



MEDICINSKA FAKULTETEN

Lunds universitet

Avdelningen för logopedi, foniatri och audiologi

Institutionen för kliniska vetenskaper, Lund

Laryngeal aktivitet vid reglering av röststyrka

**En jämförelse mellan
personer med och utan sångträningserfarenhet**

**Karin Sjögren
Emma Ström**

Logopedutbildningen, 2013

Vetenskapligt arbete, 30 högskolepoäng

Handledare: Anders Löfqvist

SAMMANFATTNING

Inledning: I denna uppsats undersöktes glottala och fonationsaerodynamiska värden vid olika röststyrkenivåer, med syfte att öka kunskapen om vad som händer på laryngeal nivå när vi höjer och sänker röststyrkan. En grupp sångare jämfördes med personer som inte fått röstträning för att ta reda på om det finns skillnader mellan grupperna i relation till de glottala parametrarna hastighetskvot och öppetkvot samt de fonationsaerodynamiska parameterarna subglottalt tryck, luftflöde genom glottis och lufttrycksmotstånd i glottis.

Metod: De metoder som användes var laryngoskopisk höghastighetsfilmning/digital kymografi och Phonatory Aerodynamic System.

Resultat: Med ökad intensitet ökade luftflöde genom glottis, glottalt motstånd och subglottalt tryck. Öppetkvot minskade med ökad intensitet. Hastighetskvot visade inget signifikant samband med intensitet. Undersökning av varje grupp för sig visade att sambandet luftflöde-intensitet endast gällde sångare och öppetkvot-intensitet gällde endast personer utan sångträning. Sambandet subglottalt tryck-intensitet var starkare för personer utan sångerfarenhet. Gruppen sångare hade signifikant mindre glottalt motstånd. Jämförelser av fonationsaerodynamiska och glottala värden visade att vid svag röststyrkenivå var glottalt motstånd och subglottalt tryck större hos personer med större öppetkvot. Vid stark röststyrka var flödet större och det glottala motståndet mindre hos personer med större hastighetskvot.

Diskussion: Reglering av röststyrka kan ske på olika sätt, och det kan påverkas av sångträningserfarenhet. Resultaten tyder på att sångare använder luftflöde för att höja och sänka röststyrkan, medan ej sångtränade personer reglerar röststyrka med hjälp av stämvecksaktivitet (öppetkvot). Det skulle kunna bero på att sångare har högre krav på konsekvens i stämvecksrörelser oavsett röststyrkenivå.

Sökord: intensitet, laryngoskopi, fonationsaerodynamik, sångträning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning.....	1
Syfte och frågeställning.....	1
Tidigare forskning.....	2
Glottala värden.....	2
Fonationsaerodynamiska värden.....	3
Metod.....	6
Forskningspersoner.....	6
Bortfall.....	6
Material.....	6
Höghastighetskamera.....	6
Phonatory Aerodynamic System.....	7
Procedur.....	7
Databehandling.....	8
Etiska överväganden.....	8
Resultat.....	9
Glottala värden.....	9
Fonationsaerodynamiska värden.....	12
Relationen mellan glottala och fonationsaerodynamiska värden.....	16
Diskussion.....	17
Reglering av röststyrka.....	17
Samband mellan fonationsaerodynamiska och glottala värden.....	18
Skillnader mellan sångare och personer utan sångträningserfarenhet.....	18
Jämförelser med tidigare studiers medelvärden.....	19
Metoddiskussion.....	22
Vidare forskning och avslutning.....	22
Tack.....	22
Referenser.....	23

INLEDNING

Intensitet, ljudstyrkenivå, är centralt i vår uppfattning av en röst. Förmågan att kontrollera röststyrkan kan påverka hela kommunikationssituationen, till exempel under samtal mellan personer som befinner sig på olika avstånd ifrån varandra (Traunmüller & Eriksson, 2000). Svårigheter med reglering av röststyrkan är karaktäristiskt för vissa röstproblem, som hos personer med ataktisk afasi. Sänkt röststyrka är även ett vanligt symptom för till exempel Parkinsons sjukdom och stämveckspares (Finnegan, Luschei & Hoffman, 2000). Kunskap om hur intensitetsregleringen hos en person med en typisk röst sker är nödvändig för att vi bättre ska förstå bakgrunden till problem med kontrollen av röststyrkan, och utveckla mer effektiva metoder för röstterapi.

Röststyrka är ett område som redan undersökts ingående, men forskningen får en ny utgångspunkt i och med den tekniska utveckling som skett inom foniatri under de senaste åren (Deliyski & Hillman, 2010). För att öka kunskapen om kontroll av röststyrka kombinerar denna studie två metoder för mätning av röstens funktion: höghastighetsfilmning med laryngoskopin *Rickard Wolf model 5562.90 color* och fonationsaerodynamisk mätning med *Kay Pentax Phonatory Aerodynamic System* (PAS). För att undersöka om olika bakgrund av röstträning leder till olika tekniker för höjning och sänkning av röststyrkan kommer en grupp sångare jämföras med en grupp personer som inte fått någon röst- eller sångträning.

Baserat på en lång forskningstradition vet vi idag att röstens styrka, ett perceptuellt mått som korrelerar med en generell ökning av ljudtrycksnivån (uttryckt i decibel, dB), påverkas av såväl fonationsaerodynamiskt (andningsapparaten) som glottalt arbete (stämveckan). Subglottalt tryck, luftflöde, glottalt motstånd samt stämveckans stängningshastighet och öppetkvot är alla variabler som visat sig ha verkan på röststyrkan (Colton, Casper & Leonard, 2011). Den tekniska utvecklingen av mätmetoder ger oss idag nya möjligheter att med ett större antal forskningspersoner undersöka vad som händer i larynx vid olika röststyrkenivåer.

Syfte och frågeställning

I denna uppsats undersöks fonationsaerodynamiska och glottala mått vid olika röststyrkenivåer, med syfte att öka kunskapen om vad som händer när vi höjer och sänker röststyrkan. En grupp sångare jämförs med personer som inte fått sång- eller röstträning för att ta reda på om det finns någon skillnad mellan grupperna i relation till de glottala parametrarna hastighetskvot och öppetkvot samt de fonationsaerodynamiska parameterarna subglottalt tryck, luftflöde och lufttrycksmotstånd i glottis. För de glottala måtten undersöks två röststyrkenivåer under en uthållen vokal: svagast möjliga utan att viska respektive starkast möjliga utan att skrika. För de fonationsaerodynamiska måtten undersöks tre röststyrkenivåer: bekväm samtalsstyrka (normal röststyrka), 6-10 dB starkare än normal (stark röststyrka) och 6-10 dB svagare än normal (svag röststyrka). Fokus kommer att ligga på följande frågeställningar:

- Vilken information om reglering av ljudtrycksnivå kan vi få genom PAS och höghastighetsfilmning/digital kymografi? Skiljer sig dessa resultat från tidigare forskning?

- Finns det flera olika sätt att på laryngeal nivå kontrollera och reglera röststyrka? Finns det någon skillnad i hur sångare och personer som inte fått sång- eller röstträning reglerar röststyrka?

Tidigare forskning

Glottala värden

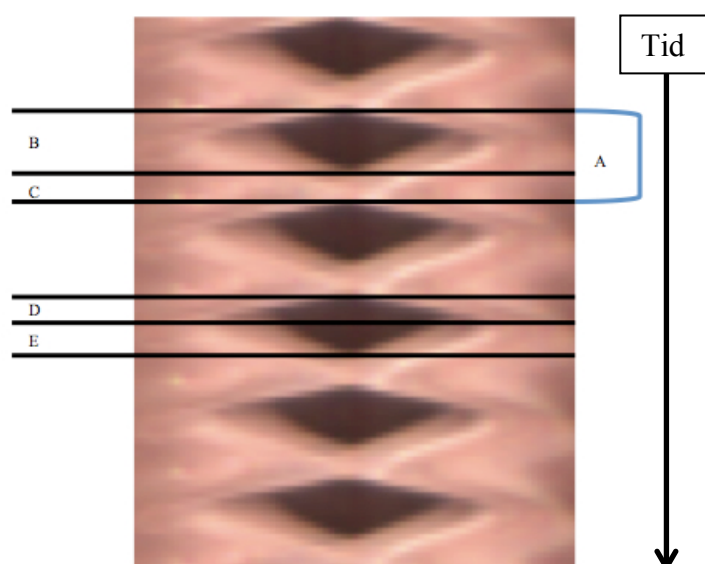
Röstens styrka påverkas bland annat av stämveckens rörelser. Hastighetskvot och öppetkvot är mått som möjliggör kvantifiering av den glottala aktiviteten vid stämvecksvibrationer. De kan till exempel räknas ut genom analys av kymogram, se figur 1. Kymogram skapas genom att man istället för att fotografera hela glottis endast väljer ut en smal linje över glottis. Flera sådana bilder tagna efter varandra plockas ut och läggs på rad, för att förändringen i slutningen över tid ska framkomma (tid: uppifrån och ner i figur 1).

Hastighetskvot beskriver symmetrin mellan tiden det tar för stämveckan att öppna sig (Se Figur 1, D) och tiden från att de är maximalt öppna tills det är stängt igen (Se figur 1, E). När öppnings- och stängningsfaserna är lika långa blir värdet på hastighetskvoten 1. En stor hastighetskvot, mer än 1, kännetecknas av att stängningsfasen är kort i relation till öppningsfasen (Dromey, Stathopoulos & Sapienza 1992; Monsen & Engebretson, 1977; Timcke, von Leden & Moore, 1958).

$$\frac{\text{Öppningsfas (D)}}{\text{Stängningsfas (E)}} = \text{Hastighetskvot}$$

Dromey et al. (1992) har visat att högre intensitet kan nås genom en mer abrupt stängningsfas. De har kommit fram till att vid en sänkning av röststyrkan minskar hastighetskvoten, varför måttet skulle ha en direkt koppling till kontroll av röststyrka. I en senare studie jämförde Sapienza, Stathopoulos och Dromey (1998) värden på hastighetskvot som räknats ut genom luftflöde (inversfiltrering) och värden som mätts ut med EGG, elektroglottografi, och fann att hastighetskvot påverkade intensitet om det mättes utifrån luftflöde, men inte EGG. De drog slutsatsen att stämveckan inte stängs mer abrupt vid ökad ljudtrycksnivå, men att luftflödet minskar mer abrupt. Måttet på hastigheten av luftflödets minskande, negativ flödesderivata, går inte i alla metoder att separera från hastighetskvot, enligt Sapienza et al. (1998). Som följd av denna diskussion är det motiverat att vidare kartlägga hastighetskvotens relation till röststyrka.

Öppetkvot definieras som kvoten av tiden för stämveckets öppetfas genom tiden för hela vibrationsperioden (Timcke et al., 1958), och resulterar i ett värde mellan 0 och 1.



Figur 1. Kymogram över sex svängningsperioder. A = en hel vibrationsperiod, B = öppetfas, C = stängtfas, D = öppningsfas, E = stängningsfas.

$$\frac{\text{Öppetfas (B)}}{\text{Hela vibrationsperioden (A)}} = \text{Öppetkvot}$$

Vid starkare intensitet har det visat sig att stämveckan är stängda under en större del av vibrationsperioden, det vill säga öppetkvoten är liten (Murty, Carding, Kelly & Lancaster, 1991; Sapienza et al., 1998). Enligt Hirano, Ohala & Vennard (1969) är det en följd av ökad muskelaktivitet i glottis. Vid sänkt röststyrka, det vill säga tal tystare än normal samtalsstyrka, har Murty et al. (1991) och Higgins och Saxman (1991) visat att öppetkvoten ökar. Stathopoulos och Sapienza (1993) har sett denna förändring hos män, men fann hos kvinnor ingen skillnad i öppetkvot vid en svagare röststyrka än normal.

I flera tidigare studier har just skillnader i glottala mått mellan män och kvinnor undersökts. Det har visat sig att kvinnor och män skiljer sig åt genom att kvinnor har högre öppetkvot än män (Lohscheller, Švec & Döllinger, 2012; Sapienza et al., 1998). Lohscheller et al. (2012) har visat att det finns signifikanta skillnader i hastighetskvot mellan kvinnor och män, på så sätt att män har högre hastighetskvot. Detta hävdar även Baer, Löfqvist och McGarr (1983). Vid en undersökning där hänsyn togs till vilken röststyrka kvinnor och män generellt talar med kom man fram till att skillnaderna i hastighetskvot endast berodde på skillnad i intensitet. På samma intensitetsnivå fanns inga signifikanta skillnader mellan kvinnor och män (Holmberg, Hillman & Perkell, 1988).

Master, Carlos de Miranda och Loyd (2012) jämförde hastighetskvot hos rösttränade personer, skådespelare, med personer som inte fått röstträning. Undersökningen visade att skådespelare och andra personer inte skiljde sig signifikant åt vad det gäller hastighetskvot, men skådespelarna kunde uppnå högre ljudtrycksnivå vid samma hastighetskvot. Röstträning tycks ha större inverkan på öppetkvot. I en studie där rösttränade kvinnor jämfördes med kvinnor som inte fått röstträning drogs slutsatsen att de rösttränade kvinnorna hade signifikant mindre öppetkvot (Sulter & Wit, 1996). Sulter, Schutte och Miller (1996) visade att sångare hade en högre andel kompletta stängningar av glottis än andra personer.

Det finns flera sätt att ta fram öppet- och hastighetskvot på, och i litteraturen beskrivs främst undersökningar gjorda med inversfiltrering eller EGG. Utvecklingen inom laryngeal bildåtergivning går fort och flera framsteg har skett under de senaste åren. För en översikt, se Deliyski och Hillman (2010). Höghastighetsfilmning är den enda teknik som på ett direkt sätt kan återge både periodiska och aperiodiska stämvecks vibrationer (Deliyski & Hillman, 2010; Lohscheller et al., 2012). Med hjälp av kymogram kan flera aspekter, som inte är möjliga att kvantifiera genom att enbart titta på filminspelningen, analyseras (Lohscheller et al., 2012). I videokymografi består varje bild av en horisontell linje över glottis som presenteras på en tidslinje (Lohscheller et al., 2012; Sulter et al., 1996). Vanligen väljs mitten av den anterior-posteriora axeln av glottis ut (Lohscheller et al., 2012). Genom digital kymografi har det tagits fram normvärden för hastighetskvot och öppetkvot för kvinnor och män i bekväm intensitetsnivå (Lohscheller et al., 2012) och undersökningar har beskrivit hur dessa värden påverkas av röstträning (Pimenta et al., 2013), men det finns inga större studier som beskriver vad som händer vid olika röststyrkenivåer.

Fonationsaerodynamiska värden

Kunskapen om röstapparatens aerodynamiska kvaliteter har utvecklats snabbt i takt med att indirekta mätmetoder ersatt tidigare invasiva och plågsamma sådana. I litteraturen har tre mått

visat sig särskilt relevanta i relation till intensitet: det subglottala trycket, luftflödet genom glottis och motståndet i glottis.

Subglottalt tryck, även kallat lungtryck, är en parameter som direkt korrelerar med intensitet. Vid starkare tal stiger trycket under stämveckan (Holmberg, Hillman, Perkell & Gress, 1994; Holmberg et al., 1988; Isshiki, 1964; Ladefoged & McKinney, 1963; Tanaka & Gould, 1983; Wilson & Leeper, 1992). Vad som sker vid en sänkning av röststyrkan är mindre tydligt. Holmberg et al. (1994) har visat att en svagare röststyrka svarar mot ett lägre subglottalt tryck medan Holmes, Leeper och Nicholson (1994) inte såg någon tryckskillnad mellan bekväm samtalsstyrka och svagare sådan.

Lungtrycket inverkar på andra aspekter av rösten än dess styrka. Även röstkvalitet påverkas av det subglottala trycket, vilket kan vara en förklaring till individuella skillnader inom en och samma intensitet. En läckande röst leder till minskat subglottalt tryck (Klich & Sabo, 1988) medan en pressad röst har ett subglottalt tryck över normvärdet för röststyrkan (Netsell, Lotz & Shaughnessy, 1984). Vid pressad röst blir därmed inte ökningen av ljudtrycksnivå i takt med stigande subglottalt tryck lika märkbar (Sundberg, Titze & Scherer, 1993).

Luftflödet genom glottis under tal, mätt i liter per sekund, har också visat sig öka konstant med intensitet (Isshiki, 1964; Tanaka & Gould, 1983; Wilson & Leeper, 1992). Även Holmes et al. (1994) har hittat vissa sådana samband. Vad gäller tal med svagare intensitet har Holmes et al. (1994) däremot visat att flödets värde är samma vid 25:e percentilen av röststyrkan som vid bekväm, normal röststyrka. Luftflödet har även visat sig ha stort samband med röstkvalitet (Klich & Sabo, 1988).

Det tredje mått som är centralt i forskning om fonationsaerodynamik är en kombination av de två ovan nämnda. Smitheran och Hixon (1981) beskriver larynx som en luftmekanisk ventil, som kopplar ihop trachea och farynx. Rlaw, laryngealt luftvägsmotstånd eller motstånd i glottis, är ett mått på motstånd till flöde i denna ventil. I praktiken innebär motstånd i glottis kvoten av lufttryck och flöde och mäts följaktligen i centimeter vatten/liter per sekund.

$$\frac{\text{Subglottalt tryck, cm H}_2\text{O}}{\text{Luftflöde, l/s}} = \text{Glottalt motstånd, cm H}_2\text{O/l/s}$$

Motstånd i glottis har visat sig beskriva förhållandet mellan aerodynamik och intensitetsreglering väl, både för svagare och starkare ljudtrycksnivå genom att stiga konsekvent med ökad intensitet (Holmberg et al., 1994; Holmes et al., 1994; Leeper & Graves, 1984; Smitheran & Hixon, 1981; Stathopoulos & Sapienza, 1993; Wilson & Leeper, 1992).

Wilson och Leeper (1992) och Nestell, Lotz, DuChane och Barlow (1991) har hittat signifikanta skillnader mellan könen i fråga om både luftflödesmängd (mäns värden var större än kvinnors) och glottalt motstånd (kvinnors värden var större än mäns). Stathopoulos och Sapienza (1993) hittade dock inga signifikanta skillnader mellan mäns och kvinnors värden på något av nämnda aerodynamiska mått. De mest omfattande undersökningarna som gjorts för normering av *Kay Pentax Phonatory Aerodynamic System*, PAS har inte visat några signifikanta skillnader mellan könen i relation till subglottalt tryck och glottalt motstånd (Goozée, Murdoch, Theodoros & Thompson, 1998; Zraick, Smith-Olinde & Shotts, 2012), och bara en liten sådan i relation till luftflöde (Goozée et al., 1998). Då det finns en stor interpersonell skillnad i resultaten för fonationsaerodynamiska mått (Higgins, Netsell &

Schulte, 1994; Schutte, 1992; Yiu, Yuen, Whitehill & Winkworth, 2004) behövs det mycket data för att slutsatser ska kunna dras om grupperingar som till exempel kön. Metodologiska problem som begränsat antalet forskningspersoner kan alltså vara en anledning till spretiga resultat på undersökningar av sambandet mellan fonationsaerodynamiska värden och kön. Liksom i fråga om könsskillnader gällande hastighetskvot kan en annan förklaring till att vissa undersökningar hittat variation mellan kön – andra inte, vara att författarna i beräkningarna av de fonationsaerodynamiska måtten inte tagit hänsyn till intensitet. När ljudtrycksnivå reglerats har kön inte visats vara en signifikant variabel i undersökningar som gjorts med PAS eller dess föregångare, *Aerophone II* (Goozee et al., 1998; Zraick et al., 2012).

Luftryck och flöde har visat ett tydligare samband med nivå av sångträning. Med samma subglottala tryck som personer utan sångträning har det visat sig att sångare kan uppnå 10-12 dB högre ljudtrycksnivå (Titze & Sundberg, 1992) och få ett 3-4 gånger så stort flöde (Buder & Wolf, 2003). Titze och Sundberg (1992) förklarar detta som en följd av effektivare vibrationer i stämvecken, eller små justeringar i den supraglottala regionen.

Effekter av sångröstträning behöver inte reflekteras i talröstens akustiska parametrar (Brown, Rothman & Sapienza, 2000), men det är möjligt att ett ineffektivt användande av talrösten kan påverka sångrösten. Eventuellt kan ett ineffektivt talröstbeteende bli en tröskel för en professionell sångkarriär (Sataloff, 1981).

Kopplingen mellan frekvens och subglottalt tryck har i flera undersökningar endast visat signifikanta skillnader vid extremt låg eller hög grundtonsfrekvens (Holmberg et al., 1989; Sawashima, Niimi, Horiguchi & Yamaguchi, 1988). Sålunda kommer hänsyn till frekvensvariationer inom modalregistret inte att tas i denna undersökning.

Aerodynamiska värden kan mätas med både indirekta och direkta metoder. Den vanligaste direkta metoden är att trachea punkteras med en nål som med en slang är kopplad till en luftrycksomvandlare som direkt mäter skillnaderna. Som följd av den smärtsamma proceduren är detta dock en metod som bara kan utföras på ett mycket begränsat antal personer (Isshiki, 1964). Ett liknande dilemma finns i metoden att mäta luftrycket genom att med en kateter föra ner en luftrycksomvandlare i halsen som placeras under glottis. (Löfqvist, Carlborg & Kitzing, 1982). Indirekt mätning har dock visat sig överensstämma väl med en direkt mätning av subglottalt tryck (Holmberg, 1980; Löfqvist et al., 1982; Smitheran & Hixon, 1981). Information om det subglottala trycket framtas indirekt genom att trycket i munnen mäts under en tonlös klusil. Rothenbergmasken (*Glottal Enterprises*) har varit en dominerande metod (Rothenberg, 1973) men numera finns även möjligheter att analysera luftrycksskillnader med *Kay Pentax Phonatory Aerodynamic System* (PAS). För att få fram de fonationsaerodynamiska värdena har vi i denna studie använt oss av PAS. Instrumentet och dess föregångare *Aerophone II* har visat sig vara mycket pålitliga i diskriminationen av intensitetsnivåer, men upptäcker även subtila skillnader mellan olika röstkvaliteter (Klich & Sabo, 1988; Netsell, Lotz & Shaughnessy, 1984, 1984; Yiu et al., 2004). Största nackdelen med instrumentet är att återgivningen av den akustiska signalen inte blir tillräcklig för en tillförlitlig spektral analys. Dels gör masken att talrörets resonsansgenskaper förändras och dels har signalen låg frekvensupplösning (Schutte, 1992). I denna uppsats undersöks inte klang eller spektrala egenskaper som frekvens, därför påverkas inte resultatet av detta.

Även om det finns flera tidigare studier kring fonatorisk aerodynamik i relation till intensitet motiverar alltså den snabba tekniska utvecklingen av metoder för mätning att de resultat som finns omvärderas eller bekräftas med en större grupp forskningspersoner. Än så länge har

ingen undersökning sett på tryck och intensitetsvariationer med hjälp av PAS. Inga tidigare studier har heller jämfört PAS-värden med glottala mått, även om Stathopoulos och Sapienza (1993) har undersökt interaktionerna mellan måtten med inversfiltrering och EGG. Genom att kombinera mätning av aerodynamiska värden och stämveckssvängningsmönster kommer det i denna uppsats att undersökas om det finns olika sätt att höja och sänka röststyrkan på.

METOD

Forskningspersoner

Totalt 34 personer deltog i den fonationsaerodynamiska mätningen med PAS och 15 av dessa deltog även i höghastighetsfilmning av stämveckan med laryngoskopi. Att inte alla filmades berodde på begränsningar i tillgång till apparaturen. Forskningspersonerna rekryterades genom uppsatsförfattarnas personliga och professionella nätverk. Ingen av forskningspersonerna rökte regelbundet eller upplevde röstproblem till den grad att de inte ansåg att de kunde använda sin röst som de brukade, till exempel till följd av akut laryngit. Den ena gruppen bestod av 17 personer (10 kvinnor och 7 män) utan någon utbildning i röst eller sång. Även personer med körsångsbakgrund exkluderades från denna grupp. 7 av dessa deltog i höghastighetsfilmningen (3 kvinnor, 4 män). Den andra gruppen bestod av 17 personer (11 kvinnor och 6 män) med minst ett års eftergymnasial sångutbildning eller motsvarande, till exempel flera års regelbunden utbildning hos privat sångpedagog. Flera hade längre högskoleutbildning än minimumkravet. 8 av personerna i gruppen deltog i höghastighetsfilmningen (5 kvinnor, 3 män). Forskningspersonerna var mellan 23 och 65 år och medianåldern var 28 (27 för gruppen sångare, 29 för gruppen ej sångtränade).

Samtliga deltagare fick i förväg motta ett informationsbrev där studiens syfte, tillvägagångssätt och säkerhet i samband med undersökningarna beskrevs. De blev i samma brev informerade om att deltagandet var frivilligt och att de när som helst kunde avbryta studien utan att ange anledning.

Bortfall

Under mätningarnas gång skedde ett visst bortfall. På grund av tekniska problem kunde subglottaltrycket för tre personer inte registreras under svag intensitet. En person (ej inräknad i antal deltagare) fick avbryta laryngoskopin som följd av obehag. Två personer i gruppen sångare fick inga data registrerade för hastighetskvot och öppetkvot i stark intensitet, den ena som följd av tekniska problem med inspelningsutrustningen och den andra på grund av att personen gick upp i falsettregister.

Material

Höghastighetskamera

Kameramodellen som användes under laryngoskopin var *Rickard Wolf model 5562.90 color* som gör inspelningar med 2000 bilder per sekund för män och 4000 bilder per sekund för kvinnor. Kameran är fäst på ett stelt endoskop med 70° vinkling, och systemet är kopplat till

en dator med mjukvaruprogrammet *HRES Endocam*. Programmet sparar filmerna, ur vilka kortare klipp kan väljas ut och omvandlas till kymogram. Utifrån kymogrammen är det sedan möjligt att ta fram värden för öppetkvot och hastighetskvot.

Phonatory Aerodynamic System

De aerodynamiska måtten registrerades av *KayPENTAX Phonatory Aerodynamic System, Model 6600*. Instrumentet består av en hårdvara i form av en handhållen modul kopplad till en mask, samt ett mjukvaruprogram för PC. Med 22050 samplingar per sekund mäter hårdvaran nivån för ljudtryck, subglottalt tryck, luftflöde och frekvens. Vid användning av mallen ”protocol for voicing efficiency” räknas relationen mellan dem ut, vilket resulterar i värden för till exempel glottalt motstånd. Programmet hittar automatiskt talsignaler som är starkare än 50dB. Under 50 dB är det möjligt att märka ut talsignalen manuellt.

Information om luftflödets mängd och hastighet samlas in genom att forskningspersonen talar i en mask som täcker näsa och mun. Luften som kommer ut under fonationen filtreras genom ett finmaskigt stål nät med ett känt motstånd. Till detta nät finns en tryckomvandlare kopplad som registrerar tryckskillnaderna i relation till det kända motståndet i nätet. Instrumentet kalibreras inför varje session, genom att en känd kvantitet på en liter luft trycks igenom luftflödesmätaren under en viss tid. Det intraorala trycket mäts genom en smal plastslang som placeras mellan läpparna under fonation. Med hjälp av en inbyggd mikrofon mäts ljudtrycksnivån 15 cm från munnen samtidigt som registreringen av aerodynamiska data sker.

Procedur

Mätningarna ägde rum på avdelningen för logopedi, foniatri och audiologi på Skånes universitetssjukhus i Lund. Forskningspersonen fick sitta ner och informerades om att undersökningen gick ut på att samla in information om luftflöde och lungtryck vid fonation. De gav sedan sitt medgivande till att delta i studien genom att signera det på förhand utsända brevet, efter det att uppsatsförfattarna försäkrat sig om att forskningspersonen läst och förstått informationen.

För den grupp som skulle höghastighetsfilmats gjordes detta precis före PAS-undersökningen. En foniat, en uppsatsförfattare och forskningspersonen fanns i rummet. Laryngoskopet placerades i forskningspersonens mun. De fyra forskningspersoner som upplevde obehag fick bedövning (Lidokainhydrokloid APL 40 mg/ml). Foniatern instruerade forskningspersonen att hålla ut en vokal, till en början svagt för att sedan öka röststyrkan succesivt under några sekunder. Eftersom frekvens inte visat sig ha någon inverkan på öppetkvot och hastighetskvot (Murty et al., 1991) fick forskningspersonerna själv välja bekvämt tonläge. Enligt Finnegan et al. (2000) betar sig dock larynx och respirationssystemet på samma sätt under kortare som längre intensitetsvariationer.

Den starkaste respektive svagaste delen av fonationsräckan i varje persons filminspelning märktes ut med hjälp av intensitetsanalys av tillhörande ljudvåg i programmet *Praat*, med hjälp av ”find maximum intensity” och ”find minimum intensity” (www.praat.org, av Paul Boersma och David Weenink, version 5.3.23). Motsvarande tidsintervaller i höghastighetsfilmen omvandlades till två kymogram i det mjukvaruprogram inspelningarna registrerats i, *HRES Endocam*. I enlighet med Loscheller et al. (2012) valdes mitten av den anterior-posteriora glotta axeln för analys. Utifrån kymogrammen räknades öppetkvot och

hastighetskvot ut för utvalda röststyrkelägen. Ett medelvärde för tio efterföljande svängningsperioder räknades fram genom att tidpunkterna för svängningsperiodens början och slut samt öppning- och stängningsfasens början och slut manuellt markerades. Vid ett intrabedömarreliabilitetstest överensstämde resultaten till 95%.

Vid den fonationsaerodynamiska undersökningen fanns forskningspersonen och en av eller båda uppsatsförfattarna närvarande i rummet. Instruktionerna gavs muntligt och demonstrerades sedan med en PAS-mask av en av uppsatsförfattarna. Till skillnad från vid höghastighetsfilmningen där forskningspersonerna ökade röststyrkan i en glidande skala registrerades en röststyrka i taget. Enligt Finnegan et al. (2000) beter sig dock larynx och respirationssystemet på samma sätt under kortare som längre intensitetsvariationer. Forskningspersonen blev instruerad att andas in, placera plastslangen mellan läpparna, sätta masken över näsa och mun tillräckligt hårt för att ingen luft skulle läcka ut, och med bekväm röststyrka upprepa stavelsen /pa/ minst fem gånger under utandningen. Stavelseräcorna upprepades tre gånger i följd med samma röststyrka. Därefter fick forskningspersonen instruktioner om att upprepa proceduren, med den skillnaden att de nu skulle sänka röststyrkan till vad som upplevdes som halva nivån jämfört med den bekväma rösten. Återigen demonstrerade en av uppsatsförfattarna förfarandet. Inspelningen gjordes om i de fall dB-skillnaden var mindre än 6 dB eller större än 10 dB, jämfört med den bekväma röststyrkan. Inför den sista inspelningen fick forskningspersonerna instruktionen att upprepa proceduren med den skillnad att de nu skulle höja röststyrkan till upplevd dubbel nivå jämfört med den bekväma rösten. En uppsatsförfattare demonstrerade. Inspelningen gjordes om enligt samma kriterier som för den svaga rösten, tills resultatet var inom 6-10 dB starkare än den för personen normala talstyrkan. I de flesta fall uppnådes målröststyrkan vid första eller andra försöket. Som mest upprepades inspelningen fyra gånger. Informationen i inspelningarna sparades och analyserades i efterhand. För de inspelningar där programmet registrerade men inte automatiskt analyserade talsignalen, som följd av en inbyggd ljudnivåtröskel i PAS-mjukvaran, märktes denna ut manuellt enligt PAS instruktionsmanualen. Fyra medelvärden sparades; ljudtrycksnivå, subglottalt tryck, luftflöde och glottalt motstånd.

Databehandling

Resultatet för varje forskningspersons ljudtrycksnivå, stängningsskvot, hastighetskvot, subglottala tryck, luftflöde och glottala motstånd sammanställdes i statistikanalysprogrammet SPSS. Alpha-nivån bestämdes till $p < 0,05$. Förutom vid beräkning av medelvärden logaritmerades upptagna mått, för att kunna jämföras med den logaritmiska skalan för ljudtrycksnivå (dB). Materialet var normalfördelat.

Etiska överväganden

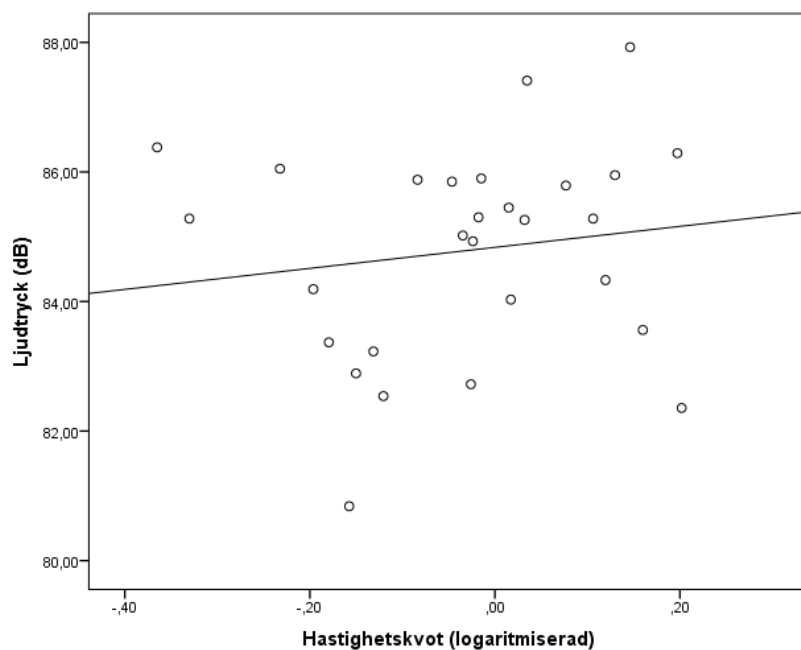
Utrustningen var CE-märkt och bedömdes inte medföra några risker för forskningspersonerna. Studien godkändes av etiska kommittén vid avdelningen för logopedi, foniatri och audiologi, institutionen för kliniska vetenskaper i Lund på Lunds universitet.

RESULTAT

Glottala värden

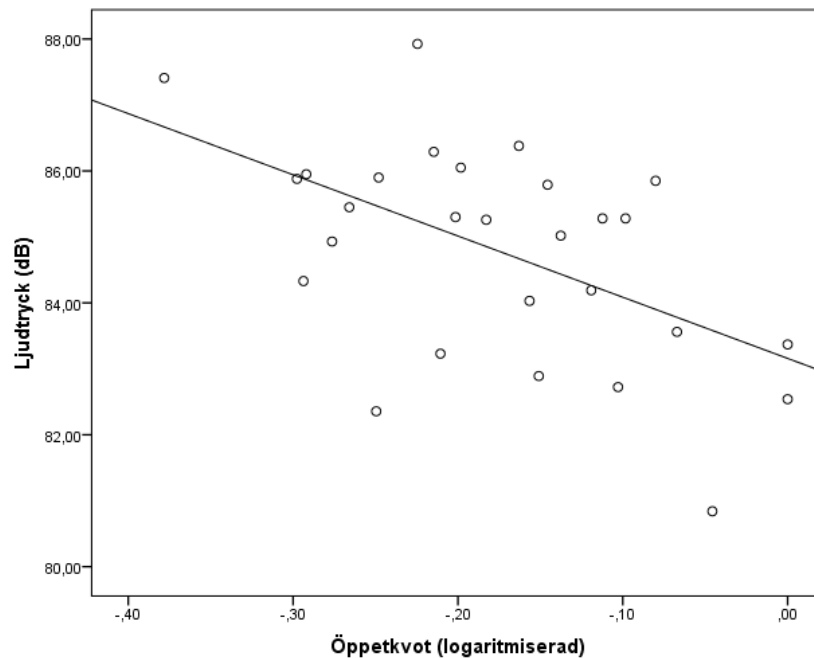
En jämförelse mellan forskningspersonernas kymogram från svag respektive stark röststyrka visade hur stämveckan agerar vid minskad eller ökad intensitet. För att utreda relationen mellan talarens intensitet och stämveckens aktivitet undersöktes öppetkvot (ÖK) och hastighetskvot (HK).

Jämförelser mellan forskningspersonernas hastighetskvoter vid olika ljudtrycksnivåer visade i en linjär regression ett mycket svagt samband mellan hastighetskvot och olika intensitetsnivåer, $F(27) = 0,591$, $p = 0,449$, $r = 0,022$, $\beta = 1,622$. Se figur 2.



Figur 2. Sambandet mellan hastighetskvot och ljudtrycksnivå. En markering representerar en inspelning ($n = 28$) och varje individ har två inspelningar (svag och stark röststyrka). Två individer har enbart registrerat värde för svag röststyrka.

Öppetkvot och intensitet visade sig dock ha en starkare koppling. Öppetkvoten minskade när personerna talade starkare, $\beta = -9,279$, vilket framkom i en linjär regressionsmodell, $F(27) = 10,479$, $p = 0,003$, $r = 0,289$. Se figur 3.



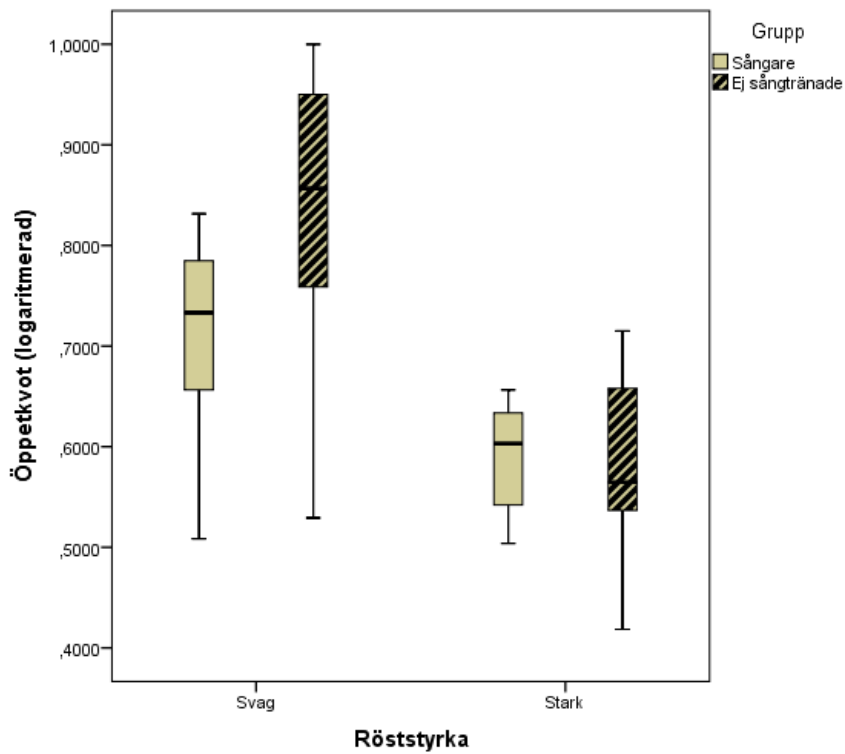
Figur 3. Sambandet mellan öppetkvot och ljudtrycksnivå. En markering representerar en inspelning ($n = 28$) och varje individ har två inspelningar (svag och stark röststyrka). Två individer har enbart registrerat värde för svag röststyrka.

Vid analys av varje grupp för sig visade sig sambandet mellan ljudtryck och öppetkvot enbart gälla för personer utan sångträning ($F(13) = 10,488$, $p = 0,007$, $r = 0,466$, jämfört med sångares $F(13) = 0,344$, $p = 0,569$, $r = 0,028$).

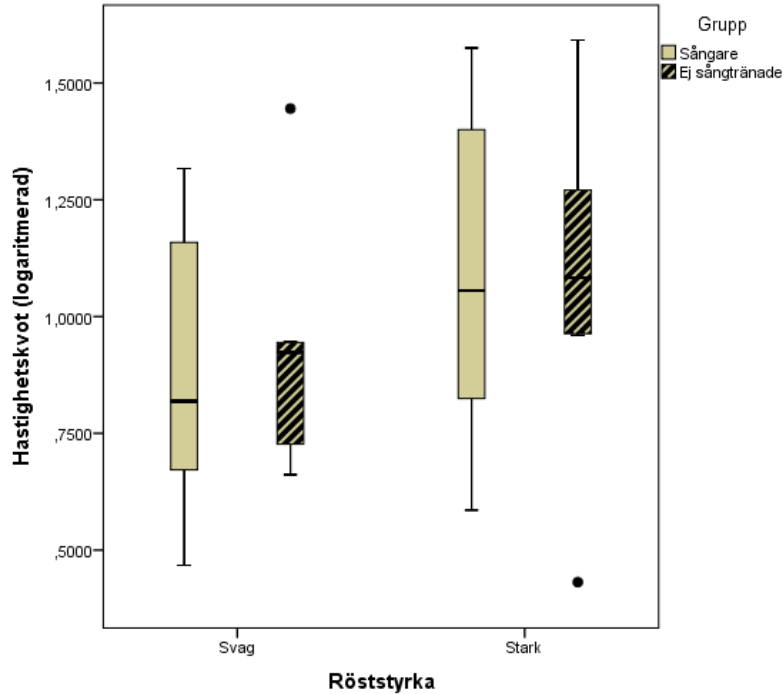
För att undersöka om skillnaderna i öppetkvot och hastighetskvot mellan grupperna var signifikanta analyserades sambandet mellan sångträningserfarenhet och öppetkvot vidare med ett test för kovarians, ANCOVA. Resultatet för detta finns i tabell 1. Ljudtrycksnivå var kovariant, för att säkerställa att skillnaderna i kvoterna inte berodde på att personerna talade olika starkt under inspelningarna. Skillnaderna mellan personer med och utan sångträning var tydligast i öppetkvot under svag intensitet, då grupptillhörigheten kunde förutsäga 7,3% av skillnaden i intensitet. Gruppen sångare hade mindre öppetkvot, men resultaten var inte signifikanta. Personer med sångbakgrund hade ingen större variation i öppetkvot mellan den svagare och den starkare intensitetsnivån. För en översikt av spridningen i öppetkvot och hastighetskvot för olika röststyrkenivåer och grupper, se figur 4 och 5. Medelvärden presenteras i tabell 2.

Tabell 1. Skillnader mellan grupperna ”sångare” ($n = 8$) och ”personer utan sångträningserfarenhet” ($n = 7$), med ljudtrycksnivå som kovariant, ANCOVA.

Mått	Skillnad mellan grupperna
ÖK, svag styrka	$F(1) = 0,944$, $p = 0,350$, $h_p^2 = 7,3\%$
ÖK, stark	$F(1) = 0,127$, $p = 0,729$, $h_p^2 = 1,2\%$
HK, svag	$F(1) = 0,427$, $p = 0,526$, $h_p^2 = 3,4\%$
HK, stark	$F(1) = 0,044$, $p = 0,838$, $h_p^2 = 0,4\%$



Figur 4. Spridningen i öppetkvot på stark respektive svag röststyrka, indelat efter grupp ($n = 28$). 8 sångare, 7 ej sångtränade, två inspelningar per person. Två sångare har enbart registrerat värde för svag röststyrka.



Figur 5. Spridningen av hastighetskvot på stark och svag röststyrka, indelat efter grupp ($n = 28$). 8 sångare, 7 ej sångtränade, två inspelningar per person. Två sångare har enbart registrerat värde för svag röststyrka.

Tabell 2. Medelvärden för öppetkvot och hastighetskvot indelat efter målroststyrka. Standardavvikelser inom parentes.

Grupp	Öppetkvot (SD)	Hastighetskvot (SD)
Alla forskningspersoner - svag styrka	0,7662 (0,15)	0,8970 (0,28)
Alla forskningspersoner - stark	0,5869 (0,08)	1,0824 (0,35)
Kvinnor - svag	0,7503 (0,17)	0,9651 (0,35)
Kvinnor - stark	0,5952 (0,10)	1,0427 (0,31)
Män - svag	0,7844 (0,13)	0,8192 (0,15)
Män - stark	0,5772 (0,06)	1,1288 (0,41)
Sångtränade - svag	0,7111 (0,11)	0,8854 (0,31)
Sångtränade - stark	0,5904 (0,06)	1,0829 (0,31)
Ej sångtränade - svag	0,8291 (0,17)	0,9103 (0,26)
Ej sångtränade - stark	0,5840 (0,10)	1,0821 (0,36)

Någonting som inte var en del av frågeställningen för denna undersökning, men som belysts i mycket av den tidigare forskningen, är skillnader mellan glottala värden hos män och kvinnor. Ett t-test visade ingen signifikant skillnad mellan kön varken i fråga om öppetkvot eller hastighetskvot, se tabell 3.

Tabell 3. Skillnad mellan män ($n = 7$) och kvinnor ($n = 9$) i glottala värden.

Mått	Svag röststyrka	Stark röststyrka
Öppetkvot	$t(13) = -0,440, p = 0,667$	$t(11) = 0,380, p = 0,711$
Hastighet	$t(9,710) = 1,070, p = 0,310$	$t(11) = -0,430, p = 0,676$

Fonationsaerodynamiska värden

Vid den första analysen slogs de tre inspelningarna på samma röststyrkenivå (svag, normal, stark) ihop till ett medelvärde per person och röststyrkenivå (tabell 4). Detta då det inte fanns några signifikanta skillnader mellan den första och sista inspelningen inom samma röststyrkenivå.

Tabell 4. Medelvärden, alla forskningspersoner ($n = 34$). Standardavvikelser inom parentes.

Röststyrka	Ljudtryck, dB (SD)	Subglottalt tryck, cm H ₂ O (SD)	Luftflöde, l/s (SD)	Glottalt motstånd, cm H ₂ O/l/s (SD)
Svag röststyrka	64,31 (4,64)	4,88 (1,74)	0,19 (0,08)	31,40 (31,63)
Normal röststyrka	72,74 (4,03)	8,04 (2,52)	0,19 (0,10)	50,50 (29,55)
Stark röststyrka	80,91 (4,62)	12,98 (5,31)	0,20 (0,13)	75,07 (46,86)

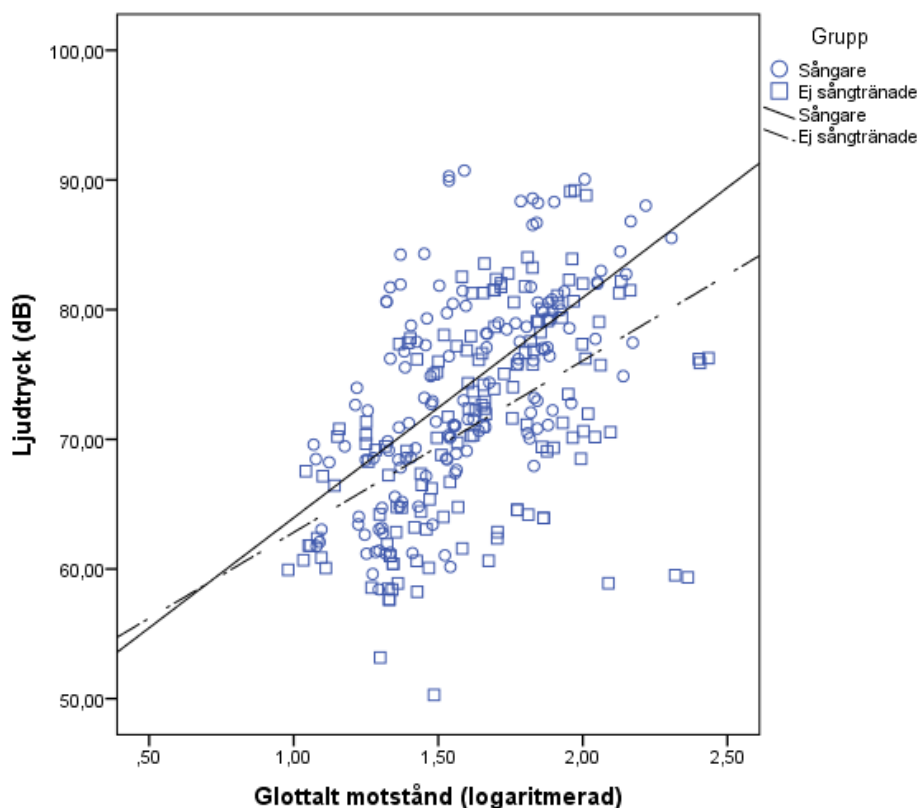
Pearson korrelationstest visade att det finns samband mellan ljudtrycksnivå och subglottalt tryck ($r(292) = 0,801, p = 0,000$), flöde ($r(302) = 0,177, p = 0,002$) och glottalt motstånd ($r(294) = 0,523, p = 0,000$).

Medelvärde för aerodynamiska mått, uppdelat på grupperna ”sångare” och ”personer utan sångträningserfarenhet”, redovisas i tabell 5.

Tabell 5. Medelvärden, uppdelat på grupp ($n = 17 + n = 17$).
Standardavvikelser inom parantes.

Grupp	Svag röststyrka (SD)	Normal röststyrka (SD)	Stark röststyrka (SD)
Sångare - ljudtryck (dB)	66,33 (4,38)	73,36 (4,16)	82,49 (4,39)
Ej sångtränade - ljudtryck (dB)	62,41 (4,15)	72,12 (3,93)	79,32 (4,41)
Sångare - subglottalt tryck (cm H ₂ O)	5,14 (2,09)	8,43 (2,78)	14,58 (6,46)
Ej sångtränade - subglottalt tryck (cm H ₂ O)	4,7 (1,40)	7,66 (2,24)	11,57 (3,68)
Sångare - luftflöde (l/s)	0,2 (0,62)	0,2 (0,09)	0,23 (0,16)
Ej sångtränade - luftflöde (l/s)	0,18 (0,95)	0,18 (0,11)	0,18 (0,90)
Sångare - motstånd i glottis (cmH ₂ O/ l/s)	25,46 (14,02)	46,75 (29,35)	71,71 (38,22)
Ej sångtränade - motstånd i glottis (cm H ₂ O/ l/s)	36,65 (41,28)	54,25 (30,15)	78,03 (54,38)

Utifrån analys med ANCOVA, med ljudtrycksnivå som kovariant, visade sig glottalt motstånd vara den enda variabel där sångare och personer utan sångträningserfarenhet skiljde sig signifikant åt ($F(1) = 12,927$, $p = 0,000$, $h_p^2 = 4,3\%$). Medelvärdet för glottalt motstånd är större för personer utan sångträning i olika röststyrkenivåer (svag-normal-stark). Förändringar i det glottala motståndet följer förändringar i ljudtrycksnivån på liknande sätt för båda grupperna, se figur 6.



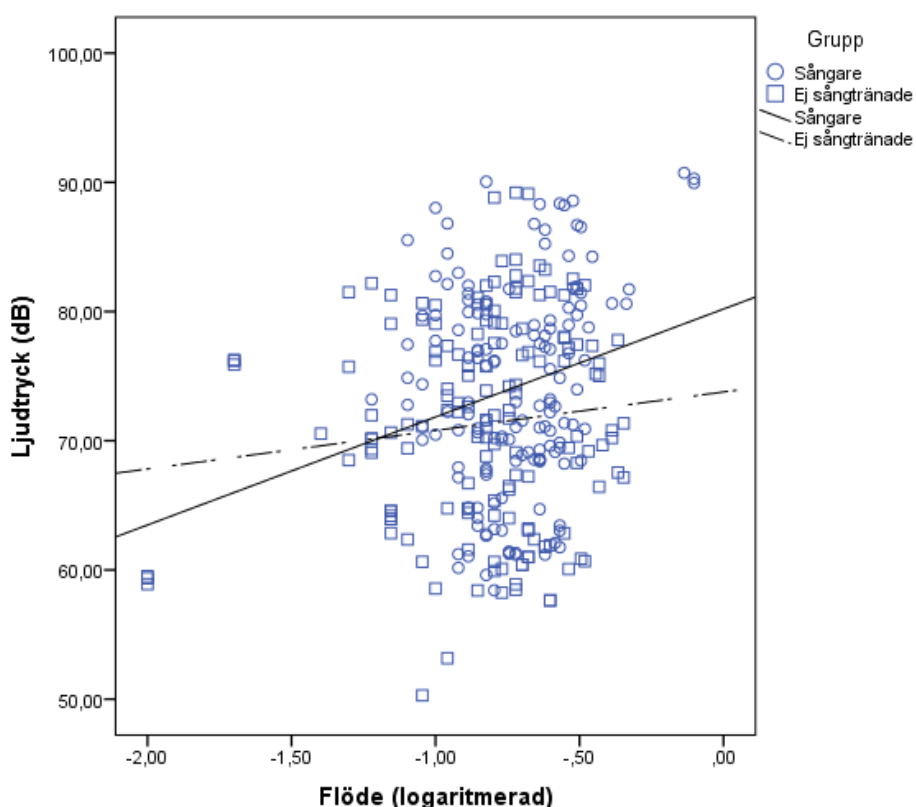
Figur 6. Motstånd i glottis, omvandlat till logaritmisk skala, i relation till ljudtrycksnivå.
Baserat på tre inspelningar per individ och röststyrkenivå, med några bortfall
($n = 292$).

Till skillnad från glottalt motstånd följer subglottalt tryck och flöde förändringar i ljudtryck på olika sätt beroende på vilken grupp som undersöks, någonting som inte framgår genom att enbart titta på medelvärden. Förklaringen visar sig i stället i en linjär regression, se tabell 6. Hos personer utan sångträningserfarenhet ökar eller minskar flöde inte så mycket i relation till intensitet. Sambandet mellan flöde och röststyrka var så litet att relationen inte var signifikant

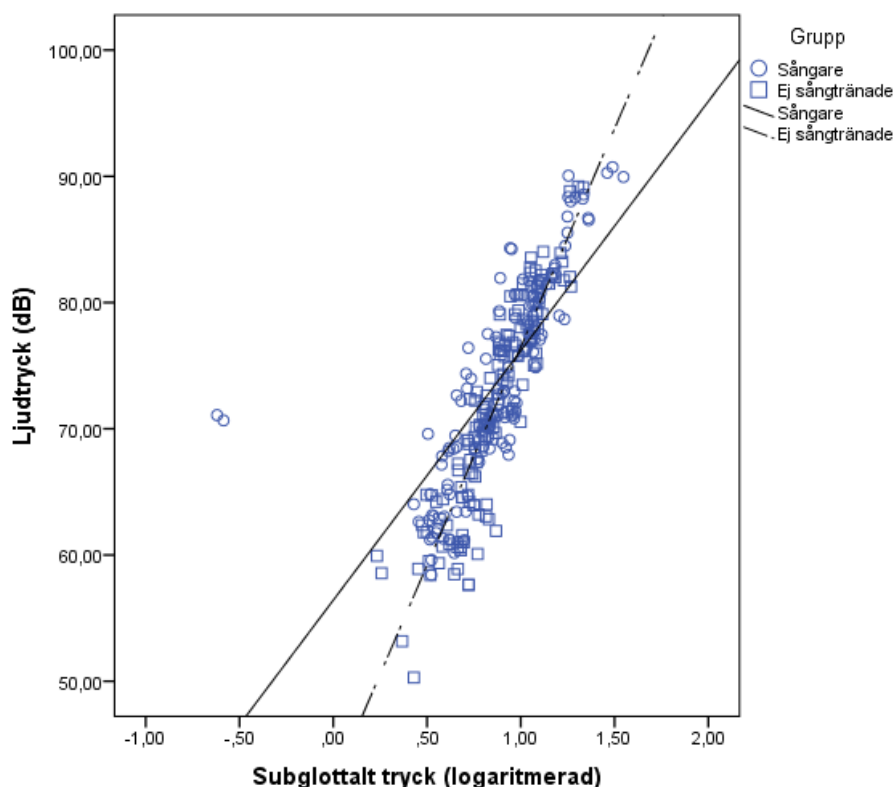
i denna grupp, se figur 7. Även B-koefficienten för subglottalt tryck skiljer sig märkbart åt grupperna emellan. Hos sångare är den lägre, vilket innebär att lungtrycket hos dessa personer inte förändras lika mycket för varje decibels ökning i intensitet. Detta blir även påtagligt i figur 8.

Tabell 6. Linjär regression ($n = 334$), ljudtryck (dB) som beroende variabel, subglottalt tryck, flöde och glottalt motstånd som oberoende variabel, uppdelat på grupp.

Alla forskningspersoner			
	Tryck	Flöde	Rlaw
R square (SEE)	0,641 (4,84)	0,031 (8,07)	0,274 (6,93)
B coefficient (SD)	25,097 (1,10)	5,434 (1,74)	14,344 (1,37)
Signifikans, p	0,000	0,002	0,000
F-värde	517,806	9,738	110,195
Sångare			
	Tryck	Flöde	Rlaw
R square (SEE)	0,562 (5,19)	0,043 (7,82)	0,367 (6,28)
B coefficient (SD)	19,758 (1,47)	8,357 (3,27)	16,976 (1,89)
Signifikans, p	0,000	0,012	0,000
F-värde	181,261	6,542	80,505
Ej sångtränade			
	Tryck	Flöde	Rlaw
R square (SEE)	0,814 (3,53)	0,013 (8,15)	0,250 (7,10)
B coefficient (SD)	34,573 (1,36)	2,980 (2,12)	13,241 (1,87)
Signifikans, p	0,000	0,162	0,000
F-värde	643,899	1,975	50,424



Figur 7. Luftflöde, omvandlat till logaritmisk skala, i jämförelse med ljudtrycksnivå, tre inspelningar per individ och röststyrkenivå ($n = 334$).



Figur 8. Subglottalt tryck, omvandlat till logaritmisk skala, i jämförelse med ljudtrycksnivå, tre inspelningar per individ och röststyrkenivå med några bortfall ($n = 292$).

Signifikanta skillnader mellan könsgrupper hittades i fråga om flöde genom glottis, på alla styrkenivåer. Män hade högre flödesvärden än kvinnor. Vid stark intensitet hade kvinnor större glottalt motstånd än män. Signifikanta resultat redovisas i fetstil i tabell 7. Medelvärden uppdelat på kön ses i tabell 8.

Tabell 7. Skillnader mellan kvinnor ($n = 21$) och män ($n = 13$) i relation till olika intensitetsnivåer.

Mått	Svag röststyrka	Normal röststyrka	Stark röststyrka
Ljudtrycksnivå	$t(31) = -1,028, p = 0,312$	$t(32) = -0,520, p = 0,607$	$t(32) = -0,688, p = 0,496$
Subglottalt tryck	$t(30) = -0,521, p = 0,606$	$t(32) = -0,663, p = 0,512$	$t(30) = -0,897, p = 0,377$
Luftflöde	$t(30) = -2,814, p = 0,009$	$t(32) = -2,485, p = 0,018$	$t(32) = -3,506, p = 0,001$
Motstånd i glottis	$t(30) = 1,390, p = 0,175$	$t(32) = 1,746, p = 0,090$	$t(30) = 2,775, p = 0,009$

Tabell 8. Medelvärden uppdelat på kvinnor och män. Standardavvikelse inom parentes.

	Svag röststyrka (SD)	Normal röststyrka (SD)	Stark röststyrka (SD)
Luftflöde, l/s, kvinnor	0,16 (0,07)	0,16 (0,08)	0,15 (0,07)
Luftflöde, l/s, män	0,24 (0,08)	0,24 (0,11)	0,29 (0,16)
Subglottalt tryck, cm H ₂ O, kvinnor	4,75 (1,94)	7,82 (2,32)	12,28 (4,11)
Subglottalt tryck, cm H ₂ O, män	5,08 (1,47)	8,41 (2,87)	14,00 (6,75)
Motstånd i glottis, cm H ₂ O/l/s, kvinnor	37,74 (39,40)	57,25 (31,98)	92,31 (52,54)
Motstånd i glottis, cm H ₂ O/l/s, män	22,14 (9,99)	39,58 (22,07)	49,87 (19,33)

Relationen mellan glottala och fonationsaerodynamiska värden

För att undersöka hur de glottala och de fonationsaerodynamiska måtten interagerade jämfördes forskningspersonernas svaga och starka röst vid höghastighetsfilmningen och deras svaga och starka röst vid upptagningen av de fonationsaerodynamiska värdena med PAS. Två analyser gjordes; först en för svag röststyrka och sedan en för stark röststyrka. De personer som under den svaga intensiteten hade minst öppetkvot (25:e percentilen) och de som hade störst öppetkvot (75:e percentilen) valdes ut. Samma sak gjordes med hastighetskvot: De personer som tillhörde den 25:e respektive 75:e percentilen valdes ut och bildade två grupper. Därmed fanns en grupp som utgjordes av de med minst öppetkvot ($n = 3$), en grupp av de personer med störst öppetkvot ($n = 3$), en grupp av de personer med minst hastighetskvot ($n = 3$) och en grupp av de personer med störst hastighetskvot ($n = 3$). Dessa fyra grupperas fonationsaerodynamiska värden jämfördes sedan med t-test. Både sångare och personer utan sångräningserfarenhet var representerade i alla grupper, förutom störst öppetkvot under svag intensitet, som endast bestod av personer utan sångerfarenhet.

I en jämförelse mellan den kvartil med störst öppetkvot och den kvartil med minst öppetkvot fanns i den svaga styrkan signifikanta skillnader i fråga om subglottalt tryck och glottalt motstånd, men inte i flöde. Personerna med störst öppetkvot hade något högre glottalt motstånd samt högre subglottalt tryck än personerna med minst öppetkvot.

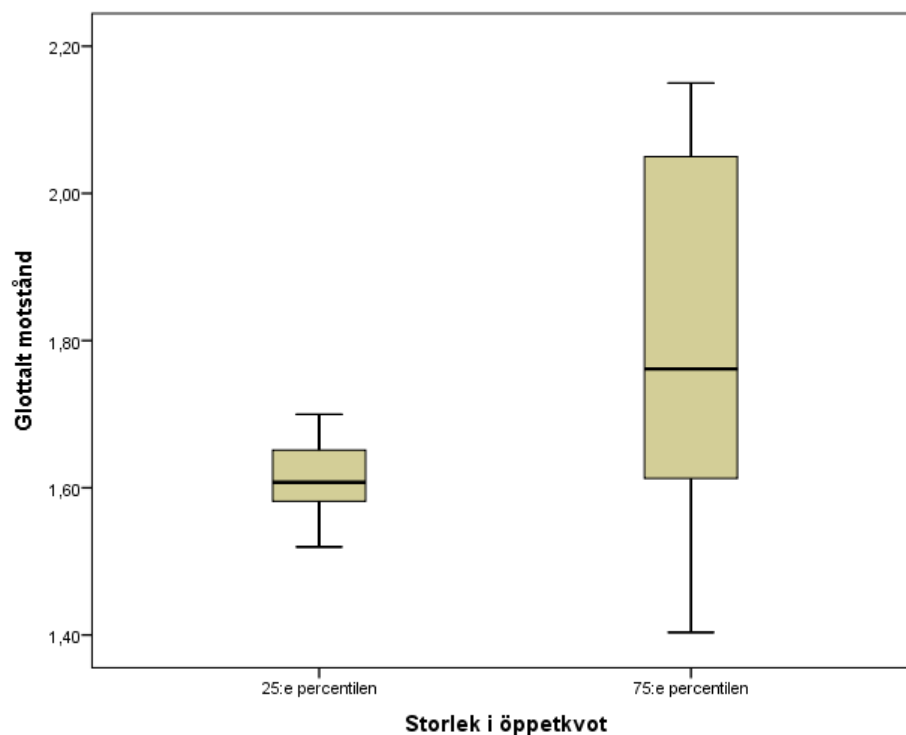
Hastighetskvotsskillnaderna i svagt tal visade ingen signifikant relation till de fonationsaerodynamiska måtten för subglottalt tryck och glottalt motstånd. Skillnaderna mellan personer med liten och stor öppet- respektive hastighetskvot redovisas i tabell 9 nedan.

Tabell 9. Skillnaderna i fonationsaerodynamiska mått mellan personer med liten respektive stor öppetkvot, och personer med liten respektive stor hastighetskvot i svag röststyrka.

Skillnad i:	Subglottalt tryck	Luftflöde	Glottalt motstånd
Öppetkvot	$t(14) = -4,382, p = 0,001$	$t(16) = 0,195, p = 0,848$	$t(10,7) = -3,934, p = 0,002$
Hastighetskvot	$t(7,3) = -1,887, p = 0,099$	$t(14) = -0,179, p = 0,860$	$t(6,1) = -1,008, p = 0,352$

Samma procedur upprepades för att undersöka hur de glottala måtten och de fonationsaerodynamiska samspelade vid stark röststyrka. De personer som under den starka styrkan hade minst öppetkvot respektive hastighetskvot (25:e percentilen) och de med störst öppetkvot respektive hastighetskvot (75:e percentilen) valdes ut. Både sångare och personer utan sångerfarenhet var representerade i alla grupper. Dessa fyra grupperas fonationsaerodynamiska värden jämfördes sedan.

I en jämförelse mellan den kvartil med störst öppetkvot och den kvartil med minst öppetkvot fanns i den starka röststyrkenivån inga signifikanta skillnader i fråga om subglottalt tryck, luftflöde eller glottalt motstånd. Vad gäller glottalt motstånd fanns däremot en stor skillnad i hur spridningen inom grupperna såg ut. De statistiska resultaten presenteras i tabell 10. Personer med liten öppetkvot hade ett lägre motstånd i glottis, medan personer med stor öppetkvot varierade mycket i glottalt motstånd, vilket illustreras i figur 9.



Figur 9. Spridningen av medelvärde för glottalt motstånd i grupperna med liten respektive stor öppetkvot.

När de fonationsaerodynamiska måtten hos grupperna med den största respektive minsta kvartilen av hastighetskvot undersöktes vid stark röststyrka framkom att personer med stor hastighetskvot hade större flöde och mindre glottalt motstånd, se tabell 10. För subglottalt tryck fanns inget signifikant samband.

Tabell 10. Skillnaderna i fonationsaerodynamiska mått mellan personer med liten respektive stor öppetkvot, och personer med liten respektive stor hastighetskvot i stark röststyrka.

Skillnad i:	Subglottalt tryck	Luftflöde	Glottalt motstånd
Öppetkvot	$t(13) = -1,531, p = 0,150$	$t(9,2) = 1,786, p = 0,107$	$t(9,3) = -2,139, p = 0,06$
Hastighetskvot	$t(8,2) = -0,758, p = 0,470$	$t(16) = -3,272, p = 0,005$	$t(6,2) = 2,530, p = 0,043$

DISKUSSION

Reglering av röststyrka

Genom höghastighetsfilmning och fonationsaerodynamiska mätningar har det i denna studie visats att en persons röststyrkenivå till stor del bestäms av glottalt motstånd, stämveckens öppetkvot, luftflöde och subglottalt tryck. Däremot är effekten på ljudtrycksnivån som följd av förändringar i stämveckens hastighetskvot inte bekräftad.

Betydelsen av glottalt motstånd för både sänkning och höjning av röststyrka stämmer väl överens med resultat från tidigare studier (Holmes et al., 1994; Leeper & Graves, 1984; Smitheran & Hixon, 1981; Stathopoulos & Sapienza, 1993; Wilson & Leeper, 1992). Även sambandet mellan ljudtrycksnivå och öppetkvot (Stathopoulos & Sapienza, 1993) samt

ljudtrycksnivå och flöde (Isshiki, 1964; Tanaka & Gould, 1983; Wilson & Leeper, 1992) bekräftar tidigare forskning.

Vad gäller subglottalt tryck framkom i denna studie att det subglottala trycket inte bara ökar med stigande intensitet utan även minskar med en sänkning av röststyrkan, något som det i tidigare forskning finns blandade uppgifter om. Holmes et al. (1994) såg ingen variation i subglottalt tryck, medan Holmberg et al. (1994) i enlighet med denna studie fann att det subglottala trycket minskade vid sänkning av röststyrkan även vid svagare än normal intensitet.

Det råder heller ingen konsensus i tidigare forskning vad gäller sambandet mellan ljudtrycksnivå och hastighetskvot. Medan Monsen och Engebretson (1977) och Holmberg et al. (1989) har visat att hastighetskvoten ökar tillsammans med ljudtryck hävdar Sapienza et al. (1998) att resultaten är starkt beroende av vilken metod som används. Eftersom vi i denna studie undersökt hastighetskvot på ett direkt sätt genom höghastighetsfilmning kan vi vara säkra på att det är stämvecksrörelser som mäts och utesluta att resultatet blir missvisande på grund av till exempel förändringar i luftflöde.

Samband mellan fonationsaerodynamiska och glottala värden

I litteraturöversikten har en begränsad mängd data funnits om sambandet mellan glottala mått och fonationsaerodynamiska mått. Öppetkvot har enligt denna uppsats ett samband med tryck och glottalt motstånd, men inte luftflöde. Förklaringen till detta kan vara att det vid en större öppetkvot behövs högre subglottalt tryck och motstånd i glottis för att undvika eventuellt läckage. Effekten av detta visar sig i fråga om att flödesmängden inte ökade hos personerna med störst öppetkvot.

Hastighetskvot hade i svagt tal ingen relation till fonationsaerodynamik, men vid starkt tal fanns det samband på så sätt att stor hastighetskvot ledde till ökat flöde och minskat glottalt motstånd. Anledningen till detta kan vara att personer med liten hastighetskvot i högre grad reglerar röststyrkan med glottalt motstånd, medan hastighetskvoten i sig, i enighet med tidigare forskning, kan hjälpa vissa personer att höja intensiteten. Även om det i denna studie inte visats ett direkt samband mellan hastighetskvot och röststyrka kan det inte uteslutas att vissa grupper får stor effekt på röststyrkeförändringar baserat på just denna variabel, baserat på tidigare forskningsresultat (Dromey et al., 1992).

Skillnader mellan sångare och personer utan sångträningserfarenhet

Eftersom det i denna studie framkom att sångare och personer utan sångträning skiljer sig åt på flera sätt verkar sångträning även ha effekt på talrösten. Det kan dock inte uteslutas att vissa sångare använde sångteknik vid mätningarna, trots instruktioner att använda talrösten. Skillnader i reglering av röststyrka hos sångare jämfört med personer som inte fått sångträning visade sig i värden på öppetkvot, glottalt motstånd och luftflöde.

Hos personer utan sångträningserfarenhet följde variationer i öppetkvot förändringar i ljudtrycksnivå. Öppetkvoten ökade vid svagare intensitet, medan sångtränade personers öppetkvot inte var signifikant relaterad till röststyrkeförändringar. Resultatet tyder alltså på personer utan sångträning i högre utsträckning sänker röststyrkan genom att öka öppetkvoten, och höjer den genom att minska öppetkvoten. Att personer med sångträningsbakgrund har

mindre öppetkvot vid svag intensitet, vilket i praktiken innebär fler kompletta stängningar, är i enighet med tidigare forskning (Sulter & Wit, 1996; Sulter et al., 1996). En orsak till skillnaden kan vara att det vid sång ställs högre krav på slutning av stämveckan, även under svaga intensiteter.

Detta kan också relateras till gruppskillnader i flöde. Resultaten för denna studie visar att sångares luftflöde relateras till intensitet, genom att minska vid svag röststyrka och öka vid stark röststyrka. Personer utan sångträningbakgrund har ingen signifikant relation mellan flöde och ljudtrycksnivå. Detta, kombinerat med att deras öppetkvot är större under svag intensitet, borde innebära att gruppen har en röstkvalitet som präglas av läckage vid tyst tal. En liknande tendens som för flöde, dock inte lika tydlig, gällde subglottalt tryck. Sångare hade ett mer konstant tryck medan det för personer utan sångträningbakgrund fanns en större variation kopplad till röststyrka. Detta kan också vara relaterat till sångares strävan efter kontroll av laryngeal muskelaktivitet.

Det glottala motståndet var det enda av måtten som skiljde sig mellan grupperna i medelvärde, inte bara i en linjär regression. Sångare hade mindre motstånd i glottis. Liksom i resultaten hos Buder och Wolf (2003) och Titze och Sundberg (1992) sågs i en linjär regression att subglottalt tryck och intensitet är närmare sammanlänkat hos personer utan sångträningbakgrund, jämfört med sångare och tvärtom i fråga om flöde. Vi såg dock i detta material ingen skillnad mellan de två grupperna vad gäller medelvärden för flöde eller subglottalt tryck.

Jämförelser med tidigare studiers medelvärden

Eftersom det visat sig att könsskillnader för fonationsaerodynamiska och glottala värden till stor del beror på att män och kvinnor har olika röststyrka delades resultaten inte upp i könsgupper i huvuddelen av analysen. För att kunna jämföra med tidigare forskning, där resultaten redovisas uppdelat på kön, har däremot resultatet delats upp, i tabell 11 och 12. Av den går att utläsa att medelvärdena till stor del stämmer överens med tidigare forskning. Det enda som utmärker sig i en jämförelse är medelvärdena för hastighetskvot, som är lägre i denna studie. Jämförelser av värden för hastighetskvot och öppetkvot med tidigare studier ska dock göras med stor försiktighet då metoden som använts i merparten av tidigare studier är EGG, och inte höghastighetsfilmning/kymografi. Det kan dock noteras att det i tidigare forskning funnits signifikanta skillnader mellan könen vad gäller hastighetskvot och öppetkvot, vilket skiljer sig från resultaten i denna studie.

Tabell 11. Jämförelse med tidigare forskning, medelvärden för glottala värden.

Artikel samt eventuellt urval	Öppetkvot,		Hastighetskvot	
	kvinnor (SD)	män (SD)	kvinnor (SD)	män (SD)
Holmberg et al. (1989)* normal röststyrka	0,76 (0,10)	0,60 (0,07)	1,65 (0,30)	1,82 (0,28)
Higgins & Saxman (1991)* 20-31 år, svag röststyrka	0,53 (0,07)	0,53 (0,06)		
20-31 år, normal röststyrka	0,52 (0,05)	0,47 (0,05)		
20-31 år, stark röststyrka	0,51 (0,04)	0,45 (0,05)		
Dromey et al. (1992)* 70 dB	0,59 (0,12)		2,73 (1,32)	
80 dB	0,54 (0,08)		3,92 (1,03)	
90 dB	0,53 (0,06)		4,02 (1,02)	
Stathopoulos & Sapienza (1993)* svag röststyrka	0,70 (0,05)	0,65 (0,06)		
normal röststyrka	0,70 (0,06)	0,55 (0,07)		
stark röststyrka	0,59 (0,06)	0,53 (0,08)		
Sapienza (1998)* Vid 50% av AC-amplitud, 75 dB	0,55 (0,07)		1,76 (1,02)	
85 dB	0,54 (0,07)		2,76 (1,56)	
Master et al. (2012)* skådespelare, normal röststyrka	32,96 (5,63)			
skådespelare, stark röststyrka	34,34 (6,31)			
ej skådespelare, normal röststyrka	33,92 (6,05)			
Lohscheller et al. (2012) normal röststyrka	0,66 (0,14)	0,56 (0,10)	0,85 (0,21)	0,88 (0,28)
Pimenta et al. (2013) normal röststyrka	0,56 (0,11)	0,53 (0,19)	1,25 (0,56)	1,48 (0,91)
Sjögren & Ström (2013) sångtränade, svag röststyrka	0,72 (0,13)	0,69 (0,07)	0,93 (0,37)	0,81 (0,21)
sångtränade, stark röststyrka	0,60 (0,07)	0,57 (0,04)	1,02 (0,42)	1,22 (0,26)
ej sångtränade, svag röststyrka	0,80 (0,24)	0,85 (0,12)	1,02 (0,40)	0,83 (0,12)
ej sångtränade, stark röststyrka	0,59 (0,15)	0,58 (0,07)	1,08 (0,12)	1,08 (0,51)

*= baserat på EGG duty cycle

Tabell 12.
Jämförelse med tidigare forskning, medelvärden för fonations-aerodynamik.

Artikel samt eventuellt urval	Motstånd i glottis, Motstånd i glottis, Lufflöde, l/s, Subglottalt tryck, cm H ₂ O, män (SD)		Lufflöde, l/s, Subglottalt tryck, cm H ₂ O, kvinnor (SD)		Lufflöde, l/s, Subglottalt tryck, cm H ₂ O, män (SD)		Lufflöde, l/s, Subglottalt tryck, cm H ₂ O, kvinnor (SD)	
	cm H ₂ O/l/s, kvinnor (SD)	cm H ₂ O/l/s, män (SD)	cm H ₂ O/l/s, kvinnor (SD)	cm H ₂ O/l/s, män (SD)	cm H ₂ O/l/s, kvinnor (SD)	cm H ₂ O/l/s, män (SD)	cm H ₂ O/l/s, kvinnor (SD)	cm H ₂ O/l/s, män (SD)
Leeper & Graves (1984) normal röststyrka	38,3 (9,3)	23,6 (10,4)	0,20 (0,04)	0,25 (0,01)	0,20 (0,04)	0,25 (0,01)	4,6 (0,8)	6,4 (1,9)
Holmberg et al. (1988) svag röststyrka normal röststyrka	29,5 (10,3) 42,2 (8,1)	37,7 (16,7)	0,17 (0,04) 0,14 (0,03)	0,19 (0,07)	0,17 (0,04) 0,15 (0,04)	0,20 (0,06)	5,8 (0,9) 8,2 (1,8)	5,1 (1,2) 6,3 (1,4)
Higgins & Saxman (1991) 20-31 år, svag röststyrka 20-31 år, normal röststyrka 20-31 år, stark röststyrka	60,9 (20,6)	48,6 (19,4)	0,10 (0,02) 0,14 (0,03) 0,17 (0,04)	0,21 (0,06)	0,10 (0,02) 0,14 (0,03) 0,17 (0,04)	0,20 (0,06)	4,8 (0,7) 6,5 (0,8) 8,0 (1,0)	4,5 (1,2) 5,8 (1,4) 7,9 (2,3)
Netsell et al. (1991) normal röststyrka	38,5 (10,2)	29,9 (6,7)	0,14 (0,03)	0,20 (0,05)	0,14 (0,03)	0,20 (0,05)	5,1 (1,1)	5,9 (1,5)
Wilson & Leeper (1992) 25 % röststyrka 50 % röststyrka 75 % röststyrka	39,4 (18,3) 51,7 (31,1) 97,3 (69,5)	27,5 (21,6) 33,8 (19,3) 49,2 (26,8)	0,14 (0,06) 0,17 (0,05) 0,22 (0,01)	0,27 (0,09)	0,14 (0,06) 0,17 (0,05) 0,22 (0,01)	0,21 (0,10)	4,1 (1,5) 7,6 (2,9) 16,9 (6,6)	3,8 (1,1) 7,6 (2,8) 14,2 (5,4)
Stathopoulos & Sapienza (1993) svag röststyrka normal röststyrka stark röststyrka	28,6 (11,8) 40,6 (13,7) 67,8 (16,8)	34,3 (14,9) 50,4 (23,4) 66,1 (39,8)	0,13 (0,04) 0,12 (0,03) 0,11 (0,03)	0,35 (0,13)	0,13 (0,04) 0,12 (0,03) 0,11 (0,03)	0,13 (0,04)	3,7 (1,0) 4,8 (1,2) 7,7 (2,8)	4,1 (0,9) 5,2 (1,3) 8,1 (2,1)
Goozee et al. (1998) 20-30 år, normal röststyrka	26,4 (20,5)	30,6 (35,0)	0,39 (0,25)	0,52 (0,27)	0,39 (0,25)	0,52 (0,27)	6,7 (1,5)	9,3 (1,9)
Zraick et al. (2012) 18-38 år, normal röststyrka	68,2 (53,1)	79,4 (120,0)	0,10 (0,05)	0,14 (0,08)	0,10 (0,05)	0,14 (0,08)	5,4 (1,4)	6,7 (2,0)
Sjögren & Ström (2013) sångtränade, svag röststyrka sångtränade, normal röststyrka sångtränade, stark röststyrka ej sångtränade, svag röststyrka ej sångtränade, normal röststyrka ej sångtränade, stark röststyrka	32,3 (16,1) 58,1 (33,2) 97,2 (33,9) 41,7 (50,7) 56,5 (32,4) 88,8 (64,3)	17,6 (4,7) 30,5 (11,1) 42,6 (14,8) 27,4 (12,3) 50,1 (27,8) 58,3 (21,8)	0,16 (0,03) 0,16 (0,06) 0,15 (0,05) 0,16 (0,08) 0,16 (0,09) 0,14 (0,08)	0,25 (0,06) 0,26 (0,10) 0,33 (0,21) 0,22 (0,11) 0,22 (0,13) 0,24 (0,07)	0,16 (0,03) 0,16 (0,06) 0,15 (0,05) 0,16 (0,08) 0,16 (0,09) 0,14 (0,08)	0,25 (0,06) 0,26 (0,10) 0,33 (0,21) 0,22 (0,11) 0,22 (0,13) 0,24 (0,07)	5,4 (2,4) 8,5 (2,2) 14,5 (3,3) 4,2 (1,5) 7,2 (2,3) 10,6 (4,0)	4,8 (1,8) 8,4 (3,6) 14,6 (9,2) 5,4 (1,0) 8,4 (2,0) 13,3 (2,5)

Goozée et al. (1998) samt Zraick et al. (2012) som undersökt normal röststyrka med samma metod som i denna uppsats (PAS, ”vocal efficiency protocol”) såg liksom framkom här enbart könsskillnader i fråga om luftflöde (mäns värden ökar med intensitet, det gör inte kvinnors). Vid stark talstyrka visades i denna studie ett större glottalt motstånd hos kvinnor, vilket Goozée et al. (1998) och Zraick et al. (2012) såg i normal intensitet.

Metoddiskussion

PAS visade sig vara en pålitlig och snabb metod för undersökning av fonationsaerodynamiska mått hos en stor grupp människor. Instruktionerna var lättförståeliga och ingen av forskningspersonerna uttryckte att de tyckte mätningen var obehaglig.

I litteraturen beskrivs höghastighetsfilmning av larynx som en smärtfri och enkel metod, där en stor mängd forskningsdeltagare kan delta på grund av den icke-invasiva proceduren (Lohscheller et al., 2012). I praktiken upplever några personer obehag av att ha endoskopet i munnen, och det kan vara svårt att använda sin röst på ett naturligt sätt, eftersom det krävs att munnen hålls öppen och huvudet i en särskild vinkel. För en del krävdes det dessutom flera omtagningar för att hinna öka röststyrkan tillräckligt mycket under kort tid.

Vid jämförelser av glottala mått och fonationsaerodynamiska mått bör man ha i åtanke att inspelningarna är gjorda vid två olika tillfällen. Det är inte säkerställt att det forskningspersonerna upplevde som svag röststyrka vid höghastighetsfilmningen var samma ljudtrycksnivå som svag röststyrka vid PAS-inspelningen. Något som är säkert är däremot att forskningspersonerna har strävat efter en svag respektive stark röststyrka i båda fallen, och måtten kan därför med viss försiktighet jämföras med varandra.

Vidare forskning och avslutning

Eftersom det visade sig finnas olika tekniker för att höja och sänka röststyrkan skulle effekten av detta kunna vidare undersökas. En frågeställning skulle kunna vara om röstkvaliteten skiljer sig åt vid olika tekniker för reglering av röststyrkan. Det vore också intressant att ta reda på hur patienter med olika slags röstproblem höjer och sänker röststyrkan, vilket skulle kunna vara till hjälp för val av röstterapi.

Denna studie har visat att reglering av röststyrka är ett komplext område, och på grund av stora interpersonella skillnader i hur man med respiratoriskt och glottalt arbete höjer och sänker röststyrkan kan det vara missvisande att ge en generell beskrivning av hur kontroll av röststyrka sker. Den teknik som används för att reglera röststyrka behöver inte bestämmas av anatomiska förutsättningar, utan kan istället bero på bakgrund och erfarenhet av röstträning; i denna studie exemplifierat av sångträningserfarenhet. Eftersom röst användning är så pass individuellt bör man i mötet med röstpatienten ta hänsyn till varje persons kunskap och erfarenhet av hur rösten kan användas.

TACK

Henrik Widegren, för rådgivning och hjälp vid höghastighetsfilmning.

REFERENSER

- Baer, T., Löfqvist, A. & McGarr, N. S. (1983). Laryngeal vibrations: A comparison between high-speed filming and glottographic techniques. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 1304-08. DOI; 10.1121/1.389279 PMID; 6853841
- Brown, W. S., Jr, Rothman, H. B. & Sapienza, C. M. (2000). Perceptual and acoustic study of professionally trained versus untrained voices. *Journal of Voice*, 14(3), 301-9. PMID;11021498
- Boersma, P. (2001), "PRAAT, a system for doing phonetics by computer," *Glottology International* 5(9/10), 341-45.
- Buder, E. H. & Wolf, T. (2003). Instrumental and perceptual evaluations of two related singers. *Journal of Voice*, 17(2), 228-44. DOI; 10.1016/S0892-1997(03)00040-7, PMID; 12825655
- Colton, H. R., Casper, K. J. & Leonard, R. (2011). Phonatory physiology. *Understanding voice problems: A physiological perspective for diagnosis and treatment* (s. 386-96). Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Deliyski, D. D. & Hillman, R. E. (2010). State of the art laryngeal imaging: Research and clinical implications. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 18(3), 147-52. DOI; 10.1097/MOO.0b013e3283395dd4. PMID; 20463479
- Dromey, C., Stathopoulos, E. T. & Sapienza, C. M. (1992). Glottal airflow and electroglottographic measures of vocal function at multiple intensities. *Journal of Voice*, 6(1), 44-54. DOI; 10.1016/S0892-1997(05)80008-6
- Finnegan, E. M., Luschei, E. S. & Hoffman, H. T. (2000). Modulations in respiratory and laryngeal activity associated with changes in vocal intensity during speech. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 43(4), 934-50. PMID; 11386480
- Goozée, J. V., Murdoch, B. E., Theodoros, D. G. & Thompson, E. C. (1998). The effects of age and gender on laryngeal aerodynamics. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 33(2), 221-38. DOI; 10.1080/136828298247884, PMID; 9709440
- Higgins, M. B., Netsell, R. & Schulte, L. (1994). Aerodynamic and electroglottographic measures of normal voice production: Intrasubject variability within and across sessions. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 37(1), 38-45. PMID; 8170128
- Higgins, M. B. & Saxman, J. H. (1991). A comparison of selected phonatory behaviors of healthy aged and young adults. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 34(5), 1000-10. PMID; 1749230
- Hirano, M., Ohala, J. & Vennard, W. (1969). The function of laryngeal muscles in regulating fundamental frequency and intensity of phonation. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 12(3), 616-28. PMID; 5811852

- Holmberg, E. B., (1980). Laryngeal airway resistance as a function of phonation type. *Phonetic Experimental Research, Institute of Linguistics (PERILUS 11), Stockholm University*, 44-57.
- Holmberg, E. B., Hillman, R. E., Perkell, J. S. & Gress, C. (1994). Relationships between intra-speaker variation in aerodynamic measures of voice production and variation in SPL across repeated recordings. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 37(3), 484-95. PMID; 8084180
- Holmberg, E. B., Hillman, R. E. & Perkell, J. S. (1988). Glottal airflow and transglottal air pressure measurements for male and female speakers in soft, normal, and loud voice. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 511-29. DOI; 10.1121/1.396829 PMID; 3170944
- Holmberg, E. B., Hillman, R. E. & Perkell, J. S. (1989). Glottal airflow and transglottal air pressure measurements for male and female speakers in low, normal, and high pitch. *Journal of Voice*, 3(4), 294-305. DOI; 10.1016/S0892-1997(89)80051-7, PMID; 3170944
- Holmes, L. C., Leeper, H. A. & Nicholson, I. R. (1994). Laryngeal airway resistance of older men and women as a function of vocal sound pressure level. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 37(4), 789-99. PMID; 7967564
- Isshiki, N. (1964). Regulatory mechanism of voice intensity variation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 7(1), 17-29. PMID; 14130741
- Klich, R. & Sabo, W. (1988). Intraoral pressure differences in various degrees of breathiness. *Folia Phoniatica Et Logopaedica*, 40(6), 265-69. DOI; 10.1159/000265918 PMID; 3243517
- Ladefoged, P. & McKinney, N. P. (1963). Loudness, sound pressure, and subglottal pressure in speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 35(4), 454-60.
- Leeper, H. A. & Graves, D. K. (1984). Consistency of laryngeal airway resistance in adult women. *Journal of Communication Disorders*, 17(3), 153-63. DOI; 10.1016/0021-9924(84)90008-X, PMID; 6736284
- Lohscheller, J., Švec, J. G., & Döllinger, M. (2012). Vocal fold vibration amplitude, open quotient, speed quotient and their variability along glottal length: Kymographic data from normal subjects. *Logopedics Phoniatics Vocology*, (0), 1-11. DOI; 10.3109/14015439.2012.731083. PMID; 23173880
- Löfqvist, A., Carlborg, B. & Kitzing, P. (1982). Initial validation of an indirect measure of subglottal pressure during vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 633-5. DOI; 10.1121/1.388046 PMID; 7119286

- Master, S., Guzman, M., Carlos de Miranda, H. & Lloyd, A. (2012). Electroglottographic analysis of actresses and nonactresses' voices in different levels of intensity. *Journal of Voice*, 187-94, DOI; 10.1016/j.jvoice.2012.10.010, PMID; 23294706
- Monsen, R. B. & Engebretson, A. M. (1977). Study of variations in the male and female glottal wave. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 62(4), 981-93. DOI; 10.1121/1.381593, PMID; 911405
- Murty, G., Carding, P., Kelly, P. & Lancaster, P. (1991). The effect of frequency on combined glottography. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, 16(3), 298-301. DOI; 10.1111/j.1365-2273.1991.tb02056.x, PMID; 1879077
- Netsell, R., Lotz, W., DuChane, A. & Barlow, S. (1991). Vocal tract aerodynamics during syllable productions: Normative data and theoretical implications. *Journal of Voice*, 5(1), 1-9. DOI; 10.1016/S0892-1997(05)80157-2
- Netsell, R., Lotz, W. & Shaughnessy, A. L. (1984). Laryngeal aerodynamics associated with selected voice disorders. *American Journal of Otolaryngology*, 5(6), 397-403. DOI; 10.1016/S0196-0709(84)80055-1, PMID; 6336354
- Pimenta, R. A., Dájer, M. E., Hachiya, A., Cordeiro, G. F. & Tsuji, D. H. (2013). High-speed kymography identifies the immediate effects of voiced vibration. *International Archives of Otorhinolaryngol*, 1(17), 74-79, DOI; 10.1001/archoto.2008.557
- Rothenberg, M. (1973). A new inverse-filtering technique for deriving the glottal air flow waveform during voicing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 53(6), 1632-45. DOI; 10.1121/1.1913513 PMID; 4719255
- Sapienza, C. M., Stathopoulos, E. T. & Dromey, C. (1998). Approximations of open quotient and speed quotient from glottal airflow and EGG waveforms: Effects of measurement criteria and sound pressure level. *Journal of Voice*, 12(1), 31-43. DOI; 10.1016/S0892-1997(98)80073-8, PMID; 9619977
- Sataloff, R. T. (1981). Professional singers: The science and art of clinical care. *American Journal of Otolaryngology*, 2(3), 251-66. DOI; 10.1016/S0196-0709(81)80022-1 PMID; 7283066
- Sawashima, M., Niimi, S., Horiguchi, S. & Yamaguchi, H. (1988) Expiratory lung pressure, airflow rate, and vocal intensity: data on normal subjects i O. Fujimura (Red.) *Vocal Fold Physiology: Voice Productions, Mechanisms and Functions* (415-422) Baltimote; Lippincott Williams & Wilkins.
- Schutte, H. (1992). Integrated aerodynamic measurements. *Journal of Voice*, 6(2), 127-34. DOI; 10.1016/S0892-1997(05)80126-2
- Smitheran, J. R. & Hixon, T. J. (1981). A clinical method for estimating laryngeal airway resistance during vowel production. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 46(2), 138-46. PMID; 7253590

- Stathopoulos, E. T. & Sapienza, C. (1993). Respiratory and laryngeal function of women and men during vocal intensity variation. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 36(1), 64-75. PMID; 8450666
- Sulter, A. M., Schutte, H. K. & Miller, D. G. (1996). Standardized laryngeal videostroboscopic rating: Differences between untrained and trained male and female subjects, and effects of varying sound intensity, fundamental frequency, and age. *Journal of Voice*, 10(2), 175-89. DOI; 10.1016/S0892-1997(96)80045-2, PMID; 8734393
- Sulter, A. M. & Wit, H. P. (1996). Glottal volume velocity waveform characteristics in subjects with and without vocal training, related to gender, sound intensity, fundamental frequency, and age. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 3360-73.
- Sundberg, J., Titze, I. & Scherer, R. (1993). Phonatory control in male singing: A study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency, and mode of phonation on the voice source. *Journal of Voice*, 7(1), 15-29. DOI; 10.1016/S0892-1997(05)80108-0, PMID; 8353616
- Timcke, R., von Leden, H. & Moore, P. (1958). Laryngeal Vibrations: Measurements of the Glottic WavePart I. The Normal Vibratory Cycle. *Archives of Otolaryngology—Head & Neck Surgery*, 68(1), 1-9. DOI; 10.1001/archotol.1958.00730020005001, PMID; 13544677
- Tanaka, S. & Gould, W. J. (1983). Relationships between vocal intensity and noninvasively obtained aerodynamic parameters in normal subjects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 1316-21. DOI; 10.1121/1.389235, PMID; 6853843
- Titze, I. R. & Sundberg, J. (1992). Vocal intensity in speakers and singers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91, 2936-46. DOI; 10.1121/1.402929 PMID; 1629486
- Traunmüller, H. & Eriksson, A. (2000). Acoustic effects of variation in vocal effort by men, women, and children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107, 3438-51. PMID; 10875388
- Wilson, J. V. & Leeper, H. A. (1992). Changes in laryngeal airway resistance in young adult men and women as a function of vocal sound pressure level and syllable context. *Journal of Voice*, 6(3), 235-45. DOI; 10.1016/S0892-1997(05)80148-1
- Yiu, E. M., Yuen, Y., Whitehill, T. & Winkworth, A. (2004). Reliability and applicability of aerodynamic measures in dysphonia assessment. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 18(6-8), 463-78. DOI; 10.1080/02699200410001703592 PMID; 15573484
- Zraick, R. I., Smith-Olinde, L. & Shotts, L. L. (2012). Adult normative data for the KayPENTAX phonatory aerodynamic system model 6600. *Journal of Voice*, 26(2), 164-76. DOI; 10.1016/j.jvoice.2011.01.006, PMID; 21600731