

Originalien

Über die Frequenzbeziehung von Puls und Atmung im Kindesalter

H. Breithaupt, F.-J. Zerm †, H.-P. Bestehorn und G. Hildebrandt

Institut für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung (Direktor: Prof. Dr. G. Hildebrandt) der Universität Marburg/Lahn und Medizinische Forschungsstelle beim Bund der Waldorfschulen (Leiter: Dr. H. Matthiolius)

On the Relationship Between the Frequency of Pulse and Respiration in Children

Summary. Pulse and respiratory rate of 47 boarding-school pupils aged between 6 and 13 were measured 1-2-hourly over 24 h under normal daily conditions. Individual frequency ratios (pulse-respiration-quotients) were determined from each measurement and subjected to further analysis. The findings from a collective of 50 adults in another investigatory series served as a comparison. The results were as follows: A relative frequency coordination was found in children similar to that observed in adults. However, there was no evidence of the development of an individual norm value, such as in particular the 4:1 frequency ratio which generally applies to adults. Instead of this, the findings present a broader spectrum of preferred integral frequency ratios, containing differences according to the time of day and also a certain age dependency. The higher values during the trophotropic sleep period in comparison to the ergotropic waking period were particularly noticeable. A uniform concept of normalisation cannot be applied to this period of growth because of the lack of an interindividual norm value, although an increase in frequency coordination during the trophotropic sleep period was found for some age-groups. As far as the coordinative and correlative relationship between pulse and respiratory rate are concerned, puberty proved to be a phase of instability from a chronobiological standpoint as well.

Key words: Biological rhythms – Frequency coordination – Pulse rate – Respiratory rate – Children.

Zusammenfassung. An 47 Internats-Schulkindern im Alter von 6 bis 13 Jahren wurden 1- bis 2stündlich über 24 Std Puls- und Atemfrequenz unter normalen tagesrhythmischen Bedingungen gemessen. Es wurden von jeder Messung die individuellen Frequenzverhältnisse bestimmt (Puls-Atem-Quotient) und einer weiteren Analyse unterzogen. Die Befunde eines Kollektivs von 50 Erwachsenen aus anderen Untersuchungsreihen dienten zum Vergleich. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Eine relative Frequenzkoordi-

nation zwischen Puls und Atmung, wie sie bei Erwachsenen zu beobachten ist, konnte auch bei den Schulkindern gefunden werden. Dagegen scheint noch kein interindividueller Normwert, insbesondere nicht das für Erwachsene gültige Frequenzverhältnis von 4:1, zu bestehen. Vielmehr weisen die Befunde auf ein breiteres Spektrum von bevorzugten ganzzahligen Frequenzverhältnissen hin, wobei tageszeitliche Unterschiede und eine gewisse Altersabhängigkeit zu beobachten sind. Besonders auffallend waren hierbei die durchschnittlich höheren Werte während der trophotropen Schlafgegenüber der ergotropen Wachphase. Wegen des Fehlens eines interindividuellen Normwertes in dem untersuchten Alterszeitraum läßt sich ein einheitlicher Begriff der Normalisierung nicht auf diesen Altersabschnitt anwenden, obwohl in einigen Altersstufen eine Intensivierung der Frequenzkoordination während der trophotropen Schlafphase zu finden war. Bezüglich der koordinativen und der korrelativen Beziehungen zwischen Puls- und Atemfrequenz erwies sich die Pubertät auch chronobiologisch als eine Phase der Instabilität.

Schlüsselwörter: Biologische Rhythmen – Frequenzkoordination – Pulsfrequenz – Atemfrequenz – Kindesalter.

1. Einleitung

In den letzten Jahren wurde bei Mensch und Tier das geordnete Zusammenspiel einer Reihe rhythmischer Funktionen in Form einer mehr oder weniger strengen Frequenz- und Phasenkoordination näher bekannt. Dies hat zu der Vorstellung einer rhythmischen Funktionsordnung (Zeitgestalt) geführt (Übersicht und Literatur s. Hildebrandt, 1967; Sinz, 1978).

Während die langwelligen komplexen Rhythmen in der Regel in absoluter Koordination (Synchronisation) an Umwelt rhythmischen gekoppelt sind, ist im Bereich der kurzwelligen Rhythmen, die in der Frequenz modulierbar sind, nur eine relative Koordination zu beobachten (v. Holst, 1939). Der Grad dieser Koordination hängt von verschiedenen Bedingungen ab.

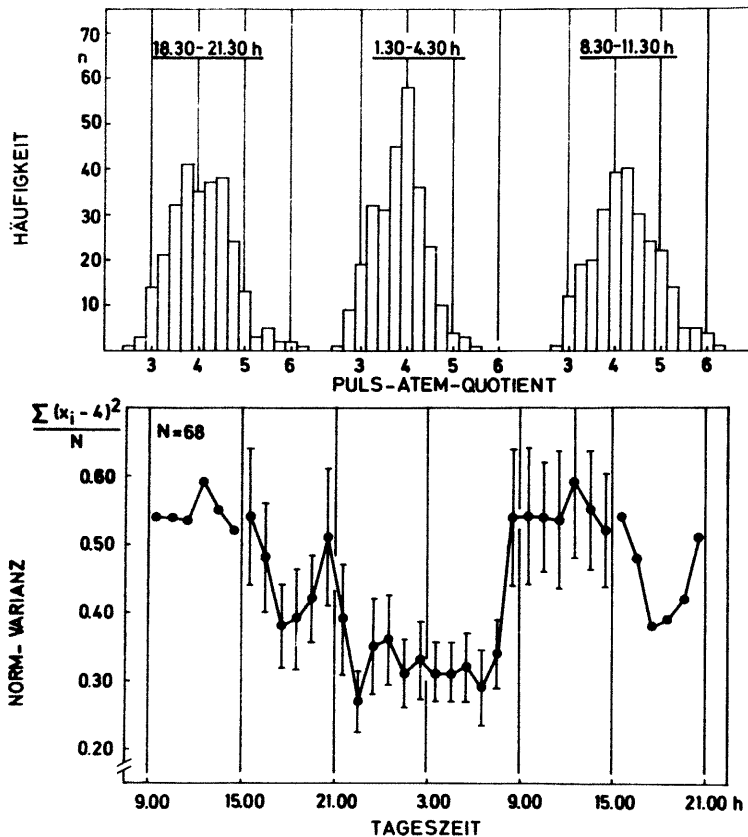


Abb. 1. Häufigkeitsverteilungen des Puls-Atem-Quotienten von 68 gesunden Vpn aus drei verschiedenen Tagesabschnitten (oben). Mittlerer Tagesgang der quadratischen Abweichung vom ganzzahligen Puls-Atem-Quotienten 4:1 (Norm-Varianz). Die Klammern geben den Bereich des Standardfehlers der Mittelwerte an (unten). (Aus Breithaupt et al., 1978)

Von den relativen Koordinationen sind beim Menschen am besten diejenigen von Kreislauf- und Atemrhythmen untersucht. So wurde gruppenstatistisch nachgewiesen, daß Puls und Atmung bevorzugt mit einem Frequenzverhältnis von 4:1 koordiniert sind (Hildebrandt, 1960). Verschiedene Untersuchungen ergaben, daß unter Ruhe- und Erholungsbedingungen, z. B. während des Schlafes oder bei zunehmend trophotroper Einstellung im Laufe von Kurbehandlungen, diese Koordination intensiviert wird (Hildebrandt, 1960, 1962a; Breithaupt et al., 1978). Abbildung 1 veranschaulicht diesen Sachverhalt. Häufigkeitsverteilungen des Frequenzverhältnisses zwischen Puls und Atmung (Puls-Atem-Quotient) zu verschiedenen Tageszeiten und der Tagesgang der Normvarianz, d. h. der mittleren quadratischen Abweichung des Puls-Atem-Quotienten vom Normverhältnis 4:1, lassen deutlich den bevorzugten Wert der Frequenzbeziehung und deren Normalisierung während der trophotropen Schlafphase erkennen.

Aber auch bei erschöpfender Belastung ist eine straffere Frequenzkoordination zwischen Puls und Atmung gefunden worden (Hildebrandt u. Daumann, 1965; vgl. dagegen Bräuer et al., 1973). Phasenkoordination zwischen Puls und Atmung ließ sich hingegen ausschließlich unter Ruhebedingungen beobachten (Stutte, 1967). Auch zwischen anderen Kreislauf- und Atemrhythmen werden bevorzugt ganzzahlige Frequenzverhältnisse eingehalten (Übersicht s. Hildebrandt, 1967).

Verschiedene Befunde weisen darauf hin, daß die Bedeutung dieser koordinativen Leistungen in der Stabilisierung und Optimierung von Regelvorgängen mit dem Ziel einer maximalen Funktionsökonomie liegt (Hildebrandt, 1960; Sinz, 1978).

Während bereits zahlreiche Untersuchungsergebnisse die Struktur der rhythmischen Funktionsordnung beim ausgebildeten Organismus erkennen lassen, liegen hinsichtlich der Ontogenese koordinativer Prozesse im allgemeinen und speziell der Frequenzkoordination von Puls und Atmung bisher nur wenige oder unzureichende Befunde vor (bzgl. der letzteren vgl. Brock, 1954; Garrow, 1969; Janke, 1974).

Die vorliegende Studie ist unseres Wissens die erste, bei der Puls- und Atemfrequenz simultan, und somit auch deren aktuelle Frequenzabstimmung im gesamten tagesrhythmischen Verlauf, bei Schulkindern zwischen 6 und 13 Jahren untersucht wurden. Sie wurde besonders im Hinblick auf die bei Erwachsenen regelmäßig gefundene nächtliche Normalisierung (Hildebrandt, 1960; Breithaupt et al., 1978) durchgeführt.

2. Methodik

Von Dezember 1970 bis März 1971 wurden bei gesunden Internatschülern¹ (24 Jungen, 23 Mädchen) Puls und Atmung über jeweils 24 Std 1- bis 2stündlich gemessen. Die Registrierung erfolgte mit einem Oszillographen nach Gesenius u. Keller (Fa. Speidel & Keller.

¹ An dieser Stelle sei für das großzügige Entgegenkommen der Freien Waldorfschule Benfeld bei der Durchführung der Untersuchungen gedankt

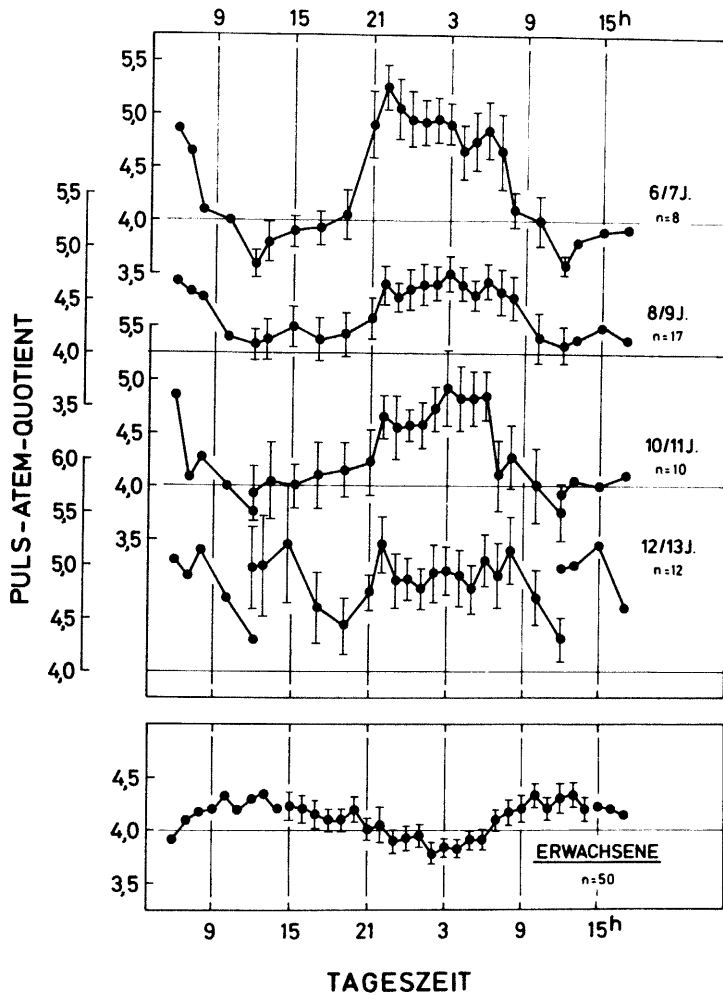


Abb. 2. Mittlere Tagesgänge des Puls-Atem-Quotienten von vier Altersgruppen der Schulkinder und von Erwachsenen. Die Klammern geben den Bereich des Standardfehlers der Mittelwerte an

Jungingen/Hohenzollern), der Puls- und Atemverlauf simultan aufgezeichnet. Der Manschettendruck, der vor der Messung 1–2 min ohne Schreibung zum Zwecke der Adaptation eingestellt wurde, betrug expiratorisch ca. 10 mm Hg. Die Messung wurde 2 min lang im Liegen nach einer vorausgehenden Ruhezeit im Liegen von etwa 5 min durchgeführt.

Die Untersuchungen fanden in zwei ruhig gelegenen Zimmern des Internats statt, die den Kindern vertraut waren und in denen sie während der Untersuchungen schliefen. Der gewohnte Tagesablauf wurde nicht geändert; nur an Unterrichtsstunden, die besondere körperliche Anstrengungen erforderten, nahmen die Kinder nicht teil. Die Meßtermine verteilten sich wie folgt: 12 Uhr (Untersuchungsbeginn), 13, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 und 12 Uhr (Untersuchungsende).

Während der nächtlichen Untersuchungen (Schlafenszeit je nach Altersstufe von 20 bis 7 Uhr bzw. von 22 bis 7 Uhr) blieben Puls- und Atemmanschetten angelegt. Störungen des Schlafverlaufes konnten dadurch weitgehend vermieden werden.

Puls- und Atemfrequenz wurden aus den Ozzillogrammen bis auf eine Dezimale genau ausgezählt. Bei der Bestimmung der Atemfrequenz wurden ggf. nur Kurvenabschnitte mit ungestörtem Atemverlauf verwendet. Die Ergebnisse der ersten und zweiten Meßminute wurden gemittelt. Die Frequenzverhältnisse ergaben sich durch Division der korrespondierenden Mittelwerte von Puls- und Atemfrequenz (Puls-Atem-Quotient).

Zum Vergleich wurden Befunde aus anderen Untersuchungsreihen unseres Instituts, die an 50 Erwachsenen (Alter: 19–35 Jahre) durchgeführt worden waren, ausgewertet. Bei diesen Untersuchungen wurden Puls- und Atemfrequenz fortlaufend unter konstanten Bedingungen in einer Klimakammer bei Betruhe und gleichmäßig

verteilter eiweißarmer Nahrungsaufnahme registriert. Zusätzlich wurden stündlich weitere Parameter gemessen, wozu die Vpn nachts geweckt werden mußten. Die individuellen Puls-Atem-Quotienten wurden hierbei bestimmt an Hand von Mittelwerten über je ein 15-Minuten-Intervall der Puls- bzw. der Atemfrequenz zwischen diesen stündlichen Meßzeiten.

3. Ergebnisse

3.1. Die Frequenzkoordination von Puls und Atmung

Bei der Betrachtung der individuellen Frequenzverhältnisse von Puls und Atmung (Puls-Atem-Quotient) im Tagesgang fiel besonders auf, daß beim größten Teil der Schulkinder nachts höhere Werte bestanden als am Tage. Abbildung 2 zeigt die mittleren Tagesgänge der Puls-Atem-Quotienten unserer Schulkinder, gruppiert nach vier Altersstufen. Zum Vergleich ist darunter der mittlere Tagesgang des Puls-Atem-Quotienten der Erwachsenenengruppe dargestellt.

Die nächtliche Erhöhung ist auch im Durchschnitt in allen Altersstufen der Schulkinder mehr oder weniger stark ausgeprägt. Das mittlere Tagesniveau liegt zwischen 4:1 und 5:1. Am höchsten ist es bei der Gruppe der 12- bis 13jährigen (s. Tabelle 1). Bei den Erwachsenen dagegen bewegen sich die Mittelwerte um

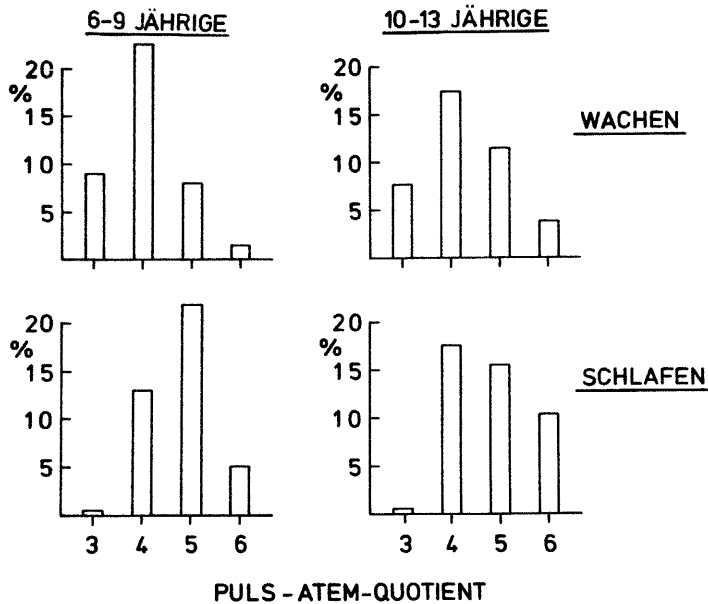


Abb. 3. Prozentuale Häufigkeiten ganzzahliger Puls-Atem-Quotienten (Klassenbreite $\pm 0,2$) der Wach- und Schlafphase, gruppiert nach zwei Altersstufen der Schulkinder

das Verhältnis 4:1 mit Maximalwerten während der Wachzeit und Minimalwerten während der Schlafperiode.

Zur Prüfung der Frage, inwieweit systematische Alterseinflüsse hierbei eine Rolle spielen, wurde bei den Schulkindern jeweils der Quotient zwischen dem mittleren Puls-Atem-Quotienten der individuellen Wachzeit und dem der individuellen Schlafzeit gebildet und mit dem Alter korreliert. Es ergab sich eine positive Korrelation auf dem 10%-Niveau der Signifikanz ($r=0,25$, $n=47$). Eine Gruppierung nach dem Geschlecht zeigte aber, daß dieses Ergebnis hauptsächlich auf das Konto der Mädchen ging (Mädchen: $r=0,35$, $n=23$; Jungen: $r=0,014$, $n=24$).

In Tabelle 1 sind die Durchschnittswerte der über die individuelle Wach- und Schlafzeit bzw. über die ge-

samte 24-Stunden-Periode gemittelten Puls-Atem-Quotienten für die vier Altersstufen zusammengestellt. Dabei fällt einerseits vor allem der starke Unterschied zwischen Wach- und Schlafwert bei den 6- bis 7-jährigen auf, die dicht bei den ganzzahligen Verhältnissen 4:1 und 5:1 liegen, andererseits die Annäherung beider Werte an ein Verhältnis nahe 5:1 bei den 12- bis 13-jährigen.

Zwischen Jungen und Mädchen zeigten sich in den Altersgruppierungen 6- bis 9-jährige und 10- bis 13-jährige für den mittleren Puls-Atem-Quotienten keine statistisch signifikanten Unterschiede.

In Abb. 3 sind die prozentualen Häufigkeiten ganzzahliger Werte des Puls-Atem-Quotienten (Klassenbreite $\pm 0,2$) für die individuellen Wach- und Schlafzeiten, aufgliedert nach zwei Altersstufen, dar-

Tabelle 1. Mittlerer Puls-Atem-Quotient (Q P/A) und mittlerer Variabilitätskoeffizient des Puls-Atem-Quotienten (VC) mit Standardabweichung der Wach-, Schlaf- und 24-Stunden-Periode in verschiedenen Gruppen

	n		Wachen		Schlafen		24 Stunden	
			m	s	m	s	m	s
6/7 Jahre	8	Q P/A	3,97	±0,38	4,97	±0,52	4,48	±0,45
		VC	13,2	±4,6	13,9	±2,3	13,5	±3,6
8/9 Jahre	17	Q P/A	4,21	±0,67	4,63	±0,54	4,41	±0,60
		VC	18,7	±3,8	14,1	±1,8	16,5	±3,1
10/11 Jahre	10	Q PA	4,05	±0,74	4,72	±0,64	4,39	±0,57
		VC	22,3	±3,8	16,1	±3,9	19,4	±4,9
12/13 Jahre	12	Q P/A	4,81	±0,82	4,92	±0,65	4,86	±0,68
		VC	22,5	±7,3	17,3	±2,1	20,1	±6,0
Gesamt	47	Q P/A	—	—	—	—	4,53	±0,59
		VC	21,0	±3,5	15,7	±0,9	18,9	±4,2
Erwachsene	50	Q P/A	—	—	—	—	4,08	±0,17
		VC	16,3	±0,9	14,2	±0,7	15,5	±1,3

n = Häufigkeit; m = Mittelwert; s = Standardabweichung; Q P/A = Puls-Atem-Quotient; VC = Variabilitätskoeffizient

gestellt. Es ist zu sehen, daß bei den 6- bis 9-jährigen während des Wachens das Verhältnis 4:1, während des Schlafens das Verhältnis 5:1 dominiert. Bei den 10- bis 13-jährigen ist dagegen sowohl während des Wachens als auch während des Schlafens das Verhältnis 4:1 am häufigsten, wobei sich aber nachts das Schwergewicht mehr zu den höheren Verhältniswerten verlagert.

Bei den Erwachsenen ist während trophotroper Phasen regelmäßig ein Rückgang der interindividuellen Varianz des Puls-Atem-Quotienten zu beobachten (s. Abb. 1, Hildebrandt, 1960, 1967; Breithaupt et al., 1978). Tabelle 1 bringt in dieser Hinsicht einen Vergleich zwischen den verschiedenen Altersgruppen der Schulkinder und der Gruppe der Erwachsenen. Es handelt sich dabei um Variabilitätskoeffizienten des Puls-Atem-Quotienten, die über die Wach- und Schlafphase sowie die gesamte 24-Stunden-Periode gemittelt wurden.

Zwischen den Gruppierungen Wachen und Schlafen besteht für die 8- bis 9-jährigen, die 10- bis 11-jährigen, das Gesamtkollektiv und die Erwachsenen ein hochsignifikanter Unterschied in gleicher Richtung. Für die übrigen Altersstufen ergaben sich keine statistisch signifikanten Differenzen. Bei den 6- bis 7-jährigen ist sogar eher eine Richtungsumkehr zu beobachten, d. h. der Variabilitätskoeffizient der Schlafphase liegt etwas über dem der Wachphase. Somit kann die für Erwachsene gefundene Regel der Varianzreduktion während trophotroper Phasen nicht generell auf alle Entwicklungsstufen übertragen werden.

Bei der Betrachtung der individuellen Tagesgänge und der Häufigkeitsverteilungen des Puls-Atem-Quotienten bestand der Eindruck, daß individuell bestimmte ganzzahlige Frequenzverhältnisse während der Wach- und Schlafphase bevorzugt werden. Es wurden daher die Abweichungen von dem individuell jeweils häufigsten ganzzahligen Wert für die Wach- und Schlafphase getrennt bestimmt. (Klassenbreite $\pm 0,1$.) Die Darstellung dieser Abweichungen in Form einer Häufigkeitsverteilung zeigt Abb. 4 für die Wach- und Schlafphase aller Vpn. Darunter sind die Häufigkeiten derjenigen individuellen Kombinationen ganzzahliger Frequenzverhältnisse der Wach- und Schlafphase angegeben, die der Bestimmung der Abweichung zugrunde gelegt wurden. Beide Histogramme bestätigen die Vermutung einer individuellen Bevorzugung ganzzahliger Frequenzverhältnisse. Auffallend ist aber deren besonders deutliche Ausprägung während der Wachphase.

3.2. Korrelative Beziehungen von Puls- und Atemfrequenz

Da Puls- und Atemfrequenz nicht nur koordinative Beziehungen unterhalten, sondern sich auch beide gemeinsam in Abhängigkeit von zunehmender Körpergröße und Körpergewicht verändern, (Mead, 1960; Wiesener, 1964), muß der Gesichtspunkt einer korrela-

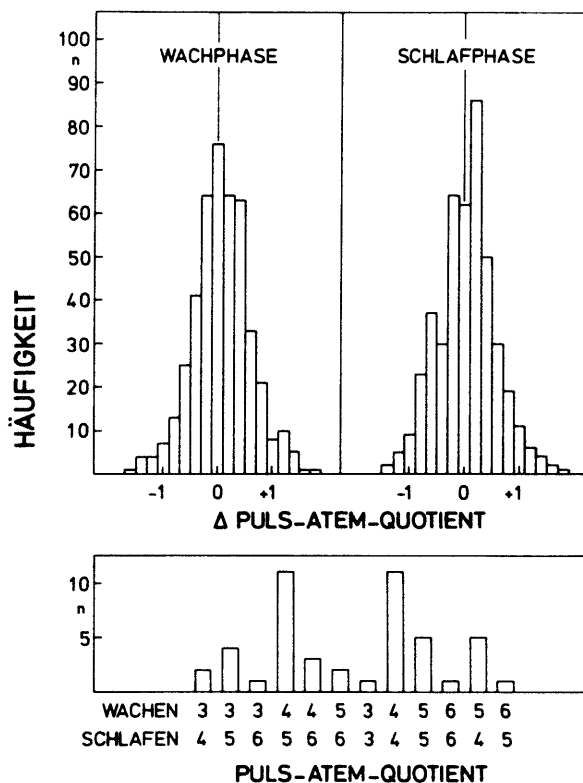


Abb. 4. Histogramme der Abweichungen vom individuell häufigsten ganzzahligen Puls-Atem-Quotienten der Wach- und Schlafphase. Darunter Häufigkeiten derjenigen Kombinationen von ganzzahligen Puls-Atem-Quotienten, die im individuellen Fall für die Wach- und die Schlafphase bestimmt wurden

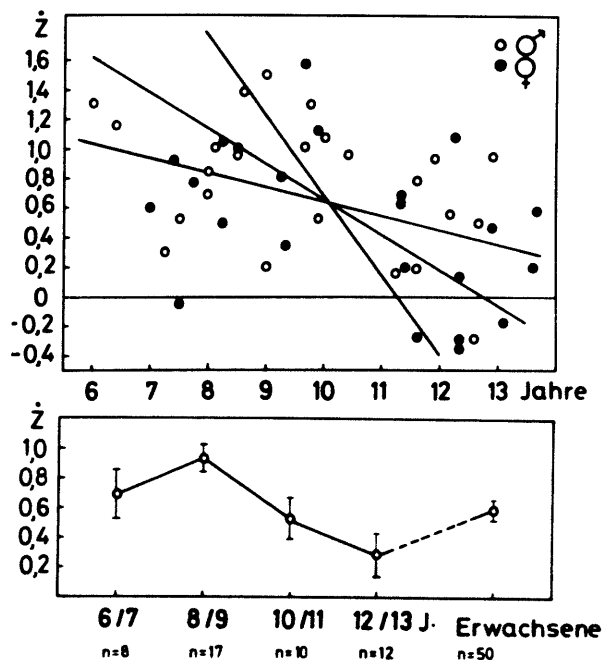


Abb. 5. Korrelation zwischen Lebensalter und z-transformierten Korrelationskoeffizienten Puls-Atmung (oben). Mittlere z-transformierte Korrelationskoeffizienten Puls-Atmung von vier Altersgruppen der Schulkinder und Erwachsenen (unten)

tiven Frequenzbeziehung zwischen diesen beiden rhythmischen Funktionen im Tagesgang und zunächst unabhängig von der Frage der ganzzahligen Frequenzkoordination geprüft werden.

Es wurden daher die Tagesgänge von Puls- und Atemfrequenz der Schulkinder und der Erwachsenen miteinander korreliert und die gewonnenen Koeffizienten nach z -Transformation mit dem Alter in Beziehung gesetzt. Wie Abb. 5 zeigt, ergab sich eine negative Korrelation ($r=0,44$, $p<0,001$). Der höchste z -Wert entspricht dabei einerseits einem positiven Korrelationskoeffizienten $r=0,917$, der niedrigste andererseits einem negativen $r=-0,329$.

Der Vergleich mit den entsprechenden z -Werten des Erwachsenenkollektivs ließ aber erkennen, daß diese lineare Korrelation eher eine grobe und wahrscheinlich nur für diesen Altersabschnitt gültige Annäherung ist. Bei der gemeinsamen Darstellung der mittleren z -Werte der vier Altersgruppen und des Erwachsenenkollektivs im unteren Teil der Abbildung wird dies besonders deutlich.

Diese Abschwächung der korrelativen Beziehung zwischen Puls- und Atemfrequenz im präpubertären und pubertären Alter läßt auf eine geringere gegenseitige Abstimmung beider Funktionen schließen. Möglicherweise hängt dies besonders mit einer Umschaltung der Atemrhythmik in diesem Entwicklungsabschnitt von einer mehr frequenzbetonten Reaktionsweise auf ergotrope Bedingungen bei jüngeren Kindern zu einer mehr amplitudenbetonten bei Erwachsenen zusammen (vgl. Abb. 2). Dies ist wahrscheinlich auf besondere anatomische und gewebstrukturelle Veränderungen der Respirationsorgane zurückzuführen (vgl. Otis et al., 1950; Widdicombe, 1963).

Eng verknüpft mit den korrelativen Beziehungen zwischen Puls- und Atemfrequenz sind offenbar auch die koordinativen. Die z -transformierten Korrelationskoeffizienten zeigten eine statistisch hochsignifikante Korrelation ($r=0,52$, $p<0,0002$) zu den individuellen mittleren Abweichungen von den ganzzahligen Bezugswerten des Puls-Atem-Quotienten (vgl. Kap. 2) bei unseren Schulkindern. Entsprechend fand sich auch eine statistisch signifikante Korrelation zwischen diesen Abweichungen und dem Alter ($r=0,35$, $p<0,02$).

4. Diskussion

Die interindividuell konvergierende Annäherung einer Funktionsgröße an einem Normwert innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes bezeichnet man als Normalisierung. Das Ausmaß einer solchen Normalisierung kann an der Abnahme der interindividuellen Streuung abgelesen werden (Hildebrandt, 1960). Im Falle der relativen Frequenzkoordination von Puls und Atmung hat sich bei verschiedenen Erwachsenenkollektiven das Frequenzverhältnis von 4:1 als Normwert erwiesen. Wie bereits erwähnt, ist die Normalisierung der Frequenzbestimmung von Puls und Atmung vorwiegend unter trophotropen Bedingungen, besonders

während des Schlafes, zu beobachten (vgl. Abb. 1; Hildebrandt, 1960, 1967; Breithaupt et al., 1978).

Legt man die wenigen aus der Literatur bekannten Befunde und Ergebnisse unserer Untersuchung zugrunde, dann ergibt sich für den von uns untersuchten Entwicklungsabschnitt noch kein bestimmtes ganzzahliges Verhältnis zwischen Puls- und Atemfrequenz als Normwert. Die Häufigkeitsverteilungen des Puls-Atem-Quotienten zeigen in diesen Altersklassen noch keine eindeutige Zentrierung auf einen bestimmten ganzzahligen Wert. Ihre Verlaufsform weist vielmehr – vor allem tageszeit- und altersabhängig – unterschiedliche Vorzugsgipfel auf, wobei die Streubreite in der Regel größer ist als bei Erwachsenen (vgl. Tabelle 1 und Janke, 1974). Die für die nächtliche Normalisierung typische Abnahme der interindividuellen Streuung, die bei Erwachsenen regelmäßig zu beobachten ist (vgl. Abb. 1), war bei den verschiedenen Altersgruppen unserer Schulkinder nicht einheitlich (vgl. Tabelle 1).

Unsere Untersuchungen ergaben demgegenüber eher das Vorliegen eines mehr oder weniger breiten, tageszeit- und altersspezifischen Spektrums an ganzzahligen Vorzugsfrequenzverhältnissen zwischen Puls und Atmung (vgl. Janke, 1974). Dies ist wohl auf die wegen der individuell unterschiedlichen Entwicklungsprozesse noch stark variierende Abstimmung zwischen Kreislauf- und Atmungssystem zurückzuführen. Das gilt aber offenbar nur für die Frequenzkoordination. Hinsichtlich der Phasenkoordination zwischen Herzschlag und Atmung scheinen nach den Untersuchungen von Engel et al. (1972) bereits ähnliche Verhältnisse wie im Erwachsenenalter vorzuliegen.

Die Abschwächung der koordinativen und korrelativen Beziehungen zwischen Puls- und Atemfrequenz während der Pubertätsphase (vgl. 3.2) ist möglicherweise eine Voraussetzung zur Ausbildung des interindividuellen Normwertes von 4:1 im Erwachsenenalter.

Zahlreiche Untersuchungen bei Erwachsenen haben gezeigt, daß der Puls-Atem-Quotient als Indikator für die vegetative Reaktionslage gewertet werden kann. Dabei hat sich empirisch ergeben, daß ein Puls-Atem-Quotient über 4 eine mehr ergotrope, ein Quotient unter 4 dagegen eine mehr trophotrope Reaktionslage anzeigt (Hildebrandt, 1962b).

Die Anwendung dieser Regel bei unseren Schulkindern erweist sich aber als problematisch, da die Mehrzahl der Tagesgänge einen zum Durchschnittsverlauf des Erwachsenen inversen Verlauf zeigt, wobei gerade in der trophotropen Schlafphase höhere Werte zu finden sind als während der ergotropen Wachphase (vgl. Abb. 1). Dies bestätigen auch weitgehend die aus den Daten von Biryukovich (1972a, b) abzuleitenden Puls-Atem-Quotient-Werte (Tabelle 2), wobei aber noch zu berücksichtigen ist, daß die Tageswerte während einer trophotropen Phase (Nachttagsschlaf) ermittelt worden sind. Abweichend sind nur die mit Ausnahme des 7. Lebensjahres deutlich niedrigeren Frequenzverhältnisse.

Zudem läßt das Fehlen eines interindividuell verbindlichen Normwertes in dieser Entwicklungsphase

Tabelle 2. Mittlerer Puls-Atem-Quotient während Tagesschlaf (12–16 Uhr) und während Nachtschlaf (22–4 Uhr) in verschiedenen Altersgruppen, berechnet nach Daten aus Biryukovich, 1972 a, b

Lebensalter	n	Puls-Atem-Quotient	
		12–16 Uhr	22–4 Uhr
Neugeborene	56	2,69	2,66
1–2 Monate	13	3,32	3,54
3–4 Monate	18	3,41	4,04
5–9 Monate	25	3,13	4,07
1 Jahr	21	4,41	4,19
2 Jahre	17	4,05	4,51
3 Jahre	20	4,06	4,55
4 Jahre	21	4,79	4,42
6 Jahre	28	4,78	4,14
8 Jahre m	16	3,47	3,79
w	15	3,79	3,99
10 Jahre m	20	3,80	3,84
w	24	3,32	4,04
12 Jahre m	21	3,84	3,97
w	20	3,52	4,32
14 Jahre m	15	–	3,91
w	22	4,08	4,57
16 Jahre m	8	–	3,56
w	17	–	3,81
18 Jahre w	10	–	4,23

n = Häufigkeit; m = männlich; w = weiblich

die Anwendbarkeit des für Erwachsene gültigen Normverhältnisses als fragwürdig erscheinen. Andererseits würde unter der Gültigkeit dieser Regel das hohe Puls-Atem-Quotient-Niveau der 12- bis 13jährigen die Untersuchungen von Laube et al. (1977) bestätigen, die gezeigt haben, daß während der Pubertätsperiode ein Überwiegen des Sympathikus besteht. Möglicherweise stellt gerade die Pubertät eine Entwicklungsphase dar, in der diese Regel, wenn auch unter entsprechendem Vorbehalt, schon anwendbar ist. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist jedenfalls, daß das ganzzahlige Frequenzverhältnis 4:1 gegenüber dem von 5:1 in dieser Zeit trotz hohem Durchschnittsniveau nachts bereits häufiger vorkommt (vgl. Abb. 3).

Zur näheren Klärung der gesamten angesprochenen Beziehungen und Fragen sind noch zahlreiche weitere Untersuchungen in dieser Periode und in den angrenzenden Abschnitten der kindlichen und jugendlichen Entwicklung erforderlich. Insbesondere wäre auch die Frage der Schlafstadienabhängigkeit der Frequenzkoordination durch kontinuierliche simultane Registrierung von Puls-, Atemfrequenz, EEG und EOG zu untersuchen (Jovanović, 1971; Koella, 1972).

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß hinsichtlich der Bedeutung der Koordination rhythmischer Funktionen für den Organismus eine genauere Kenntnis ihrer Entwicklungsgesetzmäßigkeiten und deren Beachtung im Zusammenhang mit medizinischen sowie pädagogischen Fragen von großer Wichtigkeit wäre, wobei auch die weiteren Bereiche der biologischen Rhythmen berücksichtigt werden sollten (Rutenfranz, 1979).

Literatur

- Biryukovich, A.A.: Changes in the frequency of cardiac contractions with the hour of the day in children from birth till 18 years of age (Izmenenie chastoty serdechnykh sokrashchenii po chasam sutok u detei ot rozhdeniia do 18 let). *Pedriatriia* **51**, 27–32 (1972a)
- Biryukovich, A.A.: Circadian rhythm of respiration frequency in children and adolescents (K voprosu o sutochnom ritme chastoty dykhanii u detei i podrostkov). *Gig. Sanit* **37**, 40–43 (1972b)
- Bräuer, D., Küchler, G., Wolburg, I.: Untersuchungen zur Koordination von Herzschlag und Atemfrequenz (Puls-Atem-Quotient) bei dynamischer Arbeit. *Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* **31**, 89–102 (1973)
- Breithaupt, H., Hildebrandt, G., Raschke, F.: Frequency coordination of pulse and respiration during sleep. 4th Europ. Congr. of Sleep Res., Tirgu-Mures/Rumänien 1978 (im Druck)
- Brock, W.: Biologische Daten für den Kinderarzt, Bd. I. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1954
- Engel, P., Jaeger, A., Hildebrandt, G.: Über die Beeinflussung der Frequenz- und Phasenkoordination zwischen Herzschlag und Atmung durch verschiedene Narkotika. *Arzneim. Forsch.* **22**, 1460–1468 (1972)
- Garrow, D.H.: Linking of cardiac and respiratory rhythm in newborn babies. *J. Physiol. (Lond.)* **203**, 86–87 (1969)
- Hildebrandt, G.: Die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung. *Z. Angew. Bäder- Klimaheilkd.* **7**, 533–615 (1960)
- Hildebrandt, G.: Biologische Rhythmen und ihre Bedeutung für die Bäder- und Klimaheilkunde. In: *Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde*, Amelung, W., Evers, A. (Hrsg.), S. 730–785. Stuttgart: Schattauer 1962a
- Hildebrandt, G.: Reaktionsprognostik in der Balneotherapie. *Arch. Phys. Ther.* **14**, 39–52 (1962b)
- Hildebrandt, G., Daumann, F.J.: Die Koordination von Puls- und Atemrhythmik bei Arbeit. *Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* **21**, 27–48 (1965)
- Hildebrandt, G.: Die Koordination rhythmischer Funktionen beim Menschen. *Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med.* **73**, 921–941 (1967)
- Holst, E.v.: Die relative Koordination als Phänomen und als Methode zentralnervöser Funktionsanalyse. *Ergeb. Physiol.* **42**, 228–306 (1939)
- Janke, H.-F.: Über die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung während des Nachtschlafes bei gesunden und hirngeschädigten Kindern. *Med. Inaug.-Diss., Marburg/Lahn* 1974
- Jovanović, U.J.: Normal sleep in man. Stuttgart: Hippokrates 1971
- Koella, W.: Physiologie des Schlafes. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer 1973
- Laube, W., Eckoldt, E., Krockner, B., Schubert, E.: Herzrhythmusuntersuchungen bei körperlicher Belastung im Kindesalter. *Med. Sport (Berlin)* **5**, 146–147 (1977)
- Mead, H.: Control of respiratory frequency. *J. Appl. Physiol.* **15** (3), 325–336 (1960)
- Otis, A.B., Fenn, W.O., Rahn, H.: Mechanics of breathing in man. *J. Appl. Physiol.* **2**, 592–607 (1950)
- Rutenfranz, J.: Kind und biologische Rhythmik. *Dtsch. Ärztl.* **6**, 355–360 (1979)
- Sinz, R.: Zeitstrukturen und organismische Regulation. Berlin: Akademie 1978
- Stutte, K.-H.: Untersuchung über die Phasenkopplung zwischen Herzschlag und Atmung beim Menschen. *Med. Inaug.-Diss., Marburg/Lahn* 1967
- Widdicombe, J.G.: Regulation of tracheobronchial smooth muscle. *Physiol. Rev.* **43** (1), 1–37 (1963)
- Wiesener, H.: Einführung in die Entwicklungsphysiologie des Kindes. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1964

Dr. H. Breithaupt
Institut für Arbeitsphysiologie
und Rehabilitationsforschung der Universität
Ketzlerbach 21 ½
D-3550 Marburg/Lahn