

*DIAGNÒSTIC DE LA SÍNDROME D'APNEA
EN EL SON PER MITJÀ DE L'ANÀLISI DIGITAL¹
DE LA VEU
ÈRIC OBRADOR*

¹Text resumit del treball guanyador dels VI Premis de Treballs de Recerca Salvador Reixach, atorgat en la modalitat de tècnica-científica, l'octubre de 2006 a Santa Pau.

1. INTRODUCCIÓ

L'objectiu del treball és investigar si l'anàlisi digital de la veu de les persones (concretament les vocals castellanques) pot ser útil per al diagnòstic mèdic de la síndrome d'apnea en el son (alteració respiratòria del son), és a dir, per saber si tenen la SAS. Aquesta hipòtesi és deguda al fet que tres funcions, la respiratòria, la digestiva i la fonadora, tenen lloc a la mateixa estructura tubular, la via aèria superior (VAS). Per tant, analitzant una d'aquestes tres activitats (la fonadora), és probable que es pugui aconseguir una relació amb una altra (la respiratòria).

Per explicar els continguts anteriors, el treball es divideix en dues grans parts. En la primera, de caire més teòric, es reuneix la informació necessària per obtenir els coneixements bàsics de les fases del son o de la mateixa síndrome d'apnea en el son, a més de tots els conceptes tècnics relacionats amb el so, la veu humana, com serien els formants de la veu. En la segona part, es troben l'objectiu, el material i la investigació en si; s'hi exposen totes les dades obtingudes després de l'anàlisi i els seus corresponents resultats.

Cal destacar la importància d'un resultat positiu ja que, actualment, per aconseguir saber si una persona té la SAS, ha d'anar a dormir una nit a l'hospital perquè se li faci una polisomnografia completa (tècnica mèdica). Per sotmetre's a aquesta tècnica cal fer llargues cues a causa de la demanda d'estudis de son i de la dificultat tècnica per fer-los. Per tant, si l'anàlisi digital de la veu resultés positiva, aquestes llargues esperes podrien desaparèixer.

2. SÍNDROME D'APNEA EN EL SON (SAS)

2.1. Definició

És una alteració respiratòria del son. Es caracteritza per la presència, durant la nit, d'obstruccions parcials (hipopnees) o totals (apnees) de la via aèria superior en un nombre igual o superior a 10 per hora. Pot anar acompanyada per malalties cardiovasculars (alteracions del ritme cardíac, infart de miocardi, patologia vascular cerebral...) i per somnolència diürna.

Si l'índex d'apnea hipopnea (IAH) està entre 10 i 30 per hora, es diu que el pacient té una SAS entre lleu i moderada. Si l'IAH és igual o superior a 30, la SAS és severa.

La SAS és una malaltia pròpia de l'ésser humà. A part de nosaltres, només la pateix el bulldog anglès braquicefàlic (que és un animal útil per a l'experimentació). L'habilitat pel llenguatge dels humans ha comportat una gran elasticitat de la via aèria superior (VAS) i la careència d'un suport rígid del hioide, i com a conseqüència la possibilitat de tenir la SAS.

2.2. Aspectes generals de la SAS

Un 20% dels adults presenten un índex d'apnea hipopnea (IAH) de 10 o més per hora. Un 2% de les dones i un 4% dels homes pateixen la SAS.

El risc de tenir la SAS és proporcional al pes. Tan sols un 25% dels pacients que pateixen la SAS tenen un índex de massa corporal (IMC) normal. Només un augment del 10% del pes augmenta 6 vegades el risc de tenir la SAS i un 1% d'augment de pes incrementa en un 3% les possibilitats de patir l'IAH.

Les dones tenen menys risc de tenir la SAS que els homes, però després de la menopausa el risc s'equilibra entre homes i dones.

2.3. Síntomes més importants de la SAS:

1. *Accident de trànsit per la SAS*

Hipersomnolència diürna: Es presenta en els malalts a causa d'una alteració de l'estructura del son: hi ha un augment del son superficial (fases 1-2) i una disminució del son profund (desaparició del son delta, fases 3-4, i disminució del REM). Això provoca que el malalt tingui son durant el dia i que hi hagi la possibilitat que s'adormi, ja sigui conduint (augmenta el risc d'accidents de circulació; un 25% dels accidents mortals de circulació són produïts per SAS), treballant, duent a terme una activitat domèstica, etc. En conclusió, aquests pacients no poden portar una activitat diària normal. A més, la SAS comporta alteracions de convivència social i alteracions de conducta.

2. **Roncopatia intensa durant el son.**

3. **Apnees observades durant el son.**

4. Nictúria: Les apnees hipopnees comporten un augment d'una substància (*Peptid Natriuretic Auricular*) que obliga els malalts de SAS a aixecar-se més de dues vegades cada nit per miccionar.

5. Cansament en aixecar-se al matí.

6. Impotència.

7. Alteracions del caràcter.

2.4. Malalties cardiovasculars relacionades amb la SAS

1. Hipertensió arterial: La SAS augmenta aproximadament un 40% el risc de patir hipertensió arterial.

2. Insuficiència cardíaca: Un 10% dels pacients que tenen insuficiència cardíaca són malalts de SAS.

3. Alteracions del ritme cardíac: Es pot donar que el ritme cardíac s'alenteixi, augmenti o fins i tot que sigui irregular. Alguns exemples d'aquestes alteracions cardíques són la fibril·lació auricular, l'assistòlia, la bradicària i la taquicàrdia.

2.5. Estudi del son en la SAS

Si se sospita que una persona pateix la síndrome d'apnea en el son s'ha de realitzar una **polisomnografia**. La sospita clínica d'una SAS permet encertar en la meitat dels casos, cosa que fa necessari un estudi nocturn del pacient per demostrar la presència d'apnees hipopnees i la seva freqüència.

Per realitzar una polisomnografia completa s'ingressa el pacient durant una nit a la Unitat de Son de l'hospital i se li col·loquen una sèrie de sensors al cos per registrar les característiques del son i les característiques de la respiració junt amb altres paràmetres relacionats que permeten completar la seva valoració.

Podem classificar els sensors de la polisomnografia en:

1. Sensors per valorar el son

1.1. Electroencefalograma: 2 canals d'EEG simètrics per a la valoració de les ones cerebrals durant el son que es modificaran segons la fase de son.

1.2. Canals d'EEG

Electroculograma: 2 canals (un a l'ull esquerre i l'altre al dret) per registrar els moviments ràpids dels ulls en vigília i en fase REM. Durant les primeres fases (fases 1 i 2) el moviment dels ulls s'alenteix.

1.3. Canals d'EOG

Electromiograma: Un canal al mentó per determinar la força muscular, que disminueix durant la profundització del son.

2. Sensors per determinar el col·lapse de la via aèria

2.1. Termistor: Un canal al nas que determina els canvis tèrmics de l'aire expirat (en general més calent que l'ambient). És un canal antic que valora la respiració.

2.2. Flux nasal: Un canal al nas que en ocasions pot ser un canal oronasal (flux nasal i bucal). Valora el flux d'aire en la via aèria superior.

2.3. Micròfon: Un canal a la regió anterior del coll que registra els ronc durant el son.

2.4. Banda toràcica: Un canal que registra els moviments toràcics durant la respiració. En una apnea obstructiva s'observa una disminució de l'activitat muscular en iniciar-se i un increment de la força al final d'aquesta.

2.5. Banda abdominal: Un canal que registra els moviments abdominals durant la respiració. Té la mateixa funció que la banda toràcica.

2.6. Pulsioxímetre: Un canal a l'ungla del pacient que registra la freqüència del pols i les modificacions de la saturació de l'oxigen pels mètodes colorimètrics i per mitjà de polsos de llum vermella. Al final de l'apnea hipopnea podem observar una disminució de la saturació d'oxigen del 3% o més i un augment de la freqüència de pols.

2.7. Posició: Un sensor que registra la posició en què dorm el pacient (decúbit supí o pro, decúbit lateral dret o esquerre). Té interès per determinar en quina posició es presenten les apnees, que generalment es donen amb major freqüència en la posició de decúbit supí.

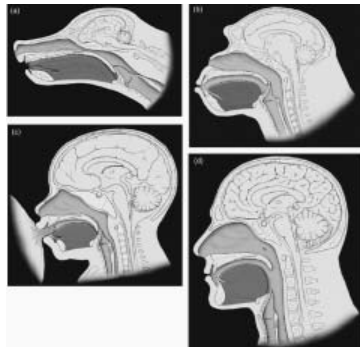
2.8. Tibials anteriors: Dos sensors al múscul tibial anterior de cada extremitat inferior. Registren el seu moviment durant el son. Els pacients de SAS solen presentar una contracció muscular al final de les apnees hipopnees. També és útil per diagnosticar altres malalties del son (moviment periòdic de les cames).

2.9. Electrocardiograma: Un sensor per registrar les alteracions dels ritmes i altres alteracions electrocardiogràfiques que es presenten durant el son.

3. VIA AÈRIA SUPERIOR (VAS)

3.1. Model evolutiu

L'ésser humà es diferencia de les altres espècies animals per la seva capacitat de parlar. Per poder-ho fer ha hagut d'adaptar l'anatomia de la via aèria superior (VAS) a la nova funcionalitat. Per això als 18 mesos després del naixement hi ha un allargament de la laringe fins a la cinquena vèrtebra cervical, l'estructura de la faringe es fa menys rígida, augmenta la mobilitat de la laringe que deixa l'os hioide sense el suport rígid que té en la resta dels animals. Aquestes modificacions provoquen una VAS més vulnerable al col·lapse.



Evolució de la VAS en el gos (a), el mico (b), el nen homo sapiens (c) i l'adult homo sapiens (d).

Per comprendre com parla l'èsser humà explicarem l'estructura i el funcionament de la VAS.

3.2. Regions de la via aèria superior

En l'home el tracte vocal té una longitud d'uns 17 cm; en la dona, de 14 cm, i en el nen, de 10 cm. L'àrea del tracte vocal va des de 0 fins a 20 cm². La cavitat nasal té una longitud de 12 cm i una àrea de 0 a 5 cm².

L'àrea mínima de la via aèria superior (VAS) es troba en l'orofaringe retropalatal i varia segons la tècnica de determinació:

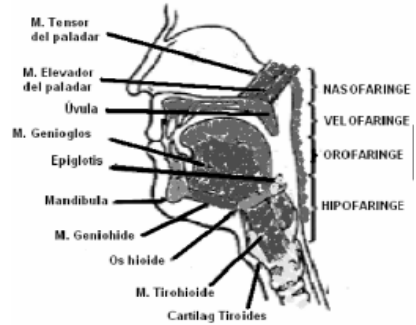
Segons la reflexió acústica:
2,52 ± 0,42 cm².

Segons TAC: 1,44 1,88 cm².

La mida de la VAS es modifica segons la posició; així, en decúbit supí el paladar tou i la llengua es desplacen posteriorment, amb la qual cosa es redueix l'àrea de l'orofaringe i augmenta la impedància supraglòtica i la col·lapsabilitat.

La VAS pot dividir-se en quatre segments anatòmics:

1. Nasofaringe: Entre la coana nasal i el paladar dur.
2. Velofaringe: Entre el paladar dur i el paladar tou. També es denomina orofaringe retropalatal.
3. Orofaringe: Entre el paladar tou i l'epiglòtis.
4. Hipofaringe: De la base de la llengua a la laringe.



Esquema de la via aèria superior

3.3. Model físic de la VAS

La fórmula més simple és considerar la VAS com un tub cilíndric i elàstic que funciona com un sistema resistiu de Starling, en què actuen una sèrie de pressions:

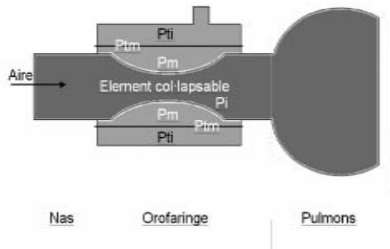
1. La pressió intraluminal (Pi): Pressió de dins del tub, subatmosfèrica, que es fa més negativa durant la inspiració pulmonar i contrau la llum del tub (depenent de les resistències de les estructures anatòmiques de la VAS).

2. La pressió muscular (Pm): Pressió dels músculs dilatadors de la faringe que estan en tensió durant la vigília i el to dels quals disminueix durant la progressió de les fases de son.

3. Pressió tissular (Pti): Pressió que fan els teixits adjacents de la VAS, que provoquen un augment de la col·lapsabilitat.

4. Pressió transmural (Ptm): Pressió que ve donada per la suma de les dues pressions anteriors (Ptm=Pm+Pti) i que permet que la VAS romangui oberta. És de signe contrari a la pressió crítica (Pcrit), que és la pressió que tanca la VAS, i en

general té un valor de 8 cm d'H₂O (en les persones que pateixen la síndrome d'apnea en el son aquesta pressió és molt propera a 0 o, en certes ocasions, és positiva). La P_{tm} ve determinada per la mida de la llum, la col·lapsabilitat i la tensió longitudinal del tub.



Sistema resisitiu de Starling

La pressió en què es pot obtenir un màxim flux en aquest sistema resisitiu depèn de la resistència en la part alta del tub (el nas) i la pressió transmural al voltant del tub col·lapsable. Si la P_{crit} és 0 no hi ha flux i si és negativa permet l'existència de flux. Pressions crítiques al llindar de 0 cm d'aigua, requereixen un esforç addicional de la musculatura dilatadora.

La col·lapsabilitat de la VAS depèn de:

1. Resistència nasal: si és estreta o si hi ha congestió de la mucosa, rinitis, etc.
2. Efectes segons el sexe: la longitud més important de la VAS en els barons determina una major resistència que en les dones.
3. Volum pulmonar: l'àrea de la VAS depèn del volum pulmonar.
4. Estat hormonal: té un valor important en la dona postmenopàusica.
5. Edat: amb l'edat augmenta la resistència de la VAS i disminueix l'activitat del genioglòs i tensor del paladar.
6. Factors extrínsecs:
 - 6.1. Diàmetre del coll i postura maxil·lar.
 - 6.2. Obesitat.
7. El son: en aprofundir la fase de son disminueix el to muscular.

Durant la fase estàtica del son és molt important valorar la *compliance* (relació entre la modificació del volum de la via aèria amb la seva pressió), ja que és un índex vàlid per determinar la col·lapsabilitat, segons la relació següent: a menor àrea de la VAS, més col·lapsabilitat. Els pacients SAS tenen una *compliance* més alta que les persones normals i roncadors.

3.4. Model físic de la veu humana en la VAS

El tracte vocal es pot representar com un tub amb diferents seccions que modulen diferents sons, obert en un dels seus extrems i que s'excita en l'altre (cordes vocals). Aquests paràmetres articuladoris es poden representar com uns vectors que especifiquen la posició de la llengua, la mandíbula, el llavis, l'hioide, el vel palatal, i així podem considerar-lo com un model paramètric del tracte vocal (funció de filtre).

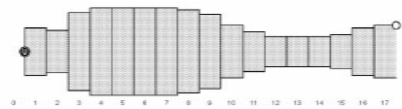
El tracte vocal té un diàmetre d'uns 2 cm. Aquesta mida és inferior a la longitud d'ona d'un so de 4 kHz.

$$\lambda = 0,086\text{m} = 8,6\text{cm}$$

Essent l'amplitud d'ona.

Aquestes dades ens demostren que la prolongació de la veu en el tracte vocal és plana o bidimensional i no tridimensional. La seva anàlisi en la VAS serà la d'una ona bidimensional.

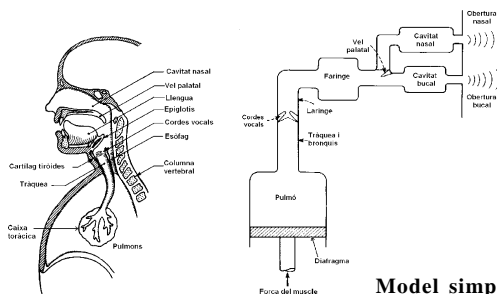
La VAS inclou les cavitats faringe, oral i nasal junt amb els elements articuladoris. Aquests elements són els que determinen les característiques específiques de cada veu. La veu es modifica per dos mecanismes principals, el filtrat i l'articulació.



Model de tubs de la VAS

Els components del filtre són:

1. Les cavitats (oral, nasal, faringea): són els elements principals del filtre acústic.
2. Element d'excitació: serveix perquè les cordes vocals produeixin sons sonors.
3. Carga de sortida: impedància de radiació deguda als llavis.
4. Articuladors (vel palatal, llengua, dents, llavis i la mandíbula): Són els que canvien les propietats del sistema.



Model simplificat de la VAS

El filtrat actua modificant l'espectre del so. Té lloc en les tres cavitats supraglòtiques: faringe, cavitat nasal, cavitat oral. Aquestes constitueixen ressonadors acústics que incrementen determinades bandes freqüencials de l'espectre generat per les cordes vocals, conduint a la modificació dels formants.

L'articulació és una modificació principalment temporal dels sons i està directament relacionada amb la variació de la posició dels diferents òrgans (llavis, llengua, mandíbula).

Quan el tub del tracte vocal augmenta de mida es produeixen unes ressonàncies especials en zones de freqüències fixes, és a dir, les freqüències que procedeixen de la vibració de les cordes vocals són atenuades o potenciades segons si estan situades en aquestes zones. Aquestes zones ens registraran unes bandes en l'espectrograma de la veu que s'anomenen formants.

El senyal de la veu és generat en el temps com una suma d'harmònics que parteixen d'un de fonamental (F_0). Aquest fonamental correspon a la tensió de les cordes vocals traduït perceptivament com el to (Pitch) de la vocal. Les amplituds d'aquests harmònics corresponen a un espectre que reflexa les zones freqüencials que la forma del tracte vocal potencia o atenua.

Aquest model quasi estacionari falla en totes les transicions de gran velocitat, com principis i finals d'una vocal.

La veu suggereix un model d'entrada i sortida en el qual el senyal de la veu és la sortida d'un sistema lineal o filtre que en l'entrada del qual s'hi troba la font acústica.

En el tracte vocal també hem de considerar posteriorment altres paràmetres que modifiquen la posició de les freqüències de ressonància o formants:

1. La radiació del so.
2. L'estructura física de les parets.
3. La viscositat del tub.
4. La calor.

L'àrea variable del tub modificarà la posició dels formants a causa de la modificació de la velocitat i la longitud de cada tram variable; el coeficient d'absorció del material (relació entre l'energia absorbida pel material i l'energia reflectida per ell) està comprès entre 0 i 1. Els coeficients d'absorció depenen de la freqüència.

4. ANÀLISI DIGITAL DE LA VEU HUMANA

4.1. Objectiu

Valorar la utilitat de l'anàlisi digital de les vocals castellanques en el diagnòstic de la síndrome d'apnea en el son.

Monson i Fox (1987-1989) van exposar que els pacients amb SAS tenien una parla especial que els diferenciava de les persones que no tenien SAS en ser valorats per especialistes en patologia de la veu. Robb (1997) va indicar que la freqüència i l'amplada de banda dels formants vocàlics són discriminants en el diagnòstic de la SAS. Fiz (1993) va escriure un treball en què analitzava les vocals per mitjà de la transformada de Fourier, i va trobar diferències estadísticament significatives en comparar pacients amb la SAS i pacients sense.

Les variables que determinen la modificació de la veu segons Pillar són:

1. L'estructura anatòmica de la via aèria (l'obesitat i els centímetres de coll actuaran com un factor de risc més perquè modifiquen la seva estructura amb els dipòsits de greix augmentats).

2. L'estructura del teixit de la VAS (que modificarà les ones del so segons les seves característiques).

3. L'àrea d'obertura de la via aèria (segons Mohsenin (2003) hi ha també unes diferències apreciables entre sexes; una àrea de la VAS inferior a 3,2 cm és un factor de risc de col·lapsabilitat en els homes, fet que no es correspon en l'àrea de la VAS de les dones, ja que elles tenen un punt de l'orofaringe més estret que els homes).

Les ones de la veu es consideren i s'estudien com unes ones planes, ja que la longitud de l'ona de la veu és superior a l'àrea màxima de la via aèria superior; per tant, només es transmeten en el sentit longitudinal del tub.

La VAS és un tub d'àrea variable on trobem tres àrees de ressonància característiques:

1. La bucal.
2. La faríngia.
3. La nasal.

En aquestes àrees les ones de la veu es modifiquen com un filtre. Segons les seves característiques els filtres acústics poden ser:

1. Filtres de pas baix. Es poden construir si afegim a un tub d'àrea constant (A) una secció més ampla (d'àrea A1 i longitud L1). En aquest filtre observem una transmissió del 100% de les freqüències baixes i una disminució de les freqüències altes. També podem fer un filtre de pas baix si introduïm al tub una constricció (d'àrea a1 i longitud l1). Un exemple d'aquests filtres en la VAS serien les càmeres bucal i faríngia.

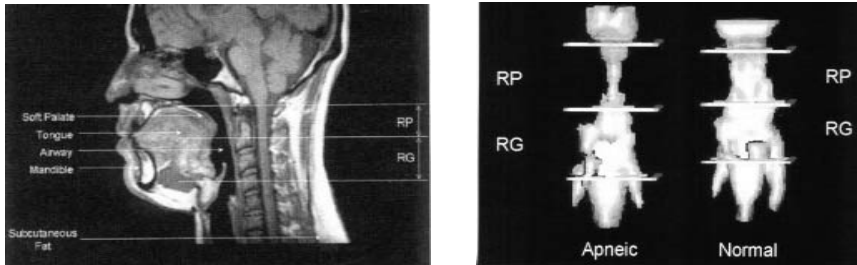
2. Filtres de pas alt. S'obtenen quan s'introdueix al tub una ramificació. S'observa una disminució de la transmissió de les freqüències baixes i un augment



Consulta d'enregistrament

de les freqüències altes. Com més gran és el llum del tub més disminueixen les freqüències baixes. En la VAS l'exemple seria la cambra nasal.

3. Filtres de pas banda. S'obtenen per una ramificació lateral del tub tapat pel seu extrem. Observem una pèrdua d'energia en les freqüències mitjanes. Aquest tipus de filtre també es pot trobar en la VAS del pacient de SAS.



Imatges de la VAS per ressonància magnètica

Així podem entendre que la vibració de les cordes vocals es filtra en la VAS de diferents maneres segons la seva estructura. Com que el pacient que té una síndrome d'apnea en el son presenta sovint una modificació de l'àrea a diferents nivells de la VAS (generalment a la regió retropalatal i retroglòssa) i una col·lapsabilitat augmentada, es produiran diferents càmeres de ressonància i diferents tipus de filtres que poden modificar les característiques de la veu dels pacients de SAS respecte a les persones que no tenen la SAS; així, l'anàlisi digital de la veu pot ser una eina útil per al seu diagnòstic.

Si la informació adquirida gràcies als antecedents que van estudiar les diferències de la veu entre els pacients de SAS i els que no, l'apliquem a les noves tecnologies d'anàlisi digital de la veu, segurament podrem valorar millor la validesa de l'anàlisi digital de la veu en el diagnòstic de la SAS.

4.2. Material i mètode

57 pacients, entre els quals hi ha 41 homes i 16 dones, estudiats a la Unitat de Pneumologia de l'Hospital de Sant Jaume d'Olot seguint el següent protocol:

1. Valoració clínica:

- Grau de somnolència diürna i durant la circulació amb vehicles.
- Presència de roncopatia i apnees nocturnes observades.
- Mesura de l'índex de massa corporal (IMC) en kg/m².
- Diàmetre del coll en cm.
- Afectació cardiovascular.

2. Anàlisi digital de la veu:

El pacient en la posició de decúbit supí i assegut pronuncia les 5 vocals castellanques (a-e-i-o-u) dues vegades seguides (per comprovar que es manté qualitat i exactitud del senyal) i amb una durada mitjana d'entre 300 i 500 ms.

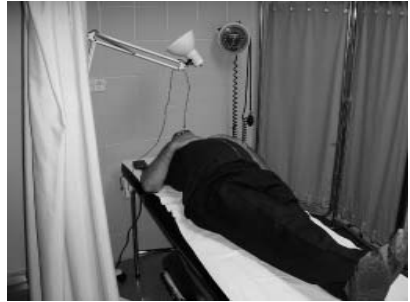
El pacient és envoltat per pantalles de roba per millorar les condicions de recollida del so.

La veu es registra per mitjà d'un micròfon AKG MicroMic (B29) col·locat a 15 cm de la boca.

La veu es grava en un ordinador i la digitalització es duu a terme a 22.050 Hz, 16 Bits i 43 Kb/s.



Registre de la veu assegut.



Registre de la veu en decúbit supí

El so enregistrat es guarda en un arxiu .wav i posteriorment s'estudia la senyal de les vocals per mitjà del programa MATLAB (colea).

Per estudiar el senyal vocàlic es procedeix de la següent manera:

1. S'obté el senyal enregistrat de l'arxiu .wav per mitjà del programa MATLAB i es passa a la visualització de l'espectrograma de les vocals.

2. Es fixen els paràmetres d'estudi:

- a. Finestra del tipus Hamming: on observarem l'espectre LPC.
- b. Durada del senyal estudiat: 20 ms.
- c. Número de punts del senyal: 512.
- d. Coeficient d'LPC de 20.

3. Seleccionem l'espectrograma de cada vocal i posteriorment es va filtrant el senyal amb un filtre de pas-banda per eliminar-ne la part inicial i la final.

4. Valorem la periodicitat del senyal i apliquem filtres pas-banda per seleccionar el període del so vocàlic que manté una periodicitat constant per poder aplicar Fourier i determinar el seu espectre LPC.

5. De l'espectrograma de les vocals en cada postura registrem:

- a. La freqüència fonamental (F0) de les vocals en decúbit supí i assegut.



Equip d'enregistrament

6. De l'espectre LPC de cada vocal s'obté:

a. Les freqüències i les amplades de banda dels 3 primers formants. Cada vocal és estudiada en les dues postures. En tenir dues mostres de cada vocal en les dues postures, es fa la mitjana entre aquests dos resultats de totes les variables (freqüències de F1, F2 i F3 i les amplades de banda de F1, F2 i F3) i així es coneix el valor definitiu.

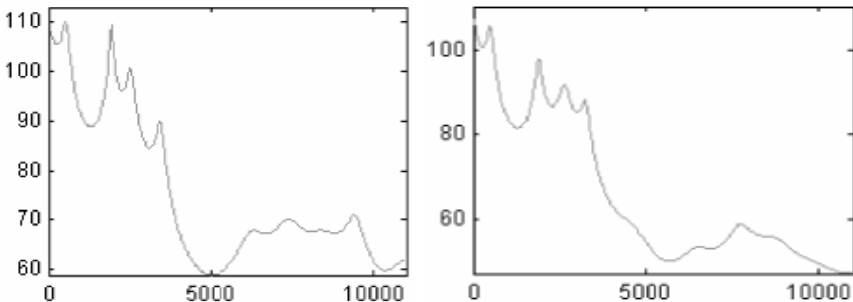
7. Guardem la imatge de l'espectre LPC de cada vocal enregistrada i comparem l'estructura del seu espectre de cada vocal en les dues posicions estudiades.

8. Es valoren i puntuen les modificacions dels espectres LPC de cada vocal en les dues postures segons els següents patrons:

Patró A (disminució de l'ample de banda de les freqüències altes en les dues postures de decúbit supí i assegut):

1. Disminució sobtada de 25 o més dB en l'ample de banda dels formants de les vocals «a», «e» i «i», com a mínim després de F3 i abans de 5.000 Hz (en decúbit supí i assegut).

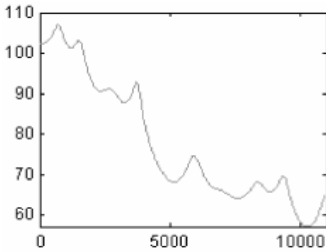
2 punts



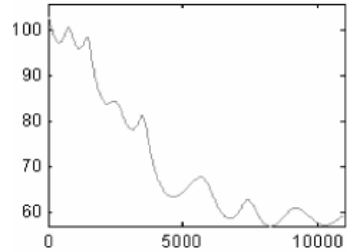
Vocal E, Patró A1 (decúbit supí/assegut)

2. Disminució sobtada de més de 15 dB i menys de 25 dB en l'amplada de banda dels formants de les vocals «a», «e» i «i» com a mínim després de F3 i abans de 5.000 Hz (en decúbit supí i assegut).

1 punt

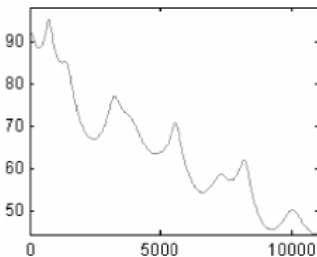


Vocal A, Patró A2 (decúbit supí/assegut)

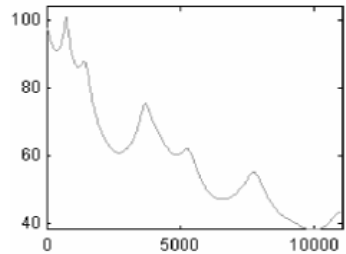


3. Si no es compleix ni el criteri 1 ni el 2.

0 punts



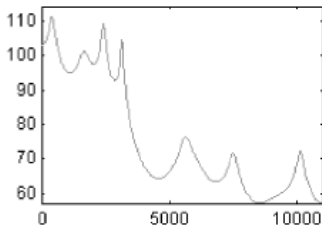
Vocal A, Patró A3 (decúbit supí/assegut)



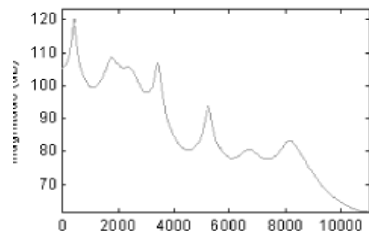
Patró B (disminució de l'amplada de banda de les freqüències altes sols en una postura però no en l'altra –canvi postural):

1. Disminució sobtada de 25 dB o més dB en l'amplada de banda dels formants de les vocals «a», «e» i «i», com a mínim després de F3 i abans de 5.000 Hz (en decúbit supí o assegut).

2 punts

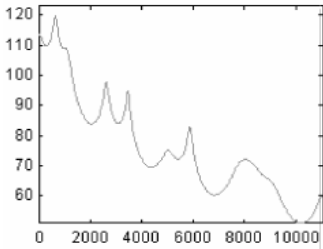


Vocal E, Patró B1 (decúbit supí/assegut)

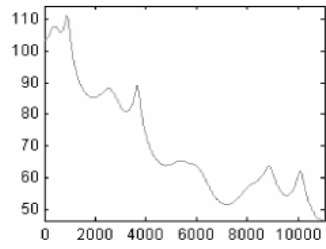


2. Disminució sobtada de més de 15 dB i menys de 25 dB en l'amplada de banda dels formants de les vocals «a», «e» i «i» com a mínim després de F3 i abans de 5.000 Hz (en decúbit supí o assegut).

2 punts

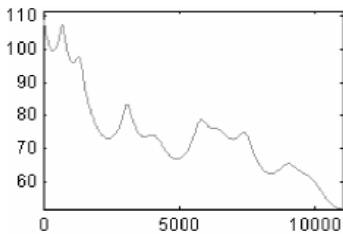


Vocal A, Patró B2 (decúbit supí/assegut)

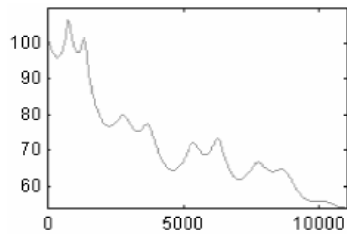


3. Si no es compleix ni el criteri 1 ni el 2.

0 punts



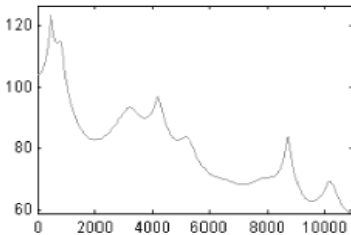
Vocal A, Patró B3 (decúbit supí/assegut)



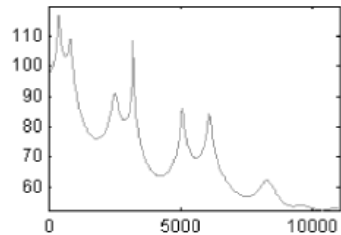
Patró C (canvis de la forma de l'espectre amb relació a la postura):

2 punts

1 Modificació de l'espectre (a-e-i-o-u) entre les dues postures (decúbit supí i assegut) en més del 50% de la finestra (0 Hz - 10.000 Hz).

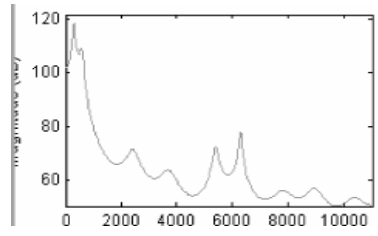
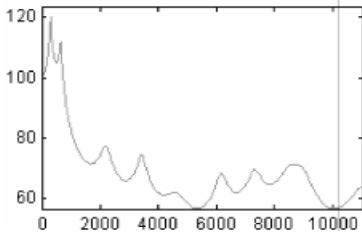


Vocal U, Patró C1 (decúbit supí/assegut)



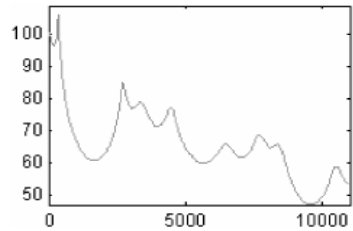
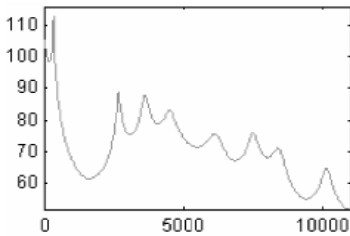
2 Modificació de l'espectre (a-e-i-o-u) entre les dues postures (decúbit supí i assegut) en més del 33% i menys del 50% de la finestra.

1 punts



Vocal U, Patró C2 (decúbit supí/assegut)

0 punts



Vocal I, Patró C3 (decúbit supí/assegut)

3 Modificació de l'espectre (a-e-i-o-u) entre les dues postures (decúbit supí i assegut) en menys del 33% de la finestra o sense modificació.

Es considera que l'anàlisi de la veu és positiva per SAS si la puntuació total és igual o superior a 4 (segons l'anàlisi estadística de les dades el punt de tall als 4 punts separa millor els dos grups).

3. Polisomnografia completa per valorar l'índex d'apnea hipopnea de cada pacient.



Instal·lació de polisomnografia



4.3. Anàlisi estadística

En aquesta part s'utilitzen diverses tècniques estadístiques per analitzar els paràmetres estudiats. Les anàlisis seran les següents:

1. Anàlisi descriptiva de les dades clíniques de les variables de somnolència, accidents de circulació i patologia vascular.
2. Anàlisi per mitjà de la prova estadística *Mann-Whitney-Wilcoxon* de les dades F0 en decúbit supí, F0 assegut, les freqüències i les amplades de banda dels 3 primers formants de cada vocal en cada postura.
3. Anàlisi *Bayesià* de la sensibilitat, especificitat, valor predictiu positiu i valor predictiu negatiu de la utilitat en la comparació de registres gràfics de les vocals segons la postura.
4. Anàlisi per mitjà de la prova estadística *Chi-cuadrado* (X^2) dels resultats del registre espectral vocàlic de cada pacient segons el diagnòstic.

4.4. Resultats

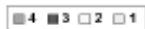
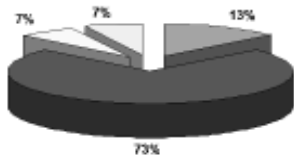
Dels 57 pacients, 30 tenien la SAS (26 homes i 4 dones) i 27, no (15 homes i 12 dones).

Anàlisi de les dades clíniques:

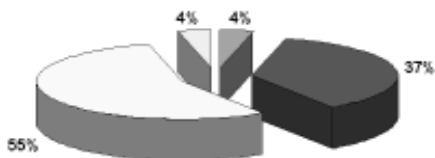
1. Somnolència diürna:

Somnolència diürna	SAS	No SAS
No somnolència-Grau 1	2	1
Somnolència passiva-Grau 2	2	15
Somnolència activa-Grau 3	22	10
Somnolència greu-Grau 4	4	1

Grau de somnolència en SAS

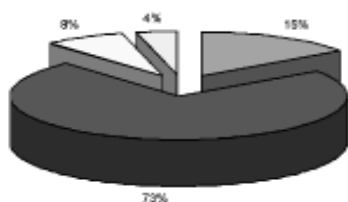


Grau de somnolència en no SAS



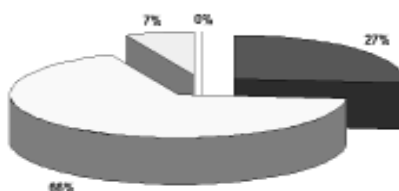
Somnolència diürna homes		No SAS
No somnolència-Grau 1	1	1
Somnolència passiva-Grau 2	2	10
Somnolència activa-Grau 3	19	4
Somnolència greu-Grau 4	4	0

Grau de somnolència dels homes amb SAS



■4 ■3 ■2 ■1

Grau de somnolència dels homes sense SAS



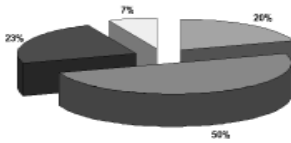
■4 ■3 ■2 ■1

Els pacients que tenen la SAS presenten una somnolència diürna més important que els pacients que no la tenen a causa de la desestructuració de la son que pateixen durant la nit ocasionada per les apnees hipopnees. Es correspon sense modificacions en la mostra dels homes.

2. Accidents de circulació:

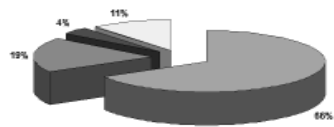
Son en conduir vehicles		No SAS
No somnolència-Grau 0	5	12
Somnolència en conduir-Grau 1	13	3
Accidents circulació somnolència	7	0
No condueix	1	0

Somnolència en conduir en SAS



■ No somnolència ■ Somnolència en conduir ■ Accidents de trànsit per somnolència □ No condueix

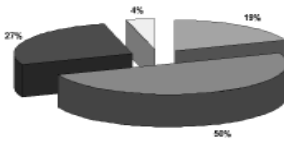
Somnolència en conduir en no SAS



■ No somnolència ■ Somnolència en conduir ■ Accidents de trànsit per somnolència □ No condueix

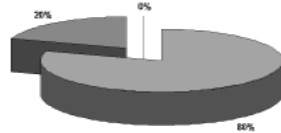
Son en conduir vehicles		No SAS
No somnolència-Grau 0	5	12
Somnolència en conduir-Grau 1	13	3
Accidents circulació somnolència	7	0
No condueix	1	0

Somnolència en conduir d'homes amb SAS



■ No somnolència ■ Somnolència en conduir ■ Accidents de trànsit per somnolència □ No condueix

Somnolència en conduir d'homes amb no SAS

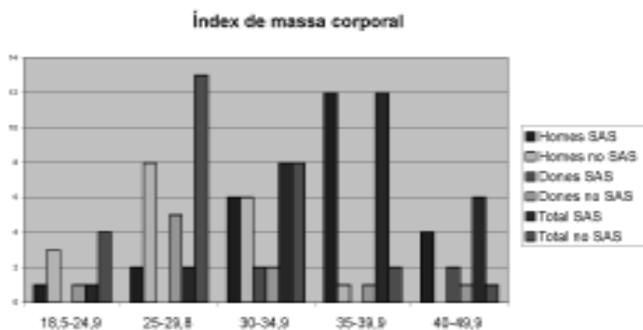


■ No somnolència ■ Somnolència en conduir ■ Accidents de trànsit per somnolència □ No condueix

En els pacients que tenen la SAS, indiferentment del grup (global o homes), s'observa un augment de la somnolència en conduir vehicles, així com un nombre molt elevat d'accidents de trànsit per somnolència respecte al grup de pacients que no tenen la SAS.

3. Índex de massa corporal (IMC):

	Índex massa corporal kg/m ²	Homes SAS	Homes No SAS	Dones SAS	Dones No SAS	Total SAS	Total No SAS
Normal	18,5-24,9	1	3	0	1	1	4
Sobrepès	25-29,8	2	8	0	5	2	13
Obesitat 1	30-34,9	6	6	2	2	8	8
Obesitat 2	35-39,9	12	1	0	1	12	2
Obesitat 3	40-49,9	4	0	2	1	6	1



L'índex de massa corporal dels pacients que pateixen la SAS i dels subgrups d'homes i dones és major respecte del dels que no tenen la SAS.

Hi ha una diferència estadística significativa de l'IMC entre els pacients amb SAS i els pacients sense SAS.

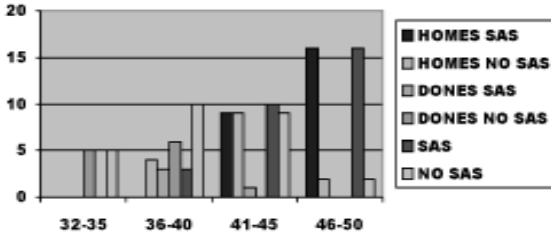
4. Cm de coll:

Cm de coll	SAS	No SAS	Homes SAS	Homes no SAS	Dones SAS	Dones no SAS
32-35	0	5	0	0	0	5
36-40	3	10	0	4	3	6
41-45	10	9	9	1	0	0
46-50	16	2	16	2	0	0

Cm de coll	SAS	No SAS	p
Total	45,34+/-3,28	38,87+/-4,25	p<0,001
Homes	46+/-2,92	41,57+/-2,92	p<0,001

Els pacients que tenen la SAS, tant homes com dones, presenten un augment del perímetre del coll respecte dels que no la tenen. Hi ha diferències significatives entre el perímetre de coll dels que tenen la SAS i el subgrup dels homes respecte dels que no tenen la SAS.

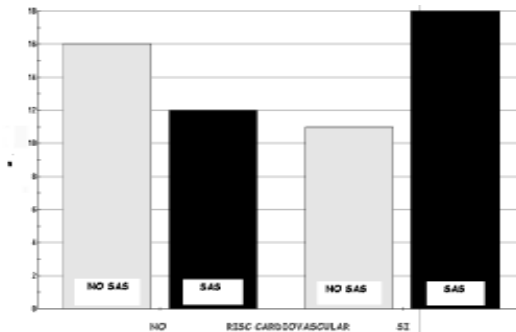
CM DE COLL



5. Patologia vascular:

Risc cardiovascular	SAS	No SAS	X2
Sí	18 (31,58%)	11 (19,3%)	
No	12 (21,05%)	16 (28,07%)	p>0,01,NS

Risc cardiovascular en homes	SAS	No SAS	X2
Sí	17 (41,46%)	6 (14,63%)	
No	9 (21,95%)	9 (21,95%)	p>0,01,NS

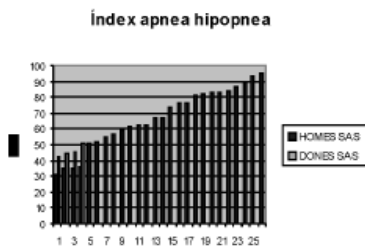
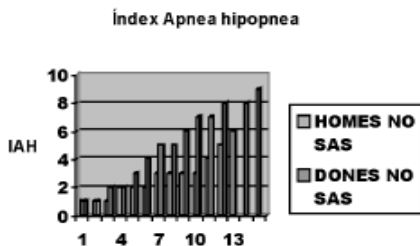


Hi ha una tendència augmentada de risc cardiovascular en els pacients de SAS i en el subgrup d'homes, però no s'observa significació estadística.

6. Índex d'apnea hipopnea:

IAH SAS IAH no SAS

	IAH SAS	IAH no SAS
TOTAL	63,8419,09	3,842,42
HOMES	66,6818,93	3,52,47



Com es veu a la taula anterior, la diferència de l'IAH entre pacients amb SAS i pacients sense és molt important. Els que no la tenen presenten un IAH que està comprès entre 0 i 9; en canvi, els pacients amb SAS tenen un IAH igual o superior a 10. Les gràfiques ens mostren les diferències entre els que la pateixen (a la dreta) i els que no (a l'esquerra).

4.5. Anàlisi digital de la veu:**1. Freqüència fonamental:**

	SAS	No SAS	p
F0 decúbit supí (global)	130,34 29,96	155,48 37,62	p<0.01
F0 assegut (global)	128,5531,99	157,6540,21	p<0.01
F0 decúbit supí (homes)	125,1627,83	129,6526,29	p>0,01, NS
F0 assegut (homes)	122,7529,27	132,4032,96	p>0,01, NS
F0 decúbit supí (dones)	187,7730,47	163,9122,08	p>0,01, NS
F0 assegut (dones)	189,2221,98	166,2123,96	p>0,01, NS

No hi ha diferències estadístiques significatives de la freqüència fonamental entre els pacients amb SAS i els que no la tenen. La diferència observada en el grup complet es dona a causa de les modificacions de F0 relacionades amb el sexe i no tenen res a veure amb l'alteració de la VAS dels pacients amb SAS.

2. Freqüència dels formants i les amplades de banda de les vocals:

A partir del programa MATLAB (colea) s'han recollit una sèrie de dades que s'han tractat de dues maneres diferents. En la primera (global), es tracta d'aplicar les diverses tècniques estadístiques a tots els pacients junts (tant homes com dones). En la segona forma d'anàlisi (homes) s'han tractat només els homes, ja que hi ha valors com F0 que són estadísticament diferents entre homes i dones. No s'ha pogut fer una tercera anàlisi només amb dones perquè no hi havia prou dades.

En les taules de dades que s'han fet servir per mostrar els resultats finals, s'hi han utilitzat algunes abreviacions. Per donar a conèixer el formant o l'amplada de banda, primer s'ha posat la lletra de la vocal (A, E, I, O, U); tot seguit, el formant o l'amplada (F1, F2, F3, B1, B2, B3), i finalment, la posició del pacient (DS: decúbit supí, AS: assegut). En les dues següents columnes (SAS i no SAS) s'hi troben les mitjanes de cada formant o amplada de banda del respectiu grup (SAS o no SAS). L'última columna (p) és el valor de la probabilitat, és a dir, si hi ha diferència estadísticament significativa entre pacients amb SAS i pacients sense SAS. El valor de la «p» per considerar-ho estadísticament significatiu ha de ser inferior a 0,01. Per facilitar la comprovació dels resultats, quan la «p» era major a 0,01 és no significatiu (NS).

a. Global

Vocal «A»

N=57	SAS	No SAS	p
AFIDS	649	656	p>0,01, NS
AF1AS	627	692	p>0,01, NS
AF2DS	1341	1296	p>0,01, NS
AF2AS	1347	1352	p>0,01, NS
AF3DS	2956	3299	p>0,01, NS
AF3AS	2886	3048	p>0,01, NS

N=57	SAS	No SAS	p
AB1DS	98	94	p>0,01, NS
AB1AS	97	94	p>0,01, NS
AB2DS	88	88	p>0,01, NS
AB2AS	92	90	p>0,01, NS
AB3DS	78	74	p>0,01, NS
AB3AS	80	73	p>0,01, NS

Vocal «E»

N=57	SAS	No SAS	p
EF1DS	488	503	p>0,01, NS
EF1AS	479	490	p>0,01, NS
EF2DS	2005	2083	p>0,01, NS
EF2AS	1969	2117	p>0,01, NS
EF3DS	3040	3237	p>0,01, NS
EF3AS	3068	3096	p>0,01, NS
EB1DS	99	96	p>0,01, NS
EB1AS	99	96	p>0,01, NS
EB2DS	86	83	p>0,01, NS
EB2AS	86	82	p>0,01, NS
EB3DS	82	77	p>0,01, NS
EB3AS	81	76	p>0,01, NS

Vocal «I»

N=57	SAS	No SAS	p
IF1DS	262	292	p>0,01, NS
IF1AS	260	294	p<0,01
IF2DS	2416	2488	p>0,01, NS
IF2AS	2390	3198	p>0,01, NS

N=57	SAS	No SAS	p
IF3DS	3318	3323	p>0,01, NS
IF3AS	3220	3406	p>0,01, NS
IB1DS	99	98	p>0,01, NS
IB1AS	100	99	p>0,01, NS
IB2DS	81	78	p>0,01, NS
IB2AS	81	77	p>0,01, NS
IB3DS	77	74	p>0,01, NS
IB3AS	79	72	p>0,01, NS

Vocal «O»

N=57	SAS	No SAS	p
OF1DS	413	427	p>0,01, NS
OF1AS	415	450	p>0,01, NS
OF2DS	817	834	p>0,01, NS
OF2AS	773	847	p>0,01, NS
OF3DS	2871	3036	p>0,01, NS
OF3AS	2872	2934	p>0,01, NS
OB1DS	100	96	p>0,01, NS
OB1AS	100	94	p>0,01, NS
OB2DS	96	92	p>0,01, NS
OB2AS	95	93	p>0,01, NS
OB3DS	72	64	p>0,01, NS
OB3AS	72	65	p>0,01, NS

Vocal «U»

N=57	SAS	No SAS	p
UF1DS	255	276	p>0,01, NS
UF1AS	285	284	p>0,01, NS
UF2DS	597	630	p>0,01, NS

N=57	SAS	No SAS	p
UF2AS	600	640	p>0,01, NS
UF3DS	2768	2763	p>0,01, NS
UF3AS	2722	2719	p>0,01, NS
UB1DS	98	97	p>0,01, NS
UB1AS	101	97	p>0,01, NS
UB2DS	90	87	p>0,01, NS
UB2AS	91	88	p>0,01, NS
UB3DS	61	55	p>0,01, NS
UB3AS	61	56	p>0,01, NS

**a. Homes
Vocal «A»**

N=41	SAS	No SAS	p
AF1DS	641	579	p>0,01, NS
AF1AS	608	636	p>0,01, NS
AF2DS	1350	1220	p>0,01, NS
AF2AS	1352	1230	p>0,01, NS
AF3DS	2995	3163	p>0,01, NS
AF3AS	2919	2989	p>0,01, NS
AB1DS	99	95	p>0,01, NS
AB1AS	98	94	p>0,01, NS
AB2DS	88	88	p>0,01, NS
AB2AS	92	89	p>0,01, NS
AB3DS	79	74	p>0,01, NS
AB3AS	81	73	p>0,01, NS

Vocal «E»

N=41	SAS	No SAS	p
EF1DS	479	476	p>0,01, NS
EF1AS	470	463	p>0,01, NS
EF2DS	1958	1904	p>0,01, NS
EF2AS	1923	1958	p>0,01, NS
EF3DS	3030	3205	p>0,01, NS
EF3AS	3063	3143	p>0,01, NS
EB1DS	100	96	p>0,01, NS
EB1AS	99	97	p>0,01, NS
EB2DS	87	84	p>0,01, NS
EB2AS	88	84	p>0,01, NS
EB3DS	83	77	p>0,01, NS
EB3AS	82	76	p>0,01, NS

Vocal «I»

N=41	SAS	No SAS	p
IF1DS	256	275	p>0,01, NS
IF1AS	257	293	p>0,01, NS
IF2DS	2357	2279	p>0,01, NS
IF2AS	2333	3496	p>0,01, NS
IF3DS	3219	3145	p>0,01, NS
IF3AS	3157	3279	p>0,01, NS
IB1DS	99	97	p>0,01, NS
IB1AS	101	99	p>0,01, NS
IB2DS	81	75	p>0,01, NS
IB2AS	83	78	p>0,01, NS
IB3DS	79	75	p>0,01, NS
IB3AS	81	73	p>0,01, NS

Vocal «O»

N=41	SAS	No SAS	p
OF1DS	405	371	p>0,01, NS
OF1AS	406	398	p>0,01, NS
OF2DS	812	759	p>0,01, NS
OF2AS	759	765	p>0,01, NS
OF3DS	2862	2926	p>0,01, NS
OF3AS	2866	2802	p>0,01, NS
OB1DS	100	96	p>0,01, NS
OB1AS	100	98	p>0,01, NS
OB2DS	96	92	p>0,01, NS
OB2AS	96	93	p>0,01, NS
OB3DS	73	64	p>0,01, NS
OB3AS	74	65	p>0,01, NS

Vocal «U»

N=41	SAS	No SAS	p
UF1DS	252	271	p>0,01, NS
UF1AS	283	291	p>0,01, NS
UF2DS	596	613	p>0,01, NS
UF2AS	591	629	p>0,01, NS
UF3DS	2761	2683	p>0,01, NS
UF3AS	2710	2691	p>0,01, NS
UB1DS	98	96	p>0,01, NS
UB1AS	101	99	p>0,01, NS
UB2DS	90	86	p>0,01, NS
UB2AS	92	89	p>0,01, NS
UB3DS	93	57	p>0,01, NS
UB3AS	62	59	p>0,01, NS

En les gràfiques anteriors podem observar que no hi ha cap distinció entre pacients amb SAS i pacients sense SAS, ni en analitzar la mostra per complet ni en analitzar només el grup d’homes. Només en el primer formant de la vocal I assegut s’observa un canvi d’una «p» inferior a 0,01. Però el fet que és només un formant d’una vocal en una postura impossibilita dir que l’anàlisi dels formants i les amplades de banda de la veu humana són uns factors distintius entre pacients amb SAS i pacients sense SAS.

3. Anàlisi de l’espectre LPC de les vocals

a. Global

N=57	SAS	No SAS	
Veü positiva SAS	28	2	30
Veü negativa SAS	2	25	27
	30	27	57

X² p<0,0001

Anàlisi Bayesià:

- | | |
|-----------------------------------|--------|
| 1. Sensibilitat: | 0,9333 |
| 2. Especificitat: | 0,9259 |
| 3. Valor predictiu positiu (VPP): | 0,9333 |
| 4. Valor predictiu negatiu (VPN): | 0,9259 |
| 5. Likelihood ratio positiu: | 12,6 |
| 6. Likelihood ratio negatiu | 0,072 |

b. Homes

N=41	SAS	No SAS	
Veü positiva SAS	24	0	24
Veü negativa SAS	2	15	17
	26	15	41

X2 p<0,0001**Anàlisi Bayesià:**

1. Sensibilitat:	0,9231
2. Especificitat:	1
3. Valor predictiu positiu (VPP):	1
4. Valor predictiu negatiu (VPN):	0,8824
5. Likelihood ratio positiu:	Infinit
6. Likelihood ratio negatiu:	0,0769

4.6. Comentari dels resultats

A partir de l'anàlisi de les dades clíniques dels pacients i de les gràfiques corresponents s'han arribat a comprovar els següents fets:

1. Els pacients que tenen la SAS presenten una somnolència diürna més important que els pacients que no la tenen, a causa de la desestructuració de la son que pateixen durant la nit ocasionada per les apnees hipopnees. Es correspon sense modificacions en la mostra dels homes.
2. En els pacients amb SAS, indiferentment del grup (global o homes), s'observa un augment de la somnolència en conduir vehicles, així com un nombre molt elevat d'accidents de circulació per somnolència respecte del grup de pacients que no tenen la SAS.
3. L'índex de massa corporal dels pacient que pateixen la SAS i dels subgrups d'homes i dones és major respecte als que no tenen la síndrome. Hi ha una diferència estadística significativa de l'IMC entre els pacients que tenen la síndrome i els que no la tenen.
4. Els pacients amb SAS, tant homes com dones, presenten un augment del perímetre del coll respecte dels que no pateixen la síndrome. Hi ha diferències significatives entre el perímetre de coll dels pacients amb SAS i el subgrup dels homes respecte de les persones que no tenen la SAS.
5. Hi ha una tendència augmentada de risc cardiovascular en els pacients amb SAS i en el subgrup d'homes, però no s'observa significació estadística.
6. La diferència de l'IAH entre pacients amb SAS i pacients sense SAS és molt important. Els que no la pateixen tenen un IAH que està comprès entre 0 i 9; en canvi, els pacients amb SAS tenen un IAH igual o superior a 10.

Pel que fa a l'anàlisi digital de l'espectre de la veu humana, s'han extret els següents resultats:

1. L'anàlisi de la freqüència fonamental demostra unes variacions apreciables entre la veu dels homes i la de les dones, per al qual cosa s'aconsella fer una anàlisi individualitzada segons el sexe. A causa del baix nombre de dones que pateixen la SAS, les variables de la veu obtingudes s'han estudiat de forma global i en el grup dels homes.
2. L'anàlisi de la freqüència fonamental i dels tres primers formants de les vocals espanyoles pronunciades en decúbit supí i assegut, en els dos grups (global i homes), no demostra cap modificació estadísticament significativa entre els pacients amb SAS i els que no tenen la SAS, excepte en el primer formant de la «I» assegut (del grup global), la qual cosa no ens permet cap valoració diagnòstica quan s'analitza.
3. L'anàlisi de l'espectre LPC de cada vocal en les diferents postures, s'observen modificacions importants en totes elles, des de modificacions de la gràfica de l'espectre al comparar les dues postures a disminucions de l'ample de banda de les freqüències més altes. Aquests canvis, a l'aplicar patrons d'estudi predeterminats, permeten trobar modificacions estadísticament significatives ($p < 0,0001$) entre la veu del pacient SAS i no SAS (tan en el grup global com en el dels homes).

5. CONCLUSIÓ

L'anàlisi de l'espectre LPC de les vocals castellanes pot ser una eina molt útil en l'algoritme diagnòstic dels pacients que van a una unitat de son per saber si tenen la SAS.

Aquest treball demostra que l'espectre LPC de les vocals castellanes estudiades quan el pacient les pronuncia en decúbit supí i assegut té un alt nivell de significació estadística demostrat en aplicar l'anàlisi Baiesiana. Els resultats d'aquesta prova han sortit realment alts:

1. Una sensibilitat entre tots els pacients d'un 91% i en el grup d'homes d'un 92%, valors molt propers al 100%.
2. Una especificitat total d'un 93% i en el grup d'homes d'un 100%.
3. Un valor predictiu positiu d'un 93% en el grup global i d'un 100% en el grup d'homes.
4. Un valor predictiu negatiu d'un 93% en analitzar tota la mostra i d'un 88% en analitzar només els pacients masculins.

Les modificacions de la veu en la SAS podrien produir-se per la disminució de la llum de la VAS que tenen els pacients que la pateixen i el seu augment de la col·lapsabilitat que orientaria a una via aèria més inestable segons el diàmetre de la llum i la postura. Aquestes modificacions en la SAS ens portarien a una variació de les càmeres de ressonància i a una alteració de la veu, cosa que també faria variar la freqüència i l'amplada de banda dels formants i de tot l'espectre vocàlic.

La disminució apreciable que s'observa en l'amplada de banda de les freqüències més altes podria estar relacionada amb la modificació de la VAS dels pacients amb SAS, que faria que actués com un filtre de pas baix més exagerat del que ja ho és la VAS, però de millors característiques. Així, les modificacions de la llum de la VAS en els pacients que tenen la SAS alterarien més les freqüències altes de l'espectre que les baixes.

Possiblement en un futur es podran relacionar aquestes modificacions amb un model matemàtic que permeti caracteritzar-les perfectament, però actualment, encara que no es poden deixar de fer polisomnografies per al diagnòstic de la SAS, sí que s'obre un camí més simplificat i ràpid en la valoració dels pacients que tenen aquesta síndrome.