

Zeitschrift: Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche

Herausgeber: Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

Band: 19 (1963)

Artikel: Messung der Gliedmassendruckblutung mit Na²⁴ : zur Technik des Build-up

Autor: Widmer, L.K. / Staub, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-307527>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Aus der medizinischen Universitätsklinik Basel – Ehem. Vorsteher: Prof. H. Staub

Messung der Gliedmaßendurchblutung mit Na^{24} *

Zur Technik des Build-up

Von L. K. Widmer und H. Staub

Schon die ersten Arbeiten über medizinische Anwendung von radioaktiven Isotopen erwähnen die Möglichkeit, mit Hilfe dieser Verfahren auch die Durchblutung der Gliedmaßen zu messen. Doch setzten sich die von *Smith* und *Quimby*, *Kety*, *Waser* und *Hunzinger* u. a. vorgeschlagenen Methoden zur Messung der Gliedmaßendurchblutung nicht durch. Vorerst glaubte man, periphere Durchblutungsstörungen seien eine seltene Krankheit des Alters. Dann war der Aufwand für Apparate und kurzlebige Gammastrahler erheblich. Vor allem aber dürfte der Mißerfolg auf zahlreiche Arbeiten zurückzuführen sein, welche diesen Verfahren Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit absprechen.

Bei Durchsicht der Literatur fällt auf, daß verschiedene Autoren mit sehr verschiedener Technik arbeiten und mehrere Arbeiten physikalische und/oder physiologische Gegebenheiten mißachten. So wurde das nachfolgend beschriebene Build-up-Verfahren mehrfach verworfen, weil man in Horizontallage im Extremitätenabschnitt distal eines Arterienverschlusses die gleiche Aktivität fand wie auf der gesunden Gegenseite. Zu Unrecht: in Horizontallage ist die Hautdurchblutung nur bei schwerer Insuffizienz vermindert. Dagegen erfaßt man durch Hochlagerung der unteren Extremitäten diskrete Minderdurchblutung sehr leicht.

Das Build-up (definiert als Verfahren, bei dem ein Gammastrahler intravenös injiziert und der zeitliche Aktivitätsverlauf fern der Injektionsstelle gemessen wird) erwies sich uns als empfindlich und reproduzierbar. Es lieferte wertvolle zusätzliche Informationen über die Hautdurchblutung von 260 Arteriengesunden und 413 Kranken mit Gliedmaßenarterienverschluß. Da der Widerspruch dieser Beobachtungen zur

* Frl. E. Cramer, E. Hasler und R. Rais verdanken wir die Mithilfe bei den Untersuchungen. Mit finanzieller Unterstützung der Kommission für Atomwissenschaft des Schweiz. Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

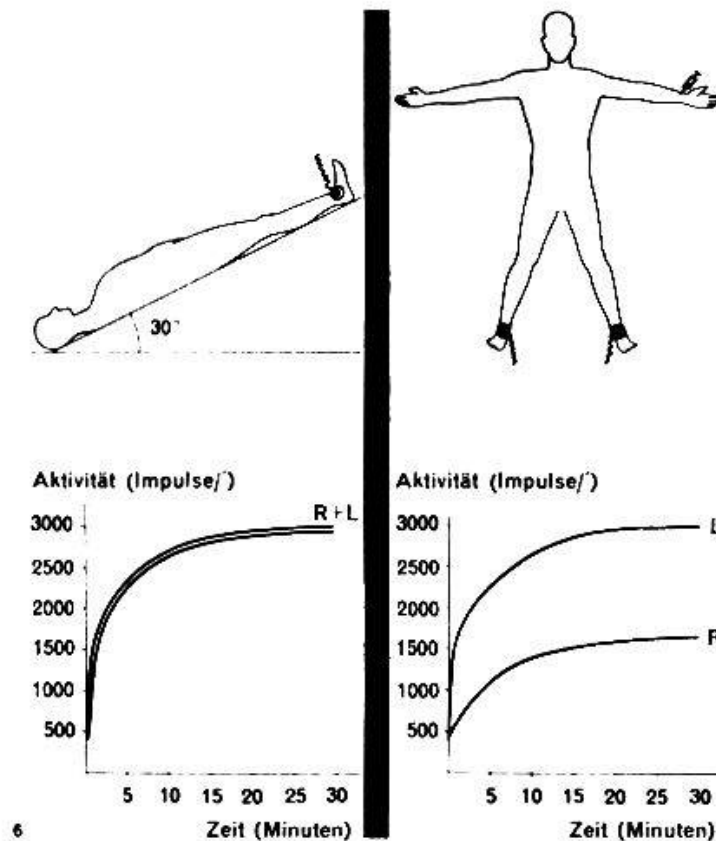


Abb. 1. *Technik des Build-up.* Der Patient wird vor Meßbeginn 30 min in einem Raum von konstanter Temperatur und Feuchtigkeit gelagert. Man zentriert Szintillationsdetektoren gleicher Empfindlichkeit auf die Füße und injiziert $10 \mu\text{C Na}^{24}\text{Cl}/\text{m}^2$ in eine Handrückenvene. Unten links: physiologischer Fall, seitengleicher Anstieg der Aktivität. Unten rechts: Verschuß der A. femoralis superficialis rechts mit stark verminderter Durchblutung der Haut von Fuß und Zehen rechts.

Literatur anscheinend technisch bedingt ist, ist es angezeigt, die Technik kritisch zu sichten.

Methodik

Wir benützen das Build-up-Verfahren meist zur Beurteilung der Hautdurchblutung im Bereich von Füßen und Zehen. Dazu wird der mit einem Hemd bekleidete Patient in einem Raum mit konstanter Temperatur und konstanter relativer Feuchtigkeit ($24 \pm 0,5^\circ$ bzw. $50\% \pm 5$) während 30 min gelagert; die Fußrücken 30–35 cm über dem 2. Inter-costalraum, gespreizt und auf Gipsabgüsse aufgestützt (Abb. 1). Man zentriert 2 kollimierte Szintillationsdetektoren¹ gleicher Empfindlichkeit im rechten Winkel zum lateralen Fußrücken auf die Mitte des 3. Metatarsale. Nach 30 min Ruhe wird der rechte Vorderarm abduziert und auf einen Instrumententisch abgestützt. Injektion von $10 \mu\text{C Na}^{24}/\text{m}^2$ hinter Bleiziegeln innert 3–7 sec in eine Handrückenvene. Integration

¹ Kollimation siehe S. 228.

mit Frequenzmetern EMA 1 Landis & Gyr (Meßbereich 3 k Impulse, Zeitkonstante 15 sec, Variationskoeffizient 2,6%). Registrierung mit modifiziertem, elektronischem Kompensator PR 2212 A Philips, Papiervorschub 6.7 mm/min. Die Aktivität steigt nach einer 1-e-Funktion, im Normalfall über beiden Füßen symmetrisch an. 15 min nach Injektion, Kontrolle, ob die Impulszahl seitengleich ist und im Normbereich² liegt.

Ergebnisse

Die Frage nach der Bedeutung des Aktivität-Zeitdiagramms beantwortet ein Versuch mit I¹³¹-Albumin, einem Gammastrahler, der die Gefäße nicht verläßt. Die Endaktivität (A) ist in diesem Falle dem Volumen der I¹³¹-Albumin haltigen Gefäße (V) und der I¹³¹-Albumin-Konzentration (c) in diesen Gefäßen proportional:

$$A = V \cdot c$$

Der zeitliche Aktivitätsverlauf wird demnach:

$$\frac{dA}{dt} = c \frac{dV}{dt} + V \frac{dc}{dt}$$

1–2 min nach Injektion verändert sich die in Blutproben gemessene Aktivität nicht mehr. So streben dc/dt und damit das Glied rechts gegen Null, womit

$$\frac{dA}{dt} = c \frac{dV}{dt}$$

Das Aktivität-Zeitdiagramm gibt also an, wie rasch im Bereiche des Detektors inaktives durch isotonhaltiges Blut ersetzt wird.

1. Bedeutung der Kollimation

Mehrere Autoren, welche dem Build-up diagnostischen Wert absprechen, arbeiten ohne Kollimation. Die Unzulässigkeit dieses Vorgehens kann durch zwei Beispiele demonstriert werden. Abb. 2 zeigt das Build-up eines am linken Oberschenkel Amputierten. Ein Detektor befindet sich über dem rechten Fuß, der andere an der Stelle des fehlenden linken Fußes. Die Aktivität steigt links, wo Fuß, Unterschenkel und Oberschenkel fehlen, auf 34% der Gegenseite; dies trotzdem die Detektoren mit 3,5 cm Blei kollimiert und 52 cm voneinander entfernt sind. Bei geringerer oder fehlender Kollimation wird der Einfluß der Störstrahlung des Körpers noch deutlicher.

² Normbereich bestimmt an 120 gefäßgesunden Probanden verschiedener Altersklassen.

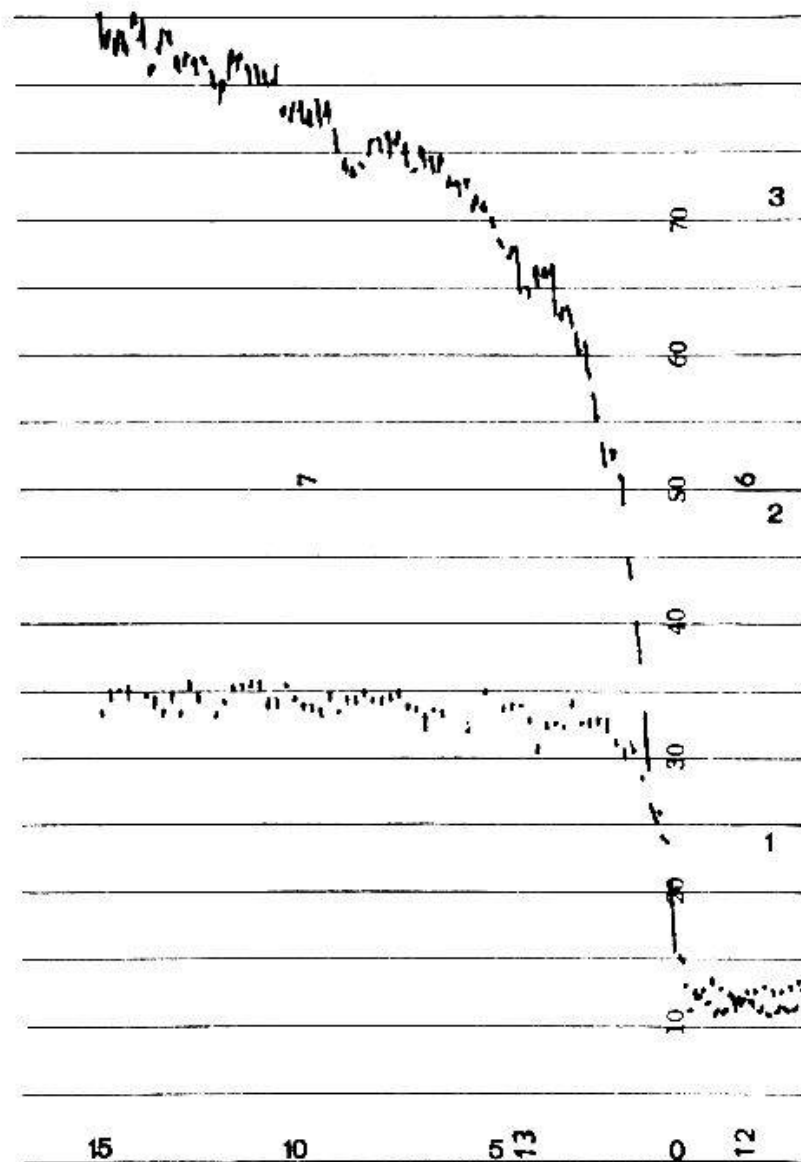


Abb. 2. *Einfluß der Umgebungsstrahlung.* Ordinate — Aktivität, Abszisse — Zeit in Minuten. Bei einem am linken Oberschenkel Amputierten steigt die Aktivität über dem gesunden Fuß steil an (obere Kurve). Die untere Kurve rührt vom Detektor her, der am Ort des amputierten linken Fußes steht. Obwohl diese Extremität fehlt, der Detektor stark kollimiert und vom anderen Fuß 50 cm entfernt ist, nimmt er von den übrigen Körperteilen viel Strahlung auf (die Aktivität steigt bis auf 34% der Gegenseite).

2. Beispiel: Bei akut auftretenden Ischämien des Fußes beobachtet man am distalen Unterschenkel oft eine starke Hyperämie. Der Detektor aber steht rechtwinklig auf dem Fußrücken, seine Längsachse verläuft also ungefähr parallel dem distalen Unterschenkeldrittel. Nun spricht aber ein ungenügend kollimierter Detektor empfindlich auf seitlich einfallende Strahlung an. Vom ischämischen Fuß her kommt zwar weniger, vom hyperämischen Unterschenkel aber mehr Strahlung. Der ungenügend kollimierte Detektor nimmt die seitliche Strahlung auf und über-

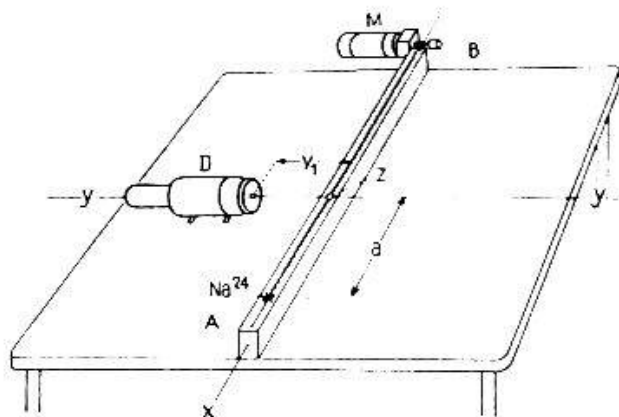


Abb. 3. *Modellversuch zur Bestimmung des Halbwertvolumens.* Eine radioaktive Quelle (Na^{24}) von 1×3 mm wird vom Motor (M) mit konstanter Geschwindigkeit vor dem Detektor (D) durchgezogen, während ein Frequenzmeter die Aktivität registriert. Man bestimmt, wie weit die Quelle auf der x-Achse verschoben werden kann, bis der Frequenzmeter noch die Hälfte der in Z registrierten Impulse angibt. Die entsprechende Strecke bezeichnet man als Halbwertdistanz (X). Anschließend wird der Balken A—B parallel der x-Achse verschoben und der Versuch wiederholt in verschiedenen Entfernungen (y_n). Daraus ergibt sich die Halbwertfläche (s. Abb. 4).

sieht so die Ischämie des Fußes. Dagegen wird der genügend kollimierte Detektor durch die seitlich einfallende Strahlung kaum beeinflusst und zeigt an, daß der Fuß weniger durchblutet ist.

Optimal kollimiert ist der Detektor, welcher ein möglichst großes Gebiet des Fußes erfäßt, gleichzeitig aber von der Umgebung möglichst wenig Strahlung aufnimmt. Zur Erfassung dieser Größe bestimmt man das *Halbwertvolumen*, ein Volumen, in welchem der Detektor von einer gegebenen radioaktiven Quelle mindestens die Hälfte jener Strahlung aufnimmt, welche die Quelle an einem in der Detektorachse gelegenen Fixpunkt (Z) hat. Mit der Versuchsanordnung von Abb. 3 bestimmt man, wie weit eine punktförmige Quelle gegebener Intensität in der x-Achse bzw. in der y-Achse verschoben werden kann, bis der Detektor noch die Hälfte der im Punkte Z gemessenen Aktivität angibt. Die Beträge dieser Halbwertdistanz X bzw. der Halbwerttiefe Y in die Formel für das Volumen des Kugelabschnitts eingesetzt, ergeben das Halbwertvolumen:

$$V_K = \frac{\pi Y}{6} (3 X^2 + Y^2)$$

Sein Betrag ist bei gegebener Kollimation der Distanz zwischen Kristallzentrum und Körperoberfläche direkt und der Energie des Gammastrahlers indirekt proportional (Tabelle 1); in unserer Versuchsanordnung bei 8,5 cm Distanz etwa 150 ml für Na^{24} mit Gamma-Energien von 1,37 bzw. 2,76 MeV (Widmer und Staub).

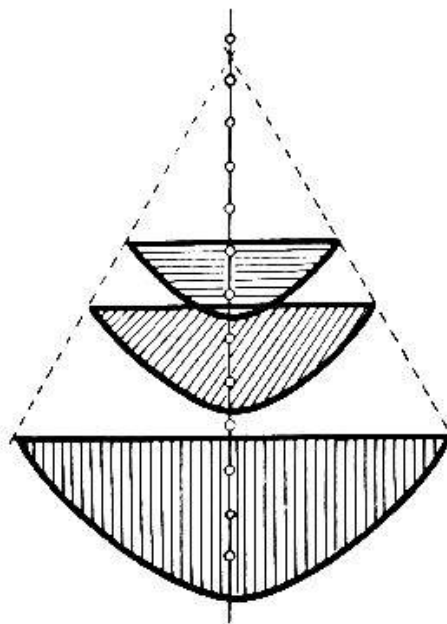


Abb. 4. Halbwertflächen für verschiedene Abstände Detektor-Haut. Mit dem Modellversuch von Abb. 3 bestimmte Halbwertflächen für Detektor EKCO N 595 A mit Kristall 566 A und Blei-Kollimator von 80 mm Länge und 16 mm Wandstärke (für Na^{24}). Die vertikale Linie entspricht der y-Achse (Abstand von 2 Punkten = 2 cm), die horizontalen Linien verlaufen parallel der x-Achse von Abb. 3. Je größer y_n , d. h. je größer die Entfernung von Detektor und Fuß, um so größer ist der überblickte Raum. Eingezeichnet die Halbwertflächen für Abstände von 8,5 cm (horizontal schraffiert), 11,5 cm (schräg schraffiert) und 17,5 cm (vertikal schraffiert). Mit der Kugelabschnittformel errechnete Halbwertvolumina s. Tabelle 1.

Tabelle 1
Geometrie der Meßvorrichtung*

Distanz Kristall-Haut (cm)	HW-Breite (X) (cm)	HW-Tiefe (Y) (cm)	HW-Fläche schraffiert	HW-Volumen V_K (cm ³)
8,5	4,8	12,5	horizontal	150
11,5	6,5	16,3	schräg	400
17,5	9,9	24,8	vertikal	1330

* Abmessung von Detektor mit Kollimator siehe Text zu Abb. 4.

2. Bedeutung von Umwelt und Lagerung

Entwickelt man die Formel von Seite 225, so zeigt sich, daß der Aktivitätsverlauf beim Build-up hauptsächlich bestimmt wird durch das arteriovenöse Druckgefälle ($P_A - P_V$) und durch den peripheren Widerstand (R).

$$V(t) = V_0 \left(1 - e^{-k \frac{P_A - P_V}{R} t} \right)$$

a) *Raumtemperatur und Feuchtigkeit.* Der periphere Widerstand ist ceteris paribus hauptsächlich von Umgebungstemperatur und Feuch-

tigkeit abhängig. Der Einfluß dieser Faktoren wurde bei 9 Verschlußkranken durch Messung in 2täglichen Abständen geprüft. Unter konstanter Feuchtigkeit und konstanter Temperatur betrug der Variationskoeffizient von 6 Messungen 2,9%, unter inkonstanten Bedingungen dagegen 13,7%. Es überrascht somit nicht, daß bei Messung unter variablen Umweltbedingungen die Build-up-Werte sich schlecht reproduzieren lassen.

b) *Lagerung*. Wie eingangs erwähnt, konnten mehrere Autoren distal von Arterienverschlüssen keine verminderte Aktivität messen und schließen daraus auf die Unempfindlichkeit des Build-up. Die meisten dieser Schlüsse basieren auf Messungen in Horizontallage. Sie mißachten die vielfach belegte Beobachtung, daß beim Gliedmaßenarterienverschluß arteriovenöses Druckgefälle und Stromvolumen in *Ruhe* oft nicht vermindert sind (*Gillespie und Douglas, Hess, Ratschow*). Deswegen verspürt der Verschlußkranke in Ruhe keinen Ischämieschmerz, keine Hauttemperaturdifferenz, darum finden sich auch im Build-up seitengleiche Aktivitäten. Erst unter *Belastung*, z. B. nach Hochlage der betroffenen Extremität, sinkt das arteriovenöse Druckgefälle, die Hautdurchblutung wird vermindert, und es treten auch im Build-up seitenverschiedene Aktivitäten auf. Tabelle 2 zeigt Messungen bei 8 Kranken

Tabelle 2

Einfluß der Lagerung auf den Build-up-Wert bei einseitiger Durchblutungsstörung. – Aktivitätsunterschied (%) zwischen der gesunden und der Extremität mit Arterienverschluß. 15 min nach i.v. Injektion von Na^{24} , $10 \mu\text{C}/\text{m}^2$

	Messung	
	in Horizontallage	an hochgelagerten unteren Extremitäten
M. A.	0	7
H. F.	3	9
H. H.	0	5
A. H.	4	10
A. Oe.	0	13
J. E.	0	8
L. W.	6	15
G. V.	7	22

mit einseitigem Verschluß der A. femoralis im Stadium Fontaine II, d. h. ohne Ruheschmerz, ohne Nekrosen oder Ulcera. In Horizontallage beinahe durchwegs seitengleiche Aktivitäten. Deutlich verminderte Aktivi-

tät als Zeichen verminderter Hautdurchblutung bei Messung an den seit 30 min hochgelagerten unteren Extremitäten.

Besprechung

Wie andere Laboratoriumsmethoden ist das Build-up zwar für die Beurteilung der Hautdurchblutung nicht unerlässlich. Doch liefert es wertvolle zusätzliche Informationen. Standardisierte Technik und Messung unter Belastung vorausgesetzt, ist das Verfahren empfindlich, rationell und reproduzierbar. Es gestattet, diskrete Minderdurchblutung frühzeitig zu erfassen, und ermöglicht Therapieeffekte auf lange Sicht quantitativ zu verfolgen. Gewissen anderen Belastungsproben, z. B. Abkühlungs-, Wiedererwärmungsversuch, Hautclearance von radioaktiven Isotopen, ist das Build-up-Verfahren vorzuziehen, weil es, schmerzlos und kurzdauernd, den durch die Krankheit oft erheblich belasteten Patienten kaum belästigt.

Zusammenfassung

Die Autoren besprechen die Technik des Build-up-Verfahrens zur Messung der Gliedmaßendurchblutung. Beim Build-up wird ein gammastrahlendes radioaktives Isotop intravenös injiziert und der zeitliche Verlauf der Aktivität fern der Injektionsstelle gemessen. Die Autoren belegen, daß Richtungsempfindlichkeit des Strahlennachweisgerätes, Raumtemperatur, Raumfeuchtigkeit und Lagerung des Kranken die Empfindlichkeit des Verfahrens und die Reproduzierbarkeit der Meßwerte wesentlich mitbestimmen.

Mit der beschriebenen, standardisierten Technik ergab die Methode wertvolle zusätzliche Informationen über die Hautdurchblutung der Akren bei 260 Arteriengesunden und 413 Kranken mit Gliedmaßenarterienverschluß.

Résumé

Les auteurs discutent quelques problèmes du «build-up» de substances radioactives, méthode qui permet d'évaluer l'irrigation sanguine de la peau au niveau des extrémités. La méthode comporte l'injection dans une veine du bras de $10 \mu\text{C}$ de Na^{24}Cl par m^2 de surface du corps, suivie pendant 15 minutes d'une mesure du rayonnement, en général au niveau des pieds. Le rayonnement augmente pour un individu normal identiquement pour les deux pieds, d'autant plus vite que l'irrigation sanguine de la peau est meilleure. Les valeurs atteintes après 15 min

sont comparées à la norme, déterminée à partir d'un grand nombre de sujets sains.

Il est démontré que la sensibilité de la méthode et la reproductibilité des résultats dépendent largement des paramètres de l'expérience. Parmi ceux-ci, les plus importants sont: la collimation du détecteur à scintillation, la position du sujet ainsi que la température et l'humidité ambiante. Une collimation insuffisante entraîne une erreur de mesure, du fait qu'au rayonnement provenant du pied, s'ajoute celui émis par d'autres parties du corps. Cette radiation parasite peut masquer presque complètement des différences d'irrigation sanguine et par là donner l'impression que la méthode est peu sensible. De plus, la position des jambes a une grande influence sur le résultat du «build-up». En effet, l'irrigation sanguine, en aval d'une occlusion artérielle fréquemment normale en position horizontale, devient insuffisante par réduction de la différence de pression artérioveineuse après surélévation des jambes. Enfin, une bonne reproductibilité exige que les mesures soient toujours faites à même température et même degré d'humidité.

La technique décrite fournit avec précision des résultats valables et reproductibles. De ce fait, d'importantes informations supplémentaires sur l'irrigation sanguine ont été obtenues sur 260 sujets sains et 413 malades souffrant d'occlusions d'une artère des membres. Simple et sans inconvénient pour le malade, le «build-up» peut être répété sans restriction. Il est par conséquent particulièrement indiqué pour des «follow-up» de longue durée.

Riassunto

Gli autori trattano alcuni problemi tecnici del «build-up», esame che permette di misurare l'irrigazione sanguigna cutanea di parti periferiche con l'aiuto di sostanze radioattive. Metodo: si iniettano $10 \mu\text{C Na}^{24}\text{Cl}$ per m^2 di superficie del corpo in una vena dell'avambraccio. In seguito si misura per 15 minuti la radiazione, generalmente al livello dei piedi. Nel caso fisiologico la radiazione aumenta simmetricamente nei 2 piedi e raggiunge intensità tanto più alte quanto migliore è l'irrigazione sanguigna. L'intensità raggiunta 15 minuti dopo l'iniezione è paragonata al valore normale, determinato anticipatamente con misure su numerosi soggetti sani.

Gli autori dimostrano che la sensibilità e la riproducibilità del «build-up» variano secondo la tecnica adottata. Di particolare importanza sono la collimazione del detettore, la posizione delle estremità, la temperatura e l'umidità ambientali. Il detettore a collimazione insufficiente può

indurre a un errore di valutazione perchè registra non soltanto la radiazione del piede ma anche quella proveniente da altre parti del corpo. Tale detettore, fortemente influenzato dalla radiazione parassita, non indicherà una diminuzione leggera e localizzata dell'irrigazione cutanea e dà l'impressione che il metodo sia poco sensibile. In più i risultati del «build-up» dipendono dalla posizione del soggetto. Infatti l'irrigazione cutanea a valle di una occlusione arteriosa è generalmente normale nel soggetto in posizione orizzontale. L'insufficienza dell'irrigazione si manifesta soltanto dopo che le gambe sono sopraelevate, il che riduce la differenza di pressione arteriovenosa e il flusso sanguigno. Perchè il «build-up» ripetuto sullo stesso individuo a distanza di giorni dà risultati identici è necessario che la temperatura e l'umidità dell'ambiente siano tenute costanti.

Con la tecnica descritta gli autori hanno ottenuto informazioni supplementari sull'irrigazione sanguigna cutanea di 260 soggetti sani e 413 pazienti con arteriopatie. Semplice e senza inconvenienti per l'ammalato, il «build-up» può essere ripetuto senza limitazioni ed è perciò particolarmente indicato per «follow-up» di lunga durata.

Summary

Technical problems of the «build-up», a method suitable for the evaluation of acral skin blood-flow are discussed. The method: after injection of $10 \mu\text{C Na}^{24}\text{Cl}$ into an arm vein, the increase of radiation is measured for 15 minutes over the feet. In the normal individual the radiation increases exponentially reaching a range established as normal by examination of a large number of healthy individuals. If the acral skin blood-flow is reduced e.g. by an occlusion of a limb artery, the activity increases more slowly, the slower, the poorer the degree of compensation by collateral vessels.

The authors demonstrate that the sensitivity and reproducibility of the method depends largely on technical factors: the collimation of the radiation detector, the posture of the patient and ambient conditions, especially room temperature and humidity. Insufficiently collimated detectors with no, or poor directional sensitivity will respond not only to the radiation coming from the feet but also to that from other parts of the body. This radiation may overshadow considerable local differences, thus conveying an impression of poor sensitivity of the method. The sensitivity furthermore depends to a large extent on the position of the patient's limb, since frequently acral skin blood-flow distal to an obstructed artery is normal in the horizontal position and becomes insufficient

only when the limb is elevated and the pressure in the collateral vessels decreased. Finally it is demonstrated that the results of the «build-up» are reproducible only at constant room temperature and humidity.

With the technique described the method was efficient and reproducible. It yielded valuable additional information on acral skin blood-flow in 260 healthy individuals and 413 patients with arterial occlusion. Harmless and simple, it is particularly valuable for follow-up observations in a long-term programme.

Gillespie J. A. und Douglas D. M.: Obliterative vascular disease of the lower limb. Livingstone, Edinburgh/London 1961.

Kety S. S.: Measurement of regional circulation by the local clearance of radioactive sodium. Amer. Heart J. 38, 321-328 (1949).

Smith B. C. und Quimby E.: The use of radioactive sodium in studies of circulation in patients with peripheral vascular disease. Surg. Gynec. Obstet. 79, 142-147 (1944); The use of radioactive sodium as a tracer in the study of peripheral vascular disease. Radiology 45, 335-346 (1954).

Hess H.: Über die Kompensation arterieller Gefäßverschlüsse. Acta III. int. angiolog. Congr. San Remo 1958.

Ratschow M.: Angiologie, Thieme Stuttgart 1959.

Waser P. und Hunzinger W.: Bestimmung von Kreislaufgrößen mit radioaktivem Kochsalz. Cardiologia (Basel) 15, 219-221 (1950); Radiocirculographie. Experientia (Basel) 6, 109-110 (1950).

Widmer L. K. und Staub H.: Grundlagen der Gewebeclearance von Radioisotopen. Acta III. int. angiolog. Congr. San Remo 1958, p. 867-871.

