



Verwendung der Apple Watch zur Schätzung der Sechs- Minuten-Gehdistanz

Mai 2021

Inhalt

Überblick	3
Einleitung	3
Sechs-Minuten-Gehtest im klinischen Umfeld.....	3
Auf Distanz durchgeführter Sechs-Minuten-Gehtest	3
Geschätzte Sechs-Minuten-Gehdistanz	4
Beschreibung der Metrik.....	4
Entwicklung.....	4
Ergebnisse	6
Diskussion.....	8
Schlussfolgerungen	9
Quellen	9

Überblick

Mit watchOS 7 bietet Apple Watch Series 3 und höher eine Schätzung der Entfernung, die Benutzer in sechs Minuten zu Fuß zurücklegen können. Dabei kann dieser Wert in Gesundheitsanwendungen als Marker für die allgemeine kardiovaskuläre Fitness und Mobilität einer Person verwendet werden. Dieses Dokument bietet umfassende Informationen darüber, wie die Schätzung dieser Metrik auf Apple Watch erfolgt, einschließlich Informationen zu der Testung und der Validierung.

Einleitung

Sechs-Minuten-Gehtest im klinischen Umfeld

Der Sechs-Minuten-Gehtest (6MWT) stellt eine einfache Methode zur Beurteilung der funktionellen Kapazität und Ausdauer einer Person dar. Dieser Sechs-Minuten-Gehtest wurde erstmalig in den frühen 1980er-Jahren als eine Alternative zu anspruchsvolleren und teuren Belastungstests eingeführt, die bei vergleichbarer Validität eine bessere Verträglichkeit bot.¹ Er wird meistens im klinischen Umfeld durchgeführt und besteht darin, dass eine Person beobachtet wird, wie sie sechs Minuten lang einen Gang bekannter Länge auf und ab geht. Das Ergebnis des Tests besteht in der Gesamtdistanz, die während der sechs Minuten gelaufen wird, die so genannte Sechs-Minuten-Gehdistanz (6MWD). In den etwa 40 Jahren seit seiner Einführung wurde der Test bei vielen Altersgruppen, Ethnien, Gesundheits- und Krankheitszuständen gut beschrieben. Er wurde als Endpunkt klinischer Studien zur Untersuchung der Wirksamkeit unterschiedlicher Interventionen bei Krankheiten sowie als Messgröße für die Risikostratifizierung in breiten Bevölkerungsgruppen verwendet.²

Jedoch gibt es neben den Vorteilen und dem Nutzen des Sechs-Minuten-Gehtests auch Nachteile hinsichtlich der Durchführung und der Interpretation des Tests in der routinemäßigen Anwendung. Zunächst muss die Praxis bzw. die Klinik über geeignete Räumlichkeiten, typischerweise einen Gang, von ausreichender Länge (in der Regel 10 bis 30 Meter) verfügen, in der eine Person ungestört gehen kann, ohne dabei die normalen klinischen Abläufe zu behindern. Zweitens können der Zeitaufwand und die damit verbundenen Kosten für den Test erheblich sein, da in der Regel mindestens ein Übungsdurchlauf erforderlich ist, um die Testperson mit dem Ablauf vertraut zu machen. Darauf folgen eine einstündige Pause und ein zweiter Durchlauf, der dann folgt ein zweiter Test, der in der Regel ein genaueres Ergebnis liefert.^{3,4,5,6}

Auf Distanz durchgeführter Sechs-Minuten-Gehtest

Unter Umständen besteht in einer hektischen klinischen Umgebung keine Möglichkeit zur Durchführung des Sechs-Minuten-Gehtests. Zu Hause durchgeführte Sechs-Minuten-Gehtests korrelieren stark mit überwachten Untersuchungen im klinischen Setting und können eine angemessene Alternative darstellen.⁷ 6MWD-Bestimmungen mittels Smartphones korrelieren mit Messungen im klinischen Umfeld; in einer Studienumgebung wurden jedoch nur 60 Prozent der zu Hause durchgeführten und mit einem Smartphone bestimmten 6MWTs durchgeführt.⁸ Die Testung zuhause ist vielversprechend. Angesichts der geringen Compliance der Teilnehmer ist sie jedoch möglicherweise nicht in großem Umfang oder über lange Zeiträume durchführbar.

Die Apple Watch verändert die Art und Weise der Bestimmung der 6MWD und hilft dabei, die oben genannten praktischen Herausforderungen sowohl bei der Testung zuhause als auch bei Untersuchungen im klinischen Umfeld zu überwinden. Mit den passiv mittels Apple Watch Series 3 und höher mit watchOS 7 erfassten Daten können die Anwender eine Schätzung ihrer 6MWD visualisieren und teilen. Die geschätzte Sechs-Minuten-Gehdistanz (e6MWD) basiert auf multimodalen Sensorsignalen, die über lange Zeiträume des normalen Verhaltens eines Benutzers passiv beobachtet werden, und nicht auf einer

direkten, einmaligen Zeitmessung des Gehens über 6 Minuten. In den meisten Fällen wird die e6MWD (geschätzte 6MWD) wöchentlich aktualisiert und steht den Benutzern in der Health-App auf einem iPhone, die mit ihrer Apple Watch gekoppelt ist, zur Verfügung.

Geschätzte Sechs-Minuten-Gehdistanz

In diesem Dokument werden die Entwicklung und Validierung der e6MWD-Metrik beschrieben. Die Zielgruppe sind Forscher, Mediziner und Entwickler, die diese Metrik unter Umständen in ihre Arbeit einbeziehen möchten, sowie Kunden, die mehr über die e6MWD-Metrik und deren Erfassung und Validierung erfahren möchten. Entwickler können developer.apple.com/documentation/healthkit aufsuchen, um Informationen darüber, wie sie auf Gesundheits- und Fitnessdaten, wie die e6MWD, zugreifen und diese teilen können, ohne die Privatsphäre und Kontrolle des Benutzers zu verletzen, zu finden.

Beschreibung der Metrik

Die e6MWD-Metrik schätzt die Distanz, die ein Benutzer in einem 6MWT in einer kontrollierten Umgebung zurücklegen würde. Diese Schätzung basiert auf Bewegungs- und Aktivitätsdaten, die in den vier Wochen vor der Schätzung erfasst wurden. In der Abbildung 1 sehen Sie ein Beispiel dafür, was ein Benutzer in der Health-App auf dem iPhone sehen könnte. Der Wert wird in Metern angegeben und wird für die meisten Benutzer wöchentlich aktualisiert. Damit eine e6MWD generiert werden kann, müssen innerhalb der letzten Woche mindestens drei Tage vorliegen, in denen die Apple Watch während normaler täglicher Aktivitäten (beispielsweise Wachzeit während der Ausübung einiger leichter Aufgaben im Haushalt) mindestens 8 Stunden lang getragen wurde. Zudem sind bezugnehmend auf die vergangenen 4 Wochen insgesamt 10 Tage erforderlich, bei denen die 8-Stunden-Schwelle erreicht wurde. Ein Outdoor-Gehen-Training, das in der Vorwoche mit der Workout-App auf der Apple Watch aufgezeichnet wurde, kann diese Anforderungen reduzieren.

Mit der HealthKit API von Apple können Benutzer diese Informationen mit den auf dem iPhone installierten Apps teilen.⁹ Jede Schätzung hat begleitende Metadaten, die den Kalibrierungsstatus des Geräts erfassen, was sich auf die Genauigkeit der Schätzung auswirken kann und weiter unten in der Diskussion beschrieben wird. Diese Metadaten werden einbezogen, wenn andere Apps über die HealthKit API auf die Schätzungen zugreifen.

Entwicklung

Für die Entwicklung und Validierung der e6MWD-Metrik sammelte Apple Daten aus mehreren Studien, die von einer Ethikkommission (EK) genehmigt wurden. An diesen Studien nahmen Erwachsene im Alter von 65 Jahren und älter teil, die entweder im eigenen Haushalt oder in einer Altersresidenz lebten und die der Erfassung und Verwendung ihrer Daten für diesen Zweck zugestimmt haben. Die Teilnehmer wurden so ausgewählt, dass ein die Vielfalt im Hinblick auf den Aktivitätsgrad und den funktionellen Status sichergestellt war. Jedoch waren alle Teilnehmer im Santa Clara Valley, Kalifornien wohnhaft.

Die Studienteilnehmer absolvierten überwachte 6MWTs in Übereinstimmung mit veröffentlichten Richtlinien² auf einer linearen und ebenen „Hin- und Rück“-Strecke mit einer Länge von 15 bis 30 Metern, während sie eine Apple Watch Series 4 trugen und ein iPhone 8 oder neuer mit sich führten. Die Protokolle für die Referenz-6MWTs, die der Datenerfassung für die Entwicklung und die Validierung dienten, waren identisch. Die Teilnehmer absolvierten während ihrer Studienteilnahme bis zu fünf 6MWTs, wobei keine wiederholten Tests am selben Tag stattfanden. Die Ergebnisse der Referenztests wurden mit zusätzlichen Sensormessungen verifiziert, um die Genauigkeit der aufgezeichneten Längen zu gewährleisten. Tests, die die Verifizierungsetappen nicht bestanden, flossen in die Algorithmusentwicklung nicht hinein.

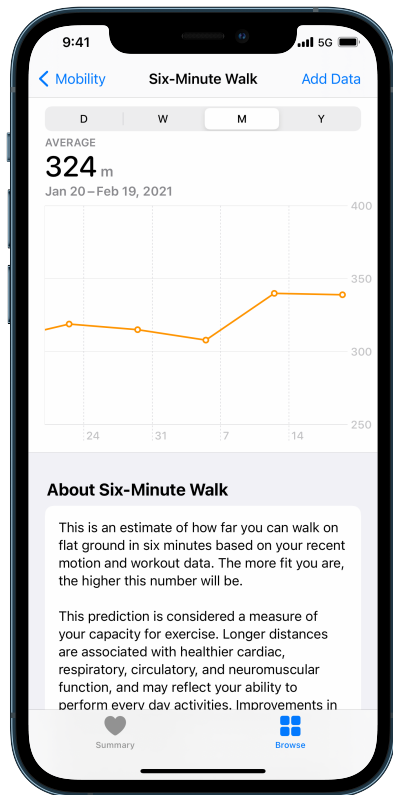


Abbildung 1: Geschätzte Sechs-Minuten-Gehdistanz in der Health-App auf iOS 14

Die Teilnehmer wurden dann gebeten, ihre Apple Watch zu tragen und ihr iPhone während der gesamten Studiendauer bei normalen Alltagsaktivitäten mitzuführen. Während des Studienzeitraums wurden Daten von einer Reihe von Apple Watch- und iPhone-Sensoren erfasst und für die Entwicklung des e6MWD-Algorithmus verwendet. Eingaben in den e6MWD-Algorithmus sind Sensordaten (Beschleunigungsmesser, Gyroskop, Barometer und GPS) sowie andere von der Apple Watch gemessene Metriken, wie f zurückgelegte Treppenabsätze, Schritte, Trainingsminuten, Gehstrecken, geschätzte Schrittlänge und Gehgeschwindigkeit.

Die Teilnehmerdaten wurden in einen Entwicklungs- und einen Validierungsdatensatz aufgeteilt, um ein Gleichgewicht hinsichtlich Alter, Geschlecht und Funktionsniveau in beiden Datensätzen herzustellen. Der Entwicklungsdatensatz wurde zur Entwicklung des e6MWD-Algorithmus verwendet. Die Leistungsfähigkeit des Algorithmus wurde anhand des Vergleichs der e6MWD mit den Referenz-6MWD-Ergebnissen der Teilnehmer ermittelt. Der Validierungsdatensatz wurde anschließend verwendet, um die Leistungsfähigkeit des Algorithmus zu bestätigen.

Die Validität der e6MWD-Metrik wurde als Mittelwert und Standardabweichung der Fehler zwischen den wöchentlichen e6MWD-Schätzungen und dem zeitlich nahen Referenztest des Teilnehmers ermittelt. Die Zuverlässigkeit wurde basierend auf der Berechnung der absoluten Übereinstimmung zwischen den Messungen bewertet und als Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) angegeben. Die Konsistenz der e6MWD-Metrik wird als Median und 90.-Perzentil-Standardabweichung der wöchentlichen e6MWD-Schätzungen pro Teilnehmer ausgedrückt, für die mindestens drei Schätzungen zur Verfügung standen. Die Verfügbarkeit bzw. der Ertrag der e6MWD-Metrik wurde als Anteil an der Gesamtzahl der Wochen bewertet, die die Mindestanforderungen an die Tragezeit der Apple Watch erfüllten und Schätzungen generierten, sowie als Anteil der Teilnehmer, die in mindestens 75 Prozent der Wochen Schätzungen erhalten hatten.

Ergebnisse

Baseline-Charakteristika der Teilnehmer, deren Daten für Design und Validierung verwendet wurden, sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1. Charakteristika der Teilnehmer

	Design (N = 930)	Validierung (N = 449)
Geschlecht – Anzahl (%)		
Weiblich	578 (62)	263 (59)
Männlich	349 (38)	184 (41)
Sonstige/Unbekannt	3 (0)	2 (0)
Alter – Jahre*	82 ± 7	78 ± 7
Referenz-6MWD – Meter (Mittel ± SA)	375 ± 98	399 ± 102
Beobachtungsdauer – Tage (Mittel ± SA)	389 ± 48	359 ± 67
Begleiterkrankungen – Anzahl (%)		
Arthritis (Hüfte oder Knie)	244 (26)	80 (18)
Diabetes	62 (7)	30 (7)
Koronare Herzkrankheit	79 (9)	31 (7)
COPD	37 (4)	7 (2)
Verwendung von Hilfsmitteln (während des 6MWT) – Anzahl (%)		
Keine	718 (77)	395 (88)
Gehstock	73 (8)	26 (6)
Rollator	145 (16)	31 (7)
Sonstige/Unbekannt	20 (2)	5 (1)
BMI-Kategorie – Anzahl (%)		
Untergewicht (BMI < 18,5)	13 (1)	2 (0)
Normalgewicht (18,5 ≤ BMI < 25,0)	379 (40)	158 (35)
Übergewicht (25,0 ≤ BMI < 30,0)	352 (38)	191 (43)
Adipositas (BMI ≥ 30,0)	185 (20)	98 (22)
* Bei Teilnehmern im Alter von über 90 Jahren wurde das genaue Alter nicht aufgezeichnet, um eine mögliche Wiedererkennung zu vermeiden. Bei der Berechnung des Durchschnittsalters wurde das Alter dieser Teilnehmer auf 90 Jahre gesetzt.		

Der Median und die 90. Perzentil-Standardabweichung der Referenz-6MWDs pro Teilnehmer betragen 16 Meter bzw. 41 Meter, und die ICC lag bei 0,926 [0,921–0,931 KI]. Bei der Beschränkung auf Referenztests, die die Überprüfung hinsichtlich der Genauigkeit bestanden haben, betragen der Median und die 90. Perzentil-Standardabweichung 15 und 37 Meter. Der ICC lag bei 0,939 [0,934–0,943 KI]. In Studien wurden ähnliche ICC-Werte, die von 0,82 bis 0,99 reichen, festgestellt.¹⁰

Tabelle 2. e6MWD-Leistung

Kennzahl	Beschreibung	Design (N = 930 Teilnehmer, 35.890 weeks)	Validierung (N = 449 Teilnehmer, 15.223 Wochen)
Gültigkeit	Fehler (wöchentliche e6MWD – nächster Referenztest) – Meter (Mittel ± SA)	1 ± 55	1 ± 51
Zuverlässigkeit	ICC [Konfidenzintervall]	0,925 [0,922–0,928]	0,913 [0,909–0,916]
Konsistenz	SA der e6MWD pro Anwender – Meter		
	Median	21	17
	90. Perzentile	40	35
Verfügbarkeit	Prozentsatz der Wochen*, die eine e6MWD ergeben	92	94
	Prozentsatz der Teilnehmer, die in mindestens 75 % der Wochen eine e6MWD erhalten haben*	89	92

* Wochen mit ausreichender Tragezeit (das heißt, solche, die den Schwellenwert von mindestens drei Tagen mit mehr als acht Stunden Daten in der letzten Woche erreichten).

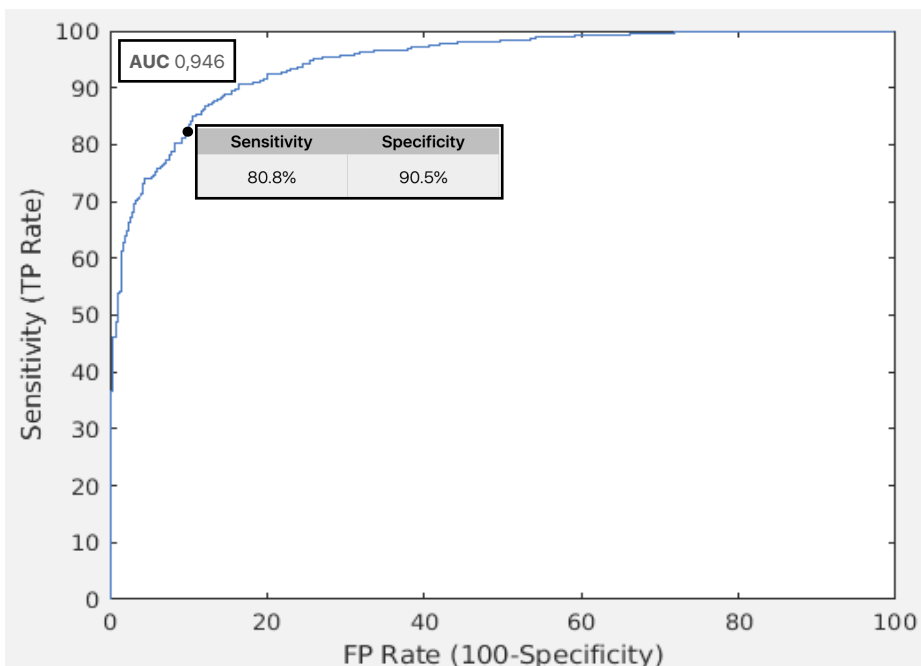


Abbildung 2: ROC-Kurve, Sensitivität und Spezifität für die e6MWD-Klassifizierung bei 360-Meter-Schwelle (TP = richtig positiv, FP = falsch positiv)

Tabelle 2 zeigt die Leistungsfähigkeit des Algorithmus für die Entwicklungs- und Validierungsdatensätze. Abbildung 2 präsentiert die Spezifität und Sensitivität des Einsatzes der e6MWD zur Klassifizierung von Benutzern in Bezug auf einen Schwellenwert von 360 Metern, zusammen mit der entsprechenden ROC-Kurve (AUC 0,946). Obwohl für die 6MWT noch keine allgemein akzeptierten Schwellenwerte für die Risikostratifizierung vorliegen, haben mehrere Studien Beziehungen zwischen der 6MWD (oder der entsprechenden mittleren Gehgeschwindigkeit) und gesundheitlichen Ergebnissen bei ähnlichen Schwellenwerten aufgezeigt.²

Diskussion

Dank der Veröffentlichung von watchOS 7 und iOS 14 werden Apple Watch-Benutzer in der Lage sein, eine Schätzung ihrer 6MWD in der Health-App auf ihrem iPhone anzuzeigen. Die zuverlässige wöchentliche 6MWD-Schätzung kann die Anwender von der Notwendigkeit befreien, 6MWTs zu Hause durchzuführen. Zudem kann sie angesichts der potenziell geringen Compliance bei häuslichen Tests die Langzeitüberwachung der funktionellen Kapazität und Ausdauer von Risikopersonen verbessern.

Die hier beschriebene e6MWD wies in den Design- und Validierungsdatensätzen eine ähnliche Genauigkeit auf, wobei die Konsistenz mit der von Referenztests aus der aktuellen Studie sowie aus anderen Berichten vergleichbar ist.¹¹ Bei normalem, nicht geleitetem Verhalten der Teilnehmer (das heißt, bei nicht geleiteter Tragezeit der Apple Watch und normalem Aktivitätsniveau) lag die Verfügbarkeit der Metrik bei über 90 Prozent (siehe Tabelle 2). Bei den Studienteilnehmern, für die kontinuierliche Daten vorlagen ($n = 703$), betrug die mittlere Zeit zwischen den Schätzungen etwa neun Tage, und bei 94 Prozent der Teilnehmer lag die mittlere Zeit zwischen den Schätzungen bei weniger als zwei Wochen. Dies legt nahe, dass die meisten Benutzer ungefähr wöchentliche Schätzungen erhalten sollten, insbesondere in einem Setting wie dem einer überwachten Forschungsstudie, in der die Teilnehmer daran erinnert werden, die Apple Watch zu tragen.

Die Benutzer können den Ertrag optimieren, indem sie eine kalibrierte Apple Watch täglich bei Aktivitäten, die einen repräsentativen Bereich abdecken, tragen. In Ermangelung dieser Gerätekalibrierung kann auch die iPhone-basierte Gehgeschwindigkeitsmetrik oder das GPS von iPhone und Apple Watch zur Kalibrierung dieser Metrik verwendet werden. In den beschriebenen Studien erreichten die meisten Benutzer (75 Prozent) diese Kalibrierung innerhalb von vier Wochen. Weitere Informationen zur Kalibrierung der Apple Watch stehen Ihnen unter der nachfolgenden Adresse zur Verfügung: support.apple.com/de-de/HT204516.

Der 6MWD-Algorithmus wurde von uns so konzipiert, dass er genaue Schätzungen für Personen mit geringer Leistungsfähigkeit und potenziellem Risiko liefert. Dazu haben wir den Algorithmus in einer Population älterer Erwachsener mit einer innerhalb eines klinisch sinnvollen Bereichs liegenden Referenz-6MWD und in Abwesenheit einer einzelnen Komorbidität entwickelt und validiert. Die Studienpopulationen, die für die Entwicklung und Validierung verwendet wurden, hatten Prävalenzen von Diabetes und Osteoarthritis, die jenen der US-Bevölkerung mit ähnlicher Altersstruktur entsprechen.¹² Es könnte jedoch sein, dass COPD und koronare Herzkrankheit im Vergleich zur erwarteten Prävalenz untergewichtet wurden.¹³ Die Verwendung von Hilfsmitteln während der Referenztests entsprach im Allgemeinen derjenigen der US-Bevölkerung, wobei die Verwendung von Blindenstöcken möglicherweise leicht unterrepräsentiert war.¹⁴

Bei klinischen Anwendungen des 6MWT (wie Risikostratifizierung und Bestimmung des therapeutischen Ansprechens) werden in der Regel Entfernungen von unter 500 Metern verwendet. Dies gilt für eine Vielzahl von Erkrankungen, einschließlich Herzinsuffizienz,¹⁵ pulmonalarterielle Hypertonie,¹⁶ chronisch-obstruktive Lungenerkrankung¹⁷ sowie Krebs.⁸ Basierend auf ihrem Fitnesslevel oder Alter können viele Benutzer durchgängig Werte von 500 Metern haben, was der maximalen Schätzung, die von diesem Algorithmus unterstützt wird, entspricht.

Während Gleichungen zur Vorhersage der 6MWD in der Regel auf der Körpergröße, dem Gewicht, dem Alter und eventuell anderen Merkmalen einer Person basieren,^{18,19} handelt es sich bei der hier beschriebenen e6MWD um eine individualisierte Schätzung, die auf direkten, von Sensoren abgeleiteten Messungen basiert. Der Vergleich von e6MWD mit auf Referenzgleichungen basierenden Vorhersagen zur Angabe eines „Prozentsatzes des Sollwerts“ kann einen Nutzen aufweisen, der über den des e6MWD-Wertes per se hinausgeht.²⁰ Die absolute e6MWD kann für die Risikostratifizierung bei älteren Erwachsenen von Nutzen sein. Yazdanyar et al. hat festgestellt, dass bei im eigenen Haushalt lebenden älteren Erwachsenen eine 6MWD von weniger als 338 Metern mit einem erhöhten Risiko der Gesamtmortalität verbunden war.²

Der Ansatz und die vorgestellten Ergebnisse sind jedoch nicht frei von Einschränkungen. Für die Entwicklung der e6MWD wurden Daten von beaufsichtigten 6MWTs mit unterschiedlichen Streckenlängen verwendet. Während einige Berichte besagen, dass die Streckenlänge einen statistisch signifikanten Einfluss auf die 6MWD hat,²¹ belegen die meisten Studien, dass dieser Unterschied nicht klinisch relevant ist und dass ein einheitliches Streckenlayout (beispielsweise oval gegenüber „hin und zurück“) einen größeren Einfluss auf die 6MWD hat.^{22,23} Erhöhte Variabilität wurde bei Benutzern mit geringem Leistungsvermögen festgestellt, insbesondere bei denjenigen, die auf den Rollator angewiesen waren (Daten nicht ausgewiesen). Die ethnische Vielfalt in der Studienpopulation entsprach nicht annähernd derjenigen der US-Bevölkerung. Frühere Studien in Populationen mit ähnlicher Altersstruktur haben jedoch keine unabhängigen Unterschiede in der 6MWD basierend auf ethnischer Zugehörigkeit aufgezeigt und empfahlen keine Anpassung der erwarteten Werte auf Basis dieser Faktoren.²⁴

Die Studien, die für die Entwicklung und die Validierung des 6MWD-Algorithmus verwendet wurden, waren nicht darauf ausgelegt, signifikante Veränderungen in der 6MWD der Teilnehmer im Verlauf der Beobachtung zu erfassen. Gesundheitliche Ereignisse, natürliche Alterung oder das Fortschreiten von Begleiterkrankungen können jedoch zu Veränderungen geführt haben. Bei 6MWD-Messungen im klinischen Umfeld kann eine „klinisch signifikante“ Veränderung zwischen etwa 15 und 50 Metern liegen, je nachdem von welcher zugrundeliegenden Erkrankung die untersuchte Population betroffen ist.^{4,25} Zukünftige Arbeiten, die die Fähigkeit zur Erkennung von Veränderungen auf dieser Skala aufzeigen, könnten Forscher und Entwickler in die Lage versetzen, diese Metrik zur Überwachung des Verlaufs einer Erkrankung oder der Erholung von einem gesundheitlichen Ereignis zu nutzen.

Schlussfolgerungen

Die Apple Watch ist in der Lage, eine wöchentliche Schätzung der 6MWD zu erstellen und bietet dem Benutzer damit eine neue Messgröße, mit der er mehrere Dimensionen seiner Gesundheit im Laufe der Zeit bestimmen und überwachen kann. Diese Daten können auch für Forscher und Mediziner nützlich sein. Das Tragen einer kalibrierten Apple Watch bei einer Reihe von Aktivitäten, die für die Kapazität eines Benutzers repräsentativ sind, ist der beste Weg, um sicherzustellen, dass jede Woche eine genaue Schätzung aufgezeichnet wird.

Quellen

¹Butland RJ, Pang J, Gross ER, Woodcock AA, Geddes DM. Two-, six-, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *British Medical Journal (Clinical Research Edition)*. 1982; 284(6329): 1607–1608. doi: 10.1136/bmj.284.6329.1607.

²Yazdanyar A, Aziz MM, Enright PL, et al. Association Between 6-Minute Walk Test and All-Cause Mortality, Coronary Heart Disease–Specific Mortality, and Incident Coronary Heart Disease. *Journal of Aging and Health*. 2014; 26(4): 583–599. doi: 10.1177/0898264314525665.

³ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2002; 166(1): 111–117. doi: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102.

⁴Solway S, Brooks D, Lacasse Y, Thomas S. A qualitative systematic overview of the measurement properties of functional walk tests used in the cardiorespiratory domain. *Chest*. 2001; 119(1): 256–270. doi: 10.1378/chest.119.1.256.

⁵Guyatt GH, Pugsley SO, Sullivan MJ, et al. Effect of encouragement on walking test performance. *Thorax*. 1984; 39(11): 818–822. doi: 10.1136/thx.39.11.818.

⁶Guyatt GH, Sullivan MJ, Thompson PJ, et al. The 6-minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Canadian Medical Association Journal*. 1985; 132(8): 919–923.

⁷Du H, Davidson PM, Everett B, et al. Correlation between a self-administered walk test and a standardised Six Minute Walk Test in adults. *Nursing & Health Sciences*. 2011; 13(2): 114–117. doi: 10.1111/j.1442-2018.2011.00605.x.

⁸Douma JAJ, Verheul HMW, Buffart LM. Feasibility, validity and reliability of objective smartphone measurements of physical activity and fitness in patients with cancer. *BMC Cancer*. 2018; 18(1): 1052. doi: 10.1186/s12885-018-4983-4.

⁹developer.apple.com/documentation/healthkit.

¹⁰Holland AE, Spruit MA, Troosters T, et al. An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. *European Respiratory Journal*. 2014; 44(6): 1428–1446. doi: 10.1183/09031936.00150314.

¹¹Gibbons WJ, Fruchter N, Sloan S, Levy RD. Reference values for a multiple repetition 6-minute walk test in healthy adults older than 20 years. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*. 2001; 21(2): 87–93. doi: 10.1097/00008483-200103000-00005.

¹²Centers for Disease Control and Prevention (website). U.S. Department of Health & Human Services. Accessed September 2, 2020. [cdc.gov](https://www.cdc.gov).

¹³Older Americans & Cardiovascular Diseases: Statistical Fact Sheet. *American Heart Association*. heart.org/idc/groups/heart-public/@wcm/@sop/@smd/documents/downloadable/ucm_483970.pdf.

¹⁴Gell NM, Wallace RB, LaCroix AZ, Mroz TM, Patel KV. Mobility device use in older adults and incidence of falls and worry about falling: findings from the 2011–2012 national health and aging trends study. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2015; 63(5): 853–859. doi: 10.1111/jgs.13393.

¹⁵Yap J, Lim FY, Gao F, Teo LL, Lam CSP, Yeo KK. Correlation of the New York Heart Association Classification and the 6-Minute Walk Distance: A Systematic Review. *Clinical Cardiology*. 2015; 38(10): 621–628. doi: 10.1002/clc.22468.

¹⁶Boucly A, Weatherald J, Savale L, et al. Risk assessment, prognosis and guideline implementation in pulmonary arterial hypertension. *European Respiratory Journal*. 2017; 50(2): 1700889. doi: 10.1183/13993003.00889-2017.

¹⁷Cote CG, Casanova C, Marin JM, et al. Validation and comparison of reference equations for the 6-min walk distance test. *European Respiratory Journal*. 2008; 31(3): 571–578. doi: 10.1183/09031936.00104507.

¹⁸Zou H, Zhu X, Zhang J, et al. Reference equations for the six-minute walk distance in the healthy Chinese population aged 18–59 years. *PLOS ONE*. 2017; 12(9): e0184669. doi: 10.1371/journal.pone.0184669.

¹⁹Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1998; 158(5 Pt 1): 1384–1387. doi: 10.1164/ajrccm.158.5.9710086.

²⁰Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six minute walking distance in healthy elderly subjects. *European Respiratory Journal*. 1999; 14(2): 270–274. doi: 10.1034/j.1399-3003.1999.14b06.x.

²¹Almeida VP, Ferreira AS, Guimarães FS, Papathanasiou J, Lopes AJ. Predictive models for the six-minute walk test considering the walking course and physical activity level. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2019; 55(6): 824–833. doi: 10.23736/S1973-9087.19.05687-9.

²²Heinz PDR, Gulart AA, Klein SR, et al. A performance comparison of the 20 and 30 meter six-minute walk tests among middle aged and older adults. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2019; 1: 1–9. doi: 10.1080/09593985.2019.1645251.

²³Sciurba F, Criner GJ, Lee SM, et al. Six-minute walk distance in chronic obstructive pulmonary disease: reproducibility and effect of walking course layout and length. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003; 167(11): 1522–1527. doi: 10.1164/rccm.200203-166OC.

²⁴Enright PL, McBurnie MA, Bittner V, et al. The 6-min walk test: A quick measure of functional status in elderly adults. *Chest*. 2003; 123(2): 387–398. doi: 10.1378/chest.123.2.387.

²⁵Bohannon RW, Crouch R. Minimal clinically important difference for change in 6-minute walk test distance of adults with pathology: a systematic review. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*. 2017; 23(2): 377–381. doi: 10.1111/jep.12629.