



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 252 457 A1

4(51) G 06 F 15/42

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 06 F / 293 682 5

(22) 15.08.86

(44) 16.12.87

(71) Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Schwaansche Straße 2, Rostock, 2500, DD

(72) Stoll, Regina, Dr. med.; Stoll, Norbert, Dr.-Ing., DD

(54) Verfahren zur extrapolativen Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme eines menschlichen oder tierischen Organismus' unter den Bedingungen submaximaler Belastungen. Das Ziel der Erfindung ist ein Verfahren zur indirekten extrapolativen Ermittlung der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Bearbeitung des Problems bei geringem Aufwand unter Einbeziehung elektrischer Digitalrechner vorzunehmen, stellt eine Aufgabe der Erfindung dar, wobei auf gebräuchliche Parameter zur Untersuchung der allgemeinen physischen Leistungsfähigkeit zurückgegriffen wird. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Bestimmung des Sauerstoffaufnahmemaximums die Gasstoffwechselgrößen Sauerstoff und Kohlendioxid über ein kombiniertes Transformations-Regressions-Verfahren durch nichtlineare Funktionen beschrieben und zur Extrapolation angewendet werden. Die Erfindung kann in der Medizin und der Biologie eingesetzt werden.

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTSCHRIFT

(19) **DD** (11) **252 457 A1**

4(51) G 06 F 15/42

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 06 F / 293 682 5

(22) 15.08.86

(44) 16.12.87

(71) Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Schwaansche Straße 2, Rostock, 2500, DD

(72) Stoll, Regina, Dr. med.; Stoll, Norbert, Dr.-Ing., DD

(54) **Verfahren zur extrapolativen Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme eines menschlichen oder tierischen Organismus' unter den Bedingungen submaximaler Belastungen. Das Ziel der Erfindung ist ein Verfahren zur indirekten extrapolativen Ermittlung der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Bearbeitung des Problems bei geringem Aufwand unter Einbeziehung elektrischer Digitalrechner vorzunehmen, stellt eine Aufgabe der Erfindung dar, wobei auf gebräuchliche Parameter zur Untersuchung der allgemeinen physischen Leistungsfähigkeit zurückgegriffen wird. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Bestimmung des Sauerstoffaufnahmemaximums die Gasstoffwechselgrößen Sauerstoff und Kohlendioxid über ein kombiniertes Transformations-Regressions-Verfahren durch nichtlineare Funktionen beschrieben und zur Extrapolation angewendet werden. Die Erfindung kann in der Medizin und der Biologie eingesetzt werden.

ISSN 0433-6461

5 Seiten

Zur PS Nr. 252 457

ist eine Zweitschrift erschienen.

(Teilweise bestätigt gem. § 18 Abs. 1 d. Änd.Ges.z.Pat.Ges.)

Erfindungsanspruch:

1. Verfahren zur extrapolativen Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme eines Organismus', **gekennzeichnet dadurch**, daß zur Ermittlung des Prognosewertes $VO_2(\max)$ die Meßwerte von Sauerstoffaufnahme VO_2 und Kohlendioxidabgabe VCO_2 von einem Digitalrechner über ein kombiniertes Transformations-Regressions-Verfahren in dem Problem angepaßte, analytische nichtlineare Ausgleichsfunktionen $VO_2(t)$ und $VCO_2(t)$ überführt sind und durch die Extrapolation auf den Zeitpunkt des Belastungsmaximums, für den das Ausbelastungskriterium des Respiratorischen Quotienten zugrunde gelegt ist, die maximale Sauerstoffaufnahme festgelegt ist, wobei unter Anwendbarkeit unterschiedlicher Belastungsmodelle der Belastungsabbruch im submaximalen Bereich erfolgt.
2. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als Ausgleichsfunktionen Exponentialfunktionen angewendet sind.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme eines menschlichen oder tierischen Organismus' unter den Bedingungen submaximaler Belastungen.

Das Verfahren ist für die Anwendung in der Medizin und der Biologie zur Untersuchung der allgemeinen physischen Leistungsfähigkeit eines Organismus' vorgesehen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die physische Leistungsfähigkeit eines Organismus' als Gesamtheit der quantitativen und qualitativen anwendungsbereiten Fähigkeiten zu motorischen Handlungen wird durch einen multifaktoriellen Ursachenkomplex determiniert. Die Prinzipien der Bestimmung der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit gehen auf die Messung von Beanspruchungsreaktionen des kardio-pulmonalen bzw. metabolischen Systems anhand aussagekräftiger Parameter bei definierten körperlichen Belastungen zurück.

Die hinsichtlich Objektivität und Reproduzierbarkeit am besten geeignete Belastungsform ist die positiv-dynamische Kurbelarbeit auf einem Fahrradergometer (HOLLMANN et al.: Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen über den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und Fahrradergometerbelastungen. Sportarzt und Sportmedizin 22 [1971], 123–134).

Bezüglich der meßbaren Beanspruchungsreaktionen gibt es ein breites Spektrum an aussagefähigen Parametern, wie z. B. das Herzschlagfrequenzverhalten (Arbeitspulsfrequenz, Ruhepulsfrequenz, Leistungspulsindex, Physical Working Capacity etc.), das Herzvolumen, der Säure/Basen-Status und der Sauerstoffverbrauch.

Insbesondere die maximale Sauerstoffaufnahme stellt eines der am häufigsten verwendeten Kriterien zur Bestimmung der aeroben Kapazität eines Organismus' dar (ISRAEL et al.: Die Beziehung zwischen Körpergewicht und Sauerstoffaufnahme. Med. Sport 5 [1965], 90–92).

Dieser Parameter weist im Gegensatz zu anderen der o. g. Größen relativ geringe intraindividuelle Streuungen auf und gibt die momentane körperliche Ausdauerleistungsfähigkeit mit großer Objektivität wieder.

Eine Voraussetzung zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme beim zu untersuchenden Individuum ist eine Vita-Maxima-Belastung.

Dieses Erfordernis schränkt den Anwendungsbereich der Methode ein, da es insbesondere bei älteren oder kranken Probanden nicht möglich ist, das gesamte Belastungsspektrum des Organismus' zu untersuchen.

Aus diesem Grunde gibt es Versuche, die maximale Sauerstoffaufnahme $VO_2(\max)$ eines Organismus' auch mit Hilfe submaximaler Belastungsuntersuchungen festzustellen.

Die heute angewendeten Methoden gehen i. allg. auf ein nomographisches Verfahren nach ASTRAND und RHYMING (A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. J. Appl. Physiol. 7 [1954], 218–221) zurück. Seine Nachteile sind dadurch bedingt, daß von einem nicht mit der Sauerstoffaufnahme unmittelbar verbundenen Parameter (Herzschlagfrequenz) auf diese rückgeschlossen wird. Dadurch überträgt sich die volle intra- und interindividuelle Variationsbreite des Herzschlagfrequenzverhaltens auf den Schätzwert der $VO_2(\max)$.

Darüber hinaus ist das ASTRAND/RHYMING'sche Nomogramm ohnehin nur für jugendliche Erwachsene zutreffend, da seine Entstehung auf einer Querschnittsuntersuchung einer entsprechenden Population beruht.

Ähnliches gilt für die bei STEGEMANN (Leistungsphysiologie. 3. überarbeitete Auflage, Thieme Verlag Stuttgart–New York 1984, S. 277) angegebene Formel, die im Gegensatz zum ASTRAND/RHYMING-Verfahren lediglich zusätzlich das Alter der Probanden berücksichtigt.

Auf Grund der genannten Nachteile sind diese — und andere analoge — Verfahren nur in der Lage, einen Überblick über die maximale Sauerstoffaufnahme innerhalb einer untersuchten Population zu geben, eine Relevanz für die Beschreibbarkeit der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit kann nicht abgeleitet werden.

Außerdem kann nicht von einer Vergleichbarkeit der gewinnbaren Ergebnisse mit denen über die von der WHO vorgeschlagenen Testform mit stufenförmiger Leistungssteigerung ermittelten $VO_2(\max)$ -Werte ausgegangen werden, da die Belastungsformen nach ASTRAND/RHYMING bzw. STEGEMANN Rektangulärtests darstellen.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist ein Verfahren, das — bei hohen Ansprüchen an seine Reliabilität, Validität und Vergleichbarkeit — zur indirekten extrapolativen Bestimmung der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme angewendet werden kann. Dabei soll auch bei submaximalen Belastungen eine geringe Fehlerbreite der Methode gewährleistet sein.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme unter standardisierten submaximalen Belastungsverhältnissen zu schaffen, das auf gebräuchliche Parameter zur Untersuchung der allgemeinen physischen Leistungsfähigkeit zurückgreift.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Bestimmung des Sauerstoffaufnahmemaximums neben den O₂-Meßgrößen die submaximal festgestellten Umsatzmengen der Gasstoffwechselgröße Kohlendioxid herangezogen werden.

Während einer physischen Belastung mit progressivem Belastungsprofil werden dazu kontinuierlich oder diskontinuierlich die Sauerstoffaufnahme- und die Kohlendioxidabgabe-Zeitverläufe registriert.

Die Zeitabhängigkeiten werden unter Zuhilfenahme eines ON-LINE- bzw. OFF-LINE-prozeßgekoppelten Digitalrechners in eine die funktionale Abhängigkeit hinreichend beschreibende Ausgleichsfunktion überführt.

Auf Grund der nichtlinearen Eigenschaften, insbesondere der statischen CO₂-Belastungs-Kennlinie, können keine linearen Ausgleichsmodelle angewendet werden. Um eine einfache mathematische Beschreibbarkeit mit der Möglichkeit zur Echtzeit-Meßwertverarbeitung kombinieren zu können, wird über ein kombiniertes Transformations-Regressions-Verfahren die Umsetzung von VO₂- und VCO₂-Meßwerte in nichtlineare Gleichungen

VO₂ = f(t) und

VCO₂ = f(t) überführt.

Für die standardisierten ergometrischen Belastungsformen in Gestalt stufenförmiger bzw. linearer Belastungssteigerung kann der folgende Lösungsansatz verwendet werden:

Hintransformation (Koordinatentransformation):

(VO₂(t),t) → (VO₂'(t),t) mit VO₂'(t) = ln(VO₂(t))

(VCO₂(t),t) → (VCO₂'(t),t) mit VCO₂'(t) = ln(VCO₂(t))

Bestimmung der Koeffizienten der transformierten linearen Ausgleichsfunktionen:

$$A' = (N \cdot \sum t \cdot VO_2'(t) - \sum t \cdot \sum VO_2'(t)) / (N \cdot \sum t^2 - (\sum t)^2)$$

$$B' = (\sum VO_2'(t) - A' \cdot \sum t) / N$$

mit N: Anzahl der Wertepaare
(VO₂'(t),t)

$$C' = (M \cdot \sum t \cdot VCO_2'(t) - \sum t \cdot \sum VCO_2'(t)) / (M \cdot \sum t^2 - (\sum t)^2)$$

$$D' = (\sum VCO_2'(t) - A' \cdot \sum t) / M$$

mit M: Anzahl der Wertepaare
(VCO₂'(t),t)

Rücktransformation (Koeffiziententransformation):

$\begin{array}{lcl} B' & & D' \\ e \longrightarrow & B & e \longrightarrow D \\ a \cdot A' \longrightarrow & A & c \cdot C' \longrightarrow C \end{array}$	und	
mit a, c: Respirationsgasspezifische Kennlinienkorrekturfunktionen		

Diesem Fall entsprechen die nichtlinearen Beziehungen

$$VO_2 = f(t) = B \cdot e^{A \cdot t} \quad \text{und} \quad VCO_2 = f(t) = D \cdot e^{C \cdot t}$$

Zur Schätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme VO₂(max) aus den Gleichungen wird von der Tatsache ausgegangen, daß unter ansteigender Belastung der Organismus verstärkt Milchsäure bildet, wobei im Interesse der Konstanz des pH-Wertes des Blutes CO₂ abgeatmet wird. Dabei nähert sich der sog. Respiratorische Quotient RQ, der das Verhältnis der Kohlendioxidabgabe VCO₂ zur Sauerstoffaufnahme VO₂ darstellt, dem Wert 1, während er im Ruhezustand des Organismus' mitunter kleinere Werte als 0,8 annimmt.

Damit ergeben sich für die o. g. Gleichungen die notwendigen Randbedingungen

$$A < C \text{ und } B > D.$$

Zum Zeitpunkt der maximal vom Organismus zu tolerierenden Belastung ist die maximale Sauerstoffaufnahme gegeben, der Respiratorische Quotient wird 1 (Ausbelastungskriterium!). Damit ist es möglich, die VO₂(max) durch Gleichsetzung der oben hergeleiteten Zeitfunktionen extrapolativ zu bestimmen. Es ergibt sich

$$t(\max) = (\ln D - \ln B) / (A - C) \quad \text{und} \quad A \cdot t(\max)$$

$$VO_2(\max) = B \cdot e.$$

Das Verfahren ist damit in weiten Grenzen belastungsmodellunabhängig; Die $V_{O2}(\max)$ -Prognose entspringt einem Meßvorgang am Untersuchungsobjekt und ist nicht aus empirischen Daten bestimmter Populationen abgeleitet, wodurch sich eine auch für das Individuum relevante Aussage ergibt.

Ausführungsbeispiel

Die erfindungsgemäße Lösung soll an Hand eines möglichen Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Figuren näher erläutert werden.

Bei einer spiroergometrischen Untersuchung (Fußkurbelarbeit im Sitzen; stufenförmiges Belastungsprofil — Startstufe: 50 Watt, Steigerung: 50 Watt/2 min.) wurden von einem Digitalrechner im ON-LINE-Betrieb die Signale der Sauerstoffaufnahme V_{O2} , der Kohlendioxidabgabe VC_{O2} sowie der Herzschlagfrequenz HSF von entsprechenden analysenmeßtechnischen Sensoren, die mit einer Versuchsperson verbunden kontinuierlich Meßwerte bereitstellten, registriert. Die Abtastrate bei der Erfassung der Meßdaten betrug 0,25 Hz. Mit dem hier beschriebenen Verfahren der extrapolativen Bestimmung der $V_{O2}(\max)$ (Figur 1) wurde eine Vita-Maxima-Prognose nach Belastungsabbruch im submaximalen Belastungsbereich erstellt, die aus dem Analysenprotokoll ersichtlich ist. Neben den Abbruch- bzw. Extrapolationswerten für V_{O2} , VC_{O2} und HSF sind für diese Parameter auch die zugehörigen Zeitfunktionen dargestellt.

SPIROERGOMETRIE (Analysenprotokoll)

VERSUCHTSPERSON, MÄNNLICH — 22 JAHRE

KH: 172 cm

KM: 62,8 kg

ANALYSENERGEBNISSE

PARAMETER-ZEIT-VERLÄUFE

HSF	=	10,572	*	T + 93,7402
V_{O2}	=	1,0208	*	EXP (0,124699 * T)
VC_{O2}	=	0,752724	*	EXP (0,159496) * T)

BELASTUNGSABBRUCH

T:	6:43	MIN	HSF:	164	/MIN
V_{O2} :	2,36	L/MIN	VC_{O2} :	2,20	L/MIN

VITA-MAXIMA-PROGNOSE

T:	8:45	MIN	HSF:	186	/MIN
V_{O2} :	3,04	L/MIN			

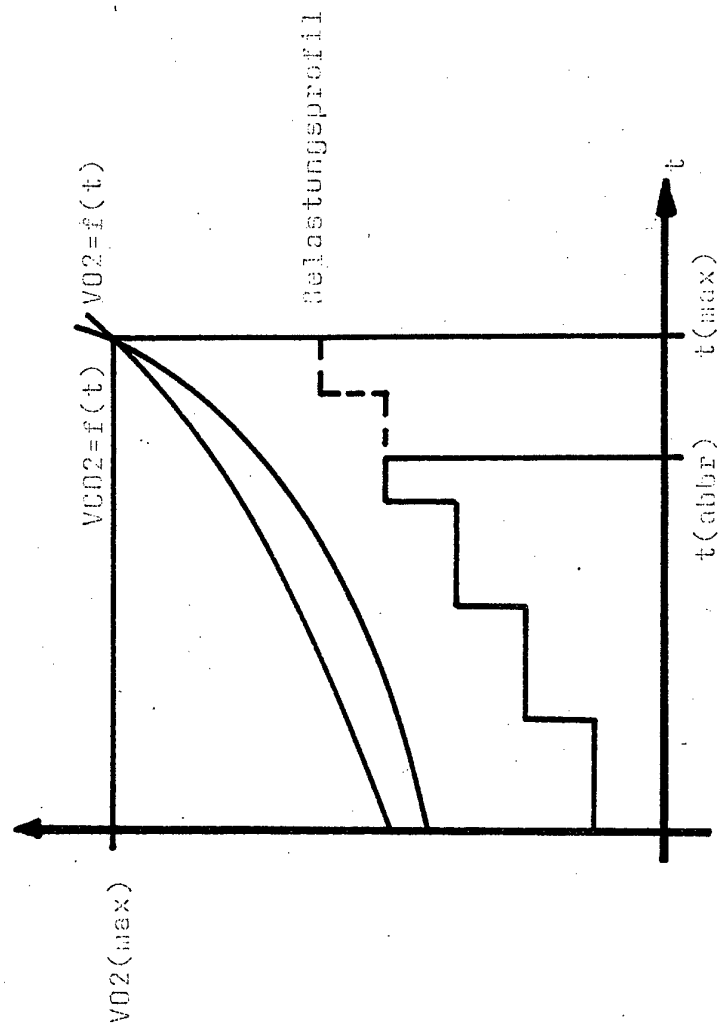


Fig. 1