Die Hauterythemdosis (H. E. D.) als biologisches Maß der Strahlenwirkung

Von

Karl Wilhelm Haußer und Emil Schlechter

Mit 2 Textabbildungen

Aus dem Physikalischen Laboratorium des Wernerwerkes M
der Siemens & Halske A.-G. zu Siemensstadt

Sonderdruck
aus
Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern
VI. Band, 1. Heft
Verlag von Julius Springer, Berlin. 1927
(Nicht im Handel)

Die Hauterythemdosis (H.E.D.) als biologisches Maß der Strahlenwirkung.

Von Karl Wilhelm Haußer und Emil Schlechter.

Mit 2 Textabbildungen.

Aus dem Physikalischen Laboratorium des Wernerwerkes M der Siemens & Halske A.-G. zu Siemensstadt.

Eingegangen am 13. Mai 1927.

Die Brauchbarkeit der sog. Hauterythemdosis (H.E.D.) als biologisches Bezugsmaß für die Röntgentherapie war vor einigen Jahren in Frage gestellt worden, da vergleichende Messungen in den verschiedensten Kliniken Abweichungen der physikalischen Dosis in den Grenzen von rund 1 : 4 ergeben hätten. Diese Ergebnisse konnten wegen der Wilkkür, was man als ein schwaches Hauterythem bezeichnen will, plausibel erscheinen.

Röntgenologen, wie z. B. Herr Wintz, führten die genannten Behauptungen aber auf Fehler in den physikalischen Messungen zurück mit der aus der Erfahrung stammenden, schwerwiegenden Begründung, daß eine Überdosierung auf das Doppelte zu schweren Verbrennungen und zur Blasenbildung führt. Diese Ansicht wird wohl heute, von Feinheiten abgesehen, allgemein geteilt und aus der erwähnten Diskussion ist das aus der praktischen Erfahrung stammende Maß der Hauterythemdosis nur gestärkt hervorgegangen.

Versuche, die der eine von uns mit Herrn Vahle über das Hauterythem bei Bestrahlung mit spektral zerlegtem ultravioletten Licht früher ausgeführt hat[1]), scheinen uns auf das vorliegende Problem per analogiam ein interessantes Licht zu werfen. Da diese Überlegungen zusammen mit Teilresultaten einer von uns in Angriff genommenen Untersuchung für die zur Zeit in Entwicklung begriffene Buckysche Grenzstrahlentherapie von Wichtigkeit scheinen, wollen wir das Folgende kurz wiedergeben.

Bestrahlt man die Haut mit spektral zerlegtem ultraviolettem Licht bei gleicher einfallender Energie, so ist die Wirksamkeit der Strahlung für die Erythembildung außerordentlich stark von der Wellenlänge abhängig[2]). Vom sichtbaren Licht bis zu etwa 320 mμ ist die Strahlung praktisch unwirksam; bei etwa 300 mμ liegt ein starkes Maximum, bei etwa 280 mμ ein Minimum, bei etwa 250 mμ ein zweites sekundäres Maximum, nach noch kürzeren Wellenlängen fällt die Wirkung wieder ab.

---

[1]) K. W. Haußer und W. Vahle: Gletscherbrand und Sonnenbräunung. Vortrag auf der Naturforschertagung in Innsbruck 1924.

[2]) K. W. Haußer und W. Vahle: Strahlentherapie 1921 und l. c.

Aber nicht nur die Wirksamkeit der Strahlung für die Erythembildung hängt von der Wellenlänge ab, sondern das Erythem hat auch sonst verschiedene Eigenschaften je nach der Wellenlänge der benutzten Strahlung.

Hat man z. B. die Energie bestimmt, die zur Erzeugung eines gleichen schwachen Erythems von einem irgendwie definierten Rötungsgrad 1 für jede Wellenlänge notwendig ist, und bestrahlt nun mit einem Vielfachen dieser Energie, so erhält man keineswegs die gleiche Wirkung, wie dies am besten aus der Abb. 1 hervorgeht, die ein Versuchsergebnis wiedergibt.

Während bei der Bestrahlung mit kurzwelligem ultravioletten Licht etwa von der Wellenlänge 254 mμ der Rötungsgrad mit der eingestrahlten Energie langsam ansteigt, erhält man bei längeren Wellen, etwa bei 313 mμ, nach einem ausgesprochenen Schwellenwert einen steilen Anstieg. Meist führt die doppelte bis dreifache Dosis im letzten Fall zu einer Blasenbildung. Die Willkür unseres Ordinatenmaßstabes, der Rötungsgrad nach einer Farbskala, ist für die Überlegung gleichgültig, weil auf jeden Fall der relative Anstieg des Erythems mit der eingestrahlten Energie ganz verschieden ist, unabhängig von der Wahl des Maßstabes für die Rötung.

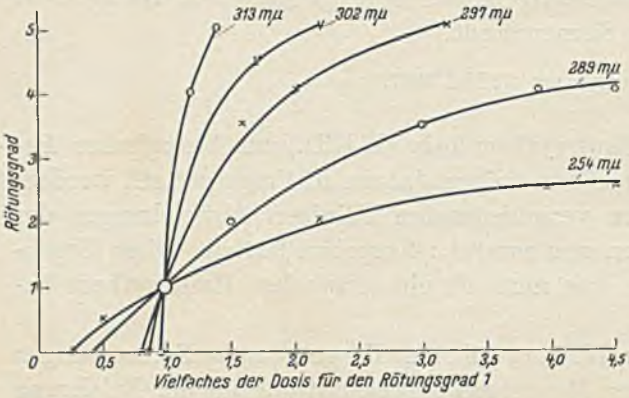

Abb. 1. Anstieg der Rötung des Lichterythems mit wachsender Dosis bei verschiedenen Wellenlängen der erregenden Strahlung.

Es wäre von großem Interesse, solche Meßreihen auch für Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlängen durchzuführen. Als Physiker glauben wir wegen der damit verbundenen Gefahren die Berechtigung zu Versuchen auch an uns selbst nicht zu haben, um so mehr, als ausgedehnte Beobachtungen hierzu notwendig sind. Aber nach allem, was wir von Röntgenologen erfahren konnten, scheinen Röntgenstrahlen im üblichen Therapiestrahlungsbereich in dieser Hinsicht so zu wirken wie das relativ langwellige Ultraviolett von etwa 313, 302 oder 297 mμ. Damit erhält aber die aus der praktischen Erfahrung stammende Wahl der Hauterythemdosis (H.E.D.) als biologisches Maß der Röntgenstrahlenwirkung nachträglich eine (physikalisch-biologische) Rechtfertigung, weil es sich zeigt, daß es gar nicht so sehr darauf ankommt, was man als schwaches Hauterythem bezeichnen will; denn angenommen, die Haut verhielte sich gegenüber einer Bestrahlung mit Röntgenstrahlen des im Therapiebetrieb üblichen Wellenlängenbereichs etwa wie gegenüber Licht von 313 mμ, so zeigt die Kurve, daß einem Unterschied zwischen Rötungsgrad 1 und Rötungsgrad 4 nur ein Unterschied in der physikalischen Dosis von etwa 20% entspricht. Dieser Unterschied der Rötung überschreitet aber sicher die Willkür der einzelnen Beobachter.

Es wäre durchaus naheliegend, für die von Herrn Bucky in Vorschlag gebrachte „Grenzstrahlentherapie" das in der Röntgentherapie bewährte biologische Maß der Hauterythemdosis zu übernehmen. Gewarnt durch unsere Erfahrungen bei dem Lichterythem, erschien uns aber bei Untersuchungen, die wir zur Klärung

anderer Fragen in Angriff genommen haben, zuerst eine Nachprüfung notwendig, ob die Übertragung erlaubt ist.

Abb. 2 gibt ein kennzeichnendes Ergebnis einer solchen Versuchsreihe wieder. Bestrahlt wurde mit Hilfe einer Grenzstrahlenröhre mit Lindemann-Fenster bei 9 kV_s und einem Röhrenstrom von 10 mA in einem Abstand (Fokus-Haut) von 10 cm. Wie die Kurve zeigt, ist der Anstieg des Erythems mit wachsender eingestrahlter Energie ein langsamer; selbst das Zehnfache einer Dosis, die schon nach einigen Stunden ein deutliches Erythem erzeugt hatte, führte auch nach Wochen nicht zur Blasenbildung. Je nach der Auffassung, was man als schwaches Hauterythem ansprechen will, kommt man so zu ganz verschiedenen physikalisch definierten Grenzstrahlendosen für die jeweilige Hauterythemdosis, und dieser Umstand muß aller Voraussicht nach bei verschiedenen Beobachtern zu Widersprüchen über den Erfolg der Grenzstrahlentherapie führen, zum mindesten aber die Verständigung zwischen verschiedenen Arbeitsstellen erschweren. Daß auf diese Fehlerquelle, die, wie oben besprochen wurde, bei der Röntgentherapie keine Rolle spielt, bei der nächsten Entwicklung der Grenzstrahlentherapie geachtet wird, ist der Zweck der vorliegenden Mitteilung.

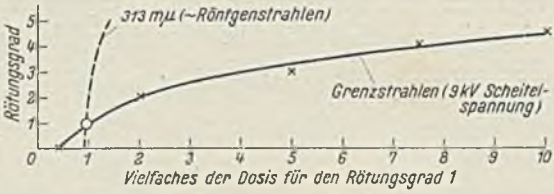

Abb. 2. Anstieg des Rötungsgrades des Hauterythems mit wachsender Dosis nach Bestrahlung mit Grenzstrahlen im Vergleich zu langwelligem Ultraviolett bzw. Röntgenstrahlen.

Es wird sich nur auf Grund der ärztlichen Erfahrung feststellen lassen, welchen Anforderungen an Genauigkeit die Dosimetrie der Grenzstrahlen in der Praxis wird genügen müssen. Um dies festzustellen, wird man sowohl ein möglichst genaues biologisches Maß als auch ein physikalisches brauchen. Für das erstere kann eine Methode in Frage kommen, bei der die Rötung quantitativ festgelegt wird, für die letztere könnten die Arbeiten über die Dosimetrie der Röntgenstrahlen benutzt werden unter besonderer Berücksichtigung der Schwierigkeiten, die sich aus der starken Absorbierbarkeit der Strahlung ergeben. Obwohl Untersuchungen, die wir über beide Probleme in Angriff genommen haben, noch nicht abgeschlossen sind, wollen wir auf einige für die Entwicklung des Gebietes wesentliche Punkte hinweisen.

Die Dosierung nach Spannung an der Röhre und Röhrenstrom führt zu erheblich größeren Fehlern wie im Röntgentherapiebetrieb. Änderungen der Röhrenspannungen haben einen sehr großen Einfluß auf die auf die Haut einfallende Grenzstrahlenintensität, weil einmal mit fallender Röhrenspannung die erzeugte Grenzstrahlenintensität stark fällt und außerdem die Absorption der Grenzstrahlen im Austrittsfenster der Röhre außerordentlich stark wächst. Dazu werden die verschiedenen Röhrenexemplare erhebliche Abweichungen zeigen wegen der vorläufig kaum vermeidbaren Absorptionsunterschiede in den Fenstern.

Für die biologische Dosierung wird wichtig sein, ob die Haut an verschiedenen Körperstellen bzw. an verschiedenen Versuchspersonen stark verschieden reagiert. Bei unseren bisherigen, an Zahl geringen Versuchen hat sich eine starke Unterschiedlichkeit nicht gezeigt, dagegen ergab eine zwei Tage vorher erfolgte Vorbestrahlung mit Ultraviolett mit verschiedenen Intensitäten eine sehr erhebliche Verstärkung des Grenzstrahlenerythems gegenüber den nicht vorbestrahlten Hautstellen.

Wie die Kurven der Abb. 1 zeigen, steigt das Grenzstrahlenerythem mit wachsender eingestrahlter Energie ähnlich wie das Erythem nach kurzwelliger Ultravioletttbestrahlung beispielsweise von 254 mμ, während wohl mit Recht angenommen werden kann, daß das Röntgenstrahlenerythem sich in dieser Hinsicht ähnlich wie das nach relativ langwelliger Ultraviolettbestrahlung verhält. Man könnte versucht sein, diese Ähnlichkeit auf die parallel gehenden Absorptionsverhältnisse zurückzuführen. Soweit aber die vorliegenden Absorptionsmessungen des ultravioletten Lichtes in der Haut durch Hasselbalch und in unserem Laboratorium einen Vergleich mit der berechneten Absorption der von uns benutzten Grenzstrahlung

gestatten, muß man annehmen, daß die letzte viel durchdringungsfähiger ist als das langwelligste in den Versuchen benutzte Ultraviolett.

Für diese größere Durchdringungsfähigkeit der Grenzstrahleng spricht auch der zeitliche Verlauf der Erythembildung. Das Erythem zeigt sich auch bei geringen Dosen schon einige Stunden nach der Bestrahlung und bleibt dann für recht lange Zeit der Größenordnung nach konstant. Bei den mittleren und größeren der von uns angewandten Intensitäten ergibt sich aber nach etwa einem Monat noch ein sehr erheblicher Anstieg, der mit einer merklichen Schwellung verknüpft ist.

Zusammenfassung.

1. Es wird per analogiam mit langwelligem Ultraviolett wahrscheinlich gemacht, daß das Röntgenerythem mit wachsender Dosis nach einem ausgesprochenen Schwellenwert steil ansteigt; dadurch erklärt sich die gute Genauigkeit der Hauterythemdosis als biologisches Maß der Röntgenstrahlenwirkung.

2. Es wird durch Versuche gezeigt, daß im Gegensatz hierzu das Grenzstrahlenerythem mit wachsender Dosis langsam ansteigt. Die Übernahme der H.E.D. als biologisches Maß für die Grenzstrahlentherapie würde deshalb eine bedenkliche Fehlerquelle mit sich bringen.