

Redaktion
M. Ptok, Hannover

M. Fuchs¹ · J. Oeken¹ · T. Hotopp¹ · R. Täschner² · B. Hentschel³ · W. Behrendt²

¹ Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde und Plastische Operationen (Direktor: Prof. Dr. F. Bootz), Universität Leipzig · ² Selbständige Abteilung für Phoniatrie/Pädaudiologie (Leiter: Prof. Dr. W. Behrendt), Universität Leipzig · ³ Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie (Direktor: Prof. Dr. M. Löffler), Universität Leipzig

Die Ähnlichkeit monozygoter Zwillinge hinsichtlich Stimmleistungen und akustischer Merkmale und ihre mögliche klinische Bedeutung*

Zusammenfassung

Es gibt Hinweise dafür, dass die Stimmen monozygoter Zwillinge hinsichtlich Stimmklang und Stimmleistungen gewisse Ähnlichkeiten aufweisen. Wir untersuchten in der vorliegenden phoniatischen Querschnittstudie die Verifizierbarkeit dieser Ähnlichkeiten und stellten die Hypothese auf, dass diese auch zu einer vergleichbaren Eignung für einen stimmintensiven Beruf führen.

Für die Identifikation von Stimmleistungsparametern und akustischen Merkmalen, bei denen sich monozygote Zwillingspaare signifikant ähnlicher sind als nicht verwandte Personen, erfolgte der Vergleich der Intrapaaardifferenzen mit denen einer Kontrollgruppe. Weiterhin untersuchten wir bei den monozygoten Zwillingen die Korrelation der Intrapaaardifferenzen mit dem Alter, wobei größere Differenzen bei den älteren gegenüber den jüngeren Individuen für die Wirkung äußerer Einflüsse sprechen würden. Dabei sollten in Ergänzung zu den wenigen phoniatischen Zwillingstudien in der Literatur auch aktuelle akustische Stimmanalysemethoden zum Einsatz kommen.

Wir untersuchten 7 Stimmleistungs- und 3 akustische Parameter bei 31 eineiigen Zwillingspaaren (medianes Alter: 36 Jahre, Minimum: 18 Jahre, Maximum: 75 Jahre) und verglichen sie mit 30 Paaren einer Kontrollgruppe, welche aus nicht verwandten Personen des gleichen Alters und Geschlechts aus

der Gruppe der monozygoten Zwillinge neu zusammengestellt wurde („statistische Zwillinge“).

Bei dem Vergleich mit den „statistischen Zwillingen“ fanden wir signifikante Unterschiede bei folgenden Parametern: physiologischer Stimmumfang, obere und untere Stimmumfangsgrenze, mittlere ungespannte Sprechstimmlage, Stimmstärke sowie bei der Anzahl der Teiltöne und dem Intensitätsvibrato. Keine signifikanten Unterschiede ergaben sich dagegen bei der Tonhaltedauer, dem Schwelltonvermögen und dem Tonhöhenvibrato. Bei keinem der untersuchten Parameter ergab sich eine Korrelation der Intrapaaardifferenzen mit dem Alter.

Die Stimmen monozygoter Zwillingspaare sind gegenüber nicht verwandten Personen in den genannten Eigenschaften signifikant ähnlicher. Daraus lassen sich Hinweise für eine vergleichbare Eignung für stimmintensive Berufe oder eine künstlerische Ausbildung der Stimme ableiten. Jüngere und ältere Zwillingspaare unterscheiden sich bezüglich der Differenzen nicht, was für einen größeren Einfluss genetischer gegenüber exogener Faktoren spricht.

Schlüsselwörter

Monozygote Zwillinge · eineiige Zwillinge · Stimmleistung · akustische Parameter · Ähnlichkeit von Stimmen

Es ist seit langem aus klinischer Erfahrung und der Literatur [16] bekannt, dass der Stimmklang eineiiger Zwillinge ähnlich ist. Unklar ist jedoch, in welchen Parametern und in welchem Ausmaß sich der Stimmklang und die Stimmleistungen bei monozygoten Zwillingen gleichen und ob diese Ähnlichkeit gegenüber nicht verwandten Personen messtechnisch erfassbar ist. Deshalb wollten wir die Frage untersuchen, ob sich der Einfluss genetischer von exogenen Faktoren auf die Stimme abgrenzen lässt und ob sich aus dieser größeren Ähnlichkeit Hinweise auf eine vergleichbare Eignung monozygoter Zwillinge für stimmintensive Berufe oder für eine künstlerische Ausbildung der Stimme ergeben.

Während Studien an Zwillingspaaren bereits seit mehreren Jahrzehnten

* Diese Studie ist Teil eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes (Be 1676/2-2) und wurde auszugsweise auf der 15. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (Göttingen, 1998) vorgetragen

Dr. M. Fuchs
Universität Leipzig, Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenkrankheiten und Plastische Operationen, Liebigstraße 18 a, 04103 Leipzig
E-Mail: fuchsm@server3.medizin.uni-leipzig.de

M. Fuchs · J. Oeken · T. Hotopp · R. Täschner
B. Hentschel · W. Behrendt

Similarity in monozygotic twins regarding vocal performance and acoustic features and their possible clinical relevance

Abstract

Auditory similarities in voices of monozygotic twins have already been described in the literature. However, is there a clinical relevance? Thus, the present study was designed to identify parameters of vocal performance and acoustic features which are significantly more similar in monozygotic twins than in non-related persons. In our hypothesis, comparable prerequisites for an increased vocal load in a profession or in an artistic education of the voice could be due to these similarities. We compared intra-pair differences with data from a control group. Moreover, we examined the correlation of intra-pair differences with the age of the monozygotic twins. A greater difference in older twin pairs than in younger pairs could show the effect of an exogene influence. In addition to the few phoniatric studies in twins in the literature, we used current methods for acoustic analysis. We examined seven parameters of vocal performance and three acoustic features in 31 monozygotic twin pairs (median age 36 years, range 18–75 years) and compared them with 30 control group pairs, which consisted of non-related persons of the same age and sex, newly combined from the group of monozygotic twins ("statistical twins"). We found significant differences in seven of ten parameters (vocal range, highest and lowest vocal fundamental frequency, fundamental speaking frequency, maximum voice intensity, number of partials, vibrato of intensity; *U*-test by Mann-Whitney). No correlation of the differences of the identical twins with age was found in the examined parameters. The voices of identical twins are significantly more similar than those of non-related persons regarding the above mentioned features. Thus, the suitability of the voices of monozygotic twins for professions with a high demand on voice is comparable. Results of the group comparison correlate largely with the literature. The missing correlation with age could be due to the fact that the environmental effects were not measurable, and/or the development of the voice is more influenced by genetic effects.

Keywords

Monozygotic twins · Identical twins · Vocal performance · Acoustic features · Similarity of voices

die Vererbung von Sprache und Sprachstörungen weitgehend erforscht haben [13], stellten schon Flach et al. [4] einen Mangel an entsprechenden Publikationen im Bereich der Stimmphysiologie fest. Fast 30 Jahre später beschrieb Sataloff [15] die Genetik der Stimme als ein faszinierendes Gebiet für Forschung und Spekulationen, aber in der Zwischenzeit fanden sich nur wenig neue Erkenntnisse in vereinzelt Studien.

Die ersten Untersuchungen des genetischen Einflusses auf die Stimme gehen auf Bernstein u. Schläper [2] im Jahr 1922 zurück, nach deren Erkenntnissen die Vererbung der Stimme und der Stimmgattung den Mendel-Gesetzen folgt. Schilling [16] veröffentlichte erstmals 1936 die Ergebnisse seiner stimmärztlichen Untersuchungen an 2 monozygoten Zwillingspaaren. Munding [14] zeigte in einer Studie an 116 Familien, dass der menschliche Stimmcharakter nicht als ein genetisches Merkmal bezeichnet werden kann, sondern aus dem Zusammenspiel mehrerer Faktoren resultiert, obgleich für jeden einzelnen Teil des Stimmapparats eine vererbare Merkmalslage vorhanden ist.

Gegenstand der Zwillingforschung waren immer sowohl morphologische Kriterien als auch Parameter des resultierenden Stimmschalls. Luchsinger [13] untersuchte die innere und äußere Larynxanatomie unter besonderer Berücksichtigung der Beschaffenheit der Stimmlippen und der Morgagnischen Ventrikel sowie der Konfiguration der Schildknorpelplatten. Flach et al. [4] führten Längenmessungen des Larynx und der Trachea durch. Beide Autoren konnten signifikante morphologische Übereinstimmungen bei monozygoten gegenüber dizygoten Zwillingspaaren nachweisen.

Auch bei der Beurteilung von Stimmleistungsparametern (physiologischer Stimmumfang, Stimmumfangsgrenzen, mittlere ungespannte Sprechstimmlage) sowie von Vitalkapazität

und Längenwachstum des Körpers beschrieb Luchsinger [13] eine größere Ähnlichkeit der eineiigen gegenüber den zweieiigen Zwillingen. Hartlieb [9] und Flach [4] fiel eine Konkordanz der unteren Stimmumfangsgrenze bei den eineiigen Zwillingen auf. Bezüglich der Klangfarbe vertrat Schilling [17] die Auffassung, dass eine völlige Gleichheit bei den Individuen eines monozygoten Zwillingspaars nicht bestehe. Dagegen zeigten subjektive Bewertungen beim Hören der eigenen Stimme und der des Zwillingpartners in einer Studie von Gedda et al. [7] Hinweise auf eine größere Ähnlichkeit des Stimmklangs bei eineiigen Zwillingen. Diese Ergebnisse konnten durch die sonographische Untersuchung der Teiltonanzahl und der Teiltonintensitäten durch Flach et al. [4] objektiviert werden.

Forrai et al. [5] nutzten die Analyse der Grundfrequenz und der Formantfrequenzen der Stimmen monozygoter und dizygoter Zwillingspaare, um die Aussagekraft bekannter Blutgruppenuntersuchungen bei der Unterscheidung zu erhöhen.

Sharma [20] untersuchte den Pubertätsverlauf eineiiger und zweieiiger Zwillinge beider Geschlechter und wies geringere Intrapairdifferenzen bei eineiigen Zwillingen bei der Entwicklung der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale nach, so auch beim Stimmwechsel. Daneben existieren in der aktuelleren Literatur verschiedene Veröffentlichungen über spezielle Krankheitsbilder bei einzelnen oder wenigen Zwillingspaaren, die auch pathologische Auswirkungen auf deren Stimme hatten.

Für eine umfassende Sichtweise auf die genetischen Zusammenhänge der Stimme müssen auch weiterführende Studien, beispielsweise über die Musikalität bei Zwillingen berücksichtigt werden. Dabei beschreiben Kalmus et al. [11] diesbezüglich einen größeren Einfluss durch Umweltfaktoren als durch eine genetische Determinierung. Nach Coon et al. [3] ist die Unfähigkeit, eine Melodie exakt zu intonieren, vererbbar und stellt eine autosomal dominante Symptomatik mit unvollständiger Penetranz dar.

Aufgrund der in der aufgezeigten Literatur beschriebenen Ähnlichkeit der Stimmen monozygoter Zwillinge stellen wir die Hypothese auf, dass sich Zwillinge in verschiedenen stimmlichen

Eigenschaften, beispielsweise in Merkmalen der Stimmleistung sowie in akustischen Parametern gleichen. Dies wäre aus klinischer Sicht für die Frage nach einem vergleichbaren Grad der Eignung für eine erhöhte stimmliche Belastung oder künstlerische Ausbildung der Stimmen monozygoter Zwillinge relevant: Im Falle der Bestätigung der Hypothese könnten diese signifikant ähnlichen Stimmleistungen und akustischen Merkmale auch zu einer vergleichbaren stimmlichen Belastbarkeit bei beruflichen sowie außerberuflichen Tätigkeiten führen. Diese Fragestellung wurde unseres Wissens bis jetzt jedoch noch nicht bearbeitet. Deshalb verglichen wir Stimmleistungsparameter und akustische Merkmale von stimmgesunden monozygoten Zwillingspaaren mit einer Kontrollgruppe.

Weiterhin untersuchten wir bei den monozygoten Zwillingen die Korrelation der Unterschiede zwischen den beiden Individuen eines Zwillingspaars (Intrapaardifferenzen) mit dem Alter. Für die Beeinflussbarkeit der gemessenen Parameter durch exogene Faktoren würden größere Differenzen bei den älteren Zwillingspaaren gegenüber den jüngeren Individuen sprechen.

Material und Methoden

Probanden, Einschlusskriterien und anamnestische Daten

Wir untersuchten in einer Querschnittstudie 31 monozygote Zwillingspaare mit einem medianen Alter von 36 (18–74) Jahren. Alle Probanden sind Mitglieder des „Zwillingsclubs Werdau 1986 e. V.“ und nahmen freiwillig an der Studie teil. Es handelte sich um 11 männliche und 20 weibliche Paare, deren Zygosität mittels serologischer und molekulargenetischer Methoden durch das Institut für Rechtsmedizin der Universität Leipzig (komm. Direktor: Prof. Dr. R. Vock) verifiziert wurde.

Einschlusskriterien waren normale Befunde bei der otorhinolaryngologischen und phoniatischen Untersuchung des gesamten Stimmapparats sowie vergleichbare Lebensumstände. Ausgeschlossen wurden Zwillingspaare, bei denen nur einer der Zwillinge eine Gesangs- oder Stimmbildung absolviert hatte oder durch seine berufliche

Tätigkeit eine wesentlich höhere stimmliche Belastung aufwies. Im Detail wurden folgende anamnestische Daten erhoben:

- Eigenanamnese (aktuelle und frühere Allgemeinerkrankungen, Erkrankungen im HNO-Bereich und deren Therapie),
- hormonelle Einflüsse (Menarche, Menstruation, Menopause, Graviditäten),
- Medikamente (Kontrazeptiva, Anabolika, Antihypertonika, Psychopharmaka ect.),
- Nikotin bzw. Alkohol,
- Beruf (Staub-, Rauch-, Schadstoffbelastung, Lärmbelastung, Temperaturschwankungen am Arbeitsplatz),
- stimmliche Entwicklung (Mutation, Mitgliedschaft in Laienchören und -theatergruppen),
- sonstige exogene Belastungen (Schwerhörigkeit oder Heiserkeit in der Umgebung, psychische Belastung).

Parameter der Stimmleistung

Wir untersuchten folgende Parameter der Stimmleistung:

- mittlere ungespannte Sprechstimm-lage,
- physiologischer Stimmumfang,
- obere Stimmumfangsgrenze,
- untere Stimmumfangsgrenze,
- Tonhaltedauer,
- Stimmstärke,
- Ausprägung des Schwelltonvermögens.

Die Ermittlung der mittleren ungespannten Sprechstimm-lage erfolgte durch den auditiven Vergleich der gesprochenen Tonhöhe beim Zählen mit Hilfe eines Klaviers in Halbtönen. Für die Transformation in Hertz verwendeten wir eine akustische Frequenzanalyse ($a' = 440$ Hz). Der physiologische Stimmumfang in Halbtönen und die Stimmumfangsgrenzen in Hertz wurden mit Hilfe von gesungenen Vokalisen und zusätzlich aus dem Singstimmfeld bestimmt.

Die Messung des Stimmfelds erfolgte mit dem halbautomatischen Rekorder „TUR SF02“ nach den Empfehlungen für die Standardisierung der Stimmfeldmessung der „Union Europäischer Phoniater“ (UEP) [18]. Der Abstand zwi-

schen Lippen und Mikrofon betrug einheitlich 30 cm.

Für die Ermittlung der Tonhaltedauer wurde der Proband aufgefordert, einen Ton in seiner mittleren ungespannten Sprechstimm-lage in moderater Lautstärke auf „na“ so lange wie möglich zu intonieren. Dabei bildeten wir den Mittelwert von 3 Messungen und registrierten das Ergebnis in Sekunden. Die Messung der Stimmstärke in dB erfolgte mit dem Präzisionsimpulsschallpegelmessgerät 24 (RFT, Robotron Messelektronik Dresden).

Für die Ermittlung der Ausprägung des Schwelltonvermögens wurde der Proband aufgefordert, einen Ton in seiner mittleren ungespannten Sprechstimm-lage auf „na“ zu intonieren und dabei im Pianissimo einzusetzen, zu einem Fortissimo zu kreszendieren und anschließend wieder ein Decrescendo zur Ausgangslautstärke auszuführen. Wir beurteilten die Fähigkeit zu dieser diffizilen stimmlichen Leistung in einer dreistufigen Skala: Ausprägung: keine – mittelgradig – voll, wobei die höchste Stufe dem Können einer ausgebildeten Sängerstimme entsprach und die niedrigste Stufe die völlige Unfähigkeit einer dynamischen Modulation repräsentierte.

Akustische Parameter

Weiterhin erfolgte die Analyse von 3 akustischen Parametern eines ausgehaltenen Tons in der mittleren ungespannten Sprechstimm-lage:

- Anzahl der Teiltöne,
- Intensitätsvibrato,
- Tonhöhenvibrato.

Sowohl das Teiltonspektrum als auch das Vibrato stellen typische akustische Merkmale einer Stimme dar. Wir bestimmten die Teiltonanzahl aus einer Fourier-Analyse und die mittleren Tonhöhen- und Lautstärkenschwankungen mit Hilfe des Programms CSL (KAY Elemetrics Corp., USA) anhand eines in der mittleren ungespannten Sprechstimm-lage auf „na“ ausgehaltenen Tons von mindestens 5 s und bildeten wiederum die Mittelwerte aus 3 Messungen. Der Abstand zwischen Lippen und Mikrofon betrug auch hier einheitlich 30 cm.

Tabelle 1

Beobachtete Übereinstimmung der anamnestischen Daten bei den monozygoten Zwillingspaaren

Anamnestischer Parameter	Beobachtete Übereinstimmung/ ausgewertete Zwillingspaare
<i>Eigenanamnese</i>	
Allgemeinerkrankungen	26/31
HNO-Erkrankungen	24/31
<i>Hormonelle Einflüsse</i>	
Menarche	17/20 ^a
Menstruation	18/20 ^a
Menopause	18/20 ^a
Graviditäten	15/20 ^a
<i>Medikamente</i>	
Kontrazeptiva	14/20 ^a
Antihypertensiva	27/31
Anabolika	31/31
Sonstige Medikation	27/31
<i>Nikotin / Alkohol</i>	
Nikotin	28/31
Alkohol	29/31
<i>Exposition am Arbeitsplatz</i>	
Lärmbelastung	31/31
Staubbelastung	31/31
Temperaturschwankungen	30/31
<i>Stimmliche Entwicklung</i>	
Mutation	14/14 ^b
Mitgliedschaft in Laienensembles	31/31
<i>Exogene Faktoren im Umfeld</i>	
Heiserkeit im Umfeld	31/31
Schwerhörigkeit im Umfeld	30/31
Psychische Belastung	31/31

^a Anzahl der weiblichen Zwillingspaare

^b Anzahl der Zwillingspaare mit Angaben zur Mutation

Statistische Auswertung

Für jeden Parameter wurden die Differenzen zwischen den erhobenen Werten des 1. und des 2. Zwillings ermittelt. Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen den so erhaltenen Differenzen und dem Alter wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet.

Für den Vergleich der Differenzen der monozygoten Zwillinge und der Differenzen nicht verwandter Personen erfolgte durch individuelles „Matching“ die Bildung neuer Paare. Dabei wurde einem Zwilling eines Paares eine nicht verwandte Kontrollperson aus der Gruppe der 2. Zwillinge nach festgelegten Kriterien zu-

geordnet [12]. Zuordnungskriterien waren Alter (Schwankungsintervall ± 6 Monate), Geschlecht und Lebensbedingungen.

Aus dem Personenkreis aller eineiiger Zwillinge wurden so neue Paare zusammengestellt, die im Folgenden als „statistische Zwillinge“ bezeichnet werden. Das heißt, wir bildeten eine Vergleichsgruppe aus dem gleichen Personenkreis der eineiigen Zwillingspaare, wobei gleichaltrige, gleichgeschlechtliche Personen, die nicht verwandt sind, zu statistischen Paaren neu zusammengestellt wurden, und bezeichneten sie im Folgenden als „statistische Zwillinge“.

Der Vergleich der Differenzen erfolgte mit dem U-Test nach Mann-Whit-

ney, da bei allen geprüften Parametern keine Normalverteilungen vorlagen (Kolmogorov-Smirnov-Test). Es wurde auf einem Signifikanzniveau von 5% unter Beachtung der α -Adjustierung nach Bonferroni getestet. Die statistische Aufarbeitung erfolgte mit dem Programm SPSS® für Windows™, Version 7.5.

Ergebnisse

Zygotität

Bei den serologischen und molekulargenetischen Untersuchungen zur Zygotität konnten die 33 Zwillingspaare durchgängig in allen Systemen typisiert werden. Es ließ sich eine vollständige genetische Merkmalsübereinstimmung feststellen.

Altersverteilung

In der Gruppe der eineiigen Zwillinge imponierte eine bimodale Altersverteilung mit 2 Altersgipfeln bei 30 und 55 Jahren.

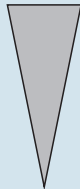
Anamnestische Daten

In Tabelle 1 ist die beobachtete Häufigkeit der Übereinstimmung der anamnestischen Daten bei den eineiigen Zwillingen dargestellt. Dabei fand sich eine weitgehende Konkordanz. Bei der Auswertung interessierte in erster Linie, ob sich 1. und 2. Zwilling in dem jeweiligen Parameter gleichen und nicht die Ausprägung der Merkmale. So wurde beispielsweise als Übereinstimmung gewertet, wenn beide Zwillinge in vergleichbaren Maße rauchten oder wenn beide Individuen nicht rauchten. Dagegen war für die Auswertung nicht relevant, wieviel der von uns untersuchten Zwillingspaare insgesamt rauchten.

Die fehlende Konkordanz bei den allgemeinen Erkrankungen ergab sich in allen 5 Fällen durch pathologische Veränderungen, die sich nicht auf das Stimmorgan oder die Stimmleistung auswirkten (z. B. Traumata der Extremitäten, Cholezystolithiasis). Bei den 7 nicht übereinstimmenden Fällen bei den Erkrankungen im HNO-Gebiet handelte es sich in 5 Fällen um einen Zustand nach Tonsillektomie und jeweils in einem Fall um eine chronische Sinusitis maxillaris bzw. eine Otitis media chronica, die nur einen der beiden Zwillinge betrafen.

Tabelle 2

Errechnete Differenzen der Parameter bei den monozygoten und statistischen Zwillingen, Signifikanz der Unterschiede (U-Test nach Mann/Whitney)

Parameter (Intrapaardifferenz)	Monozygote Zwillingspaare Median (Range)	Statistische Zwillingspaare Median (Range)	p-Wert	Signifikanz	
Stimmumfang [Halbtöne]	2 (0–7)	8 (0–14)	<0,001		
Intensitätsvibrato [dB]	1,3 (0,02–27,5)	5,3 (0,29–27,1)	<0,001		
Untere Stimmumfangsgrenze [Hz]	2 (0–5)	5 (0–16)	<0,001		
Mittlere ungespannte Sprechstimmlage [Hz]	1 (0–4)	2 (0–9)	0,002		
Anzahl der Teiltöne	2 (0–10)	5,5 (0–12)	0,002		
Stimmstärke [dB]	1,4 (0–17,0)	3,0 (0–31,0)	0,007 ^a		
Obere Stimmumfangsgrenze [Hz]	2 (0–5)	3 (0–8)	0,019 ^a		
Schwelltonvermögen [Ausprägungsgrad]	0 (0–1)	1 (0–2)	0,140		Keine Signifikanz
Tonhöhenvibrato [Hz]	3,0 (0–21,0)	3,5 (0–26,0)	0,532		Keine Signifikanz
Tonhaltedauer [s]	5 (0–13)	4 (0–18)	0,766		Keine Signifikanz

^a Unter Beachtung der α -Adjustierung nach Bonferroni grenzwertig signifikante Differenzunterschiede

Bei der Auswertung der Angaben zu hormonellen Einflüssen und der Einnahme von Kontrazeptiva wurden nur die 20 weiblichen Zwillingspaare ausgewertet. Fehlende Übereinstimmungen ergaben sich hierbei aus unterschiedlichen Zeitpunkten der Menarche bzw. Menopause und aus verschiedenen häufigen Schwangerschaften.

Bezüglich der stimmlichen Entwicklung konnten nur 14 Patienten Angaben zum Zeitpunkt und Verlauf der Mutation machen. Dabei handelte es sich um alle 11 männlichen und um 3 weibliche Zwillingspaare. Für alle restlichen Parameter wurden die Aussagen aller 31 Paare ausgewertet.

Stimmeleistung und akustische Parameter

Bei der Bestimmung des physiologischen Stimmumfangs und der Stimmumfangsgrenzen fanden sich bei allen Probanden bei der Bestimmung mittels Vokalisieren und aus dem Singstimmfeld übereinstimmende Werte.

Im Vergleich der Differenzen mit den „statistischen Zwillingen“ ergaben sich bei 7 von 10 Parametern signifikante Unterschiede (Tabelle 2). Unter Beachtung der α -Adjustierung nach Bonferroni müssen jedoch die Differenzunterschiede bei der Stimmstärke und bei der oberen Stimmumfangsgrenze als grenzwertig signifikant betrachtet werden. Dagegen fanden sich besonders hohe Signifikanzen bei Stimmumfang, Inten-

sitätsvibrato und unterer Stimmumfangsgrenze. Die Ausnahmen bildeten die Tonhaltedauer, das Schwelltonvermögen und das Tonhöhenvibrato, bei denen keine signifikanten Unterschiede nachweisbar waren.

In Abb. 1 sind die Differenzunterschiede für ausgewählte Parameter anhand von Boxplots dargestellt. Dabei entspricht die innere Linie des Kastens dem Median, der untere Rand dem 25., der obere dem 75. Perzentil, wobei 50% der Fälle Werte innerhalb des Kastens haben. Die Länge der vertikalen Linie zeigt an ihren Enden den kleinsten bzw.

größten beobachteten Wert an. Ausreißer (o) liegen 1,5 Kastenlängen, Extremwerte (*) 3 Kastenlängen vom 25. oder 75. Perzentil entfernt.

Bei keinem der untersuchten Parameter fand sich eine Korrelation der Differenzen der eineiigen Zwillinge mit dem Alter (Tabelle 3).

Diskussion

Die Ergebnisse bestätigen unsere Hypothese, dass die Stimmen monozygoter Zwillinge in verschiedenen Eigenschaften der Stimmeleistung (mittlere

Tabelle 3

Korrelation zwischen den Intrapaaardifferenzen und dem Alter (Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman) bei den monozygoten Zwillingspaaren

	Korrelationskoeffizient (r _s)	p-Wert
Stimmeleistungsparameter		
Mittlere ungespannte Sprechstimmlage	0,153	0,412
Physiologischer Stimmumfang	-0,062	0,742
Obere Stimmumfangsgrenze	0,066	0,725
Untere Stimmumfangsgrenze	-0,050	0,789
Tonhaltedauer	0,002	0,990
Stimmstärke	-0,067	0,739
Ausprägung des Schwelltonvermögens	0,230	0,213
Akustische Parameter		
Tonhöhenvibrato	0,160	0,390
Intensitätsvibrato	-0,156	0,402
Anzahl der Teiltöne	-0,155	0,405

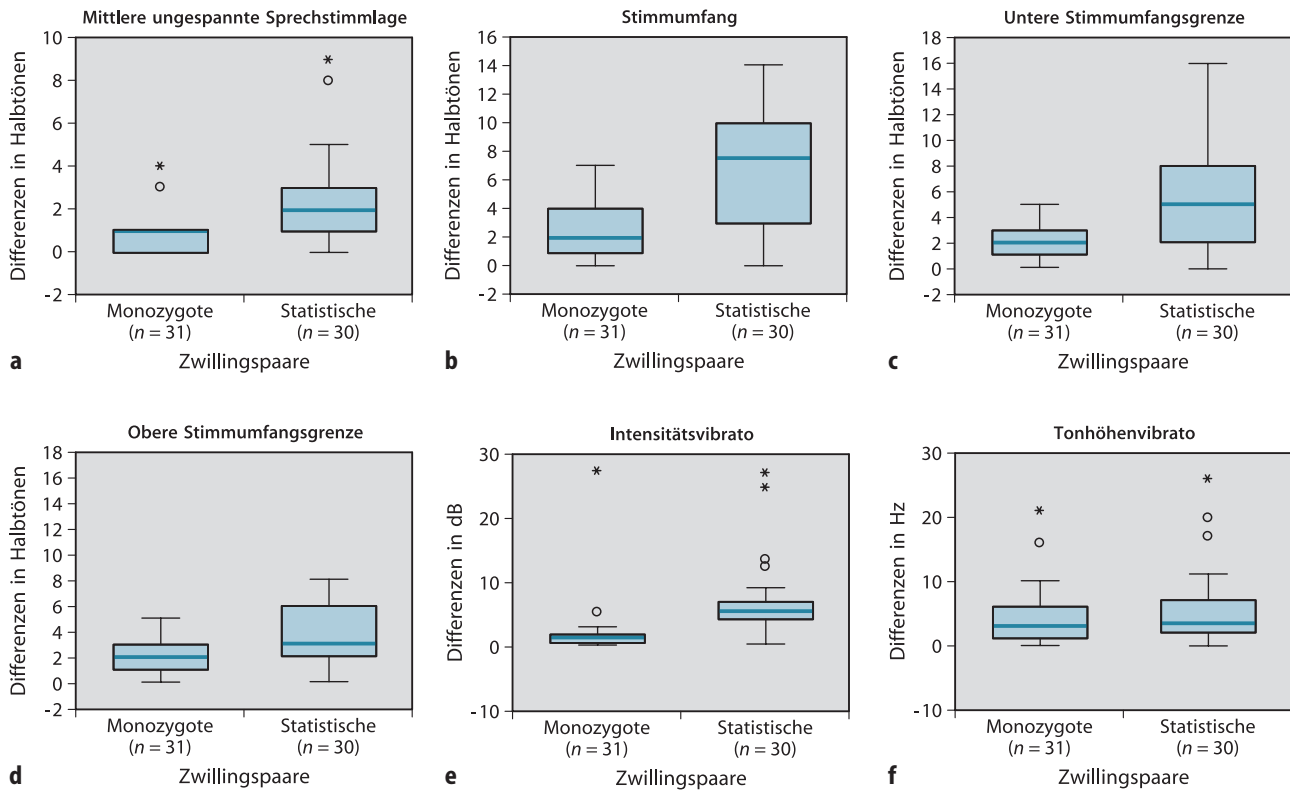


Abb. 1a–f ▲ Vergleich der Differenzen zwischen den monozygoten und statistischen Zwillingen (Darstellung als Boxplots, Erläuterungen s. Text). a Mittlere ungespannte Sprechstimmlage (signifikanter Unterschied: $p=0,002$). b Stimmumfang (hochgradig signifikanter Unterschied: $p<0,001$). c Untere Stimmumfangsgrenze (hochgradig signifikanter Unterschied: $p<0,001$). d Obere Stimmumfangsgrenze (grenzwertig signifikanter Unterschied: $p=0,019$). e Intensitätsvibrato (hochgradig signifikanter Unterschied: $p<0,001$). f Tonhöhenvibrato (kein signifikanter Unterschied: $p=0,532$)

ungespannte Sprechstimmlage, Stimmumfang, Stimmumfangsgrenzen und Stimmstärke) sowie in akustischen Parametern (Teiltonanzahl und Intensitätsvibrato) signifikant ähnlicher sind als die Stimmen gleichaltriger, nicht verwandter Personen. Dabei ergibt sich keine Korrelation zwischen den Intrapaar-differenzen der eineiigen Zwillinge und dem Alter der untersuchten Paare, d. h. junge und alte Individuen zeigen ähnliche Differenzen.

Für den Vergleich der Differenzen der Messwerte wäre eine Gruppe mit zweieiigen Zwillingen aus statistischer Sicht günstiger gewesen. Während die eineiigen Zwillinge in einem Verband organisiert sind und für die Untersuchungen gewonnen werden konnten, war die Organisation einer vergleichbaren Anzahl zweieiiger Zwillingspaare nicht möglich. Deswegen war für die Bildung einer Vergleichsgruppe aus sog. „statistischen Zwillingen“ das individuelle Matching erforderlich.

Bei dem nun möglichen Vergleich der Differenzen zwischen den Gruppen kann man davon ausgehen, dass hinsichtlich der genetischen Eigenschaften eine völlige Ungleichheit besteht (vollständige genetische Identität bei den monozygoten Zwillingen und vollständiger genetischer Unterschied bei den „statistischen Zwillingen“), hinsichtlich der Umweltbedingungen jedoch eine relative Übereinstimmung herrscht (mäßiger bis starker umweltbedingter Unterschied bei den monozygoten und starker umweltbedingter Unterschied bei den „statistischen Zwillingen“). Somit können die bestehenden Unterschiede in den Differenzen zwischen den beiden Gruppen annähernd auf die genetischen Einflüsse zurückgeführt werden.

Hacki [8] empfiehlt die Bestimmung von Sing-, Sprech- und Rufstimmfeld und die Beurteilung ihrer Verhältnisse zueinander für eine umfassende Einschätzung der stimmlichen Leistung. Wir beschränkten uns in un-

seren Untersuchungen bewusst auf das Singstimmfeld, da die Untersuchungen von Hacki [8] auch zeigten, dass stimmgesunde Personen annähernd die gleichen Stimmumfänge und Stimm-dynamik beim Sprechen erreichten wie beim Singen.

Das Rufstimmfeld repräsentiert die Stimmleistung des Brustregisters in seiner höchsten Intensität und Frequenz. Dagegen bietet die Beurteilung aller 3 Stimmfeldarten wertvolle Informationen bei Probanden mit funktionellen oder organischen Stimmstörungen, die jedoch in der vorliegenden Studie ausgeschlossen wurden. Bezüglich des Stimmumfangs und der Stimmumfangsgrenzen bestätigen unsere Resultate die Ergebnisse in der Literatur.

Nach Flach et al. [4] ist eine Konkordanz der unteren Stimmumfangsgrenze bei den eineiigen Zwillingen durchaus verständlich, da der tiefste Ton, der gesungen werden kann, von morphologischen Faktoren wie der Stimmlippenlänge abhängig ist. Dagegen zeigten nur grenzwertig signifikante Differenzen bei der oberen Stimmumfangsgrenze. Der höchstmögliche Ton wird offensichtlich von anderen, nicht morphologischen Faktoren, wie beispielsweise vom trainierbaren Spannungsvermögen der Halsmuskulatur, beeinflusst.

Außerdem fanden die gleichen Autoren bei der Bestimmung der Teiltonanzahl und -intensitäten eine signifikante Konkordanz bei den eineiigen Zwillingen, die sich ebenfalls mit unseren Ergebnissen deckt [4]. Das Teiltonspektrum bestimmt nach Seidner u. Wendler [19] als Hauptmerkmal den Höreindruck der Klangfarbe einer Stimme, wobei die Klangfarbenunterschiede durch Änderungen eines Klangs, die nicht auf den Eigenschaften Tonhöhe und Lautstärke beruhen, entstehen. Gall et al. [6] vergleichen die morphologische Ausprägung des Vokaltraktes und den Stimmklang mit den charakterisierenden Gesichtszügen des betreffenden Menschen. Daher lässt sich vermuten, dass bei einer genetisch determinierten identischen Anatomie des Vokaltraktes auch der resultierende Gesamtschall ähnlich ist. Die gefundene Übereinstimmung kann somit den subjektiven auditiven Eindruck der Ähnlichkeit der Stimmen monozygoter Zwillinge erklären.

Besonderes Interesse galt der erstmaligen Analyse des Vibratos bei Zwillingen, welches die Stimme ebenfalls in typischer Weise charakterisiert. Eine Beeinflussung durch eine gezielte stimmliche Ausbildung war ein Ausschlusskriterium, was jedoch auch dazu führte, dass die Vibratofrequenz als wichtiger Parameter aufgrund der häufig ungleichförmigen Schwingungsabläufe des Vibratos bei den meisten Probanden nicht zu bestimmen war. Dagegen konnten die durchschnittlichen Frequenz- und Amplitudenschwankungen ausgewertet werden. Während bei unseren Ergebnissen eine signifikante Übereinstimmung bei den eineiigen Zwillingen für das Intensitätsvibrato zu finden war, fehlte diese beim Tonhöhenvibrato.

Baken u. Orlikoff [1] stellen als wichtige Prämisse bei der Analyse akustischer Parameter einer Stimme die Beschreibung und Untersuchung der Mechanismen und Ursachen der Stimm-entstehung und nicht allein des resultierenden Stimmklangs heraus.

Diesbezüglich müssen unsere Ergebnisse hinsichtlich ihres morphologischen und funktionellen Korrelats kritisch diskutiert werden. Dem Vibrato liegen rhythmische Schwankungen der Tonhöhe, der Lautstärke und der Klangfarbe zugrunde, die zu einer Klangqualität verschmelzen und sich auditiv nur schwer voneinander unterscheiden lassen [19]. Sie werden von subglottischen

Druckschwankungen hervorgerufen, wobei Hartlieb [10] 3 Schwingungssysteme: Zwerchfell, Larynx und Glottis beschreibt. Außerdem ist bekannt, dass beispielsweise das Gaumensegel vibratorische Schwingungen ausführt [6].

Bei den von uns untersuchten Probanden handelte es sich um natürliche, sängerisch nicht oder nur gering entwickelte Stimmen (bei 7 Paaren sangen beide Zwillinge in Kirchen- und Männerchören, ohne eine individuelle stimmliche Ausbildung absolviert zu haben), die durch eine schwache Ausprägung des Vibratos gekennzeichnet sind. Möglicherweise liegt darin die Erklärung für die fehlende Übereinstimmung beim Tonhöhenvibrato bei den eineiigen Zwillingen gegenüber den statistischen Paaren.

Das Schwelltonvermögen gilt als eine der differenziertesten stimmlichen Leistungen und ist entscheidend vom Ausbildungsgrad einer Stimme abhängig. Dafür spricht auch die durchschnittliche geringe Ausprägung bei allen der von uns untersuchten Stimmen. In diesem Sinne lässt sich das Ergebnis als Indikator für den einheitlichen geringen Ausbildungsstand der Stimmen interpretieren, der für die Untersuchung der anderen Parameter die Grundlage bildet. Die fehlende Signifikanz der Übereinstimmung bei den monozygoten Zwillingen könnte Ihre Ursache auch in der relativ groben Skalierung bei der Bewertung des Schwelltonvermögens haben, da dadurch auch die Differenzen bei den „statistischen“ Zwillingen klein waren.

Stimmstärke und Tonhaldedauer charakterisieren v. a. das Zusammenspiel zwischen Lungen- und Larynxfunktion. Dabei erscheint es nachvollziehbar, dass die Stimmstärke bei eineiigen Zwillingen auch eine signifikante Übereinstimmung gegenüber den „statistischen Zwillingen“ zeigt.

Keiner der untersuchten Probanden hatte eine stimmliche Ausbildung und insbesondere kein berufsbedingtes Training der Rufstimme oder der Stimmstärke absolviert, wofür auch die im unteren und mittleren Normbereich gemessenen Absolutwerte sprechen. Dagegen liegt die Erklärung der fehlenden Übereinstimmung der Differenzen der Tonhaldedauer bei den monozygoten Zwillingspaaren durchaus auch im unterschiedlichen Trainingszustand des Atmungsapparats (sportliche Betätigung). Zusätzlich könnten auch die verschieden ausgeprägte Fä-

higkeit einer dosierten Ausatmung eine Rolle spielen, da auch die dafür erforderliche Balance zwischen subglottischem Druck und Stimmlippenspannung, bzw. -schluss eine differenzierte, trainierbare Leistung des Stimmorgans darstellt.

An dieser Stelle muss die Frage nach einem vergleichbaren Grad der Eignung für eine erhöhte stimmliche Belastung oder künstlerische Ausbildung bei monozygoten Zwillingen diskutiert werden. Unter Einbeziehung weiterer Parameter (Musikalität, Talent ect.) ist zu vermuten, dass bei einer besonderen Eignung aufgrund aller genetischen Gegebenheiten eines Zwillinges vergleichbare oder gleiche Bedingungen auch bei dem anderen Individuum des monozygoten Paares vorliegen. So ist es wahrscheinlich, dass monozygote Zwillinge der gleichen Stimmgattung und – im Falle einer Gesangsausbildung – auch dem gleichen Stimmfach (Zuordnung bestimmter Gesangspartien) angehören.

Andererseits fanden wir bei den von uns untersuchten Zwillingspaaren in knapp 2/3 der Fälle gleiche oder unmittelbar verwandte Berufe. Es ist anzunehmen, dass Zwillinge häufig ähnliche oder gleiche Berufe erlernen und ausüben. Daher sollten die im Rahmen einer phoniatriischen Untersuchung diagnostizierten fehlenden Voraussetzungen für eine dauerhafte und hohe berufliche oder künstlerische stimmliche Belastung bei einem der beiden Zwillinge auch bei der Berufswahl des anderen Zwillinges berücksichtigt werden. Diese zusätzliche Information kann jedoch nur als Anhaltspunkt dienen und eine diffizile Untersuchung des einzelnen Individuums nicht ersetzen.

Bei keinem der untersuchten Parameter fand sich eine Korrelation mit dem Alter, d. h.: Ältere Zwillingspaare unterscheiden sich nicht mehr als jüngere. Daraus lässt sich ableiten, dass der Effekt exogener Faktoren auf die von uns gemessenen Stimmleistungsparameter und akustischen Merkmale innerhalb der Gruppe der monozygoten Zwillinge kleiner ist als der genetische Einfluss. Da wir eine Beeinflussung dieser Merkmale durch eine berufliche Stimmbelastung oder Stimmbildung ausgeschlossen hatten, entspricht der exogene Einfluss der Summe aller restlichen Einwirkungen auf das Stimmorgan.

Wie die Ergebnisse der Anamnese jedoch zeigen, fanden sich dabei nur in

einigen Fällen keine Übereinstimmungen. Das heisst, bei der überwiegenden Mehrzahl der von uns untersuchten Zwillingspaare war auch die Summe aller einwirkenden exogenen Faktoren sehr ähnlich, so dass keine größeren Differenzen bei den älteren Paaren resultieren können.

Andererseits beziehen sich die Resultate auf Altersgruppen zwischen 17 und 75 Jahren. Andere Lebensabschnitte mit einer größeren Entwicklungsdynamik (Entwicklung der kindlichen und adoleszenten Stimme einschließlich Mutation) wurden von uns nicht untersucht. Ob auch in diesen Zeiträumen eine so starke Übereinstimmung bei eineiigen Zwillingspaaren besteht, müssen weitere Studien zeigen, wofür jedoch Longitudinalstudien besser geeignet sind.

Fazit für die Praxis

Die Stimmen monozygoter Zwillingspaare sind bezüglich folgender Merkmale der Stimmleistung sowie akustischer Parameter signifikant ähnlicher als die nicht verwandter Personen: Stimmumfang, obere und untere Stimmumfangsgrenze, mittlere ungespannte Sprechstimmlage, Stimmstärke, Anzahl der Teiltöne, Intensitätsvibrato. Bei eineiigen Zwillingspaaren können vergleichbare Voraussetzungen für eine erhöhte stimmliche Belastung im Beruf oder für eine künstlerische Ausbildung der Stimme bestehen.

Diagnostizierte Einschränkungen der Tauglichkeit für einen stimmintensiven Beruf bei einem der monozygoten Zwillinge sollten auch bei der Berufswahl des anderen Zwillinges berücksichtigt werden.

Wir danken den Mitarbeitern des Institutes für Rechtsmedizin der Universität Leipzig (komm. Direktor: Prof. Dr. R. Vock) Frau Dr. J. Edelmann und Herrn Dr. R. Lessig für die Durchführung der Zygositäts-Untersuchungen.

Literatur

1. Baken RJ, Orlikoff RF (1997) **Voice measurement: is more better?** Log Phon Vocol 22: 147–151
2. Bernstein F, Släper B (1922) **Über die Tonlage der menschlichen Singstimme.** Sitzungsberichte der Preuss. Akad Wiss, Math-physikal. Klasse, Berlin
3. Coon H, Carey G (1989) **Genetic and environmental determinants of musical ability in twins.** Behav Geneti 19: 183–193
4. Flach M, Schwickardi H, Steinert R (1968) **Zur Frage des Einflusses erblicher Faktoren auf den Stimmklang (Zwillinguntersuchungen).** Folia Phoniatr 20: 369–378
5. Forrai G, Gordos G (1983) **A new acoustic method for the discrimination of monozygotic and dizygotic twins.** Acta Paediatr Hung 24: 315–322
6. Gall V, Berg R (1998) **Feinstrukturen von Stimme und Sprache.** Wötzel, Frankfurt am Main, S 13–15
7. Gedda L, Fiori-Ratti L, Bruno G (1960) **La voix chez les jumeaux monozygotiques.** Folia Phoniatr 12: 81
8. Hacki T (1996) **Comparative speaking, shouting and singing voice range profile measurement: physiological and pathological aspects.** Log Phon Vocol 21: 123–129
9. Hartlieb K (1962) **Erbliche Merkmale der menschlichen Stimme.** Z Menschl Vererb Konstit Lehre 36: 413
10. Hartlieb K (1963) **Die Ausrichtung der Stimmbildung auf die neuen phonetischen Grundlagen.** Folia Phoniatr 15: 219–220
11. Kalmus H, Fry DB (1980) **On tone deafness (dysmelodia): frequency, development, genetics and musical background.** Ann Hum Genet 43: 369–382
12. Kreienbock L, Schach S (1995) **Epidemiologische Methoden.** Fischer, Stuttgart Jena New York, S 182–184
13. Luchsinger R (1959) **Die Vererbung von Sprach- und Stimmstörungen.** Folia Phoniatr 11: 7
14. Munding F (1951) **Zum Vererbungsproblem der menschlichen Singstimme.** Folia Phoniatr 3: 191
15. Sataloff RT (1997) **Genetics of the Voice.** In: Sataloff RT (ed) Professional voice – The science and art of clinical care. Singular Publishing Group, San Diego, pp 89–92
16. Schilling R (1936) **Über die Stimme erbgleicher Zwillinge.** Klin Wochenschr 15: 756
17. Schilling R (1950) **Über die Stimme erbgleicher Zwillinge.** Folia Phoniatr 2: 205
18. Schutte HK, Seidner W (1983) **Recommendation by the Union of European Phoniatrists (UEP): standardizing voice area measurement / phonetographie.** Folia Phoniatr 35: 286–288
19. Seidner W, Wendler J (1997) **Die Sängerstimme.** Henschel, Berlin, S 36
20. Sharma JC (1983) **The genetic contribution to pubertal growth and development studied by longitudinal growth data on twins.** Ann Hum Biol 10: 163–171

Eingegangen am 26. August 1999
Angenommen am 7. Februar 2000