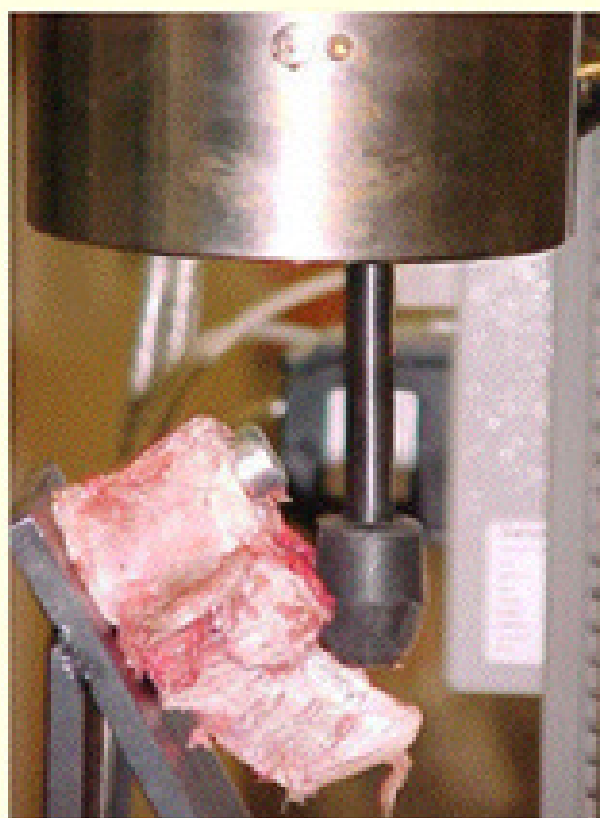


*ESTUDIO BIOMECÁNICO DE LOS IMPLANTES
UTILIZADOS EN LA REPARACIÓN ÍSTMICA
DE LA ESPONDILOLISTESIS*



Tesis doctoral dirigida por
el Profesor Antonio Navarro Quilis
y el Profesor Jaime Roca Burniol
y realizada por Francisco Aliaga Orduña
para optar al grado de
Doctor en Medicina y Cirugía
por la Universitat Autònoma de Barcelona

Barcelona, Abril de 2002

**ESTUDIO BIOMECÁNICO DE LOS IMPLANTES
UTILIZADOS EN LA REPARACIÓN ÍSTMICA
DE LA ESPONDILOLISTESIS**

FRANCISCO ALIAGA ORDUÑA

*Este trabajo está realizado con la ilusión
más grande de mi vida, donde día a día
una persona me ha estado ayudando:
mi compañera Carmen*

Agradecimientos:

Al Profesor Antonio Navarro Quilis, Catedrático de Traumatología y Cirugía Ortopédica de la Universidad Autónoma de Barcelona y Jefe de Servicio de Traumatología y Cirugía Ortopédica del Hospital Vall d'Hebrón, por haber aceptado la dirección de esta tesis. Por sus consejos y orientaciones, que tan útiles han sido para el desarrollo de este trabajo.

Al Profesor Jaume Roca i Burniol, Jefe del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitari Germans Trias i Pujol, codirector de esta tesis, por haber depositado en mí la responsabilidad de este trabajo, y por haberme proporcionado su soporte moral y humano, así como una metodología científica adecuada para poder llevar a término el presente estudio.

Al Doctor José María Soler Minoves, Jefe Clínico del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitari Germans Trias i Pujol, por su apoyo y sus enseñanzas en el terreno profesional durante todos estos años.

A Juan José Vázquez Solsona, Doctor Ingeniero Industrial y Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Catalunya, por su colaboración y asesoramiento, gracias a los cuales ha sido posible el seguimiento de unas directrices adecuadas, de acuerdo con el máximo rigor científico, para efectuar los ensayos biomecánicos.

A Marta Musté Rodríguez y Sebastià Serra Navarro, Profesores Titulares de la Universidad Politécnica de Catalunya por su excelente ayuda en la recogida de los datos y en el procesamiento informático de este trabajo.

A Manolo y Jordi, Técnicos de Necropsias del Servicio de Anatomía Patológica del Hospital Universitari Germans Trias i Pujol, por su inestimable ayuda en la extracción y conservación de los especímenes vertebrales.

A María Dolores Barcos, Diplomada en Enfermería y compañera de trabajo en el Dispensario de Traumatología del C.A.P. Dr. Robert de Badalona, por su ánimo y apoyo constantes en nuestra labor asistencial diaria.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	2
1.- Espondilolistesis lumbar	3
1.1.- Etimología	3
1.2.- Primeros investigadores	3
1.3.- Clasificación de Newman	3
1.4.- Clasificación anatómica de Wiltse	7
1.5.- Clasificación etiológica	8
2.- Espondilolistesis. Subdivisiones anatómicas	10
2.1.- Tipo I o Displásica	10
2.1.1.- Tipo IA	10
2.1.2.- Tipo IB	13
2.1.3.- Tipo IC	14
2.2.- Tipo II o Istmica	15
2.2.1.- Tipo IIA	15
2.2.2.- Tipo IIB	17
2.2.3.- Tipo IIC	18
2.3.- Tipo III o Degenerativa	18
2.4.- Tipo IV o Postquirúrgica	21
2.4.1.- Tipo IVA	21
2.4.2.- Tipo IVB	22
2.5.- Tipo V o Posttraumática	22
2.6.- Tipo VI o Patológica	23
2.6.1.- Tipo VIA. Generalizado	23
2.6.2.- Tipo VIB. Localizado	24
3.- Teorías etiopatogénicas de la espondilolisis	25
3.1.- Teoría congénita	25
3.2.- Teoría traumática	25
3.3.- Teoría trofoestática	27

3.4.- Teoría displásica-hereditaria	29
3.5.- Teoría etiopatogénica actual de la espondilolisis	30
3.5.1.- Factores predisponentes	30
3.5.1.1.- La raza	31
3.5.1.2.- La herencia	31
3.5.1.3.- El sexo	34
3.5.1.4.- La edad	34
3.5.2.- Factor desencadenante:	
La sobrecarga de la pars	35
3.6.- Argumentos a favor de la fractura por sobrecarga	39
3.7.- Teoría etiopatogénica común para los tipos displásico e ístmico	44
3.8.- Factor hereditario en los tipos I y II	46
3.9.- Fractura por sobrecarga de la pars en el joven atleta	46
4.- Importancia de la biomecánica en la etiopatogenia de la espondilolisis	48
4.1.- Estructura del arco posterior	48
4.2.- Mecanismo de rotura de la pars	50
4.3.- Mecánica	51
4.4.- Mecánica en extensión	54
4.5.- Mecánica en flexión	55
4.6.- Mecánica en rotación	56
4.7.- Aspectos anatómicos lumbosacros	56
4.8.- Estudios biomecánicos	57
5.- Tratamiento quirúrgico reparativo de la espondilolisis	60
5.1.- Método de Kimura	60
5.2.- Atornillado de la pars	60
5.3.- Cerclaje con alambres	63
5.4.- Garra artículo-laminar de Morscher	65
5.5.- Técnica con alambre-tornillo pedicular	66
5.6.- Sistema con cable-tornillo pedicular de Songer	67
5.7.- Garra pedículo-laminar	69
6.- Resultados clínicos con los diversos sistemas de reparación de la espondilolisis	76

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	85
1.- Hipótesis	86
2.- Objetivos	86
III. MATERIAL Y METODO	87
1.- Programa general de trabajo	88
2.- Naturaleza del espécimen	89
3.- Preparación y conservación del espécimen	90
4.- Sistemas de reparación empleados	90
5.- Método de ensayo	92
5.1.- Condiciones del ensayo	94
5.2.- Maquina de ensayo	94
5.3.- Útiles del ensayo	95
5.4.- Descripción del método	103
IV. RESULTADOS	107
1.- Resultados gráficos	108
2.- Tablas de resultados	114
V. DISCUSION	119
VI. CONCLUSIONES	123
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

Indice de figuras

CAPITULO I. INTRODUCCION

Figura 1.1.- Clasificación de las espondilolistesis	4
Figura 1.2.- Cinco tipos de espondilolistesis	6
Figura 1.3.- Espondilolistesis displásica	10
Figura 1.4.- Espondilolistesis displásica	13
Figura 1.5.- Espondilolistesis Istmica	15
Figura 1.6.- Espondilolistesis tipo IIB	17
Figura 1.7.- Espondilolistesis post-traumática	18
Figura 1.8.- Espondilolistesis degenerativa	19
Figura 1.9.- Espondilolistesis traumática	22
Figura 1.10.- Espondilolistesis patológica	23
Figura 1.11.- Efecto pinza sobre la pars	27
Figura 1.12.- Genealogía de una familia con espondilolistesis	33
Figura 1.13.- Factor desencadenante: Sobrecarga en hiperextensión lumbar	39
Figura 1.14.- Modelo de Cyron	42
Figura 1.15.- Estudio fotoelástico, aplicación de cargas	44
Figura 1.16.- Estudio fotoelástico, compresión-tracción	44
Figura 1.17.- Espondilolistesis tipos I y II	45
Figura 1.18.- Estudio familiar de la enfermedad	46
Figura 1.19.- Sobrecarga de la pars en jóvenes atletas	47
Figura 1.20.- Fuerzas sobre el arco neural	48
Figura 1.21.- Fuerzas sobre la articulación lumbo-sacra	52
Figura 1.22.- Momentos sobre el arco neural	54
Figura 1.23.- Evolución de S y C al aumentar el ángulo de inclinación de la articulación lumbo-sacra	56
Figura 1.24.- Visiones posterior y oblicua de la situación de los tornillos	61
Figura 1.25.- Reparación con cerclaje de alambre e injerto óseo	64
Figura 1.26.- Garra artículo-laminar de Morscher	65
Figura 1.27.- Técnicas de Buck, Bradford y Morscher	66
Figura 1.28.- Técnica reparativa de Salib y Pettine	67
Figura 1.29.- Reparación con el sistema cable-tornillo de Songer	68
Figura 1.30.- Implante empleado por Kakiuchi	70
Figura 1.31.- Detalle áreas decorticadas y localización pedículos	71
Figura 1.32.- Implante e injerto	71

Figura 1.33.- Reparación de la lisis con el sistema Diapasón	73
Figura 1.34.- Angulo variable de la pinza pedículo-laminar	75
Figura 1.35.- Técnica de reparación con el sistema Isola	82

CAPITULO III. MATERIAL Y METODO

Figura 3.1.- Naturaleza del espécimen	89
Figura 3.2.- Sistema Buck	91
Figura 3.3.- Sistema con cable	91
Figura 3.4.- Sistema pedículo-laminar	92
Figura 3.5.- Detalle del ensayo sobre vértebra	93
Figura 3.6.- Máquina de ensayo	95
Figura 3.7.- Vértebra humana en máquina de ensayo	100
Figura 3.8.- Vértebra de plástico en máquina de ensayo	101
Figura 3.9.- Ensayo vértebra con pinza pedículo-laminar	102
Figura 3.10.- Gráfico fuerza-deformación	103
Figura 3.11.- Vértebra humana. Sistema Buck	104
Figura 3.12.- Vértebra de plástico. Sistema Buck	104
Figura 3.13.- Vértebra humana. Sistema Diapasón	105
Figura 3.14.- Vértebra de plástico. Sistema Diapasón	105
Figura 3.15.- Vértebra humana. Sistema Songer	106
Figura 3.16.- Vértebra de plástico. Sistema Songer	106

CAPITULO IV. RESULTADOS

Figura 4.1.- Esquema para determinar la rigidez	108
---	-----

Indice de planos

CAPITULO III. MATERIAL Y METODO

Plano 1.- Soporte inclinado	97
Plano 2.- Vástago con punta elástica	98
Plano 3.- Piezas de adaptación a la máquina	99

Indice de gráficos

CAPITULO IV. RESULTADOS

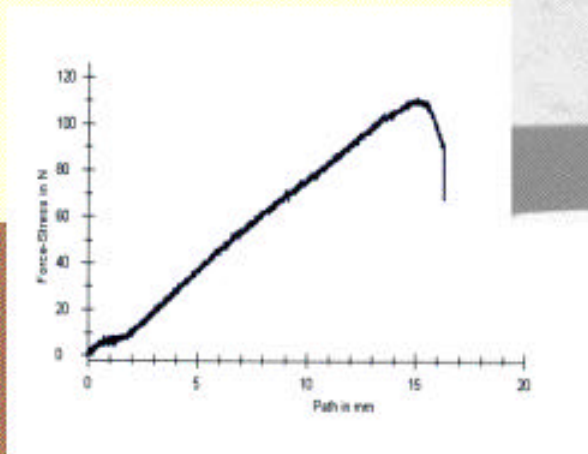
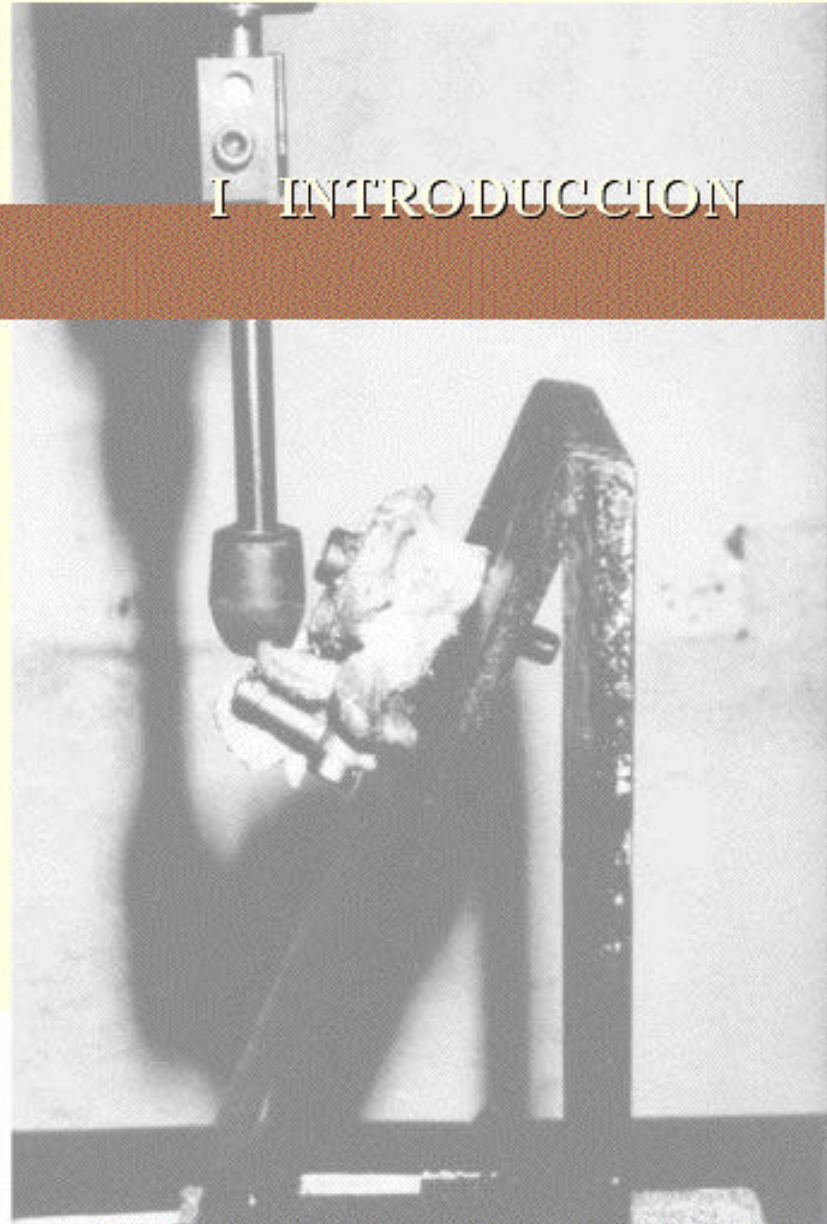
Gráfico 4.1.- Ensayo vértebra humana fresca	109
Gráfico 4.2.- Ensayo vértebra humana descongelada	110
Gráfico 4.3.- Ensayo vértebra de plástico	110
Gráfico 4.4.- Vértebra humana con técnica de Buck	111
Gráfico 4.5.- Vértebra de plástico con técnica de Buck	111
Gráfico 4.6.- Vértebra humana con pinza pedículo-laminar	112
Gráfico 4.7.- Vértebra de plástico con pinza pedículo-laminar	112
Gráfico 4.8.- Vértebra humana con sistema Songer	113
Gráfico 4.9.- Vértebra de plástico con sistema Songer	113

Indice de tablas

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla 4.1.-Vértebras humanas frescas y descongeladas sin fracturar	114
Tabla 4.2.- Vértebras humanas frescas sin fracturar	114
Tabla 4.3.- Vértebra de cerdo	115
Tabla 4.4.- Vértebras de plástico sin fracturar	115
Tabla 4.5.- Vértebras humanas con técnica de Buck	116
Tabla 4.6.- Vértebras de plástico con técnica de Buck	116
Tabla 4.7.- Vértebras humanas con pinza pedículo-laminar	117
Tabla 4.8.- Vértebras de plástico con pinza pedículo-laminar	117
Tabla 4.9.- Vértebras humanas con sistema Songer	118
Tabla 4.10.- Vértebras de plástico con sistema Songer	118

I INTRODUCCION



1. ESPONDILOLISTESIS LUMBAR

1.1 Etimología

La espondilolistesis es el deslizamiento de toda o parte de una vértebra sobre otra. Según Neugebauer⁷⁴ el término fue acuñado por Kilian en 1854 y deriva del griego *spondylos*, vértebra y *olísthêsis* que significa “deslizamiento sobre un plano inclinado resbaladizo”.

1.2 Primeros investigadores

Kilian no sabía que el deslizamiento se producía debido a la existencia de un defecto en la pars interarticularis, él pensaba que esta patología podía ser causada por una lenta y progresiva subluxación de las facetas lumbosacras.

Según Newell⁷⁵, en 1855, Robert de Coblenz estableció que la localización de la lesión fundamental estaba en la pars interarticularis, pero él no sabía cual era la naturaleza del defecto, considerando también que dicha enfermedad era consecuencia de una subluxación de las apófisis articulares.

En 1885, Lambi⁶² demostró la existencia de la lesión lítica en la pars. Neugebauer⁷⁴, en 1881, realizó un estudio extensivo de especímenes anatómicos por toda Europa y fue el primero en considerar que el deslizamiento anterior puede ocurrir por una elongación de la pars sin su separación. Observó que la vértebra entera podía desplazarse si las facetas superiores se deslizaban sobre las inferiores.

1.3 Clasificación de Newman

- Newman⁷⁶, en "The etiology of spondylolisthesis", describió la tendencia de migración vertebral anterior, y basándose en ella, fue el primero en publicar una clasificación etiológica satisfactoria de esta entidad (Fig.1.1). Para él, la tendencia estructural al desplazamiento anterior lumbosacro se encontraba limitada por:

- Las carillas articulares posteriores de la vertebra lumbar afectada, que se apoyan sobre las anteriores sacras o lumbares subyacentes. El defecto a este nivel provoca las llamadas espondilolistesis congénita (tipo I de Newman) y degenerativa (tipo IV de Newman).
- Los pedículos y el arco vertebral íntegros. El defecto a este nivel, ya sea congénito o adquirido, provoca las llamadas espondilolistesis espondilolítica (tipo II de Newman), y traumática (tipo III de Newman) respectivamente.
- La integridad de la estructura ósea. Una deficiente estructura ósea, provoca la espondilolistesis patológica (tipo V de Newman).

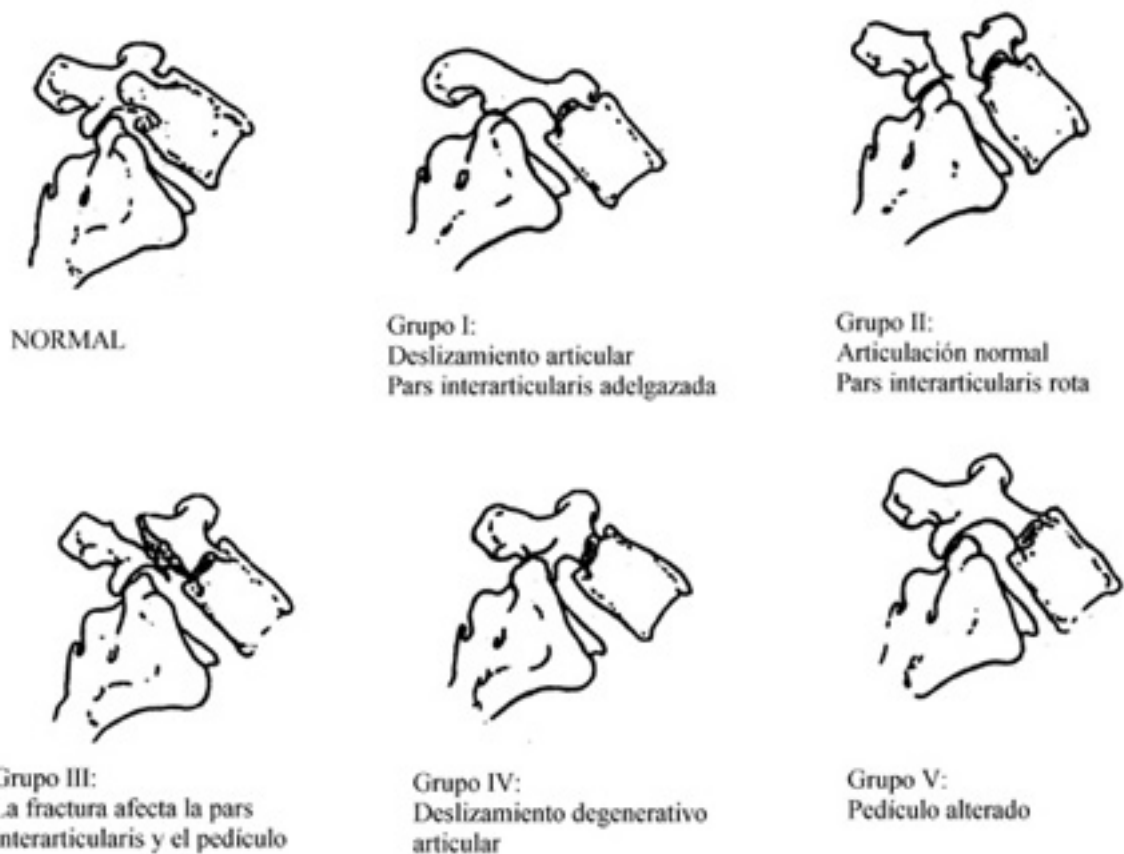


Fig. 1.1.- Clasificación de las espondilolistesis (Newman, 1963)

Según dichos conceptos, Newman⁷⁶ estableció la siguiente clasificación para las espondilolistesis:

- Tipo I o congénita.
- Tipo II o espondilolítica.
- Tipo III o traumática.
- Tipo IV o degenerativa.
- Tipo V o patológica.

Newman⁷⁶ acuñó la expresión espondilolistesis degenerativa, y separó las formas congénitas (o también llamadas por él formas displásicas) de las formas ístmicas.

Espondilolistesis congénita (Tipo I). Para Newman⁷⁶ el desplazamiento olistésico era secundario a la insuficiencia de las carillas articulares sacras que no "amarraban" suficientemente el arco posterior lumbar, permitiéndole el desplazamiento anterior.

Espondilolistesis espondilolítica (Tipo II). La característica esencial de este tipo de espondilolistesis era la integridad de la anatomía facetaria y la existencia de una elongación o, más comunmente, de una rotura de la "pars interarticularis". Por lo tanto, la solución de continuidad no es de obligado cumplimiento para pertenecer a este grupo, sino que una elongación de la "pars" asociada a una correcta posición anatómica de las facetas puede permitir la migración anterior de un cuerpo vertebral respecto a su inferior.

Espondilolistesis traumática (Tipo III). Correspondía a un defecto adquirido en el arco posterior, generalmente a nivel de la pars y pedículo, mediante un traumatismo presumiblemente directo.

Espondilolistesis degenerativa (Tipo IV). Era consecuencia de un remodelamiento de la articular inferior que se iba encorvando, para experimentar posteriormente su derrumbamiento. Se fundamenta en una deficiencia adquirida de las facetas.

Espondilolistesis patológica (Tipo V). El motivo era una alteración estructural del hueso. Diversas podían ser las causas de esta alteración. Normalmente la elongación que permitía la migración vertebral se realizaba a expensas del pedículo y no de la pars interarticularis.

En 1976, Wiltse¹²³, Macnab y el propio Newman, modificaron esta clasificación y establecieron la que actualmente aún perdura, proponiendo los siguientes grupos (Fig.1.2):

- Tipo I o displásica.
- Tipo II o ístmica.
- Tipo III o degenerativa.
- Tipo IV o traumática.
- Tipo V o patológica.

Existen varios tipos de espondilolistesis, así como de sus causas. El tipo clínicamente más frecuente en personas menores de 40 años es el tipo ístmico, en el cuál la lesión se encuentra en la pars interarticularis. Sin embargo, la displasia y cambios en la orientación de las facetas articulares pueden constituir su causa, así como otras entidades patológicas que determinen el deslizamiento de una vertebra sobre la otra.

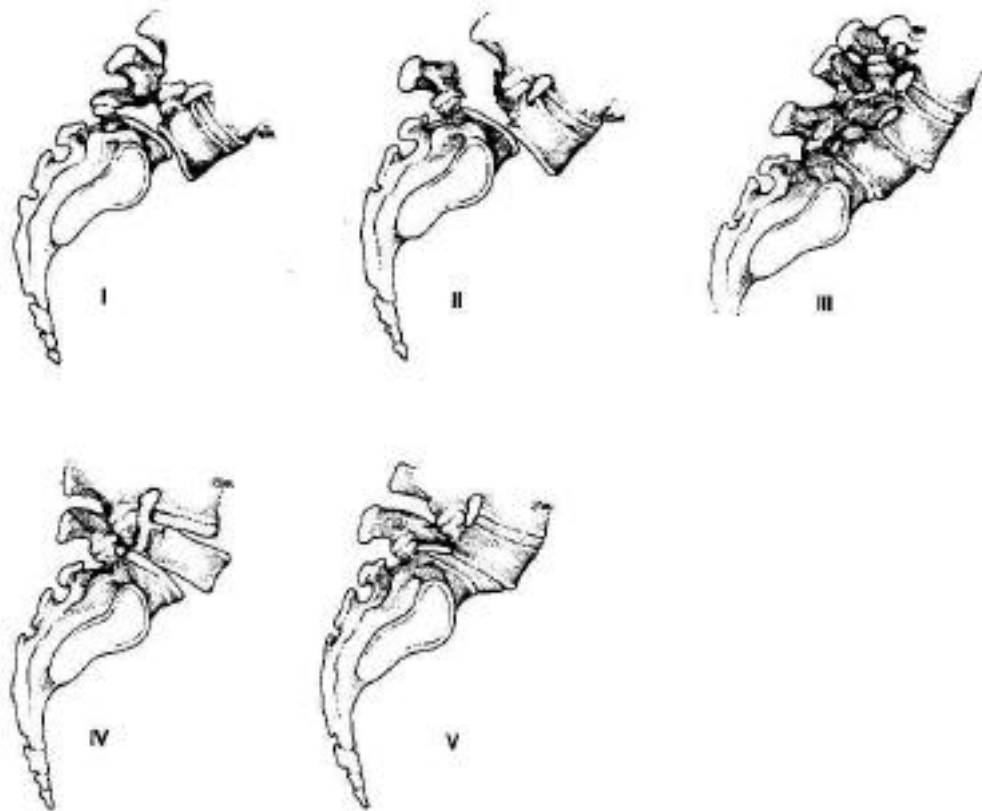


Fig. 1.2.- Cinco tipos de espondilolistesis: tipo I, displásica; tipo II, ístmica; tipo III, degenerativa; tipo IV, traumática; tipo V, patológica.

En esta tesis se describe la localización de la espondilolisis y la espondilolistesis a nivel de la columna lumbar, aunque también puede presentarse en la columna cervical, y se han comunicado casos en los cuáles también se ha encontrado el defecto de la pars en la columna torácica.

La clasificación de la espondilolistesis que presentaremos a continuación, ha derivado de clasificaciones previas publicadas por varios autores, entre los cuales cabe destacar a Wiltse y Rothman¹²⁵, y está basada en criterios anatómicos y etiológicos.

1.4 Clasificación anatómica de Wiltse

I.- Congénita

A.- Este tipo tiene facetas articulares displásicas a nivel de la listesis. Ellas están orientadas axialmente y se encuentran frecuentemente asociadas con una displasia del platillo vertebral superior del sacro así como con una espina bífida. Esta circunstancia inestable permite que el deslizamiento pueda suceder.

B.- Este tipo, visto en adultos jóvenes, es consecuencia de una orientación sagital (paralela) de las apófisis articulares o de apófisis articulares malformadas anómalas que se dislocan en la vida adulta.

C.- Otras anomalías congénitas de la columna lumbar permiten que suceda la espondilolistesis. La cifosis congénita es la más conocida.

II.- Istmica

La lesión se localiza en la pars interarticularis. Se pueden reconocer tres tipos.

A.- En el tipo lítico, hay una fractura por sobrecarga de la pars.

B.- Se encuentra presente una pars intacta pero elongada, secundaria a la curación de fracturas por sobrecarga anteriores.

C.- Se trata de una fractura aguda de la pars, que resulta de un traumatismo mayor.

- Adquiridas: traumáticas. Producidas por: fracturas agudas
fracturas por sobrecarga
iatrogénicas
patológicas
degenerativas

Actualmente existe poca diferencia entre la clasificación anatómica presentada por Wiltse¹²⁵ y la etiológica presentada por Marchetti y Bartolozzi⁶⁸.

La clasificación comentada por Wiltse¹²⁵ es anatómica, y con un claro corte etiológico. Cabe considerar que el tipo displásico es marcadamente hereditario, pero la postura erguida contribuye al deslizamiento. Mientras que el tipo ístmico (adquirido), que es en muchos casos el resultado de fracturas por sobrecarga de la pars, tiene un fuerte componente hereditario. El tipo degenerativo es fundamentalmente adquirido pero tiene un factor hereditario significativo en su etiología, que se fundamenta en la orientación sagital de sus facetas. El tipo postquirúrgico no suele tener un componente hereditario. El tipo patológico puede tener un factor hereditario en su causa, como por ejemplo la artrogriposis o enfermedad de Kuskokwim. Finalmente, el tipo posttraumático es totalmente adquirido.