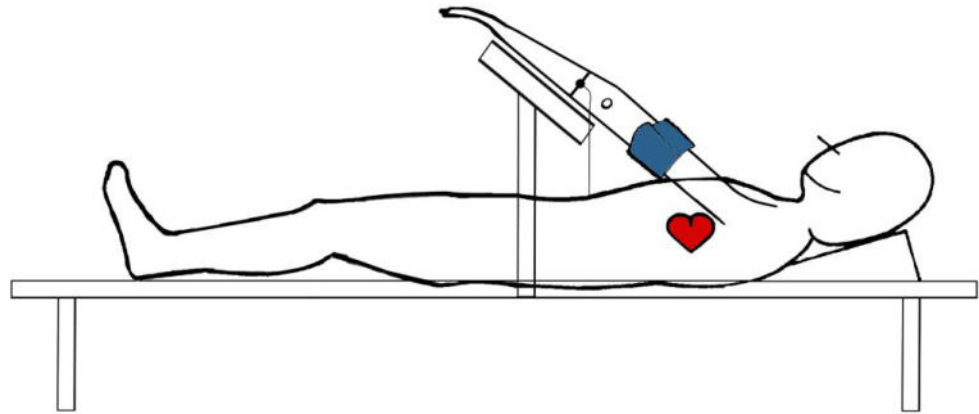


Abb. 6.1.6: Untersuchungsanordnung einer Arm - SG-VVP-Untersuchung.

Manschetten anlegen

Die Manschetten werden an den Oberarmen, die Sensoren an den Unterarmen angelegt.

Beim Anlegen der Armmanschetten beachten Sie bitte, dass die Gummiblasen der Manschetten auf die Arminnenseite platziert sind; nur dadurch ist sichergestellt, dass der Okklusionsdruck auf das tiefe Venensystem wirkt.

Untersuchungs-Ablauf

Der Messablauf ist gleich dem der Bein-VVP-Untersuchung.

Strain-Gauge-Sensor anlegen**Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf fixieren**

Nehmen Sie den Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf aus der Halterung und platzieren Sie einen der doppelseitig klebenden Ringe auf die Stirnfläche des Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopfes.

Der Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf wird an der umfangsgrößten Wadenstelle über dem Tibia-Knochen mit dem beiderseits klebenden Rings durch festes Andrücken befestigt.



Bitte achten Sie darauf, das Kabel entweder zum Knie oder zu den Zehen hin auszurichten.

Strain-Gauge-Sensor-Länge festlegen

Wählen Sie die geeignete Länge des Strain-Gauge-Sensors aus. Der Strain-Gauge-Sensor muss dem Wadenumfang entsprechen; es muss eine Mindestdehnung von 1 cm erreicht werden.

Dehnen Sie den Strain-Gauge-Sensor niemals mehr als ein Drittel seiner Nennlänge.

Eine eventuell nötige Verkürzung kann mit der Strain-Gauge-Sensor-Verkürzungsscheibe vorgenommen werden. Diese ist im Bedarfsfall mit einem doppelseitig klebenden Ring zu befestigen. Den Strain-Gauge-Sensor nicht straff, sondern locker und maximal zweimal um die Strain-Gauge-Sensor-Verkürzungsscheibe legen.

Für stark unterschiedliche Wadenumfänge gibt es Strain-Gauge-Sensoren in verschiedenen Längen.

Für Sonderapplikationen kann der Strain-Gauge-Sensor mehrfach um die Extremität gewickelt werden; die Messergebnisse werden dennoch korrekt

ermittelt.



Den Strain-Gauge-Sensor niemals durch Rollen in eine andere Position bringen; es besteht die Gefahr, den Strain-Gauge-Sensor zu beschädigen. Gegebenenfalls den Strain-Gauge-Sensor abnehmen und neu anlegen.

Strain-Gauge-Sensor applizieren

Stecken Sie den Strain-Gauge-Sensor mit einem Ende in einen Anschluss des Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopfes.

Legen Sie den Strain-Gauge-Sensor sorgfältig zirkulär um die umfangsgrößte Wadenstelle und schließen Sie den Strain-Gauge-Sensor am anderen Anschluss des Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopfes an.

- Der Strain-Gauge-Sensor muss auf der Haut aufliegen (leichte Vorspannung ist notwendig).

6.2 Allgemeine medizinische Hinweise

Die tiefe Venenthrombose stellt ein schwerwiegendes Gesundheitsrisiko dar. Es gibt verschiedene venenverschluss-plethysmographische Messmethoden. Der Venen-Verschlusstest erfasst den venösen Abstrom der Extremität. Der Druck der Venenstau-Manschette muss größer als der bestehende venöse Druck sein, jedoch geringer als der arterielle Druck.

Grundsätzlich soll bei jedem Patient vor der ersten SG-VVP-Untersuchung, besonders aber bei Verdacht auf eine arterielle Verschlusskrankheit, eine eventuelle arterielle Durchblutungsstörung, z. B. mit einer Ultraschall-Doppler-Untersuchung im Knöchelbereich, quantifiziert werden.

Bei jedem Patient sollen grundsätzlich beide Beine untersucht werden. Ein SG-VVP-Befund soll nie ohne klinischen Befund abgegeben werden.

Einem pathologischen oder unklaren Befund muss, wenn keine Kontraindikation besteht, eine Phlebographie folgen. Ein Normalbefund schließt eine Unterschenkelvenen- oder gar eine Wadenmuskelsinusthrombose nicht aus.

6.3 Hinweise zu den Messergebnissen

Definition der Bewertungsparameter

Die Definition der einzelnen Bewertungsparameter kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

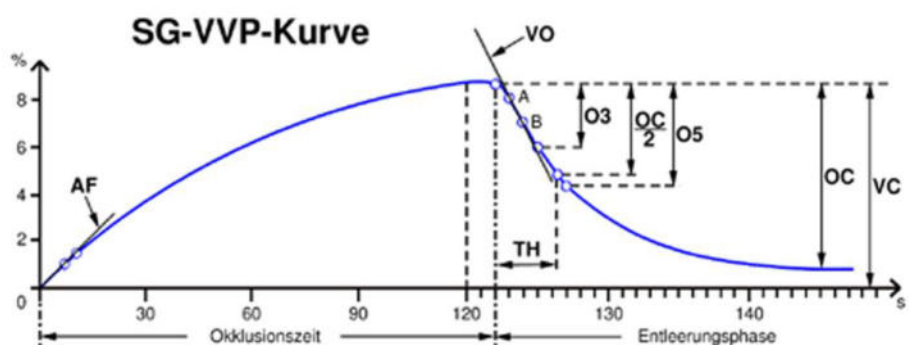


Abb. 6.3.1: Nomenklatur und Bewertungsparameter der SG-VVP-Kurve

- VO Der wichtigste D-SGP-Parameter ist der "venöse Abstrom VO". Der venöse Abstrom ist die Gerade, die durch die Punkte A und B festgelegt ist. Der Punkt A ist der Endwert der maximalen Steilheit, der Punkt B ist der 1 Sekunde später ermittelte Messwert. VO ist die Tangente an die Entleerungskurve und erfasst die Entleerungsdynamik.
- AF AF bewertet den arteriellen Einstrom des Blutes in die Extremität und ist die Tangente am Staubeginn. Für die Berechnung werden die ersten 30 Sekunden nach Messbeginn herangezogen. Zur Artefaktunterdrückung wird die Anstiegssteilheit für einen Zeitraum von 3 Sekunden ermittelt.
- VC Die "venöse Kapazität VC" ist die prozentuale Zunahme des Mess-Signals. Zur Ermittlung der venösen Kapazität wird der Mittelwert der Messwerte über 5 Sekunden vor dem Stau-Ende gebildet.
- TH Die "venöse Halbwertszeit TH" ist die Zeit zwischen Stauende und Erreichen der halben venösen Kapazität.
- OC Die „Abstromkapazität OC“ ist die Differenz zwischen dem Messwert am Okklusionsende und einem konstanten Messwert in der Entleerungsphase
- O3 Die "Abstromkapazität O3" ist der Abfall 3 s nach Okklusionsende.
- O5 Die "Abstromkapazität O5" ist der Abfall 5 s nach Okklusionsende.

Einteilung der Bewertungs-Parameter

Auf der Basis klinischer Untersuchungen bewerten wir den venösen Abstrom VO in drei Gruppen:

- Normal: $VO > 30 \text{ %/min}$ (normaler Abstrom)
- Grenzbereich: $VO 30 \text{ bis } 15 \text{ %/min}$ (grenzwertiger Abstrom)
- Pathologisch: $VO < 15 \text{ %/min}$ (Abstromhindernis)

Für die venösen Kapazität VC ergeben sich folgende Werte:

- Normal: $VC > 3 \text{ %}$
- Pathologisch: $VC < 3 \text{ %}$
 $VC > 5 \text{ %}$ Varikosis (primär / sekundär)

Hinweis



Diese Gradeinteilung gilt nur für die Bewertung der SG-VVP-Parameter.

Medizinische Hinweise zu den Messergebnissen

Auch wenn die SG-VVP-Diagnosen leicht zu stellen sind, darf der klinische Befund nie außer Acht gelassen werden.

Je kleiner die Parameter, desto ausgeprägter die hämodynamische Störung. Bislang wurde nur der „venöse Abstrom“ international standardisiert; für die anderen Parameter werden Sie bald Ihren Standard festgelegt haben.

Wiederholen Sie Messungen, bei denen sich eine große Diskrepanz zwischen Ihrem klinischen Befund und den Messergebnissen ergibt.

6.4 Medizinische Anwendungsgebiete

Anwendungsgebiete für den Venen-Verschlusstest

Allgemein	Diagnostik hämodynamisch wirksamer Abstromhindernisse • Akute Thrombose • Postthrombotische Verschlüsse • Venöse Stauung durch Raumforderung • Hämodynamische Verlaufskontrollen • Thrombolyse • Thrombektomie • Rethrombosierung
Beckenetage	Die SG-VVP ist zuverlässig geeignet, ausgeprägte Beckenvenenthrombosen zu diagnostizieren.
Oberschenkeletage	Die SG-VVP ist zuverlässig geeignet, ausgeprägte Oberschenkelvenenthrombosen zu diagnostizieren.
Unterschenkeletage	Bei hämodynamisch relevanter Unterschenkelthrombose, d. h. Verschluss mehrerer Unterschenkelvenen bis hin zur Vena poplitea, finden sich charakteristische Kurven. Ist jedoch nur eine Unterschenkelvene oder der Wadenmuskelsinus verschlossen, ist kein eindeutiger Kurvenverlauf zu erkennen und somit keine eindeutige Diagnose zu stellen.
Bestimmung hämodynamischer Parameter	• Venöse Kapazität • Venöser Abstrom • Arterieller Einstrom

Anwendungsgebiete für den Filtrationstest

Durch den Filtrationstest (Filtration = Venendichtheit) werden zusätzlich zum Venen-Verschlusstest folgende Parameter ermittelt:

- Differenzkapazität von der 4. Minute auf die 3. Minute
- Differenzkapazität von der 5. Minute auf die 3. Minute
- Differenzkapazität von der 6. Minute auf die 3. Minute

Diese Parameter geben eine Auskunft darüber, ob und wie eine Filtration durch die Venenwand hindurch stattfindet. Dadurch lässt sich z. B. im Rahmen einer Verlaufskontrolle feststellen, wie gut ein Medikament wirkt, das die Venenwand abdichten soll.

6.5 Messmethode und Wissenschaftliche Grundlagen zur Messmethode

Die Anwendung der Strain-Gauge-Sensoren zur Volumenmessung in der Medizin geht zurück auf GLASER. 1939 beschrieb er eine Vorrichtung eines mit Quecksilber gefüllten Gummischlauches zur Messung der atembedingten Umfangsänderung des Brustkorbes. 1949 führte dann WHITNEY den Quecksilberschlauch in die Messtechnik der

Gefäßdiagnostik ein.

Folgende biophysikalische Gesetzmäßigkeiten werden genutzt:

Durch die Okklusion wird Blut angestaut, wodurch sich die Fläche der Beinscheibe vergrößert. Die sich dadurch ergebende Umfangsvergrößerung wird durch den Strain-Gauge-Sensor erfasst, welche durch ein Ansteigen der SG-VVP-Kurve registriert wird.

Wenn eine Extremität an der Mess-Stelle die Querschnittsfläche A und den Umfang U hat, so lässt sich der Zusammenhang mit

$$U = g * \sqrt{A} \Rightarrow A = \frac{U^2}{g^2}$$

beschreiben. Dabei ist g ein "Geometriefaktor", der nur von der Form der Querschnittsfläche abhängt, der aber unabhängig von der Größe der Fläche ist (z. B. Kreis: $g = 2 * \sqrt{\pi}$,

Quadrat: $g = 4$). Hat das Extremitätensegment die Länge L , so gilt:

$$V = A * L = \frac{L}{g^2} * U^2 \Rightarrow U^2 = \frac{g^2}{L} * V$$

Hat die Füllung des Strain-Gauge-Sensors die Leitfähigkeit σ , die Länge l , die Querschnittsfläche a und damit das Volumen $v = a * l$, so berechnet sich der Widerstand zwischen den Elektroden zu

$$R = \frac{l}{a * \sigma} = \frac{l^2}{\sigma * v}$$

Entspricht die dehnbare Länge l des Strain-Gauge-Sensors dem Umfang U , so gilt:

$$l^2 = U^2 = \frac{g^2}{L} * V$$

und

$$R = \frac{g^2}{L} * V * \frac{1}{\sigma * v}$$

Ändert sich das Volumen des Extremitätensegmentes durch Änderung der Blutfüllung, so kann man davon ausgehen, dass die Länge L der Extremität konstant bleibt. Die Volumenänderung äußert sich dann nur in einer Querschnittsflächen- und Umfangsänderung. Bleibt dabei die Form der Querschnittsfläche erhalten, gilt:

$$\frac{L}{g^2} = \text{const}$$

Wenn die Temperatur der Füllung innerhalb der Messzeit konstant bleibt, gilt zusätzlich:

$$\sigma * v = \text{const}$$

Damit ist der Widerstand R proportional zum Volumen. Relative Widerstandsänderungen entsprechen dann direkt den relativen Volumenänderungen des umschlossenen Extremitätensegmentes.

$$\delta R = \frac{R - R_o}{R} \quad \Rightarrow \quad \delta V = \frac{V - V_o}{V}$$

Wird der Strain-Gauge-Sensor doppelt um das Extremitätensegment gelegt und hat der Schlauch des Strain-Gauge-Sensors den gleichen Querschnitt a , dann gilt der Zusammenhang:

$$I^2 = 4 * U^2 = 4 * \frac{g^2}{L} * V$$

$$v = I * a = 2 * U * a$$

$$R = 4 * \frac{g^2}{L} * V * \frac{1}{\sigma * v}$$

Wie im einfach umschlungenen Fall entsprechen bei gleichen Voraussetzungen bezüglich L , g , σ , und v auch hier relative Widerstandsänderungen δR des Strain-Gauge-Sensors den relativen Volumenänderungen δV .

6.6 Technische Informationen zur Messmethode

Technische Grundlagen

Die heute üblichen Strain-Gauge-Sensoren bestehen aus sehr dünnen Silikonschläuchen, die mit Quecksilber oder einem anderen Fluid (z. B. Gallium / Indium-Legierung) gefüllt sind. An den Enden der Schläuche befinden sich die elektrischen Anschlüsse.

Alle bisher bekannten Venen-Verschluss-Plethysmographen besaßen den Nachteil der nicht ausreichend reproduzierbaren, artefaktfreien Befestigungsqualität an der zu messenden Extremität. So verursachten oft Bewegungen der Verbindungskabel zwischen dem Strain-Gauge-Sensor und dem Mess-System erhebliche Störungen des Signals. Darüber hinaus schlossen die konstruktiven Merkmale der bisherigen Strain-Gauge-Sensor-Konfigurationen nicht immer mögliche Applikationsfehler aus, zu denen vor allem die fehlerhafte Umfangserfassung zu zählen ist.

Bei der theoretischen Herleitung wird gefordert, dass der Umfang der Extremität U der einfachen oder vielfachen Länge l des Strain-Gauge-Sensors entspricht. Dies war in der Praxis aber bisher selten der Fall. Gewöhnlich überstreicht der dehnbare Teil des Strain-Gauge-Sensors nur einen Teil des Beinumfangs. Ist z. B. der Umfang zu Anfang der Messung 30 cm und das nicht umschlungene Beinteil 2,5 cm lang, so würde bei einer Volumenänderung von 5 % eine Widerstandsänderung von 5,46 % gemessen. Das entspricht einem relativen Fehler von 9,2 %!

Eine weitere oft verbreitete Fehlerquelle liegt im Vorhandensein nicht längenabhängiger Widerstandsteile des Strain-Gauge-Sensors. Der gesamte Sensorwiderstand setzt sich dann aus einem längenabhängigen und aus einem konstanten Teil (z. B. Widerstand der Leitungen zwischen dem Strain-Gauge-Sensor und dem Messgerät) zusammen. Ein konstanter Widerstandsteil führt zu einer Unterschätzung der wahren Volumenänderung der Extremität. Deshalb dürfen die Zuleitungswiderstände nicht in die SG-VVP-Messung eingehen. Dies kann mit der in der technischen Messpraxis üblichen 4-Leiter-Widerstands-Messmethode erreicht werden.

Für eine genaue, relevante SG-VVP-Untersuchung müssen deshalb folgende Bedingungen gefordert werden:

Reproduzierbare Befestigung des Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopfes an der zu untersuchenden Extremität zur Minimierung der Bewegungsartefakte.

Der Strain-Gauge-Sensor muss so konstruiert werden, dass praktisch die gesamte Umschlingung des Beines gewährleistet wird.

Der Strain-Gauge-Sensor muss über 4 Leitungen mit der Steuer- und Auswerteeinheit verbunden werden.

Messablauf

Die SG-VVP-Messprozedur gliedert sich in fünf Arbeitsschritte, die alle vom Mikrocomputer kontrolliert werden und vollautomatisch ablaufen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den automatischen Messablauf und verdeutlicht die einzelnen Schritte des Programms.

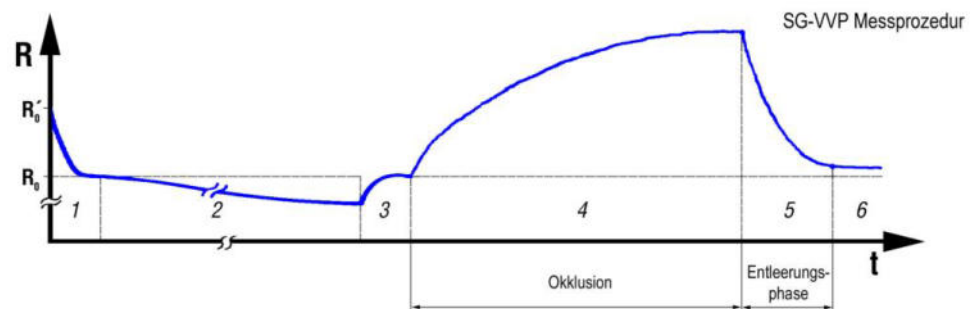


Abb. 6.6.1: Automatischer Messablauf der SG-VVP-Messprozedur

1. Automatische Kalibrierung

Der individuelle Messwert R'_0 wird auf den vorgegebenen Startwert R_0 geeicht (Basislinie der SG-VVP-Kurve).

2. Feststellung der stationären Ruhedurchblutung

Der Ruhewert ist erreicht, wenn zwei aufeinander folgende Mittelwerte über 4 Sekunden keinen großen Unterschied haben. Spätestens nach 30 Sekunden wird jedoch mit der Messung begonnen.

3. Weitere Kalibrierung

Eine weitere Kalibrierung korrigiert die möglicherweise eingetretene Drift.

4. Stauphase

Durchführung der venösen Okklusion für die gewählte Stauzeit.

5. Entleerungsphase

Die Widerstandsänderungen, die durch die Venenentleerung entstehen, werden dem Untersucher auf dem Bildschirm dargestellt.

6. Auswertung

Nach Messende werden die hämodynamischen Parameter automatisch berechnet.

7 SG-AR Strain-Gauge Arterielle Reserve (RH)

7.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum Die SG-AR Untersuchung soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden.

Vorbereitung des Patienten

Der Patient soll sich vor der Untersuchung 15 Minuten oder länger in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten.

Der Patient soll Schuhe, Strümpfe und eng anliegende Kleidungsstücke ausziehen.

Vorbereitung der Untersuchung

Der Patient nimmt die Messposition ein. Das Bein des liegenden Patienten wird so gelagert, dass es im Kniegelenk nicht überdehnt ist und der Unterschenkel auf Herzniveau liegt. Die Ferse kann durch eine Abstützung fixiert und der Oberschenkel z. B. durch ein weiches Kissen unterlagert werden. Beim Anlegen der Bein-Manschette beachten Sie bitte, dass die Gummiblase der Bein-Manschette auf die Schenkelinnenseite platziert ist; nur dadurch ist sichergestellt, dass der Okklusionsdruck auf das tiefe Venensystem wirkt. Der Oberkörper lagert flach, der Kopf wird gegebenenfalls durch eine Nackenstütze angehoben.

Die konische Bein-Manschette muss so angelegt werden, dass die Gummiblase auf der Schenkelinnenseite platziert ist und die Schläuche in Richtung Knie zeigen.

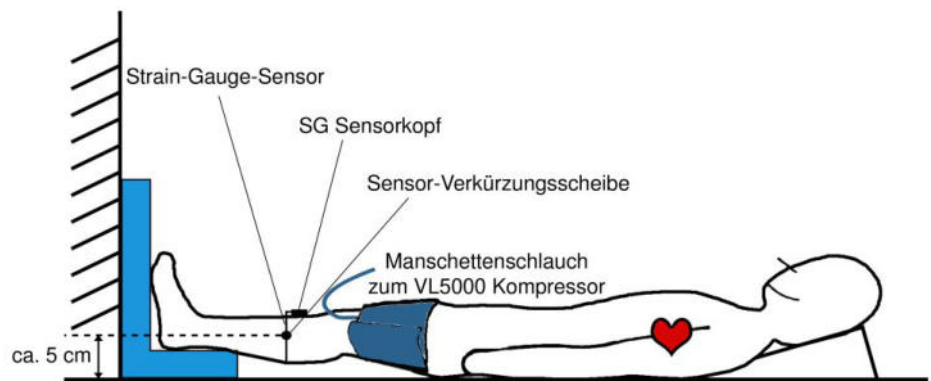


Abb. 7.1.1: Untersuchungsanordnung bei der SG-AR-Untersuchung

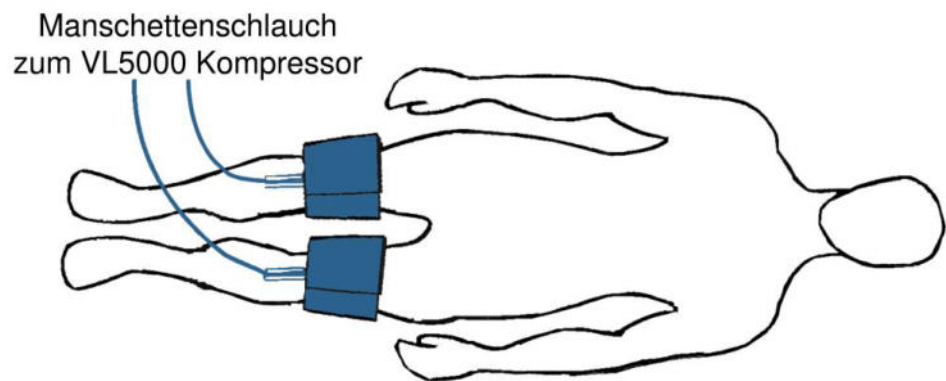


Abb. 7.1.2: Untersuchungsanordnung bei der SG-AR-Untersuchung

Hinweis



Zur besseren Standardisierung der Patienten-Lagerung sollte eine spezielle Angiologie-Liege verwendet werden.

Sensorpositionierung und Beinlagerung

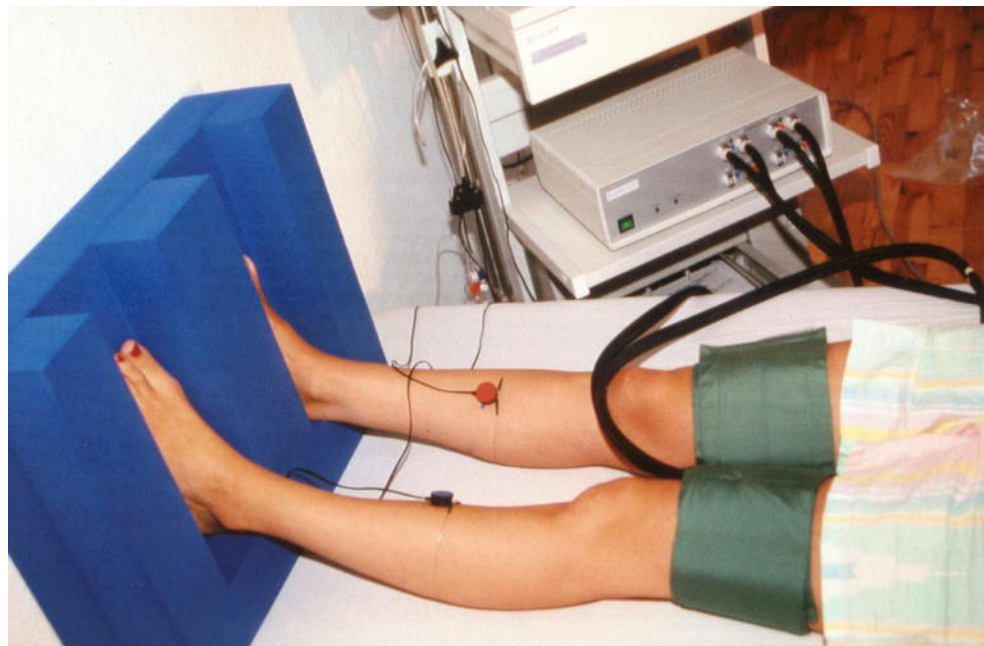


Abb. 7.1.3: SG-AR (RH) Untersuchung mit korrekter Beinlagerung und Sensorpositionierung

Strain-Gauge-Sensor anlegen

Nehmen Sie den Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf aus der Halterung und platzieren Sie einen der doppelseitig klebenden Ringe auf die Stirnfläche des Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopfes.

Der Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf wird an der umfangsgrößten Wadenstelle über dem Tibia-Knochen mit dem beiderseits klebenden Ring durch festes Andrücken befestigt. Beachten Sie bitte, dass das Kabel entweder zum Knie oder zu den Zehen ausgerichtet ist.

Stecken Sie den Strain-Gauge-Sensor mit einem Ende in einen Anschluss des Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopfes. Legen Sie den Strain-Gauge-Sensor sorgfältig zirkulär um die umfangsgrößte Wadenstelle und schließen Sie den Strain-Gauge-Sensor am anderen Anschluss des Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopfes an. Der Strain-Gauge-Sensor muss auf

der Haut aufliegen (leichte Vorspannung ist notwendig).

Den Strain-Gauge-Sensor niemals durch Rollen in eine andere Position bringen; es besteht die Gefahr, den Strain-Gauge-Sensor zu beschädigen. Gegebenenfalls den Strain-Gauge-Sensor abnehmen und neu anlegen.



Wählen Sie die geeignete Länge des Strain-Gauge-Sensors aus. Der Strain-Gauge-Sensor muss dem Wadenumfang entsprechen; es muss eine Mindestdehnung von 1 cm erreicht werden. Dehnen Sie den Strain-Gauge-Sensor niemals mehr als ein Drittel seiner Nennlänge.

Eine eventuell nötige Verkürzung kann mit der Strain-Gauge-Sensor-Verkürzungsscheibe vorgenommen werden. Diese ist im Bedarfsfall mit einem doppelseitig klebenden Ring zu befestigen. Den Strain-Gauge-Sensor nicht straff, sondern locker und maximal zweimal um die Strain-Gauge-Sensor-Verkürzungsscheibe legen.

Für stark unterschiedliche Wadenumfänge gibt es Strain-Gauge-Sensoren in verschiedenen Längen.

Für Sonderapplikationen kann der Strain-Gauge-Sensor mehrfach um die Extremität gewickelt werden, die Messergebnisse werden dennoch korrekt ermittelt.

Nach Messende entfernen Sie bitte sorgfältig den Strain-Gauge-Sensor und den Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf. Bewahren Sie ihn sorgfältig auf.



Den Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf niemals durch Ziehen am Kabel entfernen, sondern durch Anfassen am Strain-Gauge-Sensor-Anschlusskopf-Gehäuse.

Allgemein

Mit der Strain-Gauge Arterielle Reserve SG-AR wird die Durchblutungsreserve in Form der reaktiven Hyperämie (RH) nach drei Minuten Ischämie gemessen. Diese Untersuchung bringt eine Aussage über den Schweregrad der arteriellen Durchblutungsstörung und den Kompensationsgrad beim Vorliegen eines Verschlusses (AVK). Bewertet werden bei dieser Untersuchung der Spitzenwert (Peak flow), der Zeitpunkt des Spitzenwertes (time to peak flow) sowie der Verlauf der reaktiven Hyperämie.

7.2 Allgemeine medizinische Hinweise

Allgemein SG-AR

Mit der Strain-Gauge Arterielle Reserve SG-AR wird die Durchblutungsreserve in Form der reaktiven Hyperämie (RH) nach drei Minuten Ischämie gemessen. Diese Untersuchung bringt eine Aussage über den Schweregrad der arteriellen Durchblutungsstörung und den Kompensationsgrad beim Vorliegen eines Verschlusses (AVK). Bewertet werden bei dieser Untersuchung der Spitzenwert (Peak flow), der Zeitpunkt des Spitzenwertes (time to peak flow) sowie der Verlauf der reaktiven Hyperämie.

Allgemein AVK

Die AVK (arterielle Verschlusskrankheit) stellt ein schwerwiegendes Gesundheitsrisiko dar. Es existieren etliche mehr oder weniger aufwendige verschluss-plethysmographische Messmethoden, die den arteriellen Einstrom in die Extremität im Rahmen der arteriellen Verschlussdiagnostik erfassen können. Der Druck der Venenstaumanschette muss etwas größer

als der bestehende systolische Druck sein, der gegebenenfalls um ca. 50 mmHg bis 70 mmHg höher liegen muss.

Grundsätzlich soll bei jedem Patient bei Verdacht auf eine arterielle Verschlusskrankheit oder auf eine eventuelle arterielle Durchblutungsstörung diese, z. B. mit einer Ultraschall-Doppler-Untersuchung im Knöchelbereich, quantifiziert werden.

Bei jedem Patient sollen grundsätzlich beide Beine untersucht werden. Ein SG-AVP-Befund soll nie ohne klinischen Befund abgegeben werden.

Einem pathologischen oder unklaren Befund muss, wenn keine Kontraindikation besteht, eine Phlebographie folgen. Ein Normalbefund schließt eine AVK nicht aus.

7.3 Hinweise zu den Messergebnissen

Einteilung der Bewertungs-Parameter

Peak flow

Erstes Kriterium ist der Peak flow (Spitzenfluss). Dieser wird mit der standardisierten Tabelle verglichen.

- **Normal**
Der arterielle Einstrom ist beim ersten Staumanöver am größten und nimmt danach ständig ab.
- **Pathologisch**
Der arterielle Einstrom ist beim ersten Staumanöver nicht am größten.

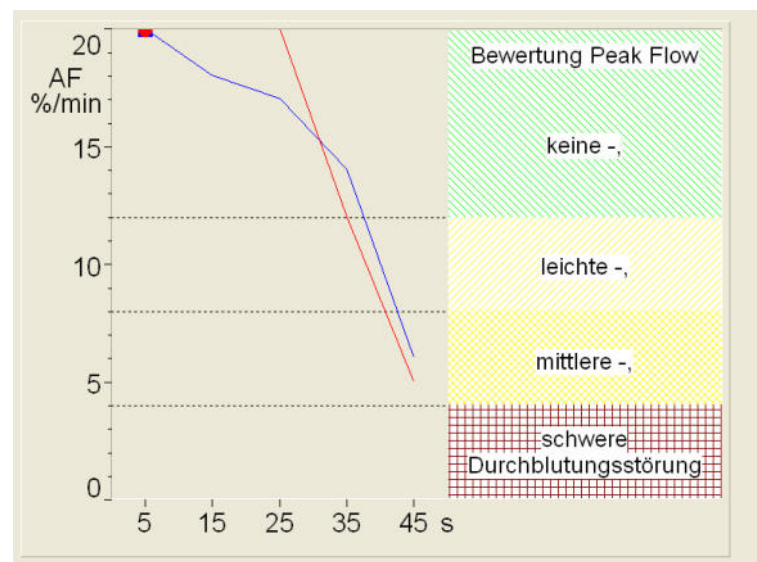


Abb. 7.3.1: Bewertung des Peak Flow

time to peak flow

Zweites Kriterium ist der time to peak flow (Zeitdauer bis zum Spitzenfluss).

- **Normal**
Der arterielle Einstrom ist beim ersten Staumanöver am größten und nimmt danach ständig ab.
Beim gesunden Patient liegt dieser innerhalb der ersten 15 Sekunden.

Typische Messergebnisse

- **Pathologisch**

Der Peak flow tritt verzögert oder in schweren Fällen überhaupt nicht auf.

Gute arterielle Reserve

- peak flow größer 12 %/min
- time to peak flow innerhalb 15 Sekunden

Der Verlauf zeigt ein schnelles Abklingen und zeigt damit eine gute arterielle Reserve.

Ältere Patienten ohne Durchblutungsstörung

- Peak Flow ansteigend (Peak Flow kleiner 12 %/min)
- langsam abfallender Peak Flow (time to Peak Flow kommt verspätet)

Hinweise auf eine AVK im fortgeschrittenen Stadium

- Peak Flow langsam ansteigend (Peak Flow kleiner oder sehr viel kleiner als 12 %/min)

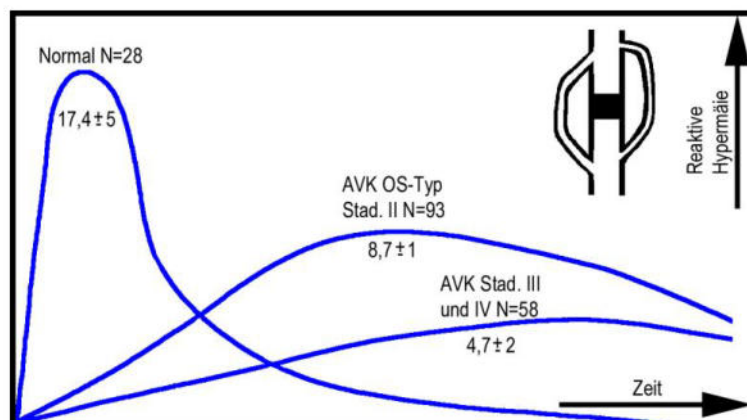


Abb. 7.3.2: Schematischer Bewertungsverlauf der reaktiven Hyperämie

Medizinische Hinweise zu den Messergebnissen

Im Routineablauf (d. h. bei orientierenden Untersuchungen) wird die arterielle Reserve im Seitenvergleich (beide Extremitäten gleichzeitig) durchgeführt. Die Messergebnisse sind dabei etwas niedriger als bei der Einzelmessung. Somit können auch keine Durchblutungsstörungen übersehen werden.

Bei Grenzfällen sollte die arterielle Reserve nicht im Seitenvergleich durchgeführt werden, denn bei der dann vom Herz zu fördernden hohen Blutmenge können die Messwerte durch kardiale Faktoren verfälscht werden.

Wird eine Wiederholungsmessung an einer Extremität durchgeführt und ergeben sich nun wesentlich höhere Werte, so deutet das auf eine Herzinsuffizienz hin.

7.4 Medizinische Anwendungsgebiete

Allgemein

- Bestimmung des Schweregrades der arteriellen Durchblutungsstörung

- Bestimmung des Kompensationsgrades beim Vorliegen eines Verschlusses
- Ausschluss einer pAVK

8 O-VVP Optische Venen-Verschlussplethysmographie

8.1 Untersuchung vorbereiten

Untersuchungsraum

Die O-VVP-Untersuchung soll in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur (ca. 20 °C) stattfinden, da kalte Extremitäten das Messergebnis verfälschen.

Patient vorbereiten

Der Patient soll sich vor der Untersuchung 15 Minuten oder länger in einem Raum mit normaler Zimmertemperatur aufhalten.

Der Patient soll Schuhe, Strümpfe und eng anliegende Kleidungsstücke ausziehen.

Patient in den Messablauf einweisen.

Patientenlagerung

Der Patient nimmt die Untersuchungs-Position ein. Das Bein des liegenden Patienten wird so gelagert, dass es im Kniegelenk leicht gebeugt ist und der Unterschenkel ca. 20 cm über Herzniveau liegt. Die Ferse wird durch eine Abstützung fixiert und der Oberschenkel durch einen Keil entlastet. Zur Vermeidung einer Abstrombehinderung wird das Knie nach außen gedreht. Beim Anlegen der Bein-Manschette beachten Sie bitte, dass die Gummiblase der Bein-Manschette auf die Schenkelinnenseite platziert ist; nur dadurch ist sichergestellt, dass der Okklusionsdruck auf das tiefe Venensystem wirkt.

Oberkörper flach lagern, Kopf gegebenenfalls durch Nackenstütze anheben.

Die konische Bein-Manschette muss so angelegt werden, dass die Gummiblase auf der Schenkelinnenseite platziert ist und die Schläuche in Richtung Knie zeigen.

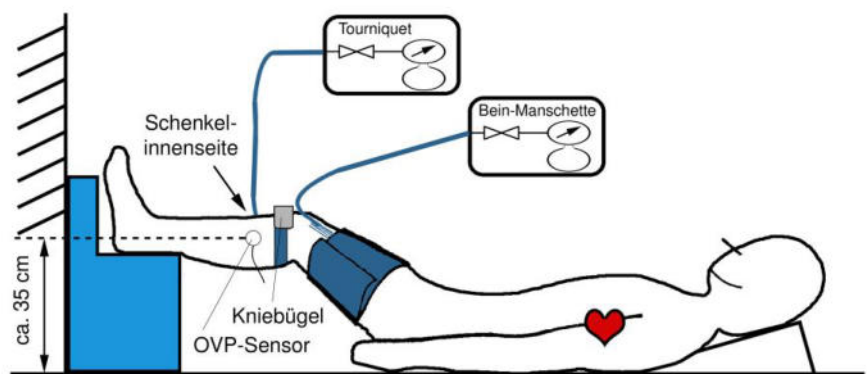


Abb. 8.1.1: Untersuchungsanordnung bei der O-VVP-Untersuchung

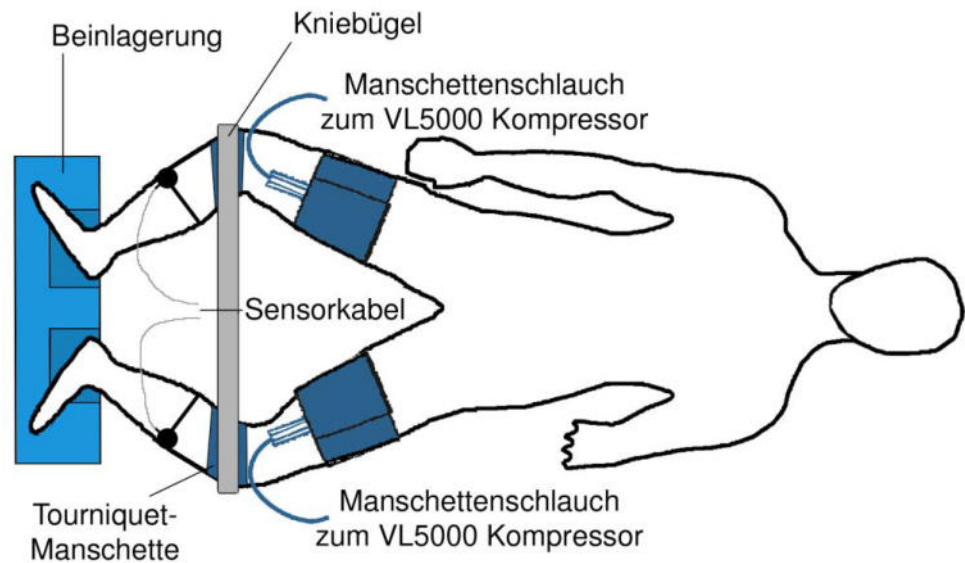


Abb. 8.1.2: Untersuchungsanordnung bei der O-VVP-Untersuchung



Zur besseren Standardisierung der Patienten-Lagerung sollte eine spezielle Angiologie-Liege verwendet werden.

Sensorpositionierung und Beinlagerung

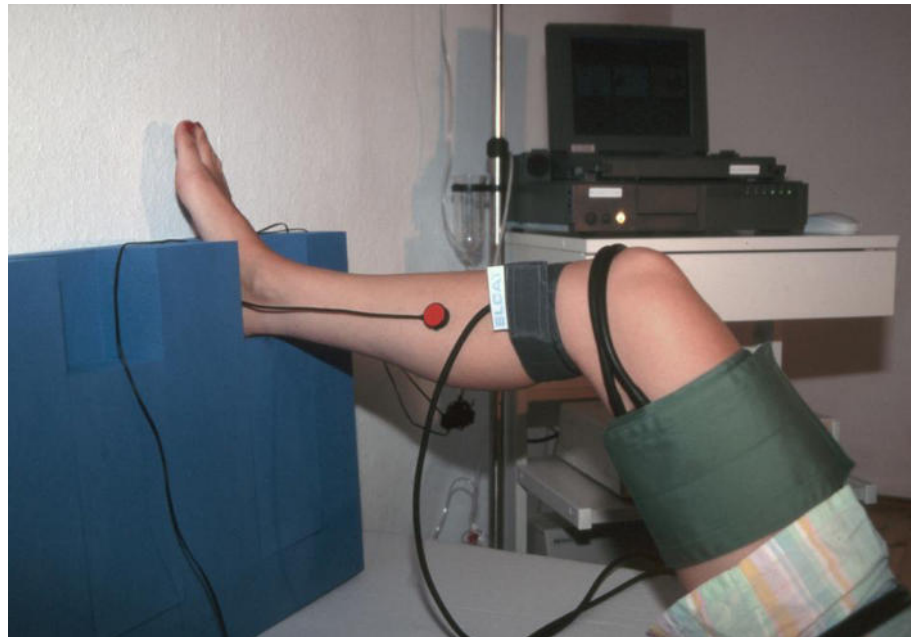


Abb. 8.1.3: Venen-Verschusstest (O-VVP) mit korrekter Sensorposition



Abb. 8.1.4: Venen-Verschlusstest (O-VVP) mit korrekter Beinlagerung

Optischen Sensor anlegen

Nehmen Sie den Sensor-Anschlusskopf aus der Halterung und platzieren Sie einen der doppelseitig klebenden Ringe auf die Stirnfläche des Sensor-Anschlusskopfes.

Der Sensor-Anschlusskopf wird an der umfangsgrößten Wadenstelle (nicht über dem Tibia-Knochen) mit dem beiderseits klebenden Rings durch festes Andrücken befestigt. Richten Sie das Kabel nach unten hin aus.

Nach Messende entfernen Sie bitte sorgfältig den Sensor-Anschlusskopf.



Den Sensor-Anschlusskopf niemals durch Ziehen am Kabel entfernen, sondern durch Anfassen am Sensor-Anschlusskopf-Gehäuse.

8.2 Allgemeine medizinische Hinweise

Die tiefe Venenthrombose stellt ein schwerwiegendes Gesundheitsrisiko dar. Es gibt verschiedene venenverschluss-plethysmographische Messmethoden. Der Venen-Verschlusstest erfasst den venösen Abstrom der Extremität. Der Druck der Venenstau-Manschette muss größer als der bestehende venöse Druck sein, jedoch geringer als der arterielle Druck.

Grundsätzlich soll bei jedem Patient vor der ersten O-VVP-Untersuchung, besonders aber bei Verdacht auf eine arterielle Verschlusskrankheit, eine eventuelle arterielle Durchblutungsstörung, z. B. mit einer Ultraschall-Doppler-Untersuchung im Knöchelbereich, quantifiziert werden.

Bei jedem Patient sollen grundsätzlich beide Beine untersucht werden. Ein O-VVP-Befund soll nie ohne klinischen Befund abgegeben werden.

Einem pathologischen oder unklaren Befund muss, wenn keine Kontraindikation besteht, eine Phlebographie folgen. Ein Normalbefund schließt eine Unterschenkelvenen- oder gar eine Wadenmuskelsinusthrombose nicht aus.

8.3 Hinweise zu den Messergebnissen

Definition der

Die Definition der einzelnen Bewertungsparameter kann der folgenden Plethysmographische Applikationen

Bewertungsparameter

Abbildung entnommen werden:

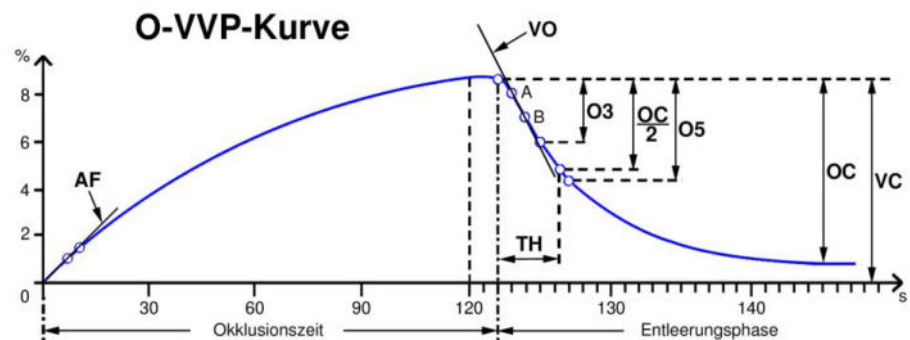


Abb. 8.3.1: Nomenklatur und Bewertungsparameter der O-VVP-Kurve

VO Der wichtigste O-VVP-Parameter ist der "venöse Abstrom VO". Der venöse Abstrom ist die Gerade, die durch die Punkte A und B festgelegt ist. Der Punkt A ist der Endwert der maximalen Steilheit, der Punkt B ist der 1 Sekunde später ermittelte Messwert. VO ist die Tangente an die Entleerungskurve und erfasst die Entleerungsdynamik.

AF AF bewertet den arteriellen Einstrom des Blutes in die Extremität und ist die Tangente am Staubeginn. Für die Berechnung werden die ersten 30 Sekunden nach Messbeginn herangezogen. Zur Artefaktunterdrückung wird die Anstiegssteilheit für einen Zeitraum von 3 Sekunden ermittelt.

VC Die "venöse Kapazität VC" ist die prozentuale Zunahme des Mess-Signals. Zur Ermittlung der venösen Kapazität wird der Mittelwert der Messwerte über 5 Sekunden vor dem Stau-Ende gebildet.

TH Die "venöse Halbwertszeit TH" ist die Zeit zwischen Stauende und Erreichen der halben venösen Kapazität.

OC Die Abstromkapazität OC ist die Differenz zwischen dem Messwert am Okklusionsende und einem konstanten Messwert in der Entleerungsphase.

O3 Die "Abstromkapazität O3" ist der Abfall 3 Sekunden nach Okklusionsende.

O5 Die "Abstromkapazität O5" ist der Abfall 5 Sekunden nach Okklusionsende.

Einteilung der Bewertungsparameter

Auf der Basis klinischer Untersuchungen bewerten wir den venösen Abstrom VO in drei Gruppen:

- Normal: $VO > 30 \text{ %/min}$ normaler Abstrom
- Grenzbereich: VO 30 bis 15 %/min grenzwertiger Abstrom
- Pathologisch: $VO < 15 \text{ %/min}$ Abstromhindernis

Für die venöse Kapazität VC ergeben sich folgende Werte:

- Normal: $VC > 5 \%$
- Pathologisch: $VC < 5 \%$
 $VC > 10 \%$ Varikosis (primär / sekundär)

Hinweis



Diese Gradeinteilung gilt nur für die Bewertung der O-VVP-Parameter.

Medizinische Hinweise zu den Messergebnissen

Auch wenn die O-VVP-Diagnosen leicht zu stellen sind, darf der klinische Befund nie außer Acht gelassen werden.

Je kleiner die Parameter, desto ausgeprägter die hämodynamische Störung. Bislang wurde nur der „venöse Abstrom“ international standardisiert; für die anderen Parameter werden Sie bald Ihren Standard festgelegt haben.

Wiederholen Sie Messungen, bei denen sich eine große Diskrepanz zwischen Ihrem klinischen Befund und den Messergebnissen ergibt.

8.4 Medizinische Anwendungsgebiete

Anwendungsgebiete für den Venen-Verschlusstest

Allgemein

Diagnostik hämodynamisch wirksamer Abstromhindernisse

- Akute Thrombose
- Postthrombotische Verschlüsse
- Venöse Stauung durch Raumforderung
- Hämodynamische Verlaufskontrollen
- Thrombolyse
- Thrombektomie
- Rethrombosierung

Beckenetage

Die O-VVP ist zuverlässig geeignet, ausgeprägte Beckenvenenthrombosen zu diagnostizieren.

Oberschenkeletage

Die O-VVP ist zuverlässig geeignet, ausgeprägte Oberschenkelvenenthrombosen zu diagnostizieren.

Unterschenkeletage

Bei hämodynamisch relevanter Unterschenkelthrombose, d. h. Verschluss mehrerer Unterschenkelvenen bis hin zur Vena poplitea, finden sich charakteristische Kurven. Ist jedoch nur eine Unterschenkelvene oder der Wadenmuskelsinus verschlossen, ist kein eindeutiger Kurvenverlauf zu erkennen und somit keine eindeutige Diagnose zu stellen.

Bestimmung hämodynamischer Parameter

- Venöse Kapazität
- Venöser Abstrom
- Arterieller Einstrom

Anwendungsgebiete für den Filtrationstest

Durch den Filtrationstest (Filtration = Venendichtheit) werden zusätzlich zum Venen-Verschlusstest folgende Parameter ermittelt:

- Differenzkapazität von der 4. Minute auf die 3. Minute
- Differenzkapazität von der 5. Minute auf die 3. Minute
- Differenzkapazität von der 6. Minute auf die 3. Minute

Diese Parameter geben eine Auskunft darüber, ob und wie eine Filtration durch die Venenwand hindurch stattfindet. Dadurch lässt sich z. B. im Rahmen einer Verlaufskontrolle feststellen, wie gut ein Medikament wirkt, das die Venenwand abdichten soll.

8.5 Wissenschaftliche Grundlagen zur Messmethode

Allgemeines

Die Anwendung optischer Messmethoden an der Haut ist seit etwa 1930 in der Medizin bekannt. CARTWRIGHT verwendete Infrarotstrahlen, um Blutzirkulationsschwankungen zu messen. 1938 fand HERTZMAN einen Zusammenhang zwischen der Intensität der Lichtreflexion der Haut und ihrem Blutgehalt: Er nannte die Apparatur "photoelectric plethysmograph". Seit dieser Zeit werden Photoplethysmographen zur Registrierung der akralen oder dermalen arteriellen Pulsation, also zur Hautdurchblutungsmessung, eingesetzt.

Der O-VVP-Sensor (D-PPG-Sensor) ist tiefenoptimiert und nutzt eine geeignete Lichtwellenlänge und Strahlungsgeometrie bei gleichzeitiger Unterdrückung der Oberflächenreflexion und des Störlichtes aus, wodurch der gesamte Venenplexus der Kutis sicher abgetastet wird.

Im Gegensatz zu allen vorher genutzten Systemen beinhaltet das O-VVP-System ein sich selbst kalibrierendes Verstärkungssystem, mit dem das reflektierte Empfangssignal geeicht wird. Dabei befinden sich alle wesentlichen Komponenten, einschließlich des optischen Sensors, in einer mikroprozessorgesteuerten Regelschleife. Diese Anordnung garantiert normierte und reproduzierbare Messungen unabhängig von der Hautstruktur und Hautpigmentierung. Dadurch ist erstmalig eine QUANTITATIVE PLETHYSMOGRAPHIE möglich.

Biophysikalische Grundlagen

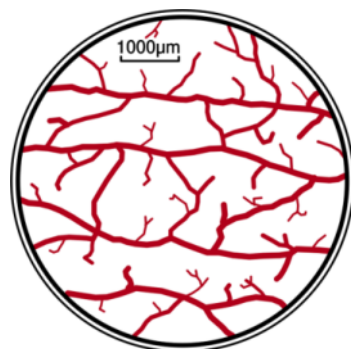


Abb. 8.5.1: Mess-Fenster unter dem O-VVP-Sensor

Hier sind die typischen Reflexions- und Extinktionseigenschaften der menschlichen Haut aufgezeigt. Es ist bekannt, dass im Bereich der unsichtbaren Strahlen um 940 nm ein besonders günstiges "Mess-Fenster" für die optische Abtastung existiert. Das eingestrahlte Licht wird von der Epidermis nur geringfügig absorbiert (ca.15 %). Außerdem besteht ein großer Unterschied zwischen der Reflexion der

blutleeren Haut und der Reflexion von Blutgefäßen.

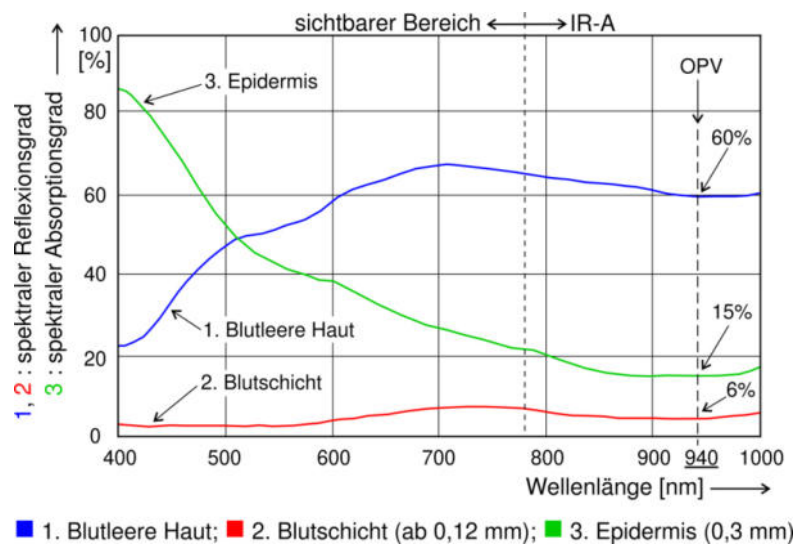


Abb. 8.5.2: Optische Eigenschaften biologischer Proben im sichtbaren und Infrarotbereich

Die Abbildung zeigt schematisch das Gefäßsystem im Bereich der Haut unter dem O-VVP-Sensor. Da die gefüllten Blutgefäße etwa 10-mal weniger Licht reflektieren als das undurchblutete Hautgewebe, erscheinen sie als dunkle Linien in einem relativ hellen Umfeld.

Durch die Okklusion wird Blut angestaut, wobei der periphere Venendruck steigt und die Oberfläche der elastischen, kapazitiven Gefäße sich vergrößert. Dadurch verringert sich die mittlere Reflexion im Mess-Fenster, was durch ein Ansteigen der OVP-Kurve registriert wird. Das optoelektrische Messprinzip der OVP beruht also auf der Erfassung der Reflexionsänderungen subepidermaler Hautschichten vor, während und nach einer Okklusion, wobei die Änderungen durch Füllungsschwankungen in dem Gefäßplexus der Haut verursacht werden.

Durch die Tourniquet-Manschette wird das Oberflächen-Venensystem hämodynamisch stärker an das tiefe Venensystem angebunden.

**Folgende
biophysikalische
Gesetzmäßigkeiten
werden genutzt**

Es besteht ein direkter und unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Füllungszuständen im tiefen Venensystem der unteren Extremitäten und dem Füllungsgrad in den vom O-VVP-System abgetasteten Gefäßen der Kutis.

Jede Druckänderung im venösen Gefäßsystem bewirkt eine Änderung der Gefäßoberfläche und damit eine Änderung des O-VVP-Signals.

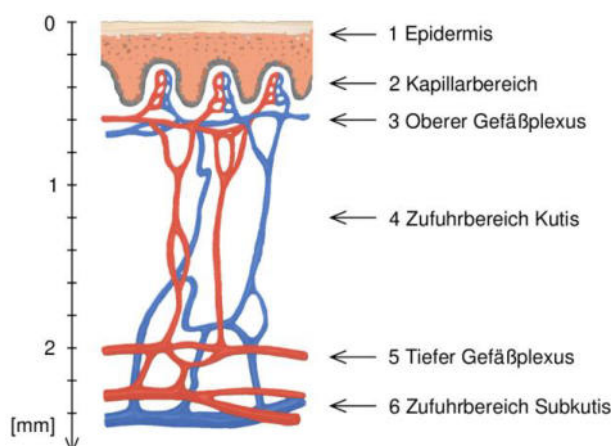


Abb. 8.5.3: Topographie der Hautgefäße am Unterschenkel (schematisch)

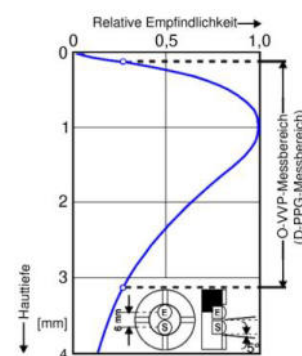


Abb. 8.5.4: Relative Empfindlichkeit des O-VVP-Sensors als Funktion der Hauttiefe

Im O-VVP-Sensor befindet sich neben der Sendediode S und der Detektordiode D ein Mikrosignalverstärker. Der Messbereich des O-VVP-Sensors ist durch den $1/e$ Abfall der maximalen Empfindlichkeit definiert. Er beträgt ca. 0,1 bis 3,1 mm, so dass der Gefäßplexus der Kutis sicher erreicht und bewertet wird.

8.6 Technische Informationen zur Messmethode

O-VVP-Sensor (D-PPG-Sensor)

Messablauf

Der O-VVP-Sensor (D-PPG-Sensor) ist über ein knicksicheres Kabel direkt mit dem Gerät verbunden. Er besitzt zwei optoelektronische Messelemente mit integrierten Linsen. Der Sender schickt Infrarotlichtwellen in die Haut, der Empfänger nimmt die reflektierten Lichtwellen auf.

Die O-VVP-Messprozedur gliedert sich in fünf Arbeitsschritte, die alle vom Mikrocomputer kontrolliert werden und vollautomatisch ablaufen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den automatischen Messablauf und verdeutlicht die einzelnen Schritte des Programms.

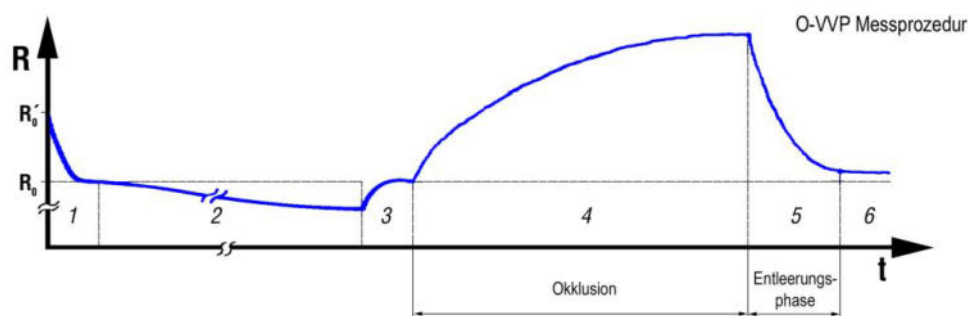


Abb. 8.6.1: Automatischer Messablauf der O-VVP Messprozedur

1. Automatische Kalibrierung

Der individuelle Messwert R_0 wird auf den vorgegebenen Startwert R_0

geeicht (Basislinie der O-VVP-Kurve).

2. **Feststellung der stationären Ruhedurchblutung**

Der Ruhewert ist erreicht, wenn zwei aufeinander folgende Mittelwerte über 4 Sekunden keinen großen Unterschied haben. Spätestens nach 30 Sekunden wird jedoch mit der Messung begonnen.

3. **Weitere Kalibrierung**

Eine weitere Kalibrierung korrigiert die möglicherweise eingetretene Drift.

4. **Stauphase**

Durchführung der venösen Okklusion für die gewählte Stauzeit.

5. **Entleerungsphase**

Die Widerstandsänderungen, die durch die Venenentleerung entstehen, werden dem Untersucher auf dem Display dargestellt.

6. **Auswertung**

Nach Messende werden die hämodynamischen Parameter automatisch berechnet.

9 Zweckbestimmung

O-PO

In der optischen Pulsoszillographie wird die arterielle Pulsation mit optischen Sensoren erfasst. Dies kann an unterschiedlichen Applikationsstellen (Finger, Zehen oder andere Hautbereiche) erfolgen. Dabei wird die arterielle Pulsation an Fingern, Zehen oder anderen Hautbereichen bewertet, um Hinweise auf Durchblutungsstörungen zu gewinnen. Je nach Art des Sensors werden nur oberflächliche oder auch die tieferen Gefäße erfasst.

O-AD

Bei der akralen Blutdruckmessung wird mit optischen Sensoren die arterielle Pulsation erfasst. Mit Hilfe von Staumanschetten werden die Gefäße von Akren (Finger oder Zehen) so komprimiert, dass anhand der Veränderung der Pulsationskurve der systolische Blutdruck ermittelt werden kann. Die O-AD erlaubt auch Aussagen über die Durchgängigkeit großer Arterien und bietet sich als Screening-Methode aufgrund der einfachen und schnellen Durchführbarkeit an.

P-SPO

Bei der segmentalen Pulsoszillographie werden Staumanschetten über einen Kompressor so angesteuert, dass beginnend von einem hohen Manschettendruck in frei einstellbaren Druckintervallen der Manschettendruck verändert wird. Die Staumanschetten selbst dienen gleichzeitig zur Erfassung der Pulsation an den Extremitäten (Beine oder Arme). Die segmentale Pulsoszillographie dient zur Dokumentation des Pulstastbefundes und zur Lokalisation von arteriellen Verschlüssen (auch durch Seitenvergleich). Die segmentale Pulsoszillographie dient nach Belastung des Patienten der Erfassung von hämodynamisch wirksamen Stenosen.

D-PPG

Bei der D-PPG-Applikation (LRR) wird eine venöse Funktionsdiagnostik mit optischen Sensoren durchgeführt. Durch Dorsal-Extensionen oder Zehenstände des Patienten oder durch einen Elevationstest wird eine venöse Blutabschöpfung erzeugt. Die Wiederauffüllzeit und die venöse Blutabschöpfung erlauben eine Bewertung der venösen Hämodynamik.

PDM

Bei der Phlebodynamometrie wird der absolute Venendruck invasiv erfasst. Der Venendruck wird durch Dorsal-Extensionen oder Zehenstände des Patienten verändert. Die Auswertung des Ruhedrucks, Differenzdrucks, Minimaldrucks und der venösen Wiederauffüllzeit erlauben eine Bewertung der venösen Hämodynamik.

SG-VVP

Beim Venenverschlusstest wird über ein Staumanöver venöses Blut angestaut. Nach einer Stauzeit werden die Staumanschetten rasch entleert. Bei der SG-VVP werden Strain-Gauge-Sensoren zur Registrierung von (Bein-)Umfangsänderungen verwendet. Zur Ermittlung von Abstromhindernissen (Thrombosen, etc.) wird die Abstrom-Dynamik bewertet.

Anwendungsgebiete der SG-VVP sind:

- Diagnostik hämodynamisch wirksamer Abstromhindernisse
- Diagnose von Beckenvenenthrombosen, Oberschenkelvenen-

thrombosen und Unterschenkelvenenthrombosen

SG-AR

Bei der Ermittlung der arteriellen Reserve (reaktive Hyperämie) wird über Staumanschetten eine Unterbrechung der arteriellen Blutzufuhr erzeugt. Nach einer Stauzeit werden die Staumanschetten rasch entleert. Bei der SG-AR werden Strain-Gauge-Sensoren verwendet. Danach erfolgt in rascher Folge mehrfach ein weiteres Entleerungs- und Stau-Manöver. Der zeitliche Verlauf des arteriellen Einstroms ergibt Bewertungs-Parameter für die arterielle Reserve.

O-VVP

Beim Venenverschlusstest wird über ein Staumanöver venöses Blut angestaut. Nach einer Stauzeit werden die Staumanschetten rasch entleert. Bei der O-VVP wird ein optischer Sensor verwendet. Zur Ermittlung von Abstromhindernissen (Thrombosen, etc.) wird die Abstrom-Dynamik bewertet. Anwendungsgebiete der O-VVP sind:

- Diagnostik hämodynamisch wirksamer Abstromhindernisse
- Diagnose von Beckenvenenthrombosen, Oberschenkelvenenthrombosen und Unterschenkelvenenthrombosen