



PD Dr. W. Wesemann,
HFAK, Köln

Funktionsprinzipien und Messgenauigkeit moderner Autorefraktometer

Vier Autorefraktor-Tischgeräte und ein Autorefraktometer, das aus 35 cm Abstand misst, wurden geprüft. Die optischen Funktionsprinzipien werden beschrieben. Die Messergebnisse wurden an Erwachsenen ohne Zykloplegie mit der subjektiven Refraktion verglichen. Bei den Tischgeräten war die Abweichung vom sphärischen Äquivalent der subjektiven Refraktion in 79% bis 82% aller Fälle kleiner als 0,51 dpt. Das freisichtige Autorefraktometer zeigte wesentlich größere Abweichungen. Die totale astigmatische Differenz war in 90% bis 99% nicht größer als 0,63 dpt.

Autorefraktometer erleichtern die Arbeit. Sie liefern objektive Refraktionswerte, mit deren Hilfe die subjektive Refraktionsbestimmung schneller und oft auch genauer durchgeführt werden kann.

In den vergangenen Jahren habe ich viele Autorefraktometer hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit geprüft [1-6]. In den Veröffentlichungen [4] und [6] wurde zusätzlich die Anwendbarkeit an Kindern im Detail untersucht.

In dieser neuen Studie wurden vier aktuelle Autorefraktor-Tischgeräte neuester Bauart [Canon Autoref RK-F1 (Japan), MRK-3100 Charops (Korea), Zeiss-Humphrey Autorefraktometer Acuitus 5015 (BRD/USA) und Shin-Nippon Accuref-K 9001 (Japan)] und ein freisichtiges Kinderrefraktometer [SureSight (Fa. Welch Allyn, USA)] getestet. Die Ergebnisse ermöglichen einen direkten Vergleich der Geräte untereinander und einen Vergleich mit früher untersuchten Geräten.

Die ersten drei Tischgeräte arbeiten gleichzeitig als automatisches Ophthalmometer. Alle vier Tischgeräte verfügen über ein ausgeklügeltes System zur Entspannung der Akkommodation. Dem Patienten wird ein Diapositiv als Fixationsobjekt dargeboten, das vor und zum Teil auch während der Messung aktiv genebelt wird. Mit dieser Vorgehensweise soll eine Minusüberkorrektur durch die „Instrumentenmyopie“ verhindert werden.

Die Geräte von Canon und Humphrey sind sehr benutzerfreundlich ausgestattet. Der Canon Autorefraktor arbeitet vollautomatisch und übernimmt auch die Zentrierung und den Wechsel vom rechten zum linken Auge selbsttätig. Das Gerät von Humphrey erledigt die Feinjustierung eigenständig.

Bei den Geräten von Charops und Shin-Nippon muss der Benutzer die Zentrierung selbst übernehmen. Die Justierung des Charops ist leicht. Die Einstellung des Shin-Nippon ist wesentlich umständlicher und erfordert eine gewisse Einarbeitungszeit.

Zusätzlich wurde das freisichtige Kinderrefraktometer SureSight (Fa. Welch Allyn) in die Studie einbezogen. Das SureSight ist das erste Autorefraktometer, das in der Lage ist, die Refrak-

tionsfehler aus einem größeren Abstand (0,35 m) zu messen. Deshalb kann es gut zur objektiven Refraktionsbestimmung von Kindern, die noch nicht an einem konventionellen Autorefraktor-Tischgerät untersucht werden können, eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den vier obengenannten Geräten ist im SureSight aber kein System zur Akkommodationsentspannung eingebaut. Deshalb sollte – wenn möglich – in Zykloplegie gemessen werden [6].

■ Funktionsprinzip des Zeiss Humphrey Acuitus 5015

In den früher von Zeiss-Humphrey hergestellten Autorefraktoren wurde die Ametropie nach dem Schneidenverfahren bestimmt und durch variable sphäro-zylindrische Gläser neutralisiert [1]. Diese Neutralisation war sehr genau, brauchte aber eine gewisse Zeit, da die Korrektionsgläser durch Motoren verstellt werden mussten. Deshalb traten bei sehr unruhigen Prüflingen und kleinen Kindern manchmal Probleme auf.

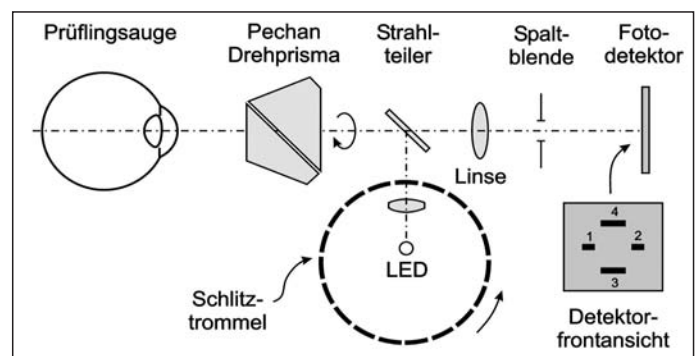


Abb. 1: Messprinzip des Zeiss-Humphrey Acuitus 5015. Mit einer rotierenden Schlitztrommel werden Lichtbänder erzeugt, die in schneller Folge über das Auge bewegt werden. Mit dem Pechan Prisma wird das Lichtband in alle Achslagen gedreht. Die Ametropie wird aus der Geschwindigkeit des Skiaskopiereflexes in den beiden Hauptschnitten errechnet.

Bei der Konstruktion des Acuitus 5015 verwendet die Fa. Zeiss Humphrey das Skiaskopieprinzip [1]. Die Fehlsichtigkeit wird aus der Geschwindigkeit der Reflexe in der Pupille ermittelt. Es ähnelt in den Grundzügen den Verfahren, die auch von Nikon verwendet werden (siehe [1] und [5]). Da auf eine Neutralisation verzichtet wird, geht die Messung sehr schnell.

Das Messprinzip ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Mittels einer Infrarot-LED und einer Schlitztrommel werden schmale Lichtbänder erzeugt, die in rascher Folge über das Auge wandern. Der in der Pupille des Auges aufleuchtende Skiaskopiereflex wird von der Linse im Messstrahlengang auf einen Fotodetektor mit vier lichtempfindlichen Elementen scharf abgebildet. Die vier Fotoelemente betrachten also vier verschiedene Stellen innerhalb der Pupille und registrieren, wann der Skiaskopiereflex an dieser Stelle sichtbar ist.

Bei einem Auge mit einer sphärischen Ametropie bewegt sich der Reflex vertikal, wenn ein horizontal orientiertes Lichtband über das Auge bewegt wird. Das Gerät misst, zu welchem Zeitpunkt der Pupillenreflex auf die Fotoelemente 3 und 4 fällt. Daraus kann ermittelt werden, ob die Bewegung des Lichtreflexes mit- oder gegenläufig ist. Außerdem kann die Geschwindigkeit des Pupillenreflexes aus der Zeitdifferenz errechnet werden. Die Berechnung der Fehlsichtigkeit aus der Geschwindigkeit erfolgt anschließend über eine Eich-tabelle, die an Modellaugen ermittelt wurde.

Bei einem astigmatischen Auge muss zunächst die Lage der Hauptschnitte ermittelt werden. Dazu wird die Tatsache ausgenutzt, dass der Skiaskopiereflex in der Pupille verdreht ist, wenn das Lichtband in einer falschen Achslage über das Auge bewegt wird.

Wenn zum Beispiel ein Hauptschnitt des Auges in 0° liegt und das Lichtband in der richtigen Achslage – also horizontal über das Auge bewegt wird – werden die Fotoelemente 1 und 2 vom Skiaskopiereflex exakt zur gleichen Zeit beleuchtet. Wenn hingegen das Auge eine schiefe Achslage aufweist und das Lichtband horizontal über das Auge geführt wird, ist der Reflex gegenüber der Horizontalen verdreht. Durch die Verdrehung wird Fotoelement 1 entweder früher oder später beleuchtet als Fotoelement 2. So kann das Gerät erkennen, dass die Achse nicht richtig eingestellt ist. Die Schlitzblende, die näherungsweise zur Netzhaut optisch konjugiert ist, verstärkt die Beobachtbarkeit des Schräglaufs.

Mit dem Pechan Prisma wird das in das Auge eingestrahlte Lichtband durch alle Achslagen gedreht. Der zu beobachtende Pupillenreflex wird durch das Prisma im Beobachtungsstrahlengang um den gleichen Betrag zurückgedreht. So kann die Prüfung für alle Achslagen durchgeführt werden, ohne dass der Fotodetektor gedreht werden muss.

■ Funktionsprinzip des Canon Autorefraktometer Keratometer RK-F1

Das Autorefraktometer von Canon benutzt ein Bildmessverfahren, bei dem die Größenveränderung und die elliptische Verzerrung eines unscharf abgebildeten Netzhautreflexes ausgewertet werden. Ähnliche Verfahren werden auch in dem hier getesteten Charops und in den Autorefraktometern von Topcon eingesetzt.

Der Strahlengang ist in Abb. 2 veranschaulicht. Eine IR-LED wird über eine Linse auf die Netzhaut abgebildet. Bei einem emmetropen Auge ist das Netzhautbild der LED scharf. Bei einem ametropen Auge ist es ein unscharfer Fleck. Das IR-Licht wird von der Netzhaut reflektiert und über eine Optometerlinse in eine Zwischenbildebene abgebildet. In dieser Ebene wurde bei klassischen manuellen Refraktometern, wie zum Beispiel dem Rodenstock PR50, das Netzhautbild beobachtet. Das ist bei den modernen Autorefraktometern aber nicht der Fall. Hinter dem Zwischenbild laufen die Strahlen wieder divergent auseinander und fallen über einen Lochspiegel auf eine Ringblende, die nur ein ringförmiges Lichtbündel durchlässt. Dieses ringförmige Lichtbündel wird anschließend über ein Ringprisma und eine Relaislinse auf eine CCD-Kamera gelenkt.

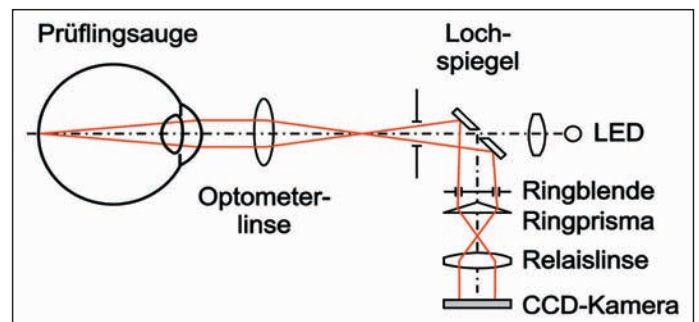


Abb. 2: Messprinzip des Canon Autorefraktometers RK-F1. Das Netzhautbild wird über eine Ringblende unscharf auf eine CCD-Kamera abgebildet. Auf der Kamera entsteht ein Lichtkreis oder eine Ellipse, aus deren Durchmesser, Form und Verdrehung sich die Ametropie ausrechnen lässt.

Je nach Refraktionsdefizit verändert sich die Lage des Zwischenbildes. Dadurch ändert sich auch der Winkel, unter dem die Lichtstrahlen durch die Ringblende fallen. Bei Emmetropie „sieht“ die CCD-Kamera einen unscharfen Lichtkreis, dessen Durchmesser als Referenzwert aufgefasst werden kann (Abb. 3). Dieser Kreis ändert bei einer Ametropie seine Form und Größe. Bei einer rein sphärischen Myopie oder einer Hyperopie hat der Kreis entweder einen kleineren oder größeren Durchmesser. Aus diesem Durchmesser wird die Fehlsichtigkeit vom Computer über eine an Modellaugen ermittelte Eichkurve berechnet.

Bei einem Astigmatismus verformt sich der Lichttring zu einer Ellipse. Aus der Verdrehung der Ellipse gegen die Horizontale erhält man die Achslage. Aus dem Durchmesser der beiden Halbachsen der Ellipse ergibt sich die Stärke der Ametropie in den beiden Hauptschnitten.

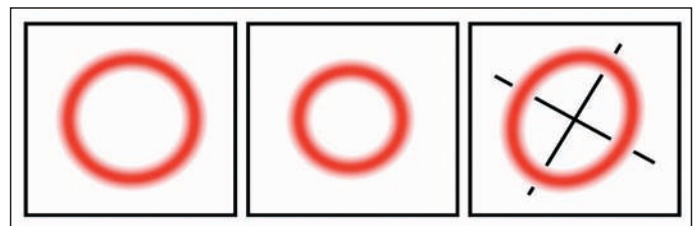


Abb. 3: Schematische Darstellung des Detektorbildes im Canon Autorefraktometer RK-F1. Bei einem emmetropen Auge ist der infrarote Lichttring kreisförmig. Sein Durchmesser dient als „Referenzdurchmesser“. Bei einer sphärischen Ametropie hat der Kreis einen größeren oder kleineren Durchmesser. Bei einer astigmatischen Fehlsichtigkeit verformt sich der Lichttring zu einer Ellipse.

■ Funktionsprinzip des MRK-3100 Charops

Das Autorefraktometer des Charops ist dem Canon sehr ähnlich. Ein Unterschied liegt in der Form der letzten Blende vor der CCD-Kamera. Während diese Blende beim Canon als Ringblende ausgeführt ist, verwendet man im Charops einen Ring aus 6 kreisförmigen Öffnungen. Das Messprinzip ist das Gleiche, nur sieht die CCD-Kamera nicht die gesamte Ellipse sondern nur sechs Punkte der Ellipse. Aus diesen 6 Bildpunkten wird die exakte Orientierung der Halbachsen und der Durchmesser der Halbachsen durch eine Kurvenanpassung ermittelt.

■ Funktionsprinzip des SureSight von Welch Allyn

Das freisichtige Refraktometer SureSight misst die Wellenfrontaberrationen des Auges mit einem „Hartmann-Shack-Sensor“. Ähnlich konstruierte Geräte werden auch zur wellenfrontgesteuerten Hornhautchirurgie verwendet. Das optische Funktionsprinzip ist in Abb. 4a angedeutet. Ein infraroter Laserstrahl wird über einen Strahlteiler in das Auge geleuchtet. Dieser Strahl wird im emmetropen Auge in die Fovea fokussiert. Bei einem ametropen Auge ist die Fokussierung nicht perfekt – in der Fovea entsteht ein kleiner, etwas unscharfer Lichtfleck. Das Laserlicht wird vom Fundus reflektiert, verlässt das Auge und tritt in einen „Hartmann-Shack Sensor“ ein. Dieser Sensor enthält eine Vielzahl winzig kleiner Sammellinsen, die in Form einer Matrix angeordnet sind. Jede dieser Linsen fokussiert das Licht auf die Oberfläche der CCD-Kamera.

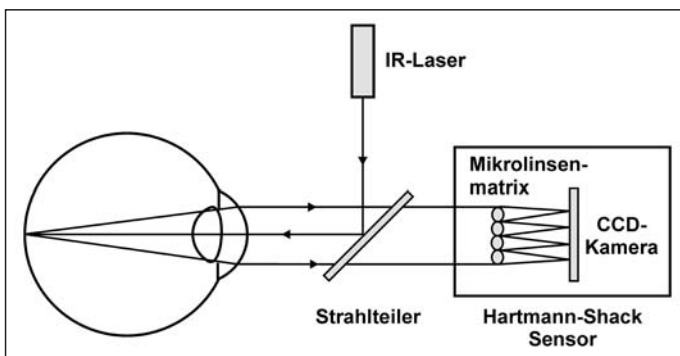


Abb. 4a: Vereinfachter Strahlengang des Kinderrefraktometers SureSight.

Abb. 4b zeigt ein Beispiel für die von der CCD-Kamera registrierten Lichtpunkte. Aus dem gegenseitigen Abstand der Lichtpunkte kann die Fehlsichtigkeit ausgerechnet werden. Der Abstand der Lichtpunkte bei Emmetropie dient als Referenz. Bei einer Hyperopie vergrößert sich der Abstand der Lichtpunkte, da die Lichtstrahlen, aufgrund der zu geringen Brechkraft des hyperopen Auges, nicht parallel sondern divergent austreten. Bei einem Astigmatismus wird das Punktmuster elliptisch verzerrt. Mit dem Hartmann-Shack Sensor können im Prinzip auch die Abbildungsfehler höherer Ordnung (zum Beispiel Koma, sphärische Aberration usw.) ermittelt werden. Solche Fehler machen sich als irreguläre Abstandsänderungen der Punkte bemerkbar. Da diese Fehler aber nicht mit Brillengläsern korrigiert werden können, werden sie vom SureSight auch nicht angezeigt.

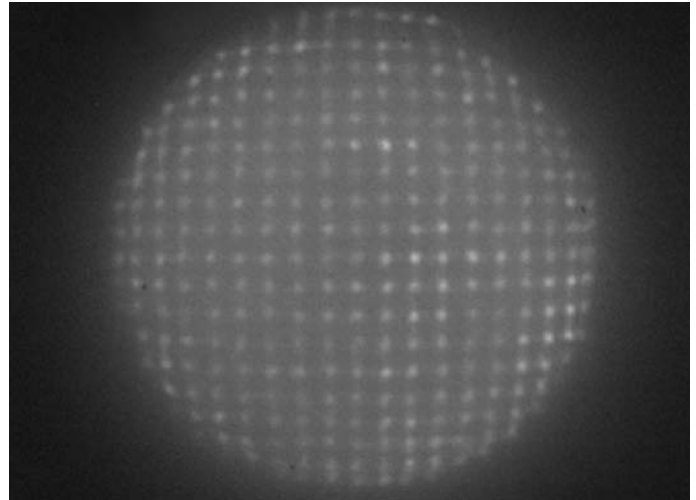


Abb. 4b: Lichtverteilung auf der CCD-Kamera des Hartmann-Shack-Sensors.

Probanden: Die Versuchspersonen waren 50 Studenten (100 Augen) im Alter zwischen 22 und 27 Jahren. Alle Probanden hatten eine unkomplizierte Fehlsichtigkeit (Sph. -7,25 dpt bis +3,0 dpt; Cyl 0,0 dpt bis -2,5 dpt). Da das SureSight nicht von Anfang an zur Verfügung stand konnten mit diesem Gerät nicht alle, sondern nur 84 Augen gemessen werden.

Methodik der Messungen: Zu Beginn wurde bei jedem Probanden eine sehr sorgfältige subjektive Refraktionsbestimmung durchgeführt, bei der die bis dahin bekannte beste Refraktion (zum Beispiel die alte Brille) als Grundlage genommen wurde. Die Refraktionsbestimmung erfolgte mit der Kreuzzylindermethode. Besonders großen Wert wurde auf eine exakte Bestimmung von Zylinderstärke und Achse gelegt. Im Anschluss an die monokulare Messung wurde das binokulare Refraktionsgleichgewicht überprüft und wenn nötig wurden Feinkorrekturen am sphärischen Wert vorgenommen. Ermittelt wurde nach der Refraktionsregel das schwächste Minus- bzw. das stärkste Plusglas, mit dem der optimale Visus für die Ferne erreicht wurde. Im Anschluss an die subjektive Prüfung erfolgte die Messung mit den fünf Autorefraktometern. Die Reihenfolge der objektiven Messungen erfolgte nach dem Zufallsprinzip.

Mit jedem Autorefraktor wurden mindestens drei Wiederholungsmessungen vorgenommen, die anschließend automatisch gemittelt und ausgedruckt wurden. Der ausgedruckte Mittelwert ging als Messwert in die vergleichende Untersuchung ein.

Beurteilungskriterien: Zur Beurteilung der Messgenauigkeit wurden fünf Kriterien herangezogen, die schon in früheren Untersuchungen [6] verwendet wurden. Die mathematischen Berechnungsformeln sind im Anhang dargelegt.

1.) Die „**Differenz der sphärischen Äquivalente (DSÄ)**“ ist ein Maß für die sphärische Messgenauigkeit. Positive Werte deuten auf eine Überkorrektur in Richtung "Plus" seitens des Autorefraktors hin; negative Werte auf eine Überkorrektur in Richtung "Minus".

2.) Die „**Differenz der Zylinderstärken (DC)**“ zeigt an, wie gut der Autorefraktor die Zylinderstärke erkennt. Ein positives DC zeigt an, dass der mit dem Autorefraktor gemessene Zylinder zu klein war.

3.) Die „**Achsendifferenz (DA)**“ ist ein Maß für den Fehler der Zylinderachse. Die Berechnungsformel gewichtet die Achsendifferenz mit der subjektiv gefundenen Zylinderstärke, damit unterschiedlich starke Astigmatismen direkt miteinander verglichen werden können. Als Ergebnis erhält man einen Wert in Dioptrien. Zur Veranschaulichung sei angemerkt, dass sich bei einer Zylinderstärke von 1 dpt und einer Achsendifferenz von 15 Grad nach der Formel ein Achsenfehler von 0,5 dpt ergibt. Dies entspricht auch der bekannten Näherung, nach der ein Achsenfehler von 3 Grad einen Zylinderfehler von etwa 10% der Zylinderstärke erzeugt.

4.) Die „**totale astigmatische Differenz (TAD)**“ ist der Betrag der Vektordifferenz zwischen dem automatisch ermittelten und dem subjektiven Zylinder. Das Ergebnis ist ein Maß für den Gesamtfehler der Astigmatismusbestimmung.

5.) „**Power-Vektor Analyse**“: Zusätzlich zu den oben genannten vier Kriterien wurde eine neuartige Analyse der Zylinderstärken- und Achsenfehler in die Auswertung aufgenommen, die als „Power-Vektor-Analyse“ bezeichnet wird. Dieses Verfahren wurde von Thibos und Horner [7] vorgestellt. Bei dieser Fehleranalyse wird der mit beiden Methoden gemessene Astigmatismus zunächst in eine $0^\circ/90^\circ$ -Komponente (J_0 -Komponente) und in eine $45^\circ/135^\circ$ -Komponente (J_{45} -Komponente) zerlegt. Anschließend werden die Differenzen zwischen den automatisch gemessenen und den subjektiven Komponenten errechnet. Die Formeln sind etwas unübersichtlich. Das Ergebnis der Analyse lässt sich aber sehr anschaulich deuten.

Ergebnisse

Abbildung 5 zeigt einen Vergleich zwischen dem sphärischen Äquivalent der subjektiven Refraktion und den 5 Autorefraktoren. Zur besseren Übersicht sind nur die Datenpunkte des Canon am richtigen Ort eingetragen. Alle anderen Punkte wurden um jeweils 3 dpt nach unten verschoben. Bei allen Punkten, die exakt auf den ansteigenden Geraden liegen, stimmt das Ergebnis des Autorefraktors mit dem Ergebnis der subjektiven Refraktion genau überein. Wie man sieht, trifft dies für viele Datenpunkte zumindest näherungsweise zu.

Aus der Abbildung 5 können die feinen Unterschiede zwischen der automatischen Messung und der subjektiven Refraktion aber nicht genau abgelesen werden. Wesentlich mehr Informationen über die Fehler bei der Messung des sphärischen Äquivalents liefert die Abbildung 6, in der die Differenz der sphärischen Äquivalente in Histogrammform dargestellt ist.

Aus den Histogrammen lässt sich ablesen, wie groß die Differenzen zum Ergebnis der subjektiven Refraktion waren und wie häufig sie auftraten. Die beste Übereinstimmung mit der subjektiven Refraktion zeigte das Gerät von Humphrey. Das Histogramm liegt symmetrisch zum Nullpunkt. Fast alle Ergebnisse stimmten bis auf $\pm 0,75$ dpt mit der subjektiven Refraktion überein. Die Histogramme der drei anderen Tischgeräte (Canon, Charops und Shin-Nippon) liegen nicht symmetrisch zum Nullpunkt, sondern weisen eine geringe systematische Verschiebung zu positiven Werten auf. Dies bedeutet, dass diese Autorefraktoren im Mittel ein wenig zu viel „Plus“ anzeigen.

Diese systematische Abweichung ist nicht neu [2] und möglicherweise Ausdruck einer besonderen Messphilosophie der

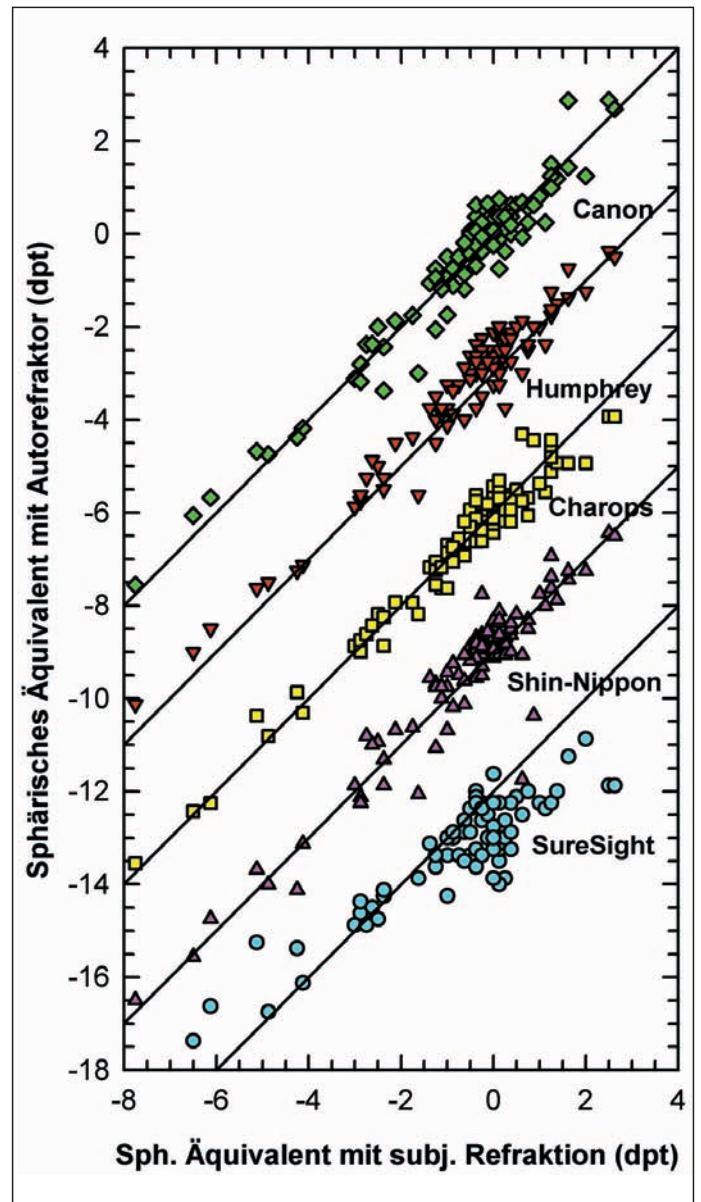


Abb. 5: Vergleich der sphärischen Äquivalente, die mit der subjektiven Refraktion (x-Achse) und dem Autorefraktor (y-Achse) gefunden wurden. Die Datenpunkte für Canon sind am richtigen Platz eingetragen. Alle anderen Werte wurden jeweils um 3 dpt nach unten verschoben. Im Idealfall müssten alle Datenpunkte auf den jeweiligen ansteigenden Geraden liegen.

Head-Light-Set 3000

Band-Messbrillen

- + ohne lästige Druckstellen
- + universell einstellbar

www.sehen-mosch.de



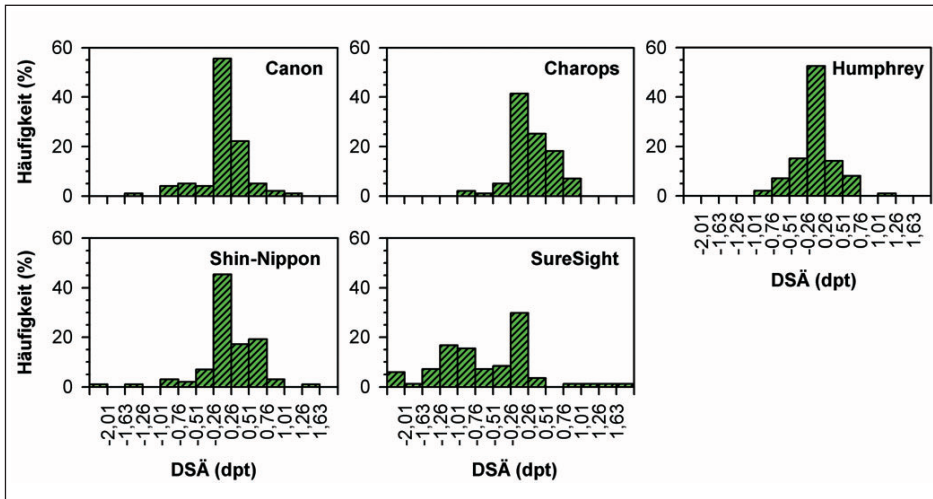


Abb. 6: Histogrammdarstellung der Differenz der sphärischen Äquivalente. Die Balken geben an, wie häufig die Abweichungen von der subjektiven Refraktion in dem auf der Ordinate eingezeichneten Dioptrienbereich lagen. Negative Werte zeigen eine Minusüberkorrektion des Autorefraktors an.

Hersteller dieser Geräte. Mehrere asiatische Hersteller sind nämlich der Meinung, dass eine geringe Abweichung nach „Plus“ wünschenswert sei, da man dann bei der anschließenden subjektiven Refraktionsbestimmung bei einem leicht genebelten Zustand beginnt. Dadurch könne die Gefahr der Minusüberkorrektur bei der subjektiven Refraktionsbestimmung vermindert werden. Berücksichtigt man diese kleine systematische Verschiebung, so kann man allen vier Tischgeräten eine zufriedenstellende sphärische Messgenauigkeit bescheinigen.

Komponente des Zylinderdifferenz.

Trotz der ungewohnten Art der Analyse ist die Interpretation der Ergebnisse recht anschaulich, wenn man die Darstellung mit einer Zielscheibe vergleicht. Je mehr Schüsse – also je mehr Datenpunkte – in der Mitte der Zielscheibe sitzen, desto besser ist der Schütze bzw. der Autorefraktor. Wenn überhaupt keine Abweichungen zwischen Zylinderstärke und Achse des Autorefraktors und der subjektiven Refraktion auftraten, sind die beiden Fehlerkomponenten gleich Null und der Datenpunkt liegt exakt in der Mitte des Koordinatenkreuzes. Treten

Fehler auf, so ergeben sich Datenpunkte, die einen gewissen Abstand vom Koordinatenursprung aufweisen. Dieser Abstand ist umso größer, je größer der Fehler ist. Ein Autorefraktor misst die Zylinderstärke und Achse also umso schlechter, je weiter die Datenpunkte vom Ursprung entfernt sind. Der in den Abbildungen eingezeichnete Kreis dient der Orientierung und kennzeichnet eine totale astigmatische Differenz von 0,63 dpt.

Bei der Messung des Astigmatismus zeigte das Charops ein vorbildliches Verhalten. Nur ein einziger Datenpunkt liegt außerhalb des Kreises.

Die Abbildungen für Canon und Humphrey zeigen eine deutliche Zusammenballung der Punkte in der Nähe des Nullpunkts. Alle diese Fälle wurden mit einem sehr kleinen Fehler gemessen. Es gibt aber bei beiden Geräten einige wenige „Ausreißer“ mit astigmatischen Differenzen größer als 0,63 dpt.

Auch das Shin-Nippon und das SureSight schneiden recht gut ab. Eine Konzentration der Datenpunkte in der Mitte der Zielscheibe ist hier aber nicht zu erkennen.

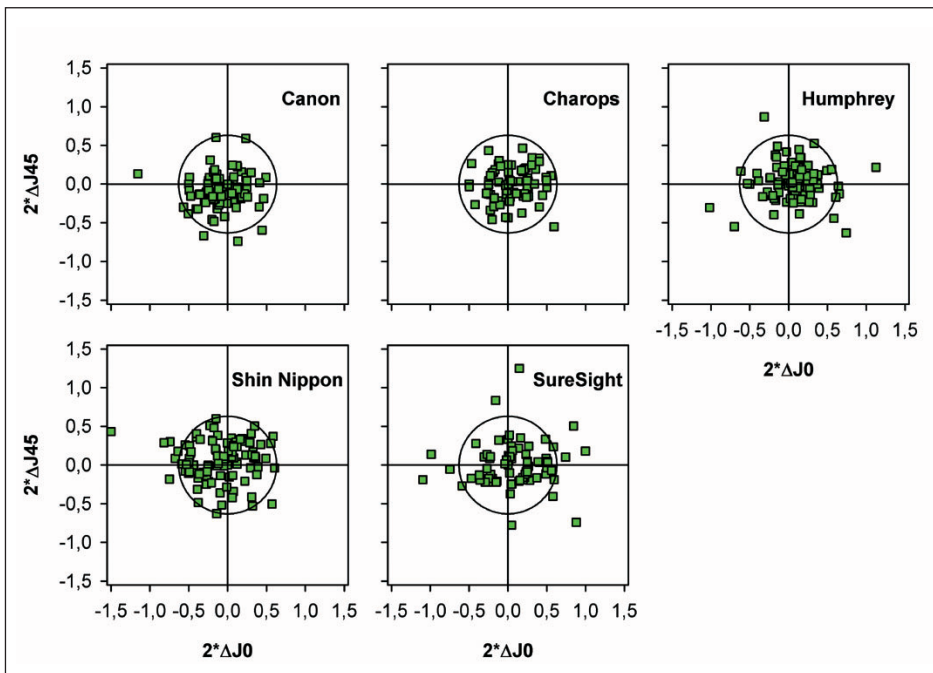


Abb. 7: Ergebnis der Power-Vektor Analyse der Zylinderfehler. Auf der x-Achse ist die 0°/90°-Komponente der Zylinderdifferenz aufgetragen. Auf der y-Achse die 45°/135°-Komponente des Zylinderfehlers.

Die Darstellung ähnelt einer Zielscheibe, auf die viele Schüsse abgegeben wurden. Je mehr Schüsse – also je mehr Datenpunkte – in der Mitte der Zielscheibe sitzen, desto besser ist der Schütze bzw. der Autorefraktor. Der eingezeichnete Kreis dient der Orientierung und kennzeichnet eine totale astigmatische Differenz von 0,63 dpt.

Die Ergebnisse aller Beurteilungskriterien sind in Tabelle 1 in Kurzform zusammengefasst. Die Prozentzahlen zeigen an, wie häufig die Abweichung des Autorefraktors vom Ergebnis der subjektiven Refraktion $\leq 0,5$ dpt bzw. $0,63$ dpt war. Diese Werte sind also Gütekennzahlen, die die „Häufigkeit der richtigen oder nahezu richtigen Ergebnisse“ angeben. Zusätzlich sind in Tabelle 1 Vergleichswerte eingetragen, die vom Verfasser mit der gleichen Mess- und Auswertemethode an älteren Autorefraktoren gefunden wurden.

	Autorefraktortyp	Beurteilungskriterium			
		DSÄ $\leq 0,5$ dpt	DC $\leq 0,5$ dpt	DA $\leq 0,5$ dpt	TAD $\leq 0,63$ dpt
1	Canon Autoref RK-F1	82%*	95%	89%	93%
2	MRK-3100 Charops	79%*	100%	81%	99%
3	Humphrey Acuitus 5015	82%	91%	93%	90%
4	Shin Nippon Accuref-K 9001	80%*	95%	83%	91%
5	SureSight	42%	92%	83%	86%
Vergleichswerte aus früheren Untersuchungen					
6	7 Autorefraktor-Tischgeräte (Erwachsene ohne Cycloplegie [3])	80-95%	90-97%	84-93%	83-92%
7	Retinomax K-Plus (Erwachsene ohne Cycloplegie [5])	88%	95%	87%	91%

Tabelle 1: Häufigkeit der "richtigen oder fast richtigen" Ergebnisse. DSÄ = Differenz der sph. Äquivalente. DC = Differenz der Zylinderstärken. DA = Achsendifferenz. TAD = Totale astigmatische Differenz. Die Prozentwerte zeigen an, wie häufig das Autorefraktorergebnis um nicht mehr als $\pm 0,5$ dpt bzw. $0,63$ dpt vom Ergebnis der subjektiven Refraktion abwich.

Zusätzlich angegeben sind Vergleichswerte, die mit der gleichen Mess- und Auswertemethode vom Autor an anderen Autorefraktoren gefunden wurden.

(* Bei den Geräten von Canon, Charops und Shin-Nippon wurde die systematische Abweichung nach Plus vor der Berechnung kompensiert.)

Betrachtet man zunächst die Differenz der sphärischen Äquivalente (Tab.1, DSÄ), so findet man bei allen vier Tischgeräten sehr ähnliche Werte zwischen 79% und 82%. Dies ist ein gutes Ergebnis. Vergleicht man die Werte mit den Ergebnissen unserer Vergleichsstudie an sieben Autorefraktoren ([3], hier Tab. 1, Zeile 6), so sieht man aber, dass die heutigen Refraktoren hinsichtlich der sphärischen Messgenauigkeit nicht besser sind als die Autorefraktoren, die wir vor 15 Jahren geprüft haben.

Das SureSight Kinderrefraktometer schneidet wesentlich schlechter ab. Nur 42% der sphärischen Werte lagen innerhalb von $\pm 0,5$ dpt vom richtigen Wert. Die Ursache liegt in der fehlenden Möglichkeit zur Akkommodationsentspannung, denn in einer früheren Untersuchung [6] hatten wir herausgefunden, dass das SureSight in Zyloplegie eine deutlich höhere Genauigkeit von 68% erreicht.

Eine wesentlich höhere Anzahl nahezu richtiger Werte ergab sich bei der Analyse der Zylinderfehler (Tab.1, DC, DA, TAD). Alle fünf Geräte trafen die Zylinderstärke (DC) in mehr als 90% aller Fälle auf $\pm 0,5$ dpt genau. Beim Charops lagen erstmals 100% aller Zylinderstärken im Toleranzintervall. Bei der Zylinderachse (DA) waren die Geräte von Canon, Humphrey und Charops signifikant besser als die beiden anderen. Die totale astigmatische Differenz (TAD) der Tischgeräte war in 90% bis 99% kleiner als $0,63$ dpt. Die astigmatische Genauigkeit aller Tischgeräte ist demnach so gut, wie die der besten Geräte aus

dem Jahr 1987 (Tab. 1, Zeile 6) oder sogar noch besser. Auch das SureSight schnitt bei der Astigmatismusmessung überraschend gut ab.

Diskussion

Seit der Vorstellung der ersten Autorefraktometer im Jahre 1971 sind die Konstruktionsprinzipien vielfach verändert worden. Ein wesentliches Entwicklungsziel war die Beschleunigung der Messung. Das Dioptron Ultima aus dem Jahr 1984 brauchte für eine Messung oft mehr als eine Minute. Alle heutigen Geräte benötigen für die Messung nur noch den Bruchteil einer Sekunde. Deshalb können die heutigen Geräte durchweg auch bei Kindern angewandt werden.

Ein zweites Entwicklungsziel war die Vereinfachung der optischen Konstruktion. Dadurch können die Autorefraktoren heute wesentlich kostengünstiger angeboten werden als früher.

Das dritte Entwicklungsziel war die Vereinfachung der Bedienung. Die Geräte von Canon und Humphrey sind sehr komfortabel und zentrieren sich selbsttätig. Der Bediener muss nur noch die grobe Positionierung des Patienten vornehmen. Beim Charops muss der Bediener die Justierung gegenüber dem Auge selbst durchführen. Dies gelingt aber relativ leicht. Der Hersteller des Shin-Nippon sollte hingegen über eine Verbesserung der Justierung nachdenken, denn die zur Zeit verwendete Justiermethode ist sehr umständlich.

Ein viertes Entwicklungsziel war die Integration zusätzlicher Messfunktionen im Gerät. Heute verfügen viele Autorefraktoren über eine Einrichtung zur Messung der Hornhautradien, eine Option, die besonders für Kontaktlinsenanpasser interessant ist. Die früher bei vielen Geräten integrierte Möglichkeit zur Visusbestimmung im Gerät findet man hingegen heute nicht mehr.

Die hier vorgelegten Ergebnisse belegen, dass es hinsichtlich der sphärischen Messgenauigkeit im Laufe der Jahre keine wesentlichen Verbesserungen gegeben hat. Die heutigen Autorefraktor-Tischgeräte sind nicht genauer als die vorangegangenen Generationen.

Die wesentlich geringere sphärische Messgenauigkeit des SureSight kann auf die fehlende Vorrichtung zur Akkommodationsentspannung zurückgeführt werden. Deshalb kann das

Produkte für das Screening

- Allgemein- und Sportscreening
- Kinderteste, Stereoteste
- Farbtteste, Kontrastteste
- Visualtrainingsprodukte

VISUS GmbH • Calwer Str. 41
70173 Stuttgart • Tel. +49-711-226 16 50 • Fax: 29 63 99

Onlineshop: www.visus.de

SureSight eigentlich nur Augenärzten und Optometristen empfohlen werden, die akkommodationslähmende Tropfen einsetzen dürfen. Bei der Bewertung dieses Aspektes sollte man aber daran denken, dass das SureSight in erster Linie für die Untersuchung von sehr kleinen Kindern entwickelt wurde, die mit den Autorefraktor-Tischgeräten aufgrund ihrer kurzen Messdistanz und der Bewegungsunruhe der Kinder nicht gemessen werden können.

Eine leichte Verbesserung ergab sich beim Astigmatismus. Hier waren alle geprüften Tischgeräte genauso gut oder sogar noch besser als die besten Geräte der früheren Generationen. Auch das SureSight hat sich hier gut bewährt.

Tabelle 2 zeigt abschließend den Versuch einer vereinfachten Bewertung. Insgesamt gesehen läßt sich festhalten, dass die heutigen Autorefraktoren schneller messen und einfacher zu bedienen sind als früher. Das eingebaute Ophthalmometer bietet zudem einen Zusatznutzen.

	Bedienungs- komfort	Justierung des Patientenauges	sphärische Mess- genauigkeit	zylindrische Mess- genauigkeit
Canon Autoref RK-F1	++	++	+	+
MRK-3100 Charops	+	+	+	+
Humphrey Accutis 5015	+	++	+	+
Shin-Nippon Accuref-K 9001	-	-	+	+
SureSight	+	o	--	+
++ sehr gut; + gut; o befriedigend; - ausreichend; -- mangelhaft				

Tabelle 2: Versuch einer vereinfachten Bewertung der geprüften Autorefraktoren

Da die Ergebnisse der Autorefraktoren oft nicht vollkommen fehlerfrei sind und in einigen wenigen Fällen sogar beträchtliche Abweichungen auftreten, sollte jeder Augenoptiker im Anschluss an die automatische Messung unbedingt eine subjektive Refraktionsbestimmung durchführen. Durch diese subjektive Gegenkontrolle können die Messfehler des Autorefraktors korrigiert werden. Zusätzlich hat der Kunde die Gelegenheit zum persönlichen Gespräch.

Sie möchten sich weiterbilden?

Unsere Fachbücher sind die Lösung!

Fordern Sie unser ausführliches Verlagsprogramm an.

DOZ

DOZ-Verlag
Postfach 12 02 01 · 69065 Heidelberg
Tel. (0 62 21) 90 51 70 · Fax 90 51 71

Anhang: Beurteilungskriterien

Die Symbole S, C und α kennzeichnen den sphärischen Brechwert, die Zylinderstärke und die Achse. Die Zylinderstärke C wird als Minuszylinder eingesetzt. Der Index AR bezeichnet den Messwert des Autorefraktors, der Index SR den mit der subjektiven Refraktion gefundenen Wert. Zum Vergleich der Refraktionswerte wurden folgende Qualitätskriterien benutzt:

- 1.) Differenz der sphärischen Äquivalente DSÄ

$$DS\ddot{A} = (S_{AR} + 0,5 C_{AR}) - (S_{SR} + 0,5 C_{SR})$$

- 2.) Differenz der Zylinderstärken (DC)

$$DC = C_{AR} - C_{SR}$$

- 3.) Achsendifferenz (DA)

$$DA = 2C_{SR} \sin(\alpha_{AR} - \alpha_{SR})$$

- 4.) Totale astigmatische Differenz (TAD)

$$TAD = +\sqrt{C_{AR}^2 + C_{SR}^2 - 2C_{AR}C_{SR} \cos(2(\alpha_{AR} - \alpha_{SR}))}$$

- 5.) Power-Vektor Analyse

Die Power-Vektor Analyse ermöglicht eine neuartige Beschreibung von Zylinderfehlern. Zuerst werden die gemessenen Zylinderwerte in eine Komponente mit horizontal/vertikaler Achslage J_0 und eine Komponente mit schräger ($45^\circ/135^\circ$) Achslage J_{45} zerlegt

$$\begin{aligned} J_{0,AR} &= (-C_{AR}/2) \cos(2\alpha_{AR}) & \text{und} & & J_{0,SR} &= (-C_{SR}/2) \cos(2\alpha_{SR}) \\ J_{45,AR} &= (-C_{AR}/2) \sin(2\alpha_{AR}) & & & J_{45,SR} &= (-C_{SR}/2) \sin(2\alpha_{SR}) \end{aligned}$$

Dann kann die so genannte „J-Vektordifferenz ($\Delta\vec{J}$)“ zwischen den automatisch und subjektiv ermittelten Werte geschrieben werden als

$$\Delta\vec{J} = (\Delta J_0, \Delta J_{45})$$

wobei ΔJ_0 und ΔJ_{45} definiert sind durch

$$\Delta J_0 = (J_{0,AR} - J_{0,SR})$$

$$\Delta J_{45} = (J_{45,AR} - J_{45,SR})$$

In Abb. 7 sind die beiden Komponenten und des Vektors aufgetragen. Diese Vorgehensweise erlaubt es, Fehler, die sich bei Zylindern unterschiedlicher Stärke und Achse ergeben haben, direkt miteinander zu vergleichen.

Literatur

1. Rassow, B., W. Wesemann: Moderne Augenrefraktometer; Funktionsweise und vergleichende Untersuchungen. Enke; Bücherei des Augenarztes, Band 102 (1984)
2. Rassow, B., W. Wesemann: Automatische Augenrefraktometer. In: Ophthalmologisch-optische Instrumente, (Hrsg. B. Rassow), Enke; Bücherei des Augenarztes, Band 111: 42-65 (1987)
3. Wesemann, W., B. Rassow: Automatic infrared refractors - A comparative study. Am. J. Optom. Physiol. Opt.; 64: 627-638 (1987)
4. Wesemann, W., B. Dick: Accuracy and accommodation capability of a handheld autorefractor. J. Cataract Refract. Surg.; 26: 62-70 (2000)
5. Wesemann, W.: Erfahrungen mit dem handgehaltenen Autorefraktometer „Retinomax K-Plus“ DOZ, Heft 4, 28-32, (1998).
6. Schimitzek, T., W. Wesemann: Clinical evaluation of refraction using a handheld wavefront autorefractor in young and adult patients. J. Cataract Refract. Surg.; 28: 1655-1666 (2002)
7. Thibos, LN., D. Horner: Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. J. Cataract. Refract. Surg.; 27: 80-85 (2001)

Anschrift des Verfassers:

PD Dr. W. Wesemann, Höhere Fachschule für Augenoptik,
Bayenthalgürtel 6-8, 50968 Köln,
E-Mail: wesemann@hfak.de