

Yuyapuy Wasa

Camila. Gonzales, Sofía. Coágula, Juan. Sandoval,
Luis. Barreto, Marcelo. Vizcarra, Mauricio. Juarez.
Fundamentos de Biodiseño 2021-2,

Ingeniería Biomédica PUCP-UPCH

Resumen— La escoliosis idiopática es una deformidad de la columna vertebral que genera una desviación de esta en forma de “S” o “C”. En el Perú, el 80% de los casos son diagnosticados “idiopáticos” y luego de realizar cirugías se presencia movimiento limitado de la espalda y daño en los músculos paraespinales. Ante las dificultades dichas, en el proyecto utilizaremos un dispositivo basado en sEMG que provee resultados cualitativos y comparativos sobre el nivel de contracción de los músculos mencionados, que serán captados por sensores EMG en la zona de la espalda lumbar donde se evidencie la asimetría de esfuerzos.

I. INTRODUCTION

A. Contexto

A.1 Contexto Social

La Escoliosis Idiopática es aquella que no tiene una causa identificable. Se puede clasificar según la edad en infantil (0 a 3 años), juvenil (4 a 10 años) y adolescente (10 años a más) [1]. La escoliosis idiopática adolescente (AIS) es la deformidad espinal más común observada por médicos de atención primaria, pediatras y cirujanos de columna. El AIS afecta entre el 1% y el 4% de los adolescentes en las primeras etapas de la pubertad y es más común en mujeres que en varones. [2]

Por ejemplo, en Corea, en un estudio prospectivo realizado a un millón de adolescentes entre los años 2000 y 2008, se encontró una prevalencia de escoliosis del 3,26 %, la cual era mayor en el sexo femenino, que alcanzó el 4,65 % comparado con 1,97 % en hombres [3]. Se reconoce una mayor incidencia de esta enfermedad en el sexo femenino, pues se ha encontrado una relación entre mujeres y hombres que padecen de escoliosis idiopática que va desde 1,5:1 hasta 3:1, y esta diferencia aumenta conforme lo hace la edad [4],[5],[6]. Tanto varones como mujeres tienen el mismo riesgo de desarrollar escoliosis con un ángulo de desviación menor de 10°, pero las mujeres tienen mayor riesgo de progresión de la deformidad y desarrollo de una enfermedad más severa; se reportan riesgos elevados para curvaturas menores de veinte grados, y mayores aún para casos de curvaturas mayores a cuarenta grados [5]. Con respecto a la influencia de la edad en la prevalencia de escoliosis idiopática; en Alemania, Konieczny, se encontró que la prevalencia ascendía a 11,10 % en una población entre 14 a 17 años. [5] Otro estudio que se realizó

sobre la base de una gran población en 85 escuelas de 40 provincias de Turquía (un total de 16,045 estudiantes) concluyó lo siguiente: la prevalencia de AIS era del 2,3% (mujeres, 3,1%; hombres, 1,5%). La tasa de confirmación radiológica fue del 98,8%; 256 (69,3%) de 369 adolescentes con escoliosis tienen una sola curvatura y 108 (29,3%) tenían una doble curvatura. El tipo de curva única más común fue una curva lumbar. En total, el 90,5% de los casos con AIS tenían un ángulo de Cobb leve (rango de 10 ° -19 °) [7]. Un estudio realizado en el este de China arrojó resultados similares. Participaron en el estudio estudiantes de primaria y secundaria de entre 10 y 16 años (se evaluó a un total de 79,122 estudiantes). El examen físico y la prueba de inclinación hacia de Adam, combinados con mediciones de escoliómetro, fueron realizados en la escuela de detección. La prevalencia general de escoliosis idiopática en adolescentes en la ciudad de Wuxi se estimó en un 2,4%. Las niñas tuvieron una mayor prevalencia en cada subgrupo de edad en comparación con los niños. Se encontró mayor prevalencia en individuos con menor índice de masa corporal. Las curvas suaves y moderadas fueron los tipos más comunes en el estudio [8]. Con respecto al impacto racial, de acuerdo a un estudio realizado a 403 pacientes durante 6 años (2004-2009), aquellos que se identificaron como “Black o African American” mostraron una tendencia mayor a tener un ángulo de Cobb mayor a los que se identificaron como “White” o “Caucasian” (33° vs 28°) [9]

En el Perú, debido a la falta de estudios estadísticos acerca de esta condición, no es posible conocer con exactitud la incidencia de la misma, por lo que es necesario extrapolar datos epidemiológicos de otros países [10].

A.1.1 Frecuencia de Escoliosis Idiopática en el Perú

En un estudio se incluyeron 191 participantes, 119 varones (62,30 %) y 72 mujeres (37,70 %), y el promedio de edad que se obtuvo fue de 14 años (rango: 12 - 18 años). La mayor parte de la población eran varones y cursaban el 2° grado de secundaria. Respecto a la evaluación con la Escala visual de Walter Reed, 106 participantes (55,50 %) tuvieron un resultado negativo; 33 participantes (17,28 %) obtuvieron un resultado dudoso, y 52 (27,23 %) tuvieron un resultado positivo para AIS.

El promedio de edad en los participantes que obtuvieron un resultado negativo fue de 14,31 ± 1,45 años; en los que obtuvieron resultado dudoso fue de 14,63 ± 1,55 años, y en los que obtuvieron resultado positivo fue de 14,44 ± 1,30 años.

La mayoría de resultados positivos fueron varones con un total de 45 participantes (86,58 %). [9]

A.2 Contexto Económico

A.2.1 Frecuencia de Escoliosis Idiopática en el Perú

El nivel socioeconómico es la medida que incluye la posición económica y social individual o familiar.

Estos niveles están definidos no sólo a partir de los ingresos de cada hogar, sino en función de un grupo de variables como nivel educativo alcanzado por el encargado/encargada del hogar, sistema de salud al que está afiliado el encargado/encargada, material predominante de la vivienda, conexión del baño, el contar con bienes o servicios como carros particulares o servicio doméstico, el equipamiento del hogar con productos electrónicos y el uso de servicios públicos como cable, internet y teléfono. La información de la categorización socioeconómica fue clasificada en los estratos A, B, C, D o E.

La mayoría de los resultados positivos pertenecen al nivel socioeconómico C, y el nivel socioeconómico que tiene menor número de positivos fue el nivel A.

A.2.2 Estudio Post-Operación

El nivel socioeconómico es la medida que incluye la

Table 2. Distribution of Total 90-Day Costs of Each Category in the Overall and Individual Commercial and Medicaid Populations

90-Day Costs	Overall (N = 455)	Commercial (N = 381)	Medicaid (N = 74)
Facility	\$48,347,652 (85.4%)	\$44,073,213 (84.9%)	\$4,274,439 (81.9%)
Surgeon	\$3,196,512 (5.6%)	\$2,953,936 (5.7%)	\$242,576 (5.2%)
Anesthesia	\$1,029,324 (1.8%)	\$978,336 (1.9%)	\$50,988 (1.1%)
Intraoperative neuromonitoring	\$478,146 (0.8%)	\$473,324 (0.9%)	\$4622 (0.1%)
Hospital services and investigations	\$204,093 (0.4%)	\$199,976 (0.4%)	\$4117 (<0.1%)
Intensive care unit	\$244,256 (0.4%)	\$228,811 (0.4%)	\$15,445 (0.3%)
Radiology	\$143,412 (0.3%)	\$128,372 (0.2%)	\$15,040 (0.3%)
Physical therapy/rehab	\$86,602 (0.2%)	\$86,472 (0.2%)	\$130 (<0.1%)
Office visits	\$36,986 (<0.1%)	\$35,117 (<0.1%)	\$1869 (<0.1%)
Readmissions	\$2,818,628 (4.9%)	\$2,773,588 (5.3%)	\$43,042 (0.9%)
Total 90-day costs	\$56,563,621	\$51,931,143	\$4,632,472
Average 90-day costs	\$124,360	\$136,302	\$62,871

Figura 1. Distribución total de los costos en cada categoría en 90 días [7]

En conclusión, a pesar de que los seguros de salud de Estados Unidos son de los mejores del mundo, el país sigue clasificando último entre los 11 países industrializados en los ámbitos de “eficiencia, calidad, acceso al cuidado, equidad y vidas saludables”.

A.2.3 Costos de la cirugía

Con respecto a los costos de la cirugía para tratar la escoliosis idiopática juvenil, se realizó un análisis retrospectivo de costos, en un periodo de 18 meses, desde enero de 2014 hasta junio de 2015 en los Estados Unidos. En este estudio, se realizó un análisis de los costos del “dado de alta acelerado” (accelerated discharge program) y las “variables intraoperatorias bajo el control del cirujano”. Se observó que aplicar este programa acelerado de

dado de alta reduce significativamente el LOS (Length of Stay), aproximadamente un 21% (de 2-7 días a 2-5 días) y no generó complicaciones adicionales. Sin embargo, la aplicación de este programa no tuvo un impacto significativo en la disminución del 9% en el precio promedio de cada episodio de cuidado. La mayor contribución a la disminución de los costos de cirugía fue atribuida a las variables intraoperatorias bajo el control del cirujano, incluidos los costos de la instrumentación de la columna y el injerto óseo.

Average costs of intraoperative surgeon-dependent variables as a percentage of total surgical services costs

Variables	Pre-accelerated D/c (%)	Post-accelerated D/c (%)	Average percent of change (%)
Bipolar sealer	5.8	3.8	-35
Fibrin sealant	0.1	0.3	67
Hemostatic Agent (gelatin-thrombin matrix)	0.9	2.7	3
Ultrasonic bone cutter	1.9	2.3	17
Bone graft (various types)	13.4	5.7	-58
Mechanical bone mill	0.1	0.6	83
Instrumentation	63.4	62.6	-2
Burr (various types)	0.7	0.9	22
Surgical gloves	0.7	0.3	-133
Dressing supplies	0.6	0.8	25
Miscellaneous (other sterile and nonsterile supply)	12.5	20.0	60

Figura 2. Costos promedios de las variables intraoperatorias como porcentaje del total de los costos totales por servicio de cirugía y la variación porcentual antes y después de aplicado el programa de dada de alta acelerado. [8]

El estudio concluyó que una disminución en los costos de las variables intraoperatorias (instrumentación, injertos, guantes quirúrgicos, entre otros) influirá significativamente más en la reducción del costo total de la cirugía que una disminución en el LOS (duración de la estancia).

A.3 Contexto Comercial

A.3.1 Tipos de sensores

1. Myoware Muscle Sensor

Es un sensor de electromiografía (EMG) todo en uno impulsado por Arduino de Advanced Technologies. La placa de MyoWare actúa midiendo la actividad eléctrica filtrada y rectificadas de un músculo, el cual emite de 0 a Vs Voltios dependiendo de la cantidad de actividad en el músculo seleccionado, donde Vs es el voltaje de la fuente de energía.

2. PicoEMG

Es la última incorporación a la familia EMG inalámbrica de Cometa. Es similar a Mini Wave Infinity, incluidas sus características más apreciadas, como la memoria a bordo para el registro de datos sincrónico y el acelerómetro integrado. El diseño es mínimo, con una carcasa negra de un solo marco que rodea la electrónica e integra la luz LED transparente. La ausencia total de clips de cable lo hace más fuerte que nunca y reduce el efecto de antena, y la construcción simétrica, reduce drásticamente los artefactos de movimiento.

3. Freemg

Dispositivo de electromiografía de superficie con sondas inalámbricas para el análisis dinámico de la actividad muscular. FREEEMG es un dispositivo de tecnología 4G para análisis de electromiografía de superficie (EMG). La precisión de la señal, la ausencia de cables, la ligereza y el tamaño reducido de las sondas son características que permiten a los usuarios realizar análisis de cualquier tipo de movimiento, para cada parte del cuerpo, sin alterar el movimiento natural del sujeto analizado.

4. Concentric Needle EMG

Son electrodos de alambre de acero inoxidable EMG de aguja concéntrica de 25mm / 28mm.

5. Mini Wave Infinity

Es el último de los productos EMG de Cometa y es el último en registradores de datos y EMG inalámbricos del mercado.

A.3.2 Tipos de corsés

1. Corsé de Wilmington

Se utiliza para curvaturas moderadas, cubren desde el torso hasta las caderas. El material es de plástico ligero y rígido. Se cierra por delante (o por el pecho) y el diseño está personalizado para el cuerpo de cada persona. El especialista en corsés hace un molde de yeso del torso que usa para crear el corsé.

2. Corsé de Boston

Se usa para curvaturas moderadas. Cubren desde el torso hasta las caderas. El material es de plástico ligero y rígido. Se cierra por detrás o por la espalda. Además, está disponible en muchas tallas diferentes que se personalizan mediante rellenos y recortes. El tiempo en el que el paciente usa el corsé será entre 12 y 20 horas.

3. Corsé de Cheneau

El material del corsé es de plástico personalizado y en ocasiones se usa con el método de fisioterapia Schroth.

4. Corsé de Milwaukee

Este fue el primer corsé que se inventó para la escoliosis. Es de un material plástico sólido que encaja alrededor de las caderas y la cintura con unas barras verticales en las partes anterior y posterior que se une a un aro que va alrededor del cuello. Actualmente, este corsé ya no se utiliza mucho.

5. Corsé correctivo dinámico SpineCor

Se trata de un método de sujeción más flexible que usa cinchas y un chaleco de algodón pero no tiene tanta eficacia como los otros corsés.

A.3.3 Aplicaciones

1. SpineScreen

La aplicación permite monitorear con regularidad y de forma rápida la columna vertebral. Solo es necesario que, con el dispositivo móvil, se escanee a lo largo de la columna vertebral del paciente para que la aplicación detecte cualquier curva anormal.

2. Scoliotrack

Se encarga del seguimiento mes a mes del progreso de la escoliosis de una persona usando el acelerómetro del iPhone de la misma manera que un médico usaría un escoliómetro. También, hace seguimiento y guarda datos del ángulo de rotación del tronco (ATR) de una persona.

3. Escoliómetro APP

Es un escoliómetro digital que permite aumentar el rango de 30 a 50 grados, lo que representa que puedas explorar curvas más amplias. Su adaptador es para moderadas como severas escoliosis.

4. Scodiac

Es una aplicación para medir curvas escolióticas.

B. Problemática

De la información recopilada, vemos que el 80% de los casos de escoliosis son determinados “idiopáticos” y de esta cifra, aproximadamente 30% de los adolescentes con esta condición tienen una historia familiar con escoliosis, además de que 1 de 3 niños con padres con escoliosis desarrollarán la misma condición.

Luego de cirugías realizadas en la columna como la cirugía de fusión espinal puede llegar a ocasionar movimiento limitado de la espalda y daño de los músculos paraespinales. El primero puede incurrir en movimientos compensatorios de los niveles adyacentes, así acelerando la aceleración; adicionalmente, el segundo puede inducir atrofia muscular e infiltraciones de grasa.

Todas estas dificultades son las que puede afrontar un paciente con escoliosis idiopática post-operación, así que buscamos darle solución a todas ellas de manera que la economía de nuestro público objetivo no se vea afectada y que los tratamientos no sean invasivos.

C. Estado del arte

Patentes

1. *Scoliosis Corrective Orthosis*

Consiste en una órtesis correctiva que tiene un soporte pélvico (2), un soporte en la columna (3) un cuerpo correctivo en la vértebra torácica superior (5)(6), en ambos lados del tronco cuenta con bandas ajustables (20)(21)(23), una pieza correctiva (7) y un ajuste angular (9).

2. *Scoliosis Orthopedic Device*

Es un dispositivo ortopédico para escoliosis hecho de materiales como un vendaje elástico (pecho y hombros) y una varilla ortopédica (correctores).

3. *Smart Scoliosis Brace with Pressure Sensor*

Es un chaleco corrector de escoliosis que comprende sensores de presión formados en un punto de soporte del extremo superior, un punto de presión del extremo medio y un punto de soporte del extremo inferior para aplicar fuerza y corregir la escoliosis.

4. *Electronic Apparatus, system and method for providing body posture health information*

Se encarga de comparar los índices de estado muscular por medio de electromiografía con los índices de estado muscular preestablecidos para determinar si uno

de los índices es anormal, proporcionar información de sugerencia en respuesta y visualizar un multimedia de esta.

5. Motorized Tightening Mechanism for the Scoliosis Boston Brace

Se describe un aparato ortopédico Boston para escoliosis mejorado que tiene un mecanismo de autoajuste, que aprieta el aparato ortopédico alrededor del cuerpo del paciente con un mecanismo motorizado. El mecanismo de autoapriete facilita que el paciente ajuste el aparato ortopédico alrededor de su cuerpo y también facilita la tarea de ponerse / quitarse el aparato ortopédico. Los componentes de la presente invención incluyen una abrazadera Boston, un tornillo sin fin, una cremallera de tornillo sin fin, una clavija hexagonal, una correa de nailon, un remache, un pegamento epoxi de dos partes, botones y un destornillador motorizado.

6. Adolescent scoliosis preliminary screening system based on plantar pressure detection:

La invención describe un sistema de detección preliminar de escoliosis en adolescentes basado en la detección de la presión plantar. El sistema de detección preliminar de escoliosis para adolescentes comprende un detector de escoliosis portátil, un detector de presión plantar, un escáner de tomografía computarizada en espiral, un controlador central y una plataforma en la nube para el manejo de la enfermedad de la escoliosis, en el que el detector de escoliosis portátil comprende una parte portátil y una parte sensora de presión dispuesta en la pared interior de la parte vestible.

7. Corrective Corset:

Los corsés correctores para el tratamiento de la escoliosis. El corsé de corrección es de un material de plástico, en cuya superficie exterior hay un sensor para llevar un corsé, donde en las áreas de acción de la manga sobre el cuerpo hay módulos Peltier, en los que se ubican placas frías. superficie exterior de la manga y placas calientes. Este corsé permite un registro más fiable del correcto efecto que causa el corsé en el paciente.

8. System for treating idiopathic scoliosis

La invención trata de un sistema para el tratamiento de la escoliosis idiopática pues comprende un dispositivo subcutáneo o submuscular programable conectado mediante cableado a una cantidad de sensores que están configurados para registrar señales electromiográficas y una pluralidad de estimuladores y que, a su vez, están configurados para estimular aquella parte de la musculatura paraespinal profunda afectada por la patología. Dicho dispositivo posee medios de transmisión inalámbrica de datos, de manera que pueda ser programado mediante una consola y que la estimulación muscular es controlada por una lógica de control comprendida por un algoritmo de circuito de retroalimentación para el ajuste de la estimulación en base a los resultados obtenidos de los sensores para el registro de las señales electromiográficas.

9. Scoliosis screening using depth camera

En esta investigación, proponemos un método de detección mediante el uso de una cámara Kinect que

puede recolectar el punto de las articulaciones de un cuerpo humano. Esos puntos se utilizan para calcular para encontrar valores que puedan definir el equilibrio del cuerpo.

10. Design and implementation of regulated-pressure brace with on-board control and monitoring abilities for the treatment of scoliosis

El sistema se coloca específicamente en el cuerpo del paciente donde se debe ejercer la presión adecuada para tratar la presión. Como el sensor de presión mide la cantidad de presión ejercida desde la vejiga de aire, la lectura medida se envía al microcontrolador, donde ya hemos almacenado las lecturas de presión deseadas para el paciente respectivo a través de la consulta de la autoridad médica.

11. SYSTEM CORRECTING SPINAL ORIENTATION THROUGH MUSCULAR BIO-ELECTRICAL SIGNAL ANALYSIS

Consiste en un sistema que corrige la orientación de la columna mediante un análisis de señales bioeléctricas de los músculos. El sistema incluye: una electromiografía(EMG) módulo de procesamiento de señales que mide las señales bioeléctricas de los músculos relacionados con una enfermedad de la columna.

D. Objetivo del Proyecto

Este proyecto tiene como finalidad diseñar un dispositivo electrónico basado en sEMG que ayude a evaluar la simetría de esfuerzos en los músculos paravertebrales pre y post operatorio del paciente con escoliosis idiopática.

II. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Se propuso diseñar un dispositivo wearable, basado en EMG que provea resultados cualitativos y comparativos sobre el nivel de contracción de músculos paravertebrales captados por dos sensores EMG en un nivel determinado de la espalda lumbar que evidencia una asimetría de esfuerzos en dicha zona de la columna.

Para lograr este propósito, se determinó una lista de requerimientos que nuestro dispositivo mínimamente debería cumplir.

A. Lista de Requerimientos:

Nuestro dispositivo debe cumplir los siguientes requerimientos:

Funcionales:

- Monitorear los músculos paraespinales
- Enviar señales y almacenarlas en una base de datos
- Ajustar y corregir el movimiento de la columna

No funcionales:

- Ser no invasivo
- Ergonomía
- Portabilidad

III. DISEÑO DE LA PROPUESTA

El proyecto óptimo está conformado por una batería de polímero de litio (recargable), un interruptor basculante, sensores EMG caseros, un componente HC05, lilypad y luces led. Por otro lado, utilizaremos el programa pycharm, python como lenguaje de programación, una aplicación de escritorio, emplearemos windows como sistema operativo y SQLite como fuente de almacenamiento.

A. Diseño del chaleco:

Se propone en la siguiente imagen las medidas del chaleco:

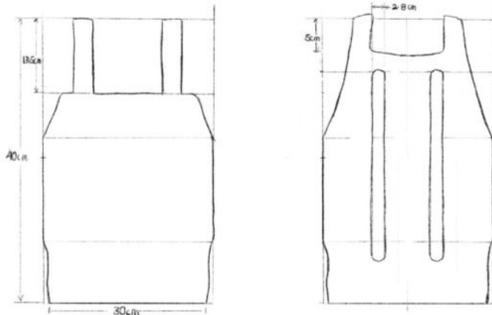


Figura 3. Medidas del chaleco

Este chaleco será fabricado utilizando el material poliéster ya que es un tejido resistente, de larga durabilidad y ligero, lo cual permitirá al paciente realizar los diferentes ejercicios para estimular los músculos.

B. Diseño del EMG casero:

Se realizó el diseño de un electromiógrafo con transmisión inalámbrica que consta de un amplificador para adquirir las señales EMG y un módulo de comunicación inalámbrica. A continuación se muestra el circuito de amplificación

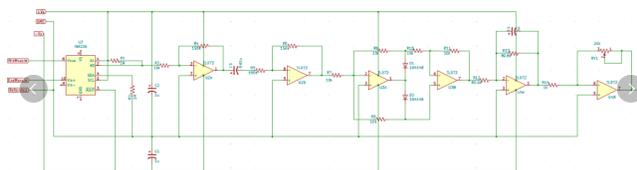


Figura 4. Circuito de amplificación

II. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Todos los resultados de las iteraciones y/o pruebas de verificación /usabilidad

After the text edit has been completed, the paper is ready for the template. Duplicate the template file by using the Save As command, and use the naming convention prescribed by your conference for the name of your paper. In this newly created file, highlight all of the contents and import your prepared text file. You are now ready to style

your paper; use the scroll down window on the left of the MS Word Formatting toolbar.

Figures and Tables

V. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Qué conclusiones obtiene del desarrollo del proyecto y qué perspectivas tienen para un trabajo a futuro.

Although a conclusion may review the main points of the paper, do not replicate the abstract as the conclusion. A conclusion might elaborate on the importance of the work or suggest applications and extensions.

IV. REFERENCIAS

Todas las referencias usadas a lo largo del documento.

- [1] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)," in *Plastics*, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.
- [2] W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [3] H. Poor, *An Introduction to Signal Detection and Estimation*. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
- [4] B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished.
- [5] E. H. Miller, "A note on reflector arrays (Periodical style—Accepted for publication)," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, to be published.
- [6] J. Wang, "Fundamentals of erbium-doped fiber amplifiers arrays (Periodical style—Submitted for publication)," *IEEE J. Quantum Electron.*, submitted for publication.
- [7] C. J. Kaufman, Rocky Mountain Research Lab., Boulder, CO, private communication, May 1995.
- [8] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interfaces (Translation Journals style)," *IEEE Transl. J. Magn. Jpn.*, vol. 2, Aug. 1987, pp. 740–741 [*Dig. 9th Annu. Conf. Magnetics Japan*, 1982, p. 301].
- [9] M. Young, *The Technical Writers Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [10] J. U. Duncombe, "Infrared navigation—Part I: An assessment of feasibility (Periodical style)," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-11, pp. 34–39, Jan. 1959.
- [11] S. Chen, B. Mulgrew, and P. M. Grant, "A clustering technique for digital communications channel equalization using radial basis function networks," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 4, pp. 570–578, July 1993.
- [12] R. W. Lucky, "Automatic equalization for digital communication," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 44, no. 4, pp. 547–588, Apr. 1965.
- [13] S. P. Bingulac, "On the compatibility of adaptive controllers (Published Conference Proceedings style)," in *Proc. 4th Annu. Allerton Conf. Circuits and Systems Theory*, New York, 1994, pp. 8–16.
- [14] G. R. Faulhaber, "Design of service systems with priority reservation," in *Conf. Rec. 1995 IEEE Int. Conf. Communications*, pp. 3–8.
- [15] W. D. Doyle, "Magnetization reversal in films with biaxial anisotropy," in *1987 Proc. INTERMAG Conf.*, pp. 2.2-1–2.2-6.
- [16] HANLEY, EDWARD N. JR., M.D.†; DAVID, STEPHEN M. M.D.†, CHARLOTTE, NORTH CAROLINA Current Concepts Review - Lumbar Arthrodesis for the Treatment of Back Pain*, *The Journal of Bone & Joint Surgery*: May 1999 - Volume 81 - Issue 5 - p 716-3

- [17] Universidad de Murcia. "Vivencias de las jóvenes diagnosticadas de escoliosis idiopática | Enfermería Global". Digital Object Identifier System. <https://doi.org/10.6018/eglobal.15.4.243261> (accedido el 8 de septiembre de 2021).
- [18] G. G. Jose Luis. "Influencia de factores epigenéticos en el desarrollo de la escoliosis idiopática del adolescente". Inici. <https://roderic.uv.es/handle/10550/79362> (accedido el 8 de septiembre de 2021).
- [19] Navarrete, M. and Sellán, M., 2018. ScienceDirect. [online] Experiencia dolorosa en adolescentes tratados mediante corrección quirúrgica de escoliosis Painful experience in adolescents undergoing surgical correction of scoliosis. Available at: [Accessed 8 September 2021].
- [20] Altaf, F., Gibson, A. and Dannawi, Z., 2013. Adolescent idiopathic scoliosis. [online] BMJ. Available at: [Accessed 8 September 2021].
- [21] Diagnosis & Screening of Scoliosis | Scoliosis Research Society». Accedido 1 de septiembre de 2021. <https://www.srs.org/patients-and-families/common-questions-and-glossary/frequently-asked-questions/diagnosis--screening-of-scoliosis>.
- [22] Altaf F, Gibson A, Dannawi Z, Noordeen H. Adolescent idiopathic scoliosis. *BMJ*. 2013; 346(7906): 1-7.
- [23] Cheng JC, Castelein RM, Chu WC, Danielsson AJ, Dobbs MB, Grivas TB, et al. Adolescent idiopathic scoliosis. *Nat Rev Dis Prim*. 2015; 1: 15030.
- [24] Suh SW, Modi HN, Yang JH, Hong JY. Idiopathic scoliosis in Korean schoolchildren: a prospective screening study of over 1 million children. *Eur Spine J*. 2011; 20(7): 1087-94.
- [25] Choudhry MN, Ahmad Z, Verma R. Adolescent idiopathic scoliosis. *Open Orthop J*. 2016; 10(16): 143-54.
- [26] Konieczny MR, Senyurt H, Krauspe R. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. *J Child Orthop*. 2013; 7(1): 3-9.
- [27] A. S. Vázquez-Lazarte, C. A. Berta-Benites y F. M. Runzer-Colmenares. "Frecuencia de escoliosis idiopática del adolescente en alumnos de secundaria en seis colegios de Lima Norte". SciELO - Scientific Electronic Library Online. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-558X2020000400005&script=sci_arttext (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [28] "Fracturas del cartilago de crecimiento (Growth Plate Fractures) - OrthoInfo - AAOS". OrthoInfo - Patient Education | American Academy of Orthopaedic Surgeons. <https://orthoinfo.aaos.org/es/diseases--conditions/fracturas-del-cartilago-de-crecimiento-growth-plate-fractures/> (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [29] Rojas-García. "Síndrome de hiper movilidad articular". Medigraphic - Literatura Biomédica. <https://www.medigraphic.com/pdfs/ortope/or-2020/or206q.pdf> (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [30] J. W. Hernández. "La importancia del manejo emocional ante un diagnóstico clínico desfavorable". Medigraphic - Literatura Biomédica. <https://www.medigraphic.com/pdfs/neumo/nt-2007/nt074g.pdf> (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [31] Fundación Española de Reumatología. "Artrosis de rodilla: qué es, síntomas, diagnóstico y tratamiento". Inforeuma. <https://inforeuma.com/enfermedades-reumaticas/artrosis-de-rodilla/> (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [32] E. D. DC. "Causas de dolor en la columna lumbar". Spine-health. <https://www.spine-health.com/espanol/anatomia-de-la-columna-vertebral/causas-de-dolor-en-la-columna-lumbar> (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [33] [16]
- [34] M. Losada. "QUE ES LA FISIOTERAPIA - Rehabilitación Premium Madrid". Rehabilitación Premium Madrid. <https://rehabilitacionpremiummadrid.com/blog/miguel-losada/que-es-la-fisioterapia/> (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [35] Mayo Clinic. "Dolor de espalda - Diagnóstico y tratamiento". Mayo Clinic - Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/back-pain/diagnosis-treatment/drc-20369911#:~:text=Analgésicos%20de%20venta%20libre,según%20las%20indicaciones%20del%20médico.> (accedido el 7 de septiembre de 2021).
- [36] N. R. Lluch y J. M. Acevedo-Echevarría, "Deformidad de la caja torácica", *Scielo*, vol. 70, n.º 4, 2018.
- [37] T.-Y. Wang, J.-L. Pao, R.-S. Yang, J.-S. R. Jang, y W.-L. Hsu, «The adaptive changes in muscle coordination following lumbar spinal fusion», *Human Movement Science*, vol. 40, pp. 284-297, abr. 2015, doi: 10.1016/j.humov.2015.01.002.
- [38] A. Khalil, M. H. Ahmad Nizar, S. Anis and K. W. Lai, "Clinical Trial of a Digital Scoliometer Device for Scoliosis Diagnosis," 2018 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), 2018, pp. 102-107, doi: 10.1109/IECBES.2018.8626630.
- [39] E. Chalmers, E. Lou, D. Hill, V. H. Zhao and M. -S. Wong, "Development of a Pressure Control System for Brace Treatment of Scoliosis," in *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 557-563, July 2012, doi: 10.1109/TNSRE.2012.2192483.
- [40] Han F, Zheng H, Zheng X, Jin H, Wang Z, Zeng H, Qiu C, Liu J, Zhu Y. [Efficacy of intravascular ultrasound-guided rotational atherectomy combined with cutting balloon for pretreatment of severe coronary artery calcified lesions]. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao*. 2021 Jul 20;41(7):1044-1049. Chinese. doi: 10.12122/j.issn.1673-4254.2021.07.11. PMID: 34308854; PMCID: PMC8329688.
- [41] D. Archibald, K. Vemula, M. Anburajan and S. K. Vpr, "PORTABLE biofeedback device for rehabilitating children with scoliosis between ages of 3–10 years and their posture correction," 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology, 2011, pp. 234-238, doi: 10.1109/ICECTECH.2011.5941744.
- [42] Z. Tan et al., "An Automatic Scoliosis Diagnosis and Measurement System Based on Deep Learning," 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2018, pp. 439-443, doi: 10.1109/ROBIO.2018.8665296.
- [43] S. Tanee and D. Thanapatay, "Scoliosis screening using depth camera," 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON), 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEECON.2017.8075869.
- [44] Lin, Yangmin PhDa; Lou, Edmond PhDb; Lam, Tsz Ping MBBS; Cheng, Jack Chun-Yiu MDc; Sin, Sai Wing MPhild; Kwok, Wing Kwan MSed; Wong, Man Sang PhDa The Intelligent Automated Pressure-Adjustable Orthosis for Patients With Adolescent Idiopathic Scoliosis, *SPINE*: October 15, 2020 - Volume 45 - Issue 20 - p 1395-1402 doi: 10.1097/BRS.0000000000003559
- [45] Lin Y, Cheung JPY, Chan CK, Wong SWF, Cheung KMC, Wong M, Wong WC, Cheung PWH, Wong MS. A Randomized Controlled Trial to Evaluate the Clinical Effectiveness of 3D-Printed Orthosis in the Management of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2021 Aug 13. doi: 10.1097/BRS.0000000000004202. Epub ahead of print. PMID: 34392277.
- [46] Q. Naziri et al., «A Systematic Review of All Smart Phone Applications Specifically Aimed for Use as a Scoliosis Screening Tool», *J Long Term Eff Med Implants*, vol. 28, n.o 1, pp. 25-30, 2018, doi: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.2017020737.
- [47] H. M. van West, J. Herfkens, J. P. H. J. Rutgers, y M. Reijman, «The smartphone as a tool to screen for scoliosis, applicable by everyone», *Eur Spine J*, may 2021, doi: 10.1007/s00586-021-06860-x.
- [48] F. Balg, M. Juteau, C. Theoret, A. Svoltelis, y G. Grenier, «Validity and Reliability of the iPhone to Measure Rib Hump in Scoliosis», *Journal of Pediatric Orthopaedics*, vol. 34, n.o 8, pp. 774-779, dic. 2014, doi: 10.1097/BPO.000000000000195.
- [49] O. I. Franko, C. Bray, y P. O. Newton, «Validation of a Scoliometer Smartphone App to Assess Scoliosis», *Journal of Pediatric Orthopaedics*, vol. 32, n.o 8, pp. e72-e75, dic. 2012, doi: 10.1097/BPO.0b013e31826bb109.
- [50] A. Prowse, R. Pope, P. Gerdhem, y A. Abbott, «Reliability and validity of inexpensive and easily administered anthropometric clinical evaluation methods of postural asymmetry measurement in adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review», *Eur Spine J*, vol. 25, n.o 2, pp. 450-466, feb. 2016, doi: 10.1007/s00586-015-3961-7.
- [51] C. Chen et al., «A Practical Study of Diagnostic Accuracy: Scoliosis Screenings of Middle School Students by a Trained Nurse With a

- Smartphone Versus a Spine Surgeon With a Scoliometer», *Spine*, vol. 45, n.o 5, pp. E266-E271, mar. 2020, doi: 10.1097/BRS.0000000000003256.
- [52] Mohammad A. Mohseni Bandpei. (2014). Reliability of Surface Electromyography in the Assessment of Paraspinal Muscle Fatigue: An Updated Systematic Review. *Science Direct*, 37(7), 11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0161475414001201>
- [53] Assessment of the paraspinal muscles of subjects presenting an idiopathic scoliosis: an EMG pilot study. (2005). *BioMed Central*, 6(14), 12. <https://bmcmusculoskeletaldisord.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1471-2474-6-14.pdf>
- [54] MyoWare muscle sensor - SEN-13723 - sparkfun electronics. (s. f.). SparkFun Electronics. <https://www.sparkfun.com/products/13723>
- [55] Escoliosis: Corsés ortopédicos para la espalda (para Adolescentes) - Nemours KidsHealth. (s. f.). Nemours KidsHealth - the Web's most visited site about children's health. <https://kidshealth.org/es/teens/scoliosis-brace.html>
- [56] Idiopathic scoliosis. (2011). *SciELO*, 13(49). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1139-7632011000100014
- [57] Tienda eFisioterapia. (2009, 3 de septiembre). Efectividad del tratamiento ortopédico mediante el corse, en la escoliosis idiopática en el adolescente. eFisioterapia. <https://www.efisioterapia.net/sites/default/files/pdfs/351-efisioterapia.pdf>
- [58] McAviney, J., Mee, J. y Fazalbhoy, A. (2020). A systematic literature review of spinal brace/orthosis treatment for adults with scoliosis between 1967 and 2018: Clinical outcomes and harms data. *PubMed*, 21(1), 87.
- [59] Elsevier Clinical Skills. (2020, 23 de mayo). Dispositivos de inmovilización. <https://www.elsevierclinicalskills.es/procedimiento/2144/dispositivos-de-inmovilizacion>
- [60] Flores, R. (2021, 18 de junio). Crean app para detectar escoliosis en niños de manera oportuna. El médico interactivo. <https://elmedicointeractivo.com/app-deteccion-escoliosis-ninos-mexico/>
- [61] |ScolioLife. (s. f.). ScolioTrack para iPhone y Android | La salud en tu mano. La salud en tu mano. https://scoliolife.com/es_ES/scoliotrack/
- [62] EscolioLife. (2021). Escoliómetro app | la salud en sus manos | España. La salud en tu mano. https://scoliolife.com/es_ES/scoliometer/
- [63] Cerny. (s. f.). SCODIAC - apps en google play. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.xamarin.scodiacc&hl=es_419&gl=US
- [64] Skolióza - ORTOTIKA, ortopedické pomůcky - skolióza páteře ortézy korzety plagiocefalie. (2021). ORTOTIKA, ortopedické pomůcky - skolióza páteře ortézy korzety pl - ORTOTIKA, ortopedické pomůcky - skolióza páteře ortézy korzety plagiocefalie. <https://www.ortotika.cz/skolioza>
- [65] Rojas, R. (2021, 21 de junio). SpineScreen, nueva app para la detección oportuna de la escoliosis. *Saludiarío*. <https://www.saludiarío.com/spinescreen-nueva-app-mexicana-para-la-deteccion-oportuna-de-la-escoliosis/>
- [66] Lau, K. (2013, 20 de mayo). Escoliómetros. App Store. <https://apps.apple.com/es/app/escoliómetros/id649380964> infosalus. (2019, 2 de enero). Desarrollan un método para monitorizar la escoliosis idiopática adolescente con una app. *infosalus.com*. <https://www.infosalus.com/asistencia/noticia-desarrollan-metodo-monitorizar-escoliosis-idiopatica-adolescente-app-20190102112803.html>
- [67] Villar Valero, J. y Martínez de Juan, J. L. (2019). Análisis tiempo-frecuencia de parámetros de fatiga en la señal de electromiografía superficial (SEMG): Estudio Ergonómico en cirugía laparoscópica. Universidad Politécnica de Valencia. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/124586/TFG%20DEFINITIVO_15620694567651508759118382558646.pdf?sequence=1
- [68] Cheung, J., Halbertsma, J. P. K., Veldhuizen, A. G. y Sluiter, W. J. (2005). A preliminary study on electromyographic analysis of the paraspinal musculature in idiopathic scoliosis. *PubMed*, 14(2). <https://doi.org/10.1007/s00586-004-0780-7>
- [69] Asymmetrical activation and asymmetrical weakness as two different mechanisms of adolescent idiopathic scoliosis. (2021). *PubMed*, 11. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8413345/>
- [70] Martínez Nolasco, J. J., Carracedo González, D. M., Gutiérrez Vera, F. y Barradas Delfin, D. C. (2015). SISTEMA DE MONITOREO MUSCULAR POR MEDIO DE ELECTROMIOGRAFÍA CON GANANCIAS VARIABLES. *Pistas Educativas Año XXXV*, 36(113). <http://www.itc.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/340/329>
- [71] Cheung, J., Halbertsma, J. P. K., Veldhuizen, A. G. y Sluiter, W. J. (2005). A preliminary study on electromyographic analysis of the paraspinal musculature in idiopathic scoliosis. *PubMed*, 14(2). <https://doi.org/10.1007/s00586-004-0780-7>
- [72] BTS Bioengineering. (s. f.). FREEEMG |Surface Electromyography | BTS Bioengineering. <https://www.btsbioengineering.com/products/freeemg-surface-emg-sensor>
- [73] TORU, N. (2016, 22 de marzo). Jp2016036432 - scoliosis corrective orthosis. *PATENTSCOPE*. https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=JP273860226&_cid=P20-KTLY9R-42466-4
- [74] JINCHU, Y., TIAN, Z. y QUAN, H. (2019, 30 de agosto). CN209316178 - SCOLIOSIS ORTHOPEDIC DEVICE. *PATENTSCOPE*. https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN251486203&_cid=P20-KTLYT2-46382-5
- [75] SMART SCOLIOSIS BRACE WITH PRESSURE SENSOR. (2015, 29 de octubre). *Espacenet*. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/054332656/publication/KR20150123393A?q=scoliosis%20brace%20sensor>
- [76] MANAGEMENT SYSTEM OF SCOLIOSIS BRACE. (2018, 13 de noviembre). *Espacenet*. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/058090035/publication/CN106420134A?q=scoliosis%20brace%20sensor>
- [77] Jong Kyu, Y. (2019, 30 de mayo). US20190159719 Electronic apparatus, system, and method for providing body posture health information. *WIPO IP PORTAL*. https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=US242622126&tab=NATIONALBIBLIO&_cid=P12-KTXWY6-11875-1
- [78] Jong Kyu, Y. (2013, 14 de marzo). US20130066372 SYSTEM CORRECTING SPINAL ORIENTATION THROUGH MUSCULAR BIO-ELECTRICAL SIGNAL ANALYSIS. *WIPO IP PORTAL*. https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US76816351&_cid=P12-KTXWY6-11875-1